



Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова

Кафедра «Автоматическое управление»

Конспект лекций по дисциплине:

Технические средства автоматизации и управления

Подготовил
КАРМЫШАКОВ А.К.

Направление: 550200 Автоматизация и управление.

Специальность: 550201.01 Управление и информатика в технических системах.

Бишкек 2011



ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ	4
1.1. Основные понятия и определения	4
1.2. Функции автоматизированных систем управления и требования к ним	4
Мониторинг	5
Управление	5
Автоматическое управление	6
Пример — регулятор температуры	7
1.3. Требования к промышленным системам управления	8
1.4. Совместимость средств автоматизации	8
2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ИП), ДАТЧИКИ	11
2.1. Бинарные и цифровые измерительные устройства	11
Датчики положения	12
Пороговые датчики	13
Индикаторы уровня	14
Цифровые и информационно-цифровые датчики	14
Пример - Датчики положения вала	14
2.2. Аналоговые измерительные устройства	15
Датчики движения	15
Пример - Резольвер	16
Пример - Тахометр	17
Датчики силы, момента	18
Измерительные преобразователи давления	18
Датчики приближения	19
Измерительные преобразователи температуры	20
Термоэлектрические преобразователи (термопары)	20
Резистивный детектор температуры	23
Термистор	24
Манометрический способ измерения температуры	25
Измерение расхода	25
Измерение объемного расхода	25
Измерение массового расхода	29
Измерительные преобразователи уровня	29
Химические и биохимические измерения	30
2.3. Структурные схемы измерительных преобразователей (ИП)	31
2.4. Метрологические характеристики ИП	32
Статические характеристики ИП	32
Динамические характеристики ИП	35
2.5. Линии связи измерительных устройств	36
Четырехпроводная линия связи	36
Трехпроводная линия связи	37
Двухпроводная линия связи	38
Преимущества и недостатки линии связи с токовыми сигналами и сигналами напряжения	39
Особенности подключения потребителей к линиям связи	41
Линия связи по напряжению	41
Токовая линия связи	41
Комбинированные линии связи	42
2.6. Нормирующие преобразователи	42
Преобразователь сигналов резистивных датчиков в стандартный токовый сигнал БУС-10	42
Преобразователь малых постоянных напряжений в стандартный токовый сигнал (БУТ)	44
2.9. Устройства, обеспечивающие работу датчиков во взрывоопасных помещениях	44
П288 – преобразователь измерительный, двухпроводный	44
Барьер искрозащиты	45



Блок питания датчиков – Ех.....

Заключение для раздела ИП.

3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ.....	47
3.1. Рекомендуемый стандарт RS-232.....	48
3.2. Рекомендуемый стандарт RS-422.....	49
3.3. Рекомендуемый стандарт RS-485.....	50
Принцип работы сети RS485.....	51
4. УСТРОЙСТВА СВЯЗИ С ОБЪЕКТОМ.....	52
4.1. На примере модулей фирмы GRAYHILL.....	52
Дискретные модули УСО.....	52
Аналоговые модули УСО.....	53
4.2. УСО на примере устройств серии ADAM4000.	54
Модуль аналогового ввода на примере ADAM4012.....	55
Модуль дискретного ввода-вывода.	56
Модули коммуникационной связи.....	56
5. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ.	58
5.1. Классификация регуляторов.....	58
Позиционные регуляторы.	59
Самонастраивающееся управление	60
5.2. Выбор типа регулятора.....	61
6. ИЗМЕРИТЕЛИ-РЕГУЛЯТОРЫ.....	63
6.1. Измерители-регуляторы на примере ТРМ-1, 2ТРМ-1	63
6.2. Измеритель-ПИД-регулятор ТРМ-10.....	64
6.3. ПИД-регулятор с универсальным входом ТРМ-101.....	65
7. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ.	67
7.1. Ремиконт Р130.....	67
Модуль аналоговых сигнала (МАС).....	69
Модуль сигналов дискретный (МСД).....	70
Модуль стабилизированного напряжения (МСН).....	71
Сетевое подключение Р130.....	72
Программирование Ремиконта Р-130	73
8. УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ.....	78
Усилители с ШИМ.....	78
Пример - Преобразователь частоты для асинхронных двигателей.....	81
9. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА.....	82
9.1. Шаговые двигатели.....	83
9.2. Двигатели постоянного тока.....	84
9.3. Асинхронные и синхронные двигатели	84
9.4. Управляющие клапаны	85
10. ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	87
10.1. Классификация промышленных объектов управления.....	87
10.2. Методы получения математического описания	88
Рекомендуемая литература.....	89



1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВАХ АВТОМАТИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

Производственные процессы характеризуются множеством регулируемых величин: температурой, давлением, расходом, концентрацией и т. д., которые называются параметрами процесса. Чтобы технологическое оборудование работало в требуемом режиме, то есть с высоким КПД, с заданной производительностью, давало продукцию необходимого качества и работало надежно, необходимо поддерживать величины, характеризующие процесс, в большинстве случаев постоянными. Эта важнейшая задача возложена на промышленные системы автоматического регулирования и стабилизации технологических процессов.

Промышленные системы регулирования занимают второй уровень современных иерархических систем управления технологическими процессами. Их главная задача состоит в том, чтобы стабилизировать технологические параметры на заданном уровне. Этим занимаются системы автоматической стабилизации. В этих системах сигнал задания (уставка регулятора) остается постоянным в течение длительного времени работы. Другой, не менее важной задачей, является задача программного управления технологическим агрегатом, что обеспечивает переход на новые режимы работы. Решение этой проблемы осуществляется с помощью той же системы автоматической стабилизации, задание которой изменяется от программного задатчика.

В современных технологических комплексах имеются сотни и тысячи контуров регулирования, от качественной работы которых во многом зависит качество выдаваемой продукции. Поэтому для большинства промышленных САР необходима достаточно высокая точность их работы. При этом главное назначение системы стабилизации - это компенсация внешних возмущающих воздействий, действующих на объект управления.

Основные понятия и определения

Измерительный преобразователь - техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации и передачи. ИП или входит в состав какого-либо измерительного устройства (измерительного прибора, датчика) или применяется вместе с каким-либо средством измерения.

Датчик - конструктивно обособленный элемент измерительной или регулирующей системы, предназначенный для преобразования измеряемой физической величины в удобный для считывания или дальнейшего использования и обработки сигнал.

Регулятор - следит за работой объекта управления как системы и вырабатывает для неё управляющие сигналы. Регуляторы следят за изменением некоторых параметров объекта управления и реагируют на их изменение с помощью некоторых алгоритмов управления в соответствии с заданным качеством управления.

Управляющий (технологический) контроллер – автоматическое (как правило, микропроцессорное) устройство, содержащее различные каналы ввода/вывода и предназначенное для решения задач управления техническими/технологическими процессами.

Автоматизированная система управления или **АСУ** — комплекс аппаратных и программных средств, предназначенный для управления различными процессами в рамках технологического процесса, производства, предприятия. АСУ применяются в различных отраслях промышленности, энергетике, транспорте и т.п.

Автоматизированная система управления технологическим процессом или **АСУ ТП** — решает задачи оперативного управления и контроля.

Функции автоматизированных систем управления и требования к ним

Технические средства автоматизации и управления применяются в составе автоматизированных систем управления, рассмотрим их функции и требования к ним.

Система управления процессом обычно выполняет много различных функций, которые можно разделить на три большие группы (рис. 1.1.):

- сбор и оценка данных технологического процесса - мониторинг;
- управление некоторыми параметрами технического процесса;
- связь входных и выходных данных - обратная связь, автоматическое управление.

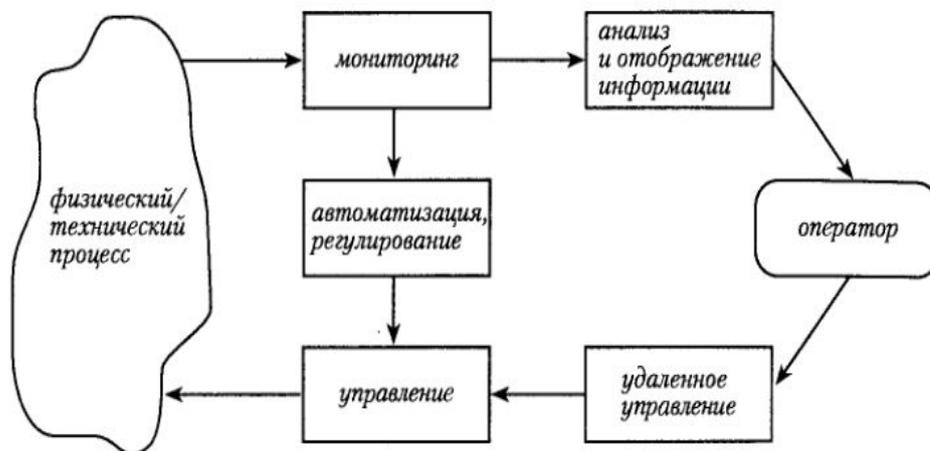


Рис. 1.1 Основные функции системы управления

Мониторинг

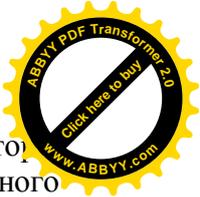
Мониторинг процесса или сбор информации о процессе - это основная функция, присущая всем системам управления. Мониторинг - это сбор значений переменных процесса, их хранение и отображение в подходящей для человека-оператора форме. Мониторинг может быть ограничен лишь выводом первичных или обработанных данных на экран монитора или на бумагу, а может включать более сложные функции анализа и отображения. Например, переменные, которые нельзя непосредственно измерить, должны рассчитываться или оцениваться на основе имеющихся измерений. Другой классической чертой мониторинга является проверка того, что измеренные или рассчитанные значения находятся в допустимых пределах.

Когда функции системы управления процессом ограничены сбором и отображением данных, все решения об управляющих действиях принимаются оператором. Этот вид управления, называемый супервизорным или дистанционным управлением, был очень распространен в первых системах компьютерного управления процессами. Он до сих пор применяется, особенно для очень сложных и относительно медленных процессов, где важно вмешательство человека. Примером являются биологические процессы, где определенную часть наблюдений нельзя выполнить с помощью автоматики.

При поступлении новых данных их значение оценивается относительно допустимых границ. В более развитой системе контроля несколько результатов могут комбинироваться на основе более или менее сложных правил для проверки, находится ли процесс в нормальном состоянии или вышел за какие-либо допустимые пределы. В еще более современных решениях, в особенности построенных на экспертных системах или базах знаний, комбинированная оперативная информация от датчиков объединяется с оценками, сделанными операторами.

Управление

Управление - это функция, обратная мониторингу. В прямом смысле управление означает, что команды управляющего контроллера поступают к исполнительным механизмам для воздействия на физический процесс. Во многих случаях на параметры процесса можно воздействовать только опосредованно через другие параметры управления.



Автоматическое управление

Система, которая действует автономно и без прямого вмешательства оператора называется автоматической. Система автоматического управления может состоять из одного или нескольких простых контуров управления (одного для каждой пары входных и выходных переменных процесса), а также из более сложных регуляторов со многими входами и выходами.

Система может быть одноуровневой (локальной), т.е. решать задачи управления для одного объекта - одним, не связанным с другими регулятором (контроллером).

Рассмотрим простую локальную, одноканальную систему управления (рис.1.2.):

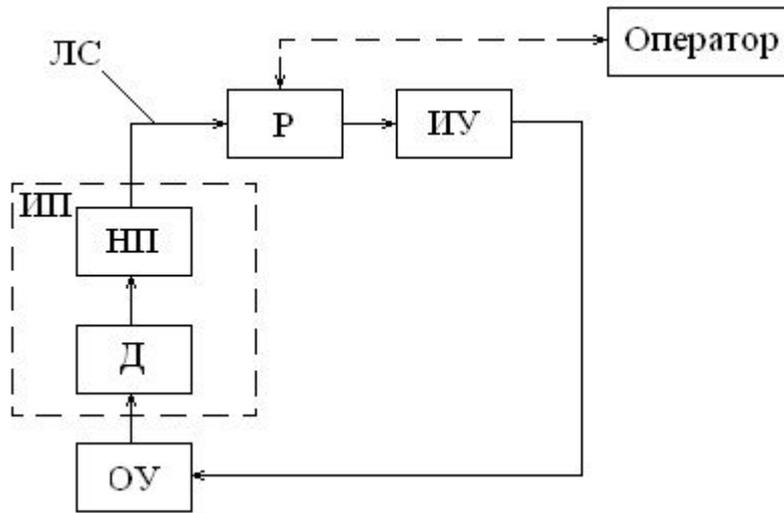


Рис. 1.2

На рис. 1.2. приняты следующие обозначения:

- ИП – измерительный преобразователь;
- НП – нормирующий преобразователь;
- Д – датчик;
- ОУ – объект управления (технологический объект);
- Р – регулятор;
- ИУ – исполнительное устройство;
- ЛС – линии связи.

Теперь изобразим эту схему, используя элементы теории автоматического управления (рис.1.3.):

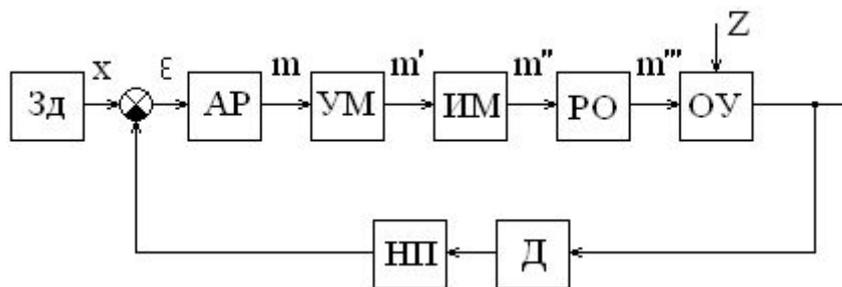


Рис. 1.3

На рис.1.3. приняты следующие обозначения:

- Зд – задающее устройство;
- Х - сигнал задания;
- АР – автоматический регулятор;
- ϵ - рассогласование;
- УМ – усилитель мощности;
- Z - возмущение.
- ИМ – исполнительный механизм;
- РО – рабочий орган;
- ОУ – объект управления;
- НП – нормирующий преобразователь;
- Д – датчик.

Регулятор по сигналу рассогласования формирует управляющее воздействие.



Характерной особенностью схемы является наличие нормирующего преобразователя, обеспечивающего работу автоматического регулятора со стандартными значениями тока (0-5 мА) или напряжения (0-10 В). Нормирующий преобразователь выполняет следующие функции:

- 1) преобразует нестандартный входной сигнал (мВ) в стандартный выходной сигнал;
- 2) осуществляет фильтрацию входного сигнала;
- 3) осуществляет линейризацию статической характеристики датчика с целью получения линейного диапазона;
- 4) применительно к термопаре, осуществляет температурную компенсацию холодного спая термопары.

Пример — регулятор температуры

Рассмотрим бак, заполненный жидкостью, температура которой должна поддерживаться постоянной (рис. 1.4.). Все сигналы в этом примере - аналоговые, т. е. изменение температуры отслеживается непрерывно.

Температура измеряется датчиком, выходное напряжение которого пропорционально текущей температуре (пропорциональная зависимость существует как минимум в интересующем диапазоне температур). Текущее значение температуры сравнивается с требуемым(опорным) значением, которое хранится в памяти регулятора. Величина рассогласования рассчитывается по разности между опорным и измеренным значениями.

В зависимости от исполнительного механизма - устройства, непосредственно влияющего на процесс, - меняется вид управляющего сигнала, подающегося на его вход. Температуру можно регулировать с помощью нагревателя, периодически включаемого на заданный интервал времени, или использовать теплообменник, соединенный с трубопроводами пара и холодной воды. В первом случае управляющим действием является момент включения нагревателя; во втором - регулирование осуществляется за счет открытия или закрытия клапанов трубопроводов пара и охлаждающей жидкости.

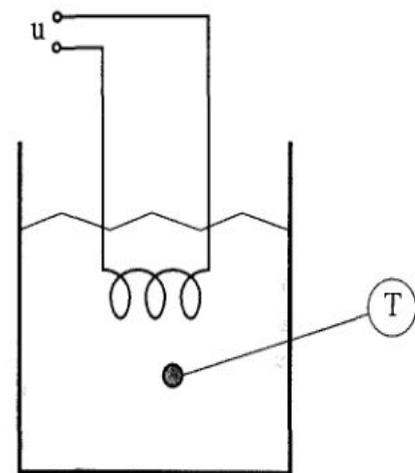


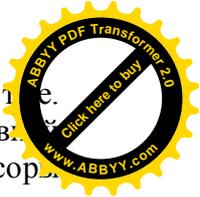
Рис. 1.4 Простая система регулирования температуры

Если теплоемкость бака велика, то постоянная времени имеет относительно большое значение. Наоборот, если объем бака небольшой, а нагреватель мощный, то постоянная времени процесса мала и система управления должна достаточно часто включать или отключать нагреватель. Таким образом, при проектировании системы управления должны быть учтены основные динамические характеристики процесса.

Система может быть многоуровневой, т.е. состоять например, из локальных контроллеров и центральной управляющей ЭВМ.

Для многоуровневых систем управления существуют два основных подхода к реализации обратной связи:

- **прямое цифровое управление** (ПЦУ, *Direct Digital Control* - DDC) центральная ЭВМ рассчитывает управляющие сигналы для исполнительных устройств. Все данные наблюдения передаются в полном объеме от датчиков к центру управления, а управляющие сигналы - обратно к исполнительным устройствам.
- **распределенное прямое цифровое управления** (*Distributed Direct Digital Control* - DDDC) вычислительная система имеет распределенную архитектуру,



а цифровые регуляторы реализованы на основе локальных процессоров, т. е. расположены вблизи технического процесса. ЭВМ верхних уровней управления рассчитывают опорные значения, а локальные процессоры ответственны главным образом за непосредственное управление техническим процессом, т. е. выработку управляющих сигналов для исполнительных механизмов на основе данных локального мониторинга. Эти локальные ЭВМ включают в себя цифровые контуры управления.

Различие между прямым цифровым управлением и распределенным прямым цифровым управлением заключается в том, что в первом случае, даже при наличии нескольких ЭВМ, они занимаются только передачей информации и не принимают решений (кроме центрального ЭВМ) об управляющих действиях. Напротив, в распределенной структуре ЭВМ на уровнях процесса, участка и общего управления могут действовать более или менее автономно и не зависят от центральной ЭВМ. Как уже указывалось, это различие влияет и на надежность сложной системы. При отказе центральной ЭВМ, управляющая система типа ПЦУ останавливается, а распределенная система, даже при отказе одного или нескольких элементов, хотя и утратит часть функций, но будет продолжать работу.

Более простая и архаичная форма автоматизированного управления - это так называемое **управление опорными значениями** (*setpoint control*). ЭВМ рассчитывает опорные значения, которые затем передаются обычным аналоговым регуляторам. В этом случае ЭВМ применяется только для вычислений, а не для измерений или генерации управляющих воздействий.

1.3. Требования к промышленным системам управления

Основные требования к промышленным системам управления:

- 1) Промышленная САУ должна обеспечивать устойчивое управление процессом во всем диапазоне нагрузок на технологический агрегат.
- 2) Система должна обеспечивать в окрестности рабочей точки заданное качество процессов управления (время переходного процесса, перерегулирование и колебательность).
- 3) Система должна обеспечивать в установившемся режиме заданную точность регулирования. Желательно обеспечить нулевую статическую ошибку регулирования. Кроме этого желательно обеспечить заданную дисперсию ошибки регулирования.

Все эти условия будут выполняться, если объект управления является стационарным, либо его вариации параметров достаточно малы и компенсируются запасами устойчивости системы. Этому способствует то, что большинство промышленных систем – это системы автоматической стабилизации заданных параметров. Серийные регуляторы обеспечивают устойчивый процесс регулирования подавляющего большинства промышленных объектов при условии, что правильно выбраны настройки регулятора.

Чем выше требования к качеству регулирования, тем более сложной и дорогой будет система. Поэтому при создании САУ стремятся найти разумный компромисс между качеством регулирования и затратами на автоматизацию технологического процесса.

1.4. Совместимость средств автоматизации.

Информационная совместимость – это совместимость, обеспечивающая согласованность сигналов связи по видам и номенклатуре их информативных параметров, пространственно-временным и логическим соотношениям и типу логики.

Существуют унифицированные сигналы связи программ и аппаратных средств и интерфейсы, которые представляют собой совокупность программ и аппаратных средств, обеспечивающих взаимодействие устройств в системе.

Диапазон изменения унифицированного сигнала не зависит от измеряемой величины и метода измерения.



Интерфейс – система унифицированных связей, сигналов, программных и аппаратных средств, с помощью которых устройство информационно управляемой техники обменивается друг с другом.

В состав интерфейса входят:

- перечень сигналов взаимодействия устройств и правило обмена этими сигналами – протокола обмена.
- совокупность технических средств, осуществляемых прием-передачу информации по линиям связи: конструкционные элементы (разъем, кабели), обеспечивающие соединения узлов без разработки дополнительных средств (например, ETHERNET или пример телефона с разъемами).

Электрические сигналы получили наибольшее распространение, так как по сравнению с основными сигналами позволили получить высокую скорость и точность передачи информации при относительно низкой стоимости прокладки и монтажа линий связи.

Выделяют следующие стандарты:

- унифицированные сигналы постоянного тока:

0..5мА

0..20мА

4..20мА (очень распространенный стандарт, международный стандарт)

Особенность последнего стандарта в том, что работает в двухпроводной линии связи и зачастую применяется на взрывоопасных и пожароопасных объектах.

- унифицированный сигнал постоянного напряжения:

0..±5В

0..±10В

- сигналы частоты:

4..8кГц

- унифицированные сигналы переменного напряжения:

0..2В

- дискретный электрический сигнал:

1~24В±15%

0~(0..2.5)В±10%

Пневматические сигналы.

Используются там, где не применимы электрические связи (например, во взрывоопасных помещениях).

Существуют ГОСТы пневматических сигналов:

0..1 ати (атмосфер технических избыточных) – аналоговые сигналы.

Дискретный сигнал:

1 ~ (0.9...1.54) ати

0 ~ (0...0.1) ати.

Гидравлический сигнал.

Применяется для управления гидравлическими исполнительными механизмами. Так как гидравлические сигналы используются для передачи информации внутри функционально законченных элементов, то они не стандартизованы.

Диапазон изменения унифицированного сигнала не зависит от измеряемой величины и метода измерения.

Интерфейс – система унифицированных связей, сигналов, программных и аппаратных средств, с помощью которых устройство информационно управляемой техники обменивается друг с другом.

В состав интерфейса входят:

- перечень сигналов взаимодействия устройств и правило обмена этими сигналами – протокола обмена.

- совокупность технических средств, осуществляемых прием-передачу информации по линиям связи: конструкционные элементы (разъем, кабели), обеспечивающие соединения



ов без разработки дополнительных средств (например, ETHERNET или пример телефо
сьемами).

Конструктивная совместимость - это совместимость свойств, обеспечивающих согласованность конструктивных параметров и механическое сопряжение технических средств, а также выполнение эргономических норм и эстетических требований.

Эксплуатационная совместимость - это совместимость свойств, обеспечивающих работоспособность и надежность функционирования технических средств при совместном использовании в производственных условиях.

Метрологическая совместимость - это совместимость выбранных метрологических характеристик и свойств средств измерений, обеспечивающих сопоставимость результатов измерений и возможность расчета погрешности при работе в составе системы.



2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ИП), ДАТЧИКИ

Для большинства физических величин существует множество различных измерительных технологий, характеризуемых зависимостью между вырабатываемым сигналом и измеряемой величиной. В составе измерительного устройства или датчика можно выделить - первичный измерительный преобразователь, т.е. та часть, на которую непосредственно действует измеряемая величина, и все последующие составляющие измерительной цепи - **измерительные преобразователи (ИП)**. Само устройство в целом называют измерительным преобразователем или датчиком (первое название применяется как правило, к аналоговым измерительным устройствам).

Метод измерения первичного измерительного преобразования часто определяет название самого прибора. Часть первичного преобразователя, на которую непосредственно действует измеряемая величина называется чувствительным элементом. Промежуточные преобразователи могут выполнять функции усиления, линеаризации, преобразование рода сигнала, нормализации, формирование стандартного сигнала. Нормированный сигнал обычно является стандартным унифицированным.



Рис. 2.1

Здесь X – измеряемая физическая величина

Различают три класса датчиков:

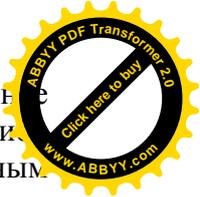
- бинарные (двоичные) датчики, которые вырабатывают сигнал только двух уровней: "включено/выключено" (иначе говоря, 0 или 1);
- цифровые датчики, генерирующие последовательность импульсов или двоичное слово;
- аналоговые датчики, т. е. измерительные преобразователи, вырабатывающие аналоговый сигнал.

В большинстве измерительных устройств выходной сигнал электрический, однако довольно часто встречаются и пневматические датчики. Главное достоинство электрических датчиков - это гибкость и разнообразие способов обработки сигнала. Следует отметить, что электрический сигнал можно передавать на большие расстояния с очень малыми затратами энергии. Пневматические датчики, по сравнению с электрическими датчиками, обычно дешевле, меньше по размерам, проще и нечувствительны к возмущениям. Более того, в условиях взрывопожароопасной среды пневматические датчики более безопасны, чем электрические.

2.1. Бинарные и цифровые измерительные устройства

Бинарные датчики используются для определения положения при механических перемещениях, для подсчета элементов в дискретных потоках (например, числа бутылок на выходе линии розлива), для контроля достижения предельных значений уровня или давления или крайних положений подвижных частей.

Бинарные и цифровые датчики бывают как простыми, состоящими только из выключателя, так и очень сложными. Некоторые цифровые датчики в действительности



представляют собой полнофункциональный микрокомпьютер, встроенный в автономное устройство и вырабатывающий либо сигналы типа "включено/выключено" либо закодированные цифровые данные. Ниже описаны некоторые типы датчиков с бинарным выходом - положения, пороговые и датчики уровня.

Датчики положения

В качестве датчиков положения (position sensor) в течение многих десятилетий используются концевые выключатели. Они состоят из электрических контактов, которые механически размыкаются или замыкаются, когда какая-либо переменная (положение, уровень) достигает определенного значения. **Концевые выключатели** (*limit switch*) различных типов являются важной частью многих систем управления, надежность которых существенно зависит именно от них, т.к. такие датчики содержат подвижные механические элементы ресурс которых ограничен.

На рис. 2.2 показаны контактные группы в нормальном положении и при срабатывании. На схемах контакты выключателя обычно изображают в нормальном положении.

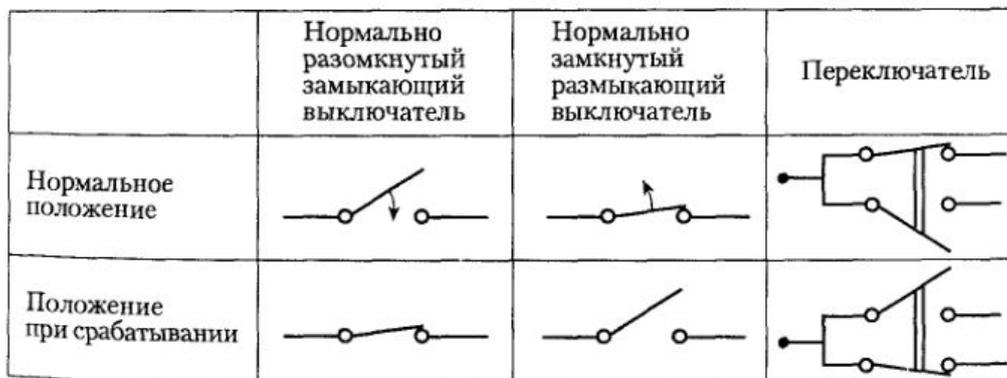


Рис. 2.2. Различные обозначения выключателей

Простое согласование сигналов для можно обеспечить с помощью нагрузочного резистора рис 2.3. Когда выключатель разомкнут, с ключа снимается напряжение $+U_{п}$, воспринимаемое как логическое состояние высокого уровня (1). Если контакт замкнут, выходной сигнал равен потенциалу земли, что воспринимается логическое состояние низкого уровня (0).

Замыкание механического выключателя обычно вызывает проблемы, поскольку контакты вибрируют ("дребезжат") несколько миллисекунд, прежде чем замкнуться

Рис. 2.3 б). Когда важно зафиксировать только первое касание, как в случае концевых выключателя, принимать во внимание последующие замыкания и размыкания контактов из-за дребезжания нет необходимости. Применение цепи, обеспечивающей небольшое запаздывание выходного сигнала, является одним из способов преодоления эффекта дребезжания контактов.

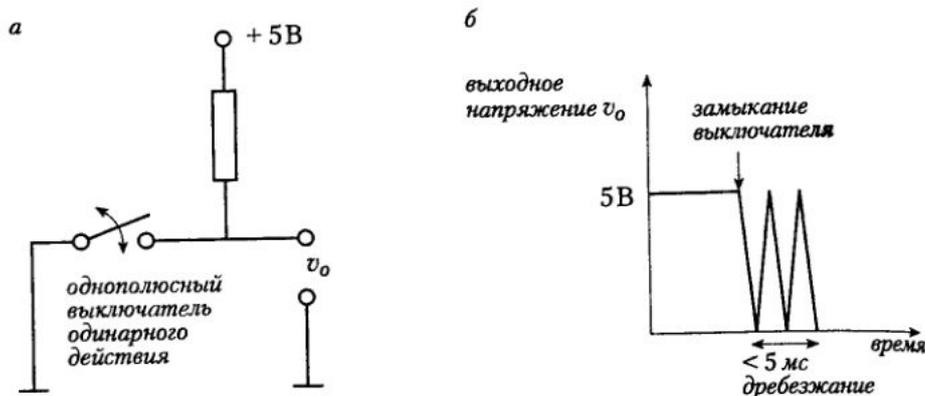


Рис. 2.3. Дребезжание контактов при замыкании выключателя

Существуют другие методы определения положения с помощью бинарных датчиков, некоторые из которых приведены ниже.

Ртутные выключатели состоят из небольших герметически запаянных стеклянных трубок с контактными выводами. Трубка содержит достаточное количество ртути, чтобы замкнуть контакты. Выключатель размыкает и замыкает контакты при изменении положения (наклона) трубки.

Магнитоуправляемое герметичное язычковое реле — геркон (reed switch, reed relay) состоит из двух плоских пружин, запаянных в небольшую стеклянную трубку. Свободные концы пружин находятся друг над другом с очень небольшим зазором между ними. Когда к трубке приближается магнит, пружины намагничиваются в разных направлениях, притягиваются друг к другу и замыкаются.

Фотоэлектрические датчики выполнены из материалов, которые изменяют сопротивление или генерируют разность потенциалов под влиянием света. Во многих устройствах достаточно бинарной индикации — есть свет или нет. Фотоэлектрический лучевой детектор состоит из источника светового луча и светочувствительного элемента. Существует много конструкций светодетекторов, которые отличаются в основном тем, отражается или прерывается световой луч фиксируемым объектом. Преимущества светодетекторов — простота, гибкость, низкая стоимость и главное, фиксация может выполняться без непосредственного физического контакта. На базе фотоэлектрических лучевых детекторов легко строятся измерители частоты вращения, счетчики, датчики положения и т. д.

Ультразвуковые и микроволновые датчики используются для обнаружения объектов на расстояниях от нескольких сантиметров до нескольких метров. Эти датчики работают в режиме отражения (излучатель и приемник заключены в одном приборе) или на принципе прерывания луча (излучатель и приемник расположены в разных устройствах).

Пороговые датчики

Разные типы датчиков используются для определения момента, когда аналоговая величина (например, уровень, давление, температура или расход) достигает некоторого порогового значения. Поэтому их часто называют пороговыми датчиками (point sensors, limit sensors). Они обычно используются для подачи аварийного сигнала, а иногда и остановки процесса в случае достижения какой-либо величиной значения, указывающего на опасную ситуацию. Такие датчики должны быть устойчивыми и надежными.

Примером порогового датчика может служить термостат — датчик/регуляторы температуры применяемый в бытовых технических устройствах (утюг, холодильник). В утюге роль датчика/регулятора выполняет биметаллический элемент с гистерезисом.

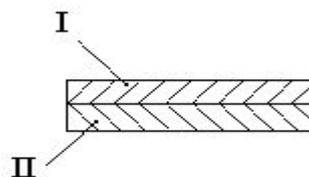


Рис. 2.4.

Биметаллический элемент представляет собой два сваренных между собой различных металла 1 и 2, Рис.2.4., имеющих разный температурный коэффициенты



нейного расширения (ТКЛР). При изменении температуры меняются геометрические параметры конструкции. Используются также в качестве датчиков достижения определенной температуры (напр. в электрочайнике)

Индикаторы уровня

Индикатор уровня (*level switch*) срабатывает, если резервуар заполнен до заданной высоты. Принцип работы зависит от свойств контролируемого вещества - жидкость, цементный раствор, гранулы или пыль. Индикатор может либо показывать текущий уровень, либо выдавать сигнал, когда достигается заданный уровень. Поплавок, находящийся на поверхности жидкости, при достижении определенного уровня действует как концевой выключатель. Герконы являются идеальными выключателями для жидкой среды, поскольку они водонепроницаемы. На поплавке должен быть установлен магнит, чтобы вызвать срабатывание контактов геркона. Для той же цели часто используются фотоэлектрические датчики. Для твердых материалов применяются емкостные датчики приближения (*proximity sensors*). По мере повышения уровня заполнителя из пространства между стенкой сосуда и емкостным зондом вытесняется воздух и поэтому изменяется емкость образованного ими конденсатора, которую можно измерить стандартными методами. Уровень можно измерить и датчиком давления, помещенным на дно сосуда, поскольку величина давления у дна прямо пропорциональна высоте столба вещества. В этом случае может вырабатываться как аналоговый (индикация текущего уровня), так и бинарный (достигнут пороговый уровень) сигнал.

Цифровые и информационно-цифровые датчики

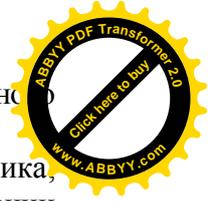
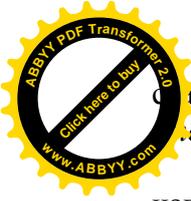
Цифровые датчики генерируют дискретные выходные сигналы, импульсные последовательности или представленные в определенном коде данные, которые непосредственно могут быть считаны процессором. В зависимости от типа датчика выходной сигнал либо сразу формируется в цифровом виде (например, от датчика положения вала), либо должен обрабатываться цепями электронной логики, которые обычно составляют с ним одно целое. Измерительная головка цифрового датчика такая же, как и у аналогового. Существуют интегрированные цифровые датчики, которые включают микропроцессоры для выполнения числовых преобразований и согласования сигнала и вырабатывают цифровой или выходной сигнал.

Если выходной сигнал датчика представляет собой последовательность импульсов, то они обычно суммируются счетчиком. В другом варианте — можно измерять интервал между импульсами. Затем результат в виде цифрового слова передается на дальнейшую обработку. При измерении энергии информация обычно кодируется импульсами - каждый импульс соответствует определенному количеству энергии.

Информационно-цифровые датчики (*Fieldbus sensor*) дополнительно обеспечивают передачу информации через шины локального управления (*Field bus*) которые представляют собой специальный тип двухсторонних цифровых коммутаторов. Датчики данного типа - это обычные датчики температуры, давления, расхода и т. д., которые дополнительно имеют микропроцессор для обработки данных и преобразования их в цифровой вид (например, в 12-разрядный код) и поддержки внешних коммуникаций. По шине можно передавать не только результаты измерений, но и идентификационную информацию датчика. Иногда такие датчики поддерживают режим удаленного тестирования и калибровки.

Пример - Датчики положения вала

Датчики положения вала или кодеры поворота (*shaft encoders*) — это цифровые датчики для измерения угла поворота и угловой скорости. Они применяются во всех системах, где нужна точная информация о параметрах вращательного движения, - например,



датчики, роботы, сервосистемы и электропривод. Существуют датчики относительного (*incremental*) и абсолютного (*absolute*) типов.

Датчик относительного типа состоит из светодетектора или магнитного датчика, например геркона, который генерирует последовательность импульсов при вращении объекта; поворот на 360 град. соответствует одному или более импульсам. Затем последовательность импульсов обрабатывается и преобразуется в угол поворота и угловую скорость объекта.

Датчик абсолютного типа выдает угол поворота объекта в двоичном коде. Оптический датчик состоит из диска с прорезями и светонепроницаемыми участками, причем каждая прорезь уникальна и соответствует определенному углу поворота. Источник света освещает одну сторону диска, а на другой стороне блок датчиков фиксирует световой шаблон (т. е. через какие свет проходит, а через которые – нет), которому соответствует цифровое значение угла поворота.

Кодирование обычно осуществляется на основе модифицированного двоичного алгоритма, чтобы минимизировать ошибки смещения фотоэлектрических датчиков относительно прорезей в диске. Эта простая технология обеспечивает высокие разрешение (которое определяется числом прорезей на градус углового смещения или на оборот диска) и точность, а так же хорошую помехоустойчивость при передаче сигналов, поскольку не требует аналого-цифрового преобразования.

2.2. Аналоговые измерительные устройства

Выходной сигнал датчика подается на вход обрабатывающего устройства, например на входную клемму контроллера. для корректной передачи сигнала между ними должны быть согласованы диапазоны и уровни сигналов, входные и выходные сопротивления.

Большинство датчиков, применяемых в системах управления, генерируют аналоговый сигнал. Как правило, при управлении измеряются следующие физические величины:

- электрические и магнитные характеристики;
- параметры движения;
- сила, момент и давление;
- температура;
- уровень заполнения емкости;
- расход;
- плотность, вязкость и консистенция;
- концентрация (газа, жидкости, растворенных и взвешенных веществ);
- химическая и биохимическая активность.

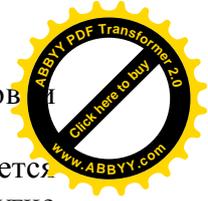
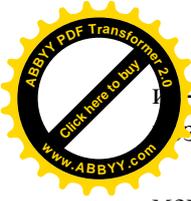
Ниже представлен краткий обзор аналоговых датчиков, обычно используемых в системах управления.

Датчики движения

Датчики движения (*motion sensors*) измеряют четыре кинематические величины:

- перемещение (изменение положения, расстояния, степени приближения, размера)
- скорость (включая угловую);
- ускорение;
- удар.

Каждая из этих величин является производной по времени от предшествующей. Теоретически можно измерить только одну из них и затем получить остальные дифференцированием или интегрированием. На практике, однако, такой подход неприемлем



и за природы сигнала (постоянный, переходный и т. д.), частотного спектра шумов и возможностей средств обработки данных.

Контроль параметров движения обязателен для приложений, в которых используется механическое оборудование - сервосистемы, роботы, электроприводы или другие манипуляторы. Измерение перемещений применяется при управлении положением клапанов. Толщина пластин в прокатном стане постоянно контролируется системой управления калибровкой. Датчики деформаций - это устройства, которые измеряют механическое напряжение, давление и силу, но могут применяться и для измерения перемещений. В системах мониторинга состояния и предупреждения отказов механического оборудования широко используются акселерометры.

Для измерения параметров движения применяются следующие типы устройств:

- потенциометры для измерения перемещений; они работают как переменные резисторы;
- датчики на основе принципа электромагнитной индукции, например дифференциальные трансформаторы, резольверы, синхротрансформаторы (сельсины)
- емкостные датчики для измерения малых перемещений, вращений и уровней жидкости;
- пьезоэлектрические датчики для измерения давления, напряжения, ускорения, скорости, силы и момента (пьезоэлектрический материал деформируется под действием приложенной разности потенциалов или вырабатывает разность потенциалов при механическом воздействии);
- лазерные датчики для точного измерения малых перемещений;
- ультразвуковые датчики для измерения расстояний в медицинских приборах, системах автофокусировки фото- и телекамер, измерения уровня и скорости.

Пример - Резольвер

Резольверы применяются в приложениях, где требуется очень точное измерение угловых перемещений и скорости, например в сервосистемах и роботах. Выходной сигнал резольвера - это мера углового перемещения, дифференцирование этого сигнала дает угловую скорость. Резольвер работает на принципе измерения взаимоиндукции между двумя обмотками (рис. 2.5). Ротор резольвера соединен с вращающимся объектом. На первичную обмотку ротора подается переменное напряжение v_{ref} . Статор состоит из двух обмоток, развернутых на 90° друг относительно друга. Напряжение на этих обмотках

$$v_{01} = K \cdot v_{ref} \cdot \sin \theta$$

$$v_{02} = K \cdot v_{ref} \cdot \cos \theta$$

соответственно, где θ - угловое положение ротора.

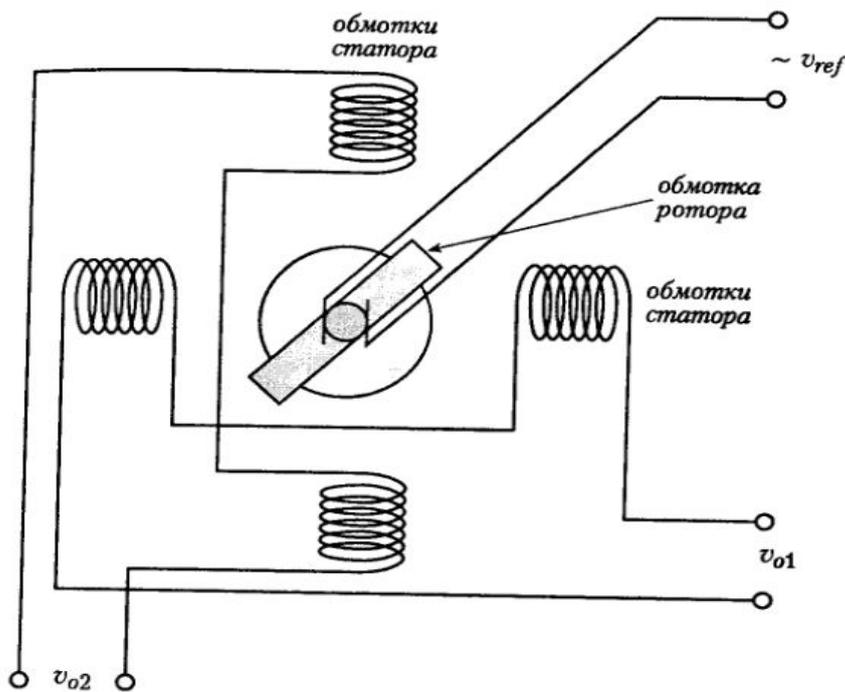


Рис. 2.5. Принцип работы резольвера

Можно сказать, что выходные напряжения v_{o1} и v_{o2} представляют собой напряжение v_{ref} промодулированное величиной угла θ . Используя одно из выходных напряжений, можно однозначно измерить углы лишь в диапазоне $0-90^\circ$, оба сигнала позволяют однозначно измерять углы от 0θ до 360° .

Выход резольвера есть тригонометрическая функция угла. Эта нелинейность, однако, не всегда является недостатком. Например, при управлении вращающимися моментами в роботах требуются именно тригонометрические функции углов поворота. Поэтому выходной сигнал резольвера можно непосредственно использовать для управления без дополнительного преобразования в реальном времени, которое увеличило бы нагрузку управляющего контроллера.

Проблемы при работе резольвера могут возникать только из-за щеток ротора (износ, дополнительные шумы и механические нагрузки). Резольверы поставляются в виде полнофункциональных автономных устройств.

Пример - Тахометр

Тахометр представляет собой генератор постоянного тока с постоянными магнитами, применяемый для измерения угловой скорости. Принцип его действия иллюстрируется рис. 2.6.

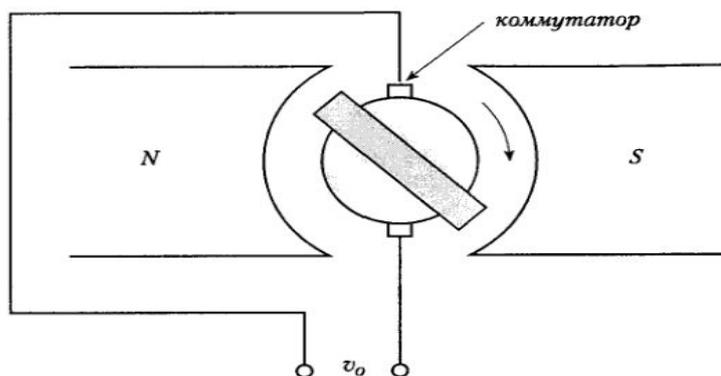
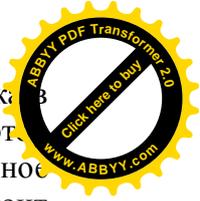


Рис. 2.6. Принцип работы тахометра постоянного тока



Магниты создают постоянное однородное магнитное поле. Движение проводника в этом поле индуцирует напряжение, пропорциональное скорости его вращения. Ротор тахометра непосредственно соединен с объектом, скорость вращения которого измеряется. Выходное напряжение, генерируемое в процессе вращения, снимается коллектором, который состоит из пары угольных щеток с низким сопротивлением. Тахометр обычно создает очень маленькую дополнительную механическую нагрузку для больших валов, на которые он устанавливается. Анализируя динамику тахометра, можно утверждать, что его частотный диапазон обычно значительно шире, чем у механического двигателя при его нормальной нагрузке. Поэтому индуктивность и другие электромагнитные параметры тахометра обычно не влияют на результаты измерения.

Датчики силы, момента

Многие типы датчиков силы/момента (force/torque) основаны на измерении деформаций. Датчики для измерения деформаций называются тензодатчиками. Принцип действия таких датчиков - изменение электрического сопротивления в образце, который подвергается воздействию внешних сил (пьезорезистивный эффект). Относительное изменение сопротивления как функция действующей на датчик силы зависит от используемого материала: у полупроводникового датчика оно на 1-2 порядка больше, чем у металлического. Чувствительный элемент у полупроводникового датчика выполнен из монокристалла пьезорезистивного материала. Дополнительное преимущество полупроводниковых тензодатчиков - более высокое удельное сопротивление по сравнению с металлическими и, соответственно, меньшее потребление мощности и выделение тепла.

Измерение моментов и сил необходимо во многих задачах, включая управление точным движением (например, перемещения и захваты в робототехнике) и передаваемой механической мощностью в двигателях и системах привода. Момент можно измерить либо на основе напряжений, возникающих в материале, либо на основе деформации (прогиба). Измеряя угол скручивания оси датчиком углового перемещения, можно определить приложенный момент.

Измерительные преобразователи давления

Различают следующие типы преобразователей давления:

- абсолютного давления, P_1 равно давлению вакуума (т.е. оно равно нулю), а P_2 – измеряемое давление;
- дифференциального давления, измеряют разность давлений P_1 и P_2 . (Часто применяется для измерения расхода в расходомерах переменного перепада);
- избыточного давления, измеряют отклонения давления P_1 , от атмосферного P_2 , это отклонение может быть как больше нуля, так и меньше.

Наиболее простой прибор для измерения дифференциального давления газовых сред - жидкостный манометр.

При $P_1=P_2$ жидкость в трубках находится на одном уровне (отсутствует разность давлений). При появлении разности давлений уровень жидкости в трубках становится разным. По разности уровней можно вычислить разность давлений.

В большинстве случаев автоматические измерительные преобразователи давления создаются на основе упругих чувствительных элементов – сильфонов и мембран. Сильфон можно соединить с движком потенциометра.

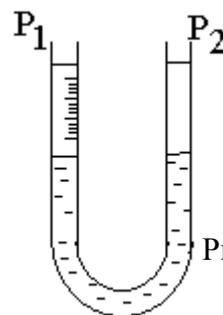


Рис. 2.7.

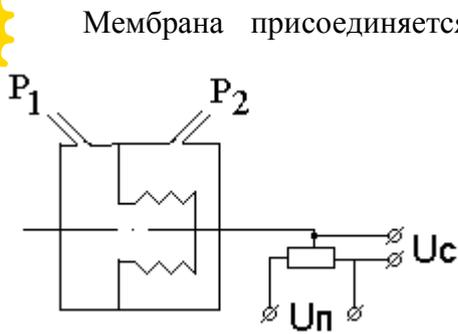


Рис. 2.8.

Мембрана присоединяется к кристаллу кварца, электроду конденсатора и к дифференциальному трансформатору. Благодаря пьезоэлектрическому эффекту деформированный кварцевый кристалл генерирует разность потенциалов. Изменение емкости конденсатора, присоединенного к мембране, можно измерить каким-либо электрическим методом. Дифференциальный трансформатор выдает электрический сигнал пропорциональный перемещению мембраны.

В основе работы тензорезистора лежит эффект, заключающийся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов при их механической деформации.

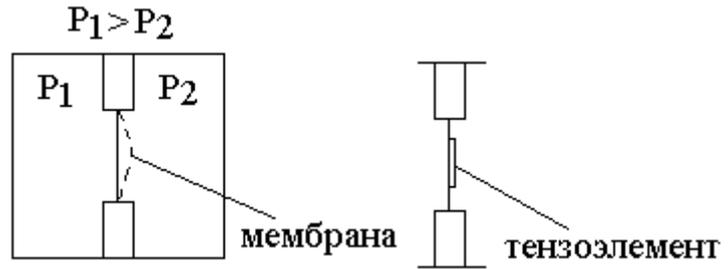


Рис. 2.9.

Характеристикой тензоэффекта является коэффициент тензочувствительности, который определяется как отношение изменения сопротивления к изменению длины проводника:

$$K_T = \frac{\delta R}{\delta l} = E \cdot \frac{\delta R}{\sigma} - \text{коэффициент тензочувствительности,}$$

где E – модуль упругости, σ – механическое напряжение.

;

$$\delta R = \frac{\Delta R}{R} - \text{относительное приращение сопротивления;}$$

$$\delta l = \frac{\Delta l}{l} - \text{относительное приращение длины.}$$

Тензорезисторы бывают проводниковые и полупроводниковые (на основе металлов и сплавов).

Чувствительность полупроводниковых тензорезисторов в десятки раз превышает проводочные, но они уступают в прочности, гибкости, стабильности. Полупроводникам свойственно старение, хрупкость. Чтобы скомпенсировать нестабильность (при воздействии температуры, влажности, и т. д.) тензорезисторы необходимо включать в дифференциальную мостовую схему.

Датчики приближения

Изменение электрических свойств элементов колебательных контуров при приближении к внешним объектам можно использовать для создания датчиков приближения. Эти датчики могут выдавать аналоговый сигнал, пропорциональный - но крайней мере в определенном диапазоне— расстоянию до заданного объекта, или цифровой сигнал при достижении заданного порогового значения расстояния. Электрические датчики приближения используют следующие принципы:

Индуктивные датчики приближения работают на основе излучения высокочастотного электромагнитного поля обмоткой, которая входит в колебательный контур. Электромагнитное поле индуцирует в проводящем материале объекта вихревые



Датчики. Когда объект, расстояние до которого контролируется, приближается к датчику (обычно на 2-30 мм), колебания начинают затухать. Изменение тока в колебательном контуре можно использовать для срабатывания полупроводникового ключа.

Емкостные датчики приближения содержат затухающий колебательный RC-контур. Емкость зависит от расстояния между обкладками конденсатора, их площади и свойств диэлектрика между ними. Датчик присоединен к одной из обкладок или к диэлектрику. Когда объект приближается к датчику, результирующее изменение емкости, а следовательно, и частоты колебаний, можно зафиксировать электрически и использовать для управления выключателем. Емкостный датчик может обнаружить объекты, которые не являются проводящими. Диапазон срабатывания для таких датчиков обычно лежит между 5 и 40 мм. Емкостные датчики можно использовать также для измерения силы и давления.

Магнитные датчики приближения опознают приближение объекта по изменению характеристик магнитного поля и не имеют подвижных частей. Принцип работы может базироваться на индуктивности, магнитном сопротивлении, магниторезистивном эффекте или эффекте Холла. Магниторезистивный эффект и эффект Холла обусловлены одним и тем же физическим явлением - сопротивление проводящего материала изменяется под воздействием внешнего магнитного поля. Если проводник с электрическим током подвергся воздействию магнитного поля, его сопротивление увеличивается (магниторезистивный эффект). Кроме того, на противоположных сторонах этого проводника возникает разность потенциалов, которую можно измерить (эффект Холла). Проводник должен быть расположен так, чтобы магнитное поле было перпендикулярно направлению тока; разность потенциалов возникает вдоль оси, перпендикулярной и магнитному полю, и направлению тока. Геометрическая форма проводника выбирается так, чтобы максимальным был либо магниторезистивный эффект, либо эффект Холла. Датчики Холла часто выполняются из полупроводниковых материалов.

Измерительные преобразователи температуры

Зависимость свойств многих материалов от температуры не всегда является недостатком - из таких материалов изготавливаются датчики температуры. Конструкция выбирается таким образом, чтобы усилить температурную зависимость какой-либо электрической характеристики. Эта зависимость, как правило, является нелинейной, что создает дополнительные трудности при ее воспроизведении. Обычно применяются четыре типа датчиков температуры:

- термоэлементы;
- резистивные детекторы температуры;
- термисторы;
- манометрические датчики температуры.

Термоэлектрические преобразователи (термопары)

Первый термоэлемент был создан в 1887 году французским ученым Ле Шателье (Le Chatelier). В термоэлементе две точки контакта А и В соединены двумя параллельными проводами, выполненными из разных металлов (например, алюминий и медь). Таким образом создается замкнутая цепь.

Принцип работы термоэлемента. Если температуры точек А и В различаются, то по замкнутой цепи циркулирует ток.

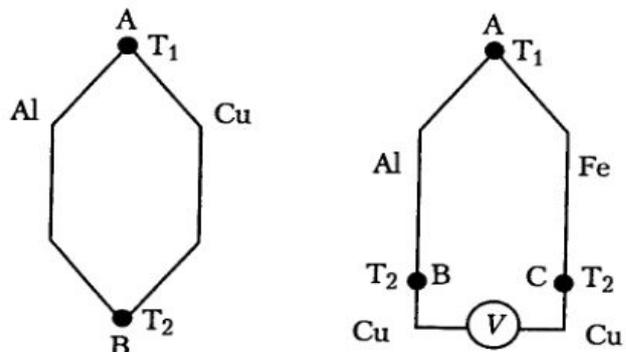


Рис. 2.10.

На правом рисунке показана реальная цепь для измерения этого тока. Точка А соответствует "горячему" спаю, а В и С — холодному. Точки В и С должны иметь одинаковую температуру.

До тех пор пока температуры в точках А и В одинаковы, ток в цепи не протекает. Если температуры в точках А и В отличаются, то по цепи начинает протекать электрический ток. Это явление называется термоэлектрическим эффектом или эффектом Сибека (Seebeck), по имени открывшего его в 1821 году исследователя. Эта так называемая термоэлектродвижущая сила увеличивается как функция разности температур. Возникающее напряжение лежит в пределах нескольких милливольт, что требует применения дополнительной очень чувствительной - и поэтому сравнительно дорогостоящей — электронной измерительной аппаратуры. Из-за низкого уровня сигнала следует тщательно выбирать процедуру передачи и соединительные провода. Необходимо иметь в виду, что термоэлемент измеряет разность температур, а не ее абсолютное значение, поэтому температура одного из контактов должна быть известна с высокой точностью. Для различных температурных диапазонов используются разные сочетания металлов. Термоэлементы весьма надежны и недороги, имеют малую теплоемкость и способны работать в широком диапазоне температур.

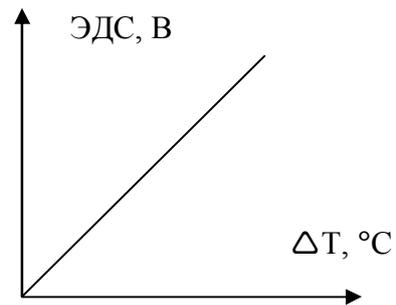


Рис. 2.11.

Международная электротехническая комиссия (МЭК, International Electrotechnical Commission - IEC) определила некоторые стандартные типы термоэлементов (стандарт IEC 584-1). Элементы имеют индексы R, S, B, K, J, E, T в соответствии с диапазоном измеряемых температур.

В промышленности термопары используют для измерения высоких температур, до 600 -1000 - 1500°C. Промышленная термопара состоит из двух тугоплавких металлов или сплавов (рис. 2.12.): Горячий спай (обозначен буквой «Г») помещается в место измерения температуры, а холодный спай («Х») находится в зоне, где находится измерительный прибор.

Рис. 2.15.

В качестве металлов I и II могут использоваться, например, медь и константан.

В данном преобразователе информационным сигналом является термоЭДС, которая дает информацию о разности температур на горячем и холодном спае. Поэтому чтобы вычислить температуру на горячем спае необходимо знать температуру на холодном спае. ЭДС термопары измеряем с помощью вольтметра V.

ТермоЭДС условно пропорциональна разнице температур холодного и горячего спаев.

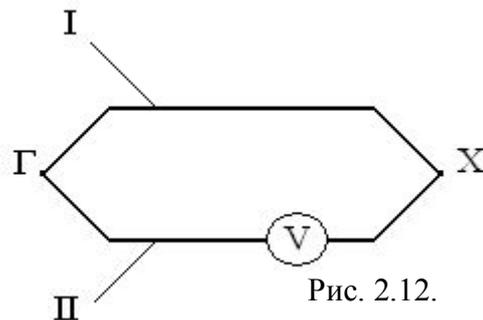
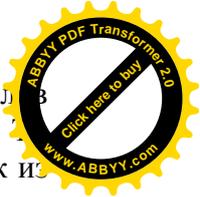
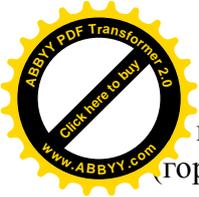


Рис. 2.12.

Законы термопары.

Закон внутренних температур.

Наличие температурного градиента в однородном проводнике не приводит к возникновению электрического тока (никакой дополнительной ЭДС не возникает).



Закон промежуточных проводников. Пусть два однородных проводника из металла В и А образуют термоэлектрическую цепь с контактами, имеющие температуры T_1 (горячий спай) и T_2 (холодный спай). В разрыв проводника А включается проводник из металла Х и образуется два новых контакта j_1 и j_2 . (см. рис. 2.13.). «Если температура проводника Х одинакова по всей длине, то результирующая ЭДС термопары не изменится (от дополнительных спаев не возникает ЭДС)».

Выводы:

- а) $E = K \cdot \Delta T$ таким образом, это позволяет спаивать, а не сваривать концы проводников;
- б) $E_{\text{комп}} = K \cdot T_{x.c}$ также позволяет использовать удлинительные провода для подключения термопар к измерительным приборам.

Поэтому можно использовать медные провода на больших расстояниях, что экономически выгодно!

Схемы включения и компенсации.

Способы измерения или стабилизации холодного спая называются компенсацией холодного спая. Один из способов – самый старый – это помещать холодный спай в нулевую температуру – тающий лёд.

Другой способ: ставят дополнительный датчик температуры рядом с холодным спаем, измеряют температуру и вводят компенсацию к холодному спаю.

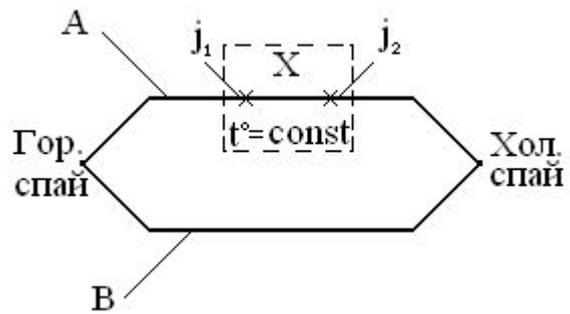


Рис. 2.13.

На рис. 2.14. представлена схема включения и компенсации. В зоне холодного спая предполагается, что температурный градиент равен нулю. Дополнительной ЭДС термопары не возникает.

R_k – элемент температурной компенсации. Это может быть любым датчиком температуры. (например, полупроводниковый или металлический терморезистор, интегральный цифровой датчик температуры и т. д.)

Термокомпенсация холодного спая осуществляется как аналоговым способом, так и цифровым.

1 способ. Аналоговый.

С помощью электрической схемы, содержащая термочувствительный компенсационный элемент. Формирует напряжение, которое складываясь с ЭДС термопары, компенсирует смещение, возникшее из-за различия температуры холодного спая от температуры начала градуировочной характеристики ($t^\circ = 0^\circ\text{C}$).

2 способ. Цифровой.

ЭДС термопары и температуру холодного спая измеряют независимо и вводят в вычислитель. Далее по градуировочной характеристике вычисляют температуру на объекте.

Если использовать линеаризованную характеристику, то температуру объекта можно вычислить следующим образом:

- E – ЭДС, снятая непосредственно с термопары
- $E_{\text{скомп}}$ – в случае линеаризованной характеристики

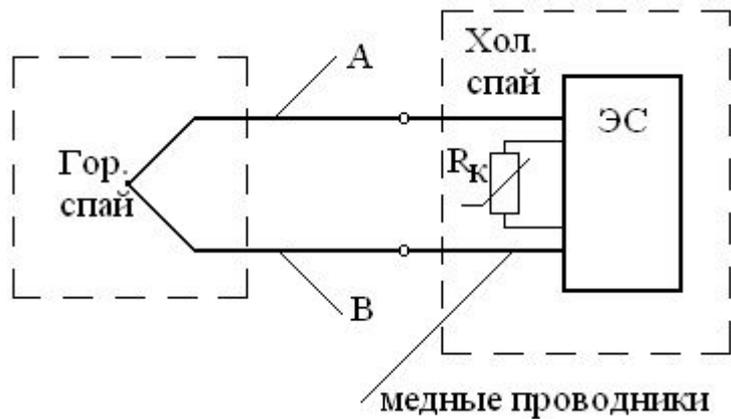


Рис. 2.14.

Здесь $E_{\text{комп}}$ – ЭДС компенсации, K - термоэлектрический коэффициент.



Приводим Е к началу градуировочной характеристики (Ескорр), а затем получаем температуру горячего спая Тг.с.:

Цифровой способ позволяет учитывать нелинейность коэффициента, и повышать таким образом точность измерения.

- Часто встречающиеся типы термопар:
- Медь – константан (металлы А и В);
- Хромель – алюмель;
- Хромель – копель (наиболее распространенный) и др.

Выбор металлов стандартных термопар осуществляется исходя из следующих факторов:

- величина термоэлектрического коэффициента;
- линейность характеристики;
- химическая стойкость к воздействию окружающей среды;
- температурный диапазон применения.

Резистивный детектор температуры

Металлы имеют положительный температурный коэффициент сопротивления т.е. с увеличением температуры сопротивление проводника растет. Это свойство используется в резистивных детекторах температуры.

Резистивные детекторы температуры (resistance temperature detector -RTD) обычно выполняются из платиновой проволоки. Сопротивление R является практически линейной функцией температуры T(в °C) при опорном значении T0 = 0°C. Отношение сопротивления R при температуре T к сопротивлению R0 при опорной температуре T0 можно выразить как

$$\frac{R}{R_0} = 1 + a \cdot T + b \cdot T^2 + \dots$$

где a - это температурный коэффициент сопротивления и b - положительная или отрицательная постоянная (рис. 2.15). Для платины типичными значениями параметров являются a = 0.004 [°C↑-1], b = 0.59 · 10⁻⁶ [°C↑-2].

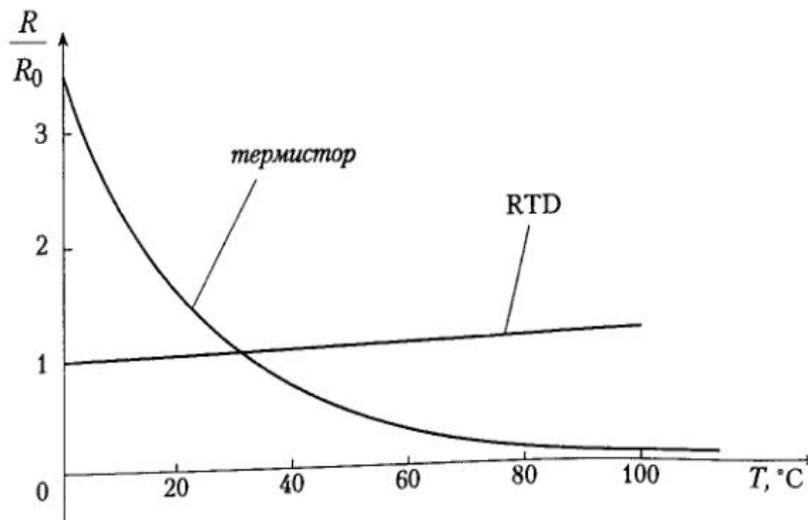
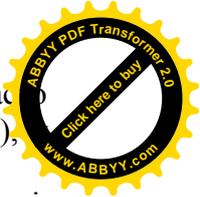


Рис. 2.15. Температурная характеристика сопротивления резистивного детектор температуры и термистора



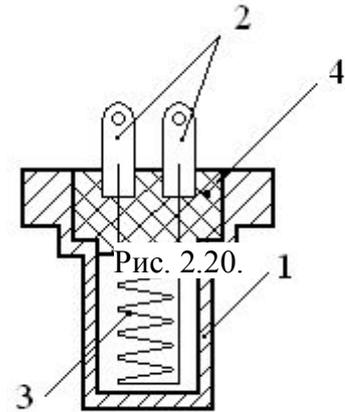
Существуют RTD для набора стандартных сопротивлений. Наиболее часто используемый тип имеет сопротивление 100 Ом при опорной температуре 0°C (273°K), у него есть собственное имя — Pt-100.

Датчики типа RTD имеют весьма низкую чувствительность, и любой ток i , используемый для определения изменения сопротивления, будет нагревать датчик, изменяя его показания на величину, пропорциональную квадрату тока. Выходное сопротивление чаще всего измеряется мостовыми схемами.

Конструктивно терморезистивный детектор температуры

выглядит следующим образом

- 1 – корпус (металлический);
- 2 – клеммы (выводы);
- 3 – катушка в виде тонкой проволоки;
- 4 – изолятор.



Имеет положительный температурный коэффициент сопротивления (ТКС), т.е. с ростом температуры растет и сопротивление.

График зависимости сопротивления R от температуры T представлен на рис. 2.15

Зависимость близка к линейной, ТКС – положительный. Терморезисторы практически не подвержены старению, очень живучие.

Термистор

Термистор (thermistor), т. е. температурно-зависимый резистор, изготавливается из полупроводникового материала, имеющего отрицательный температурный коэффициент и высокую чувствительность. Его сопротивление нелинейно зависит от температуры

$$R = R_0 \cdot e^{\beta(1/T - 1/T_0)}$$

где T - температура в градусах Кельвина, R_0 — сопротивление при опорной температуре T_0 (обычно 298 °K, т. е. 25 °C), а β - постоянная (обычно 3000-5000 °K). Наклон кривой R - T (рис. 2.15) соответствует температурному коэффициенту a , который, в свою очередь, является функцией температуры

$$a = \frac{1}{(R/R_0)} \cdot \frac{d(R/R_0)}{dT} = \frac{-\beta}{T^2}$$

Значение коэффициента a обычно лежит в диапазоне от -0.03 до -0.06 K⁻¹ при 25°C (298K).

Из-за конечного сопротивления термистора при протекании по нему тока выделяется тепло. Энергия, выделяемая в термисторе при 25 °C, имеет обычно порядок 0.002 мВт. При постоянной рассеяния около 1 мВт/°C температура датчика будет повышаться на 1 °C (на воздухе) на каждый милливатт рассеиваемой мощности.

Термистор не является точным датчиком температуры. Однако, благодаря своей чувствительности, он используется для измерений малых отклонений температуры. Это устройство довольно надежно как механически, так и электрически. Нелинейное выходное напряжение термистора должно быть преобразовано в линейную зависимость от температуры. Это можно сделать с помощью аналогового устройства или программным способом. Программными средствами можно непосредственно задать градуировочную таблицу или функцию - обратную характеристике термистора. Линейность характеристики можно получить, присоединив к термистору несложные электронные устройства. Термисторы применяются для измерения температур вплоть до 500-600 °C.

Манометрический способ измерения температуры.

Приняты следующие обозначения:

- 1 – баллон, находящийся в месте измерения;
- 2 – рабочая легкокипящая жидкость (фреон);
- 3 – капилляр;
- 4 – сильфонная камера;
- 5 – шток;
- 6 – стрелочный указатель;
- 7 – преобразователь перемещения в электрический сигнал (потенциометр).

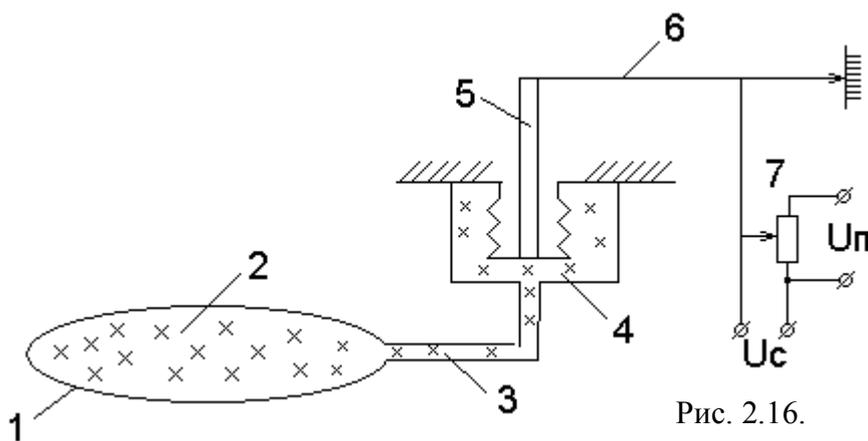


Рис. 2.16.

8 – показывающее устройство

В качестве рабочей жидкости применяется фреон, который легко воспламеняется и имеет хороший коэффициент расширения.

Принцип действия:

При повышении температуры баллона внутри него повышается давление. Сильфон изменяет свои размеры, и механическое перемещение через шток 5 передается на стрелочный указатель и преобразователь 7.

Измерение расхода

Измерение расхода (flow rate) играет жизненно важную роль в промышленности. Несмотря на большую потребность в качественных датчиках расхода, точность этих устройств до сих пор оставляет желать лучшего. Однако постоянно повышающиеся требования к качеству продукции во многих областях производства обуславливают необходимость прямых и точных методов измерения расхода. Иногда оправдано применение даже очень дорогих датчиков.

Измерение расхода базируется на физических свойствах движущейся жидкости связанных либо с массой, либо с объемом. В случае однородной несжимаемой жидкости эти два показателя связаны через плотность ρ :

$$m = \rho \cdot V$$

Однако многие жидкости, применяемые в промышленности, не имеют постоянной плотности, или ее трудно определить. Примером является сырая нефть, представляющая собой на выходе из скважины смесь собственно нефти (которая сама по себе - сложная смесь жидких и твердых углеводородов), воды, песка, других сопутствующих веществ, растворенного воздуха и пузырьков попутного газа. Большинство методов измерения расхода основано на объемных показателях. Ниже кратко рассмотрены некоторые из них, а также методы, связанные с измерением массового расхода. Во многих случаях интерес представляет не только мгновенное значение расхода, но и общее количество жидкости, прошедшее через точку измерения (например, для расчета платежей). Измерительный прибор в этом случае называется **расходомером** (*flowmeter*).

Измерение объемного расхода



Объемный расход можно определить на основе скорости истечения потока. Связь между этими величинами однозначно определяется геометрией сечения трубы, поэтому производится измерение, поэтому их взаимный пересчет легко выполняется с помощью калибровочной таблицы, поставляемой производителем датчика. Для измерения объемного расхода можно использовать следующие физические принципы:

- разность давлений;
- скорость вращения турбины;
- распространение ультразвука в жидкости;
- магнитную индукцию;
- интенсивность образования вихрей.

Датчики расхода, основанные на измерении разности давлений, работают в соответствии с законом Бернулли. Движущаяся в трубопроводе жидкость имеет постоянный объемный расход во всех сечениях. Даже если трубопровод имеет сужение, то массовый и объемный расход должны оставаться одинаковыми. Чтобы удовлетворить законы сохранения энергии и количества движения, в месте сужения скорость и статическое давление жидкости должны отличаться от остальных сечений трубопровода. В соответствии с законом Бернулли в месте сужения скорость движения жидкости увеличивается, а давление падает. По величине перепада давления $\Delta p = p_1 - p_2$ можно рассчитать скорость жидкости. Расход пропорционален $\sqrt{\Delta p}$; коэффициент пропорциональности зависит от геометрии сужения.

Измерение при помощи шайбы

На пути потока ставится шайба (диск с отверстием в центре, края отверстия специально обработаны для получения высокой точности). Создается разность давлений, которая связана зависимостью с расходом. В отличие от трубы Вентури искусственное сопротивление на пути потока здесь создается шайбой. Это наиболее распространенный способ измерения расхода.

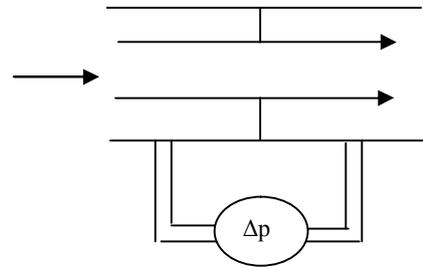


Рис. 2.17.

Преимущества – простота конструкции.

Недостатки – большие потери давления, малый диапазон измеряемых расходов, относительно небольшой срок службы. При наличии в потоке твердых включений кромки «шайбы» притупляются; для точного измерения расхода необходимо создать большой перепад давления, что приводит к энергетическим потерям.

В месте сужения всегда присутствуют потери на трение, которые можно уменьшить за счет выбора гидродинамически обтекаемой формы. Примером такого устройства является труба Вентури (рис. 2.18), которая состоит из сужающегося и расширяющегося сопел. Такая конструкция приводит к уменьшению вихреобразования при прохождении потока через наименьшее сечение и позволяет пренебречь потерями на трение. Трубки Вентури обычно используются для измерений больших расходов в открытых каналах; однако их стоимость, как правило, выше, чем стоимость обычных дифференциальных расходомеров.

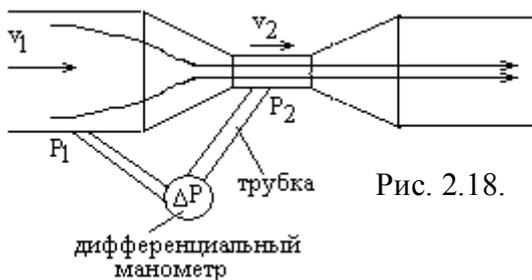


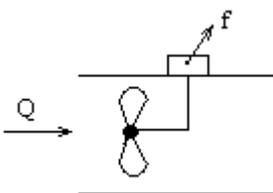
Рис. 2.18.

Труба Вентури.

Здесь $v_1 > v_2$. Разность давлений измеряем с помощью дифференциального манометра, к которым подводятся трубки.

Преимущества – создает меньше потери давления. Недостатки – сложная конструкция.

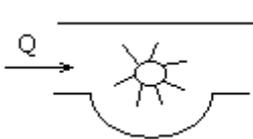
Турбинные расходомеры. Расход можно измерить турбиной со счетчиком частоты вращения, поскольку он пропорционален скорости вращения. Обычно этот принцип применяется в расходомерах, которые выдают импульс при





прохождении через турбину определенного количества жидкости. Такой измеритель можно использовать только для чистых жидкостей, так как любые твердые частицы будут мешать вращению турбины.

Варианты конструкций:



Турбина в виде пропеллера или мельничного колеса. На выходе электрический сигнал (синусоидальный, прямоугольный и др. в зависимости от применяемых первичных преобразователей), изменяющийся пропорционально скорости потока.

Рис. 2.19.

На выходе может быть и неэлектрический сигнал. В пример этому случаю можно поставить квартирные счетчики воды, газа и др.

Ультразвуковые расходомеры. Простой способ измерения объемного расхода основан на свойствах распространения ультразвука в жидкости. В результате ультразвукового измерения можно получить среднюю скорость жидкости, которая определяется по скорости распространения ультразвуковых волн. В предположении, что эта скорость равна средней скорости движения жидкости (скорость считается средней потому, что в действительности она неравномерно распределена по сечению и меняется от точки к точке), объемный расход получается простым умножением полученной скорости на площадь сечения трубопровода.

Ультразвуковое измерение выполняется с помощью двух пьезоэлектрических преобразователей, помещенных по разные стороны трубы на расстоянии (вдоль оси трубы) по крайней мере 100 мм друг от друга; они могут работать как в режиме излучения (прямом), так и в режиме отражения (рис. 2.20).

Существуют два основных способа ультразвуковых измерений: один основан на определении времени прохождения волны через жидкость, другой — на изменении частоты.

Первый способ связан с измерением разницы по времени распространения последовательности импульсов в жидкости (скорость звука зависит от вида жидкости; она составляет 344 м/с в воздухе при комнатной температуре и 1483 м/с в воде). Сначала первый пьезопреобразователь генерирует группу импульсов, а второй принимает, затем они меняются ролями: второй преобразователь становится излучателем, а первый - приемником. В одном случае составляющая скорости жидкости $v \cdot \cos \alpha$ увеличивает время пробега волны, в другом - уменьшает. Исходя их двух измерений, можно определить среднюю скорость жидкости v .

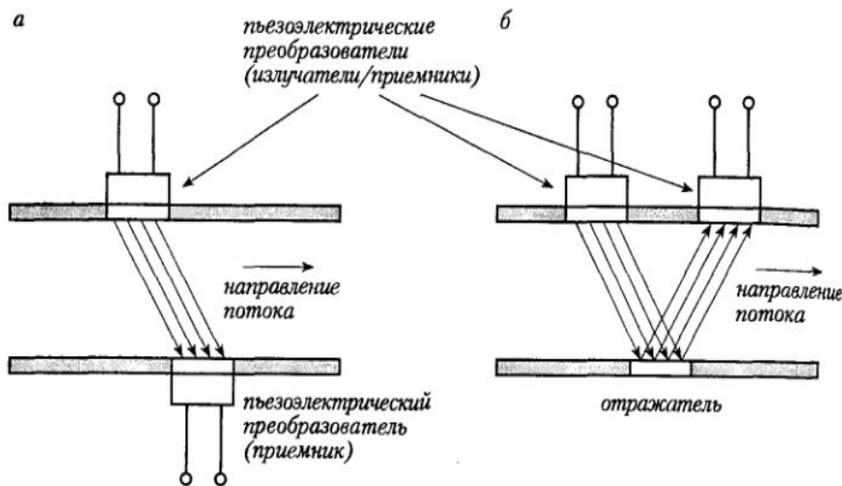


Рис. 2.20. Принцип ультразвукового измерения расхода:
а — прямой метод; б — метод отражения

Второй способ основан на разности частот излученных и принятых импульсов. Составляющая $v \cdot \cos \alpha$ скорости жидкости влияет на длину волны ультразвуковых импульсов

эффект Доплера), что означает, что их частота увеличивается в одном направлении и уменьшается в другом. Из разности частот можно найти среднюю скорость жидкости. Достоинство этих способов состоит в том, что результат не зависит от скорости распространения звука в конкретной жидкости и поэтому не требуется специальной градуировки устройства, поскольку измерения в разных направлениях компенсируют друг друга. В обоих случаях, однако, на результат измерения влияют неоднородность жидкости, пузырьки или твердые частицы.

Другое преимущество ультразвуковых измерений состоит в том, что датчики легко монтируются на трубе (существуют даже переносные приборы), не требуют изменения ее конструкции, не влияют на характеристики потока (нет потерь давления в месте установки датчика). Точность измерений такая же, как и для датчиков других типов, - в пределах 0.5-1 % от измеряемой величины.

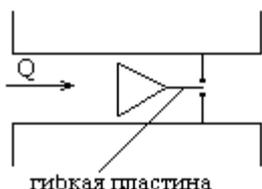
Магнитные датчики расхода работают на основе закона Фарадея, который утверждает, что в проводнике, движущемся в магнитном поле, возникает ЭДС, величина которой прямо пропорциональна индукции магнитного поля и скорости движения проводника; ЭДС ориентирована в пространстве перпендикулярно направлению поля и движению проводника. При магнитном измерении расхода проводник образуется движущимися ионами электропроводящей жидкости; проводимость жидкости должна составлять по крайней мере 0.1 мкСм/см. Магнитное поле создается двумя обмотками, расположенными по разные стороны трубы, питающимися переменным или пульсирующим постоянным током. ЭДС, индуцируемая в жидкости, измеряется двумя изолированными электродами; она пропорциональна расходу. Можно показать, что ЭДС между противоположными точками трубы мало зависит от распределения скоростей по сечению трубы (профиля скорости). Поскольку принято, что сечения трубы постоянно, то выходное напряжение пропорционально расходу.

Вихревые расходомеры. Следующий способ измерения расхода жидкости в трубе основан на эффекте фон Кармана (von Kármán). Если тело определенной формы помещено в поток жидкости, то в кильватерной струе возникает турбулентность, порождающая области с переменным давлением, которые можно обнаружить датчиками. Частота вихрей, попеременно срывающихся с граней плохообтекаемого тела, прямо пропорциональна скорости жидкости, а, следовательно, и объемному расходу.



Рис. 2.21.

Один из способов съема сигнала – механически соединить лопатку с пьезокристаллом, и снимать с его обкладок напряжение с частотой пропорциональной частоте срыва вихрей. Другие способы съема сигнала:



Замыкание-размыкание

Рис. 2.22.

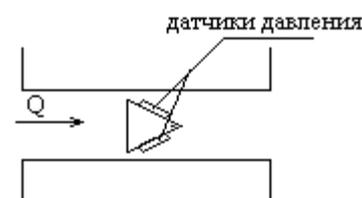


Рис. 2.24.

Фиксирование частоты вихреобразования с помощью датчиков давления:

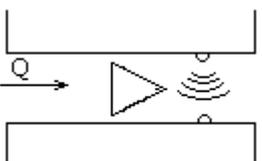


Рис. 2.23.

Фиксирование частоты вихреобразования с помощью ультразвука. Возмущенный поток искажает сигнал, в результате УЗ-сигнал будет модулированным ($f_{нес} > f_{инф.сигнал}$) $f_{вихр.} = 1 Гц \dots 1.5 \div 2 кГц$.

Измерение массового расхода

Во многих случаях вместо объемного расхода или скорости жидкости необходимо знать массовый расход. Если известна плотность несжимаемой жидкости, то массовый расход рассчитывается непосредственно по объемному расходу с учетом, если необходимо, температуры, давления и вязкости. На практике, однако, плотность часто неизвестна.

Многие попытки определить массовый расход на основе измерения сил и ускорений потерпели неудачу. Один принцип, однако, получил промышленное применение - это измерение массового расхода на основе гиростатического метода и влияния силы Кориолиса.

Во вращающейся системе на массу, движущуюся вдоль радиуса, действует сила, называемая силой Кориолиса. Направление этой силы перпендикулярно оси вращения и направлению движения массы, а ее величина пропорциональна скорости вращения и радиальной скорости массы. Массовые расходомеры, основанные на измерении силы Кориолиса, дают хорошие результаты, не требуя компенсации давления и температуры.

В прямолинейном участке трубопровода с помощью электромагнита возбуждаются колебания, резонансные собственной частоте трубы или частоте какой-либо ее гармоники. На входе и выходе трубопровода симметрично по отношению к электромагниту размещены приемники для определения фазы колебаний трубы. Когда трубопровод пуст, фазы колебаний совпадают. На любой элемент жидкости, текущей по трубе будет действовать боковое ускорение. Из-за инерции этого элемента колебания на входе будут затухать. По мере прохождения элемента жидкости по трубе, он передает ей накопленную энергию, и ее колебания на выходном конце усиливаются. Фазы сигналов, измеренных на входе и выходе участка трубопровода, будут различаться; разность фаз прямо пропорциональна массовому расходу. Датчики расхода, построенные в соответствии с принципом Кориолиса, очень мало влияют на потери давления в трубопроводах.

Расходомер Кориолиса можно также использовать для измерения плотности жидкости. Для этого определяется собственная частота колебаний заполненного участка трубопровода, которая обратно пропорциональна плотности жидкости.

Расходомеры Кориолиса — непростые устройства и требуют сложных согласующих и обрабатывающих схем. Одно и то же устройство может применяться для измерения и расхода, и плотности. Кроме того, массовые расходомеры Кориолиса не требуют сглаживающих участков труб и обладают высокой точностью (0.5 % от измеряемой величины). Однако эти расходомеры чувствительны к вибрациям и имеют ограничения по способам их установки. Кроме того, они довольно дороги.

Измерительные преобразователи уровня.

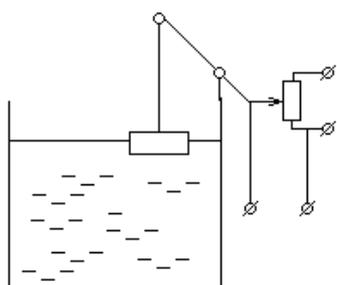
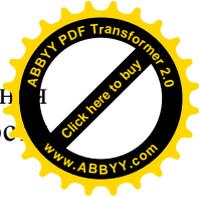


Рис. 2.25.

Самый простой преобразователь уровня — **поплавковый**, для преобразования перемещения поплавка в электрический сигнал можно применить потенциометр. Основным недостатком поплавкового метода является наличие механических подвижных элементов.

Гидростатический преобразователь уровня измеряет давление жидкости вблизи дна емкости и вычисляет уровень, используя информацию о плотности жидкости.

Весовой преобразователь уровня взвешивает емкость с продуктом, при известных значениях плотности продукта и геометрии емкости вычисляет уровень.



Ультразвуковой преобразователь уровня измеряет время прохождения акустического сигнала до поверхности раздела сред, при известной скорости распространения сигнала вычисляется расстояние.

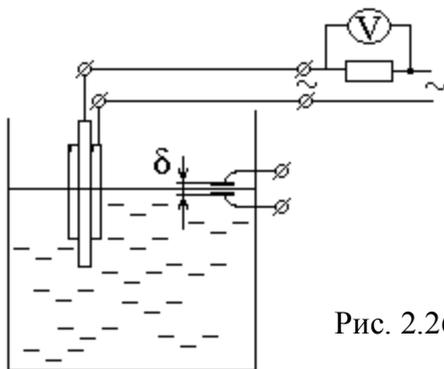


Рис. 2.26.

Емкостный преобразователь уровня

Судить об изменении уровня жидкости можно измеряя емкость конденсатора частично погруженного в емкость с жидкостью. Диэлектрические проницаемости воздуха и жидкости отличаются, следовательно при изменении уровня жидкости будет меняться и емкость конденсатора.

Химические и биохимические измерения

В химических и биохимических процессах очень важно измерять ряд физических характеристик. Некоторые из них можно постоянно измерять в оперативном режиме, в частности:

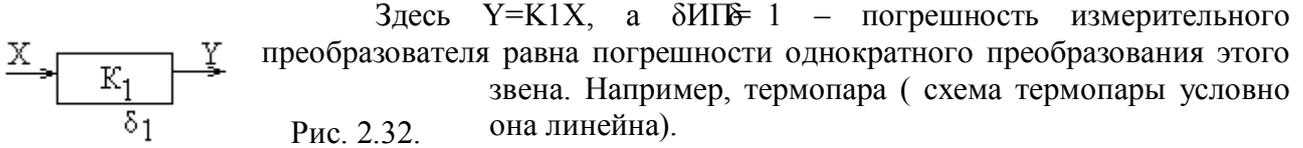
- концентрацию;
- проводимость;
- содержание солей;
- окислительно-восстановительный потенциал (redox potential — oxidation-reduction potential);
- величину pH;
- уровень растворенного кислорода (dissolved oxygen, DO); плотность взвешенных частиц.

Для всех указанных типов измерений в большинстве случаев существуют серийные промышленные датчики с приемлемыми характеристиками. Как уже указывалось, точность и погрешность измерений зависят не только от самих датчиков, но и от того, как они используются, т. е. от обслуживания, своевременных проверок и градуировок. Это особенно существенно в отношении химических и биохимических измерений.

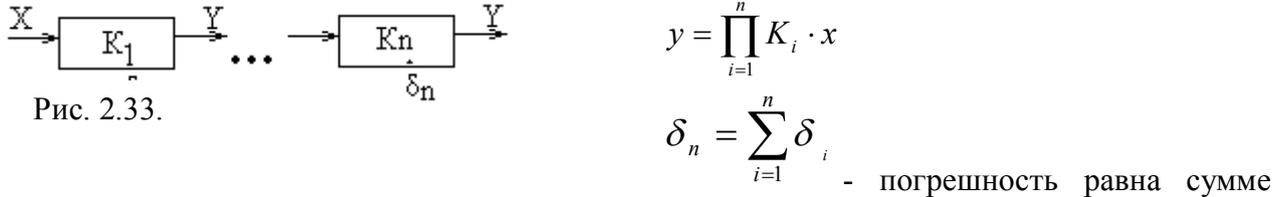
Существует много типов датчиков для измерения концентрации органического углерода, соединений азота, фосфора и т. д. Многие из них основаны на своего рода лабораторном химическом анализе, который выполняется автоматически с помощью специального оборудования. Устройства этого типа обычно довольно сложны и, соответственно, довольно дороги. Они работают в автономном режиме, поскольку анализ может потребовать некоторого времени и специально отобранных образцов вещества - результаты могут передаваться компьютеру по специальному информационному каналу. Регулярное обслуживание - важная часть эксплуатации такого оборудования, и тем не менее его надежность нельзя считать полностью удовлетворительной.

2.3. Структурные схемы измерительных преобразователей (ИП).

Структурная схема ИП прямого однократного преобразователя:



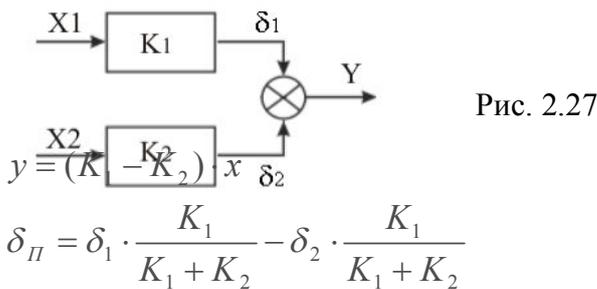
В тех случаях, когда первичное преобразование не позволяет получить требуемый сигнал, применяют схему последовательного или каскадного преобразования.



каждого звена.

В данном случае, статическая характеристика равна произведению каждого звена. (см. пример последовательного преобразования манометрического датчика температуры Рис. 2.21.).

Дифференциальная схема.



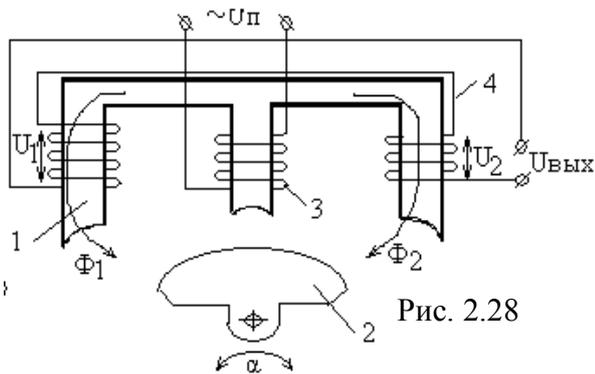
Характерная особенность дифференциальных датчиков – наличие двух однотипных звеньев, выходные сигналы которых вычитаются. Причем на входы звеньев может подаваться либо контролируемая величина, либо на один – контролируемая, на другой – постоянная, в том числе нулевая.

Рассмотрим пример:

Дифференциальный трансформатор.

Обозначения:

- 1 – магнитопровод (феррит, магн. эл. железо);
- 2 – якорь;
- 3 – обмотка питания;
- 4 – измерительная обмотка возбуждения.



Здесь $U_{вых} = U_1 - U_2$

Напряжение выхода $U_{вых}$ пропорционально разности потоков магнитной индукции Φ_1 и Φ_2 через встречноключенные обмотки. Если якорь в среднем положении, то разность потоков магнитной индукции равна нулю. При отклонении якоря от нулевого положения, возникает сигнал, отличный от нулевого.

Преимущества дифференциальных датчиков:

- снижение дополнительных погрешностей,
- возможность увеличения чувствительности и исключение постоянной составляющей в выходном сигнале,
- возможность линейризации статической характеристики датчика в целом.

Схема компенсационного соединения (с отрицательной обратной связью).

$$y = \frac{K_1}{1 + K_1 \cdot K_2} \cdot x$$

$$\delta_{II} = \delta_1 \cdot \frac{1}{1 + K_1 \cdot K_2} - \delta_2 \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{K_1 \cdot K_2}}$$

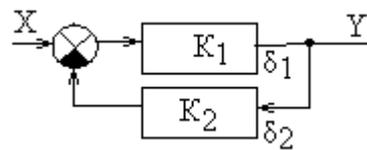


Рис. 2.29.

Преимущества:

Основное достоинство в способности компенсировать изменения параметров измерительного тракта (путь прохождения сигнала). Основной параметр ИП – погрешность: статическая и динамическая. При наличии обратной связи можем управлять этой погрешностью. Применяя различные звенья, можем управлять динамической ошибкой и т. п.

Например, чтобы уменьшить статическую ошибку, необходимо ввести астатизм (интегрирующее звено).

2.4. Метрологические характеристики ИП.

Статические характеристики ИП

Статическая характеристика – функциональная зависимость между входной и выходной величинами в установившемся режиме. Статические характеристики датчика показывают, насколько корректно выход датчика отражает измеряемую величину спустя некоторое время после ее изменения, когда выходной сигнал установился на новое значение.

Она может быть представлена коэффициентом, уравнением, графиком или таблицей. Уравнение линейной характеристики записывается следующим образом:

$$y = f(x) = \pm B + K \cdot x$$

Здесь B – некоторая постоянная (const),

K – коэффициент преобразования,

y_0 – сигнал холостого хода,

x_0 – зона нечувствительности.

При $B=0$ график проходит через начало координат.

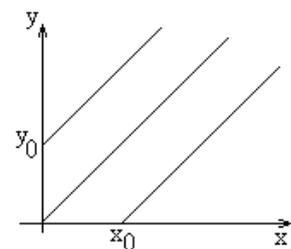


Рис. 2.30.

При $B>0$ характеристика смещена по оси абсцисс на величину холостого хода, при этом $y_0=B$.

При $B<0$ характеристика имеет зону нечувствительности от 0 до x_0 .

На участке:

от 0 до x_H : $y=K \cdot x$,

от x_H до ∞ : $y=y_H$.

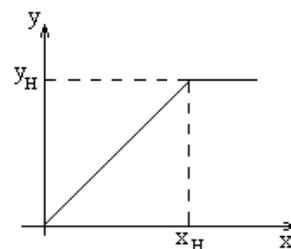
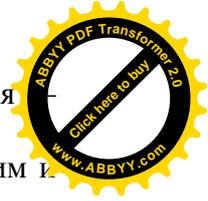


Рис. 2.31

Если на характеристики выделить линейный участок, в пределах которого работает преобразователь, то разность между верхним и нижним значениями выходного (входного)



Сигнала определяют как рабочий диапазон ΔP преобразователя, а их отношения к динамический диапазон ΔD .

Рабочий диапазон (operating range) датчика определяется допустимыми верхним и нижним пределами значения входной величины или уровня выходного сигнала.

$$x = x_K - x_H$$

$$y = y_K - y_H$$

$$x = \frac{x_K}{x_H}$$

$$y = \frac{y_K}{y_H}$$

Порог чувствительности – линейное значение входного сигнала, вызывающее заметное изменение выходного сигнала.

Важными статическими параметрами также являются: чувствительность, разрешающая способность или разрешение, линейность, дрейф нуля и полный дрейф, повторяемость и воспроизводимость результата.

Чувствительность (sensitivity) датчика определяется как отношение величины выходного сигнала к единичной входной величине.

Разрешение (resolution) - это наименьшее изменение измеряемой величины, которое может быть зафиксировано и точно показано датчиком.

Линейность (linearity) не описывается аналитически, а определяется исходя из градуировочной кривой датчика. Статическая градуировочная кривая показывает зависимость выходного сигнала от входного при стационарных условиях. Близость этой кривой к прямой линии и определяет степень линейности. Максимальное отклонение от линейной зависимости выражается в процентах.

Дрейф (drift) определяется как отклонение показаний датчика, когда измеряемая величина остается постоянной в течение длительного времени. Величина дрейфа может определяться при нулевом, максимальном или некотором промежуточном значении входного сигнала. При проверке дрейфа нуля измеряемая величина поддерживается на нулевом уровне или уровне, который соответствует нулевому выходному сигналу, а проверка дрейфа на максимуме выполняется при значении измеряемой величины, соответствующем верхнему пределу рабочего диапазона датчика. Дрейф датчика вызывается нестабильностью усилителя, изменением окружающих условий (например, температуры, давления, влажности или уровня вибраций, параметров электроснабжения или самого датчика (старение, выработка ресурса, нелинейность и т. д.)

Повторяемость (repeatability) характеризуется как отклонение между несколькими последовательными измерениями при заданном значении измеряемой величины в одинаковых условиях, в частности приближение к заданному значению должно происходить всегда и либо как нарастание, либо как убывание. Измерения должны быть выполнены за такой промежуток времени, чтобы не проявлялось влияние дрейфа. Повторяемость обычно выражается в процентах от рабочего диапазона.

Воспроизводимость (reproducibility) аналогична повторяемости, но требует большего интервала между измерениями. Между проверками на воспроизводимость датчик должен использоваться по назначению и, более того, может быть подвергнут калибровке. Воспроизводимость задается в виде процентов от рабочего диапазона, отнесенных к единице времени (например, месяцу).

Погрешности.

Истинное значение измеряемой величины – значение, идеально точно отражающее свойство объекта в количественном отношении.

Действительное значение измеряемой величины – значение измеряемой величины, настолько близко к истинному значению, что для решения текущей прикладной задачи может быть использована вместо истинного значения.



Реально при оценке параметров используют датчики, оценивается погрешность. Погрешность измерения – отклонение измеряемой величины от действительного значения.

Зная погрешность ИП в результате многократных, хаотичных измерений можно его скорректировать.

Абсолютное значение погрешности измерения характеризует отклонение измеряемой величины от действительного значения в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность – отношение абсолютной погрешности измерения к текущему значению измеряемой величины, выраженное в процентах.

Приведенная погрешность – отношение абсолютной погрешности к диапазону измерения.

Основная погрешность – погрешность измерения, которой обладает измерительное устройство при его применении в нормальных условиях эксплуатации.

Например, относительная и приведенная погрешность могут рассматриваться в Точках характеристики, а основная – во всем диапазоне измерений в нормальных условиях, то есть при условиях, написанных в паспорте.

Очень часто у приборов нормируется основная погрешность.

Дополнительная погрешность – погрешность, вызываемая изменениями внешних условий по сравнению с нормальными эксплуатационными условиями, часто выражающихся в процентах, отнесенных к единице возмущения, следствием которого явилась эта погрешность.

Предел допускаемой погрешности средств измерения – наибольшее значение погрешности средств измерений, устанавливаемое нормативно-техническим документом для данных типа средств измерений, при котором оно еще признается годным к применению.

Относительная и приведенная погрешности имеют принципиальное отличие.

Например:

1й прибор – 1% относительной погрешности, 2й прибор – приведенной.

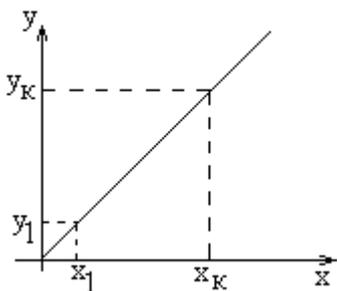


Рис. 2.32

$$X_1 < X_K$$

Возьмем, например, точку (X1; Y1). Имеем:

$$\delta_{\text{ОТН}} = \frac{\delta X_{\text{АБС.ЗНАЧ}}}{X_1}$$

$$\delta_{\text{ПРИВ.}} = \frac{\delta X}{X_K}$$

откуда очевидно, что $\delta_{\text{ПРИВ.}} < \delta_{\text{ОТН}}$ в виду того, что $X_1 < X_K$.

Нелинейность

При рассмотрении нелинейной характеристики следует различать нелинейность как требуемую функциональную зависимость от нелинейности как погрешности линеаризации.

Статические характеристики физических реальных устройств, как правило, не бывают линейными. Но поскольку линейная характеристика измерительных преобразователей очень удобна, то применяют допущения и линеаризуют нелинейную характеристику, заменяя ее наиболее близкой линейной. В этом случае возникает погрешность линеаризации. Однако при получении более высокой точности учитывают и нелинейную часть. Чаще всего

результатирующей характеристикой датчика является прямая, реже – нелинейная.

Многие датчики обладают свойством нелинейности. Например, если датчик достигает верхнего предела рабочего диапазона, проявляется эффект насыщения, т.е. выходной сигнал ограничен, даже если входная величина возрастает. Примеры нелинейностей:

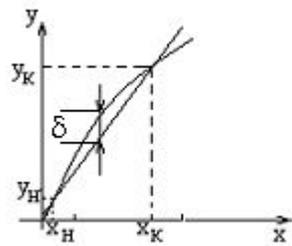


Рис. 2.33

- нелинейная деформация пружин;
- кулоновское трение;
- магнитное насыщение в сердечниках трансформаторов;
- характеристики расходомеров;
- зависимость сопротивления термистора от температуры ($R = R_0 \exp(\beta(1/T - 1/T_0))$, где T — это температура в градусах Кельвина, а R_0 , T_0 и β — это постоянные).

Особые проблемы связаны с люфтом в зубчатых передачах и других механизмах, имеющих свободный ход, а также с магнитным насыщением. Выходной сигнал датчиков, для которых характерны такие явления, - это многозначная функция входной величины, зависящая от направления ее изменения.

Динамические характеристики ИП.

Динамическая погрешность средства измерения – погрешность, возникающая дополнительно при измерении переменной физической величины и обусловленное несоответствием его реакции на скорость изменения входного сигнала.

Динамические свойства датчика характеризуются целым рядом параметров, которые, однако, довольно редко приводятся в технических описаниях производителей.

Для измерительных преобразователей обычно нормируют следующие динамические характеристики:

- постоянная времени;
- передаточная функция с коэффициентами;
- реакция на единичный скачок или ступень;
- время запаздывания⁴
- частотные характеристики (логарифмические и нелогарифмические).

Динамическую характеристику датчика можно экспериментально получить как реакцию на скачок измеряемой входной величины (рис. 2.34). Параметры, описывающие реакцию датчика, дают представление о его скорости (например, время нарастания, запаздывание, время достижения первого максимума), инерционных свойства (относительное перерегулирование, время установления) и точности (смещение).

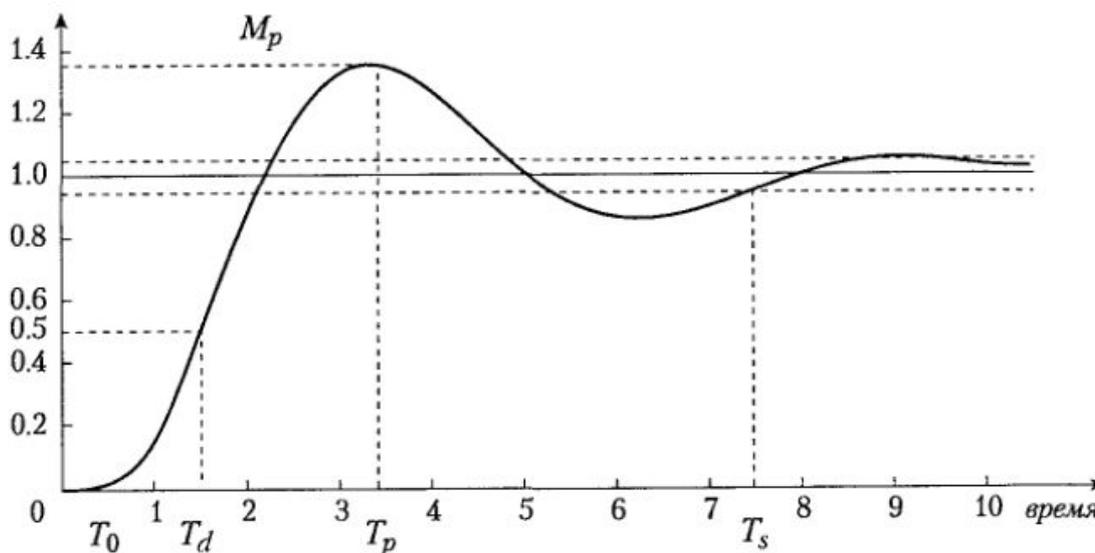


Рис. 2.39

Рис. 2.34. Динамическая реакция датчика (реакция на скачок);
 T_0 - время прохождения зоны нечувствительности,
 T_d — запаздывание,
 T_r - время достижения первого максимума,



T_s — время установления,

M — перерегулирование

В принципе следует стремиться к минимизации следующих параметров.

Время прохождения зоны нечувствительности (dead time) - время между началом изменения физической величины и моментом реакции датчика, т. е. моментом начала изменения выходного сигнала.

Запаздывание (delay time) - время, через которое показания датчика первый раз достигают 50 % установившегося значения. В литературе встречаются и другие определения запаздывания.

Время нарастания (rise time) - время, за которое выходной сигнал увеличивается от 10 до 90 % установившегося значения. Другое определение времени нарастания - величина, обратная наклону кривой реакции датчика на скачок измеряемой величины в момент достижения 50 % от установившегося значения, умноженное на установившееся значение. Иногда используются другие определения. Малое время нарастания всегда указывает на быструю реакцию.

Время достижения первого максимума (peak time) - время достижения первого максимума выходного сигнала (перерегулирования).

Время переходного процесса, время установления (settling time) - время, начиная с которого отклонение выхода датчика от установившегося значения становится меньше заданной величины (например, $\pm 5\%$).

Относительное перерегулирование (percentage overshoot) - разность между максимальным и установившимся значениями, отнесенная к установившемуся значению (в процентах).

Статическая ошибка (steady-state error) - отклонение выходной величины датчика от истинного значения или смещение. Может быть устранена калибровкой датчика.

В реальных условиях некоторые требования к датчикам всегда противоречат друг другу, поэтому все параметры нельзя минимизировать одновременно.

По динамическим характеристикам большинство датчиков относится к усилителям, апериодическим и колебательным звеньям первого и более высокого порядков.

2.5. Линии связи измерительных устройств

В данном разделе будут рассмотрены линии связи для измерительных устройств с аналоговыми выходными сигналами. Линия связи измерительного устройства выполняет функции:

- передача информационного сигнала от датчика к аппаратуре осуществляющей обработку и использование информации (УСО, контроллер, регулятор...);
- передача электрической энергии для питания датчика.

При подключении измерительных устройств с аналоговыми выходными сигналами применяют: четырехпроводные, трехпроводные и двухпроводные линии связи.

Четырехпроводная линия связи.

Использует два отдельных провода для передачи питания и два отдельных провода для передачи информационного сигнала. На рис. 2.35. в верхней части условно изображен измерительный преобразователь, кабель связи, вторичный преобразователь в виде измерителя-регулятора, в нижней части структурная схема четырехпроводного подключения измерительного устройства.

Обозначения:

- ИУ – измерительное устройство;
- ВП – вторичный преобразователь;
- x – измеряемый физический параметр;
- ИП – измерительный преобразователь;
- ИЭП – источник электропитания;
- УОИ – устройство обработки информации;

информации;

УП – напряжение питания;

Между ИУ и ВП имеются линии связи (ЛС).

Обозначение трансформатора указывает на возможность применения гальванического разделения по питанию.

Достоинства:

- позволяет передавать все известные стандартные электрические сигналы;
- возможность применения внутри ИУ гальванического разделения (исключение влияния питающего сигнала, возможность подключения большого количества различных потребителей информации, обеспечение безопасности сигнальных цепей и обслуживающего персонала от воздействия питающего напряжения).

Недостатки: высокая стоимость линии связи.

Вывод: необходимо уменьшить количество проводов путем усложнения ВП и ИУ.

Трехпроводная линия связи.

Использует один отдельный провод для передачи питания, один отдельный провод для передачи информационного сигнала и один провод общий. На рис. 2.36 в верхней части условно изображен измерительный преобразователь, кабель связи, вторичный преобразователь в виде измерителя-регулятора, в нижней части структурная схема трехпроводного подключения измерительного устройства.

Изображенная на рис.2.36 линия связи используется для передачи сигналов напряжений. В данном случае общая шина является проводником передачи электрической мощности к измерительному

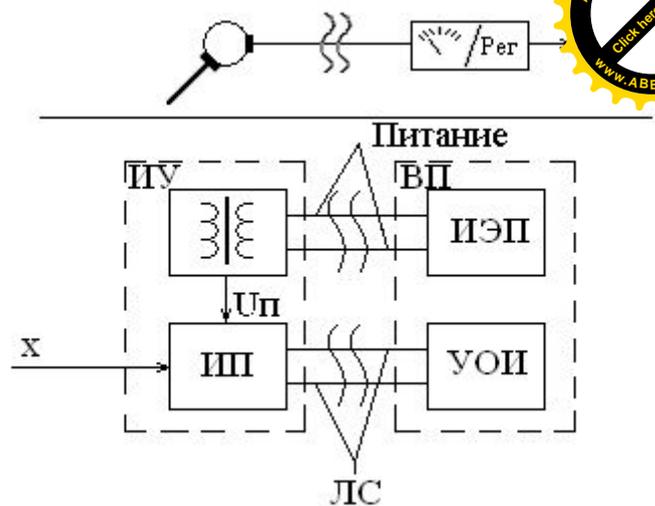


Рис. 2.35.

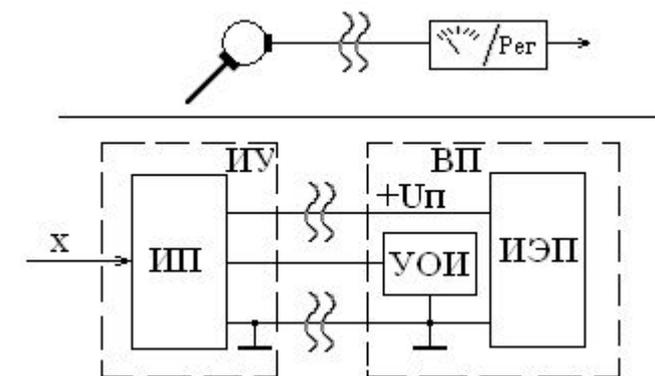
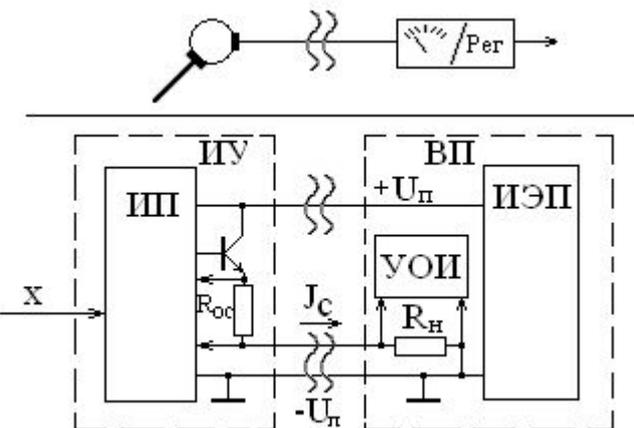


Рис. 2.36.

преобразователю и также является проводником для передачи



тока J_c на выходе осуществляется с помощью датчика тока R_{oc} , формирующего сигнал

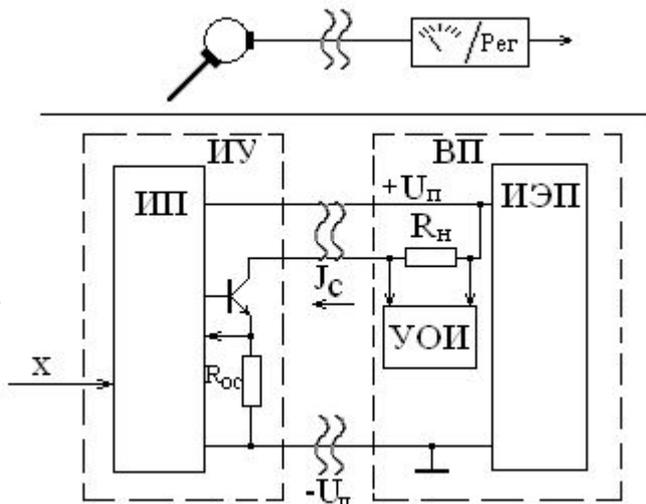
информационного сигнала. Из-за этого общий провод может являться источником погрешности, так как ток питания создает падение напряжения на сопротивлении этого провода.

На рис 2.37 и 2.38 изображены трехпроводные схемы для передачи сигналов тока, первая с общим плюсом, вторая с общим минусом.

Измерительное устройство преобразует входную физическую величину x в сигнал тока на выходе. Стабилизация

обратной связи (ОС). Управляя транзистором (см. рисунок выше), его током базы, транзистор регулирует ток J_c . На стороне вторичного преобразователя ток сигнала J_c преобразуется в напряжение сигнала для УОИ.

Рис. 2.38.



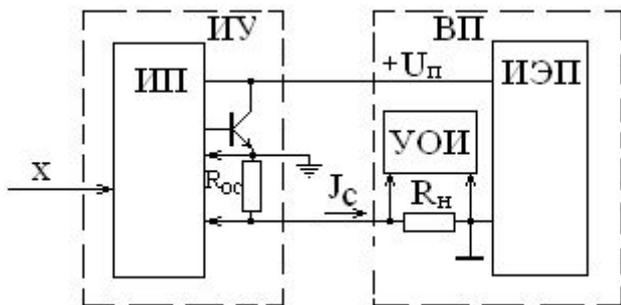
В первом случае ток сигнала протекает по проводу $+U_п$ и возвращается по проводу J_c через нормирующий резистор R_H . На стороне вторичного преобразователя нормирующее сопротивление R_H преобразует сигнал тока в сигнал напряжения.

Достоинство трехпроводной линии связи в том, что она получается дешевле, позволяет передавать любые аналоговые стандартные электрические сигналы, меньшее

количество проводов, а недостаток в том, что невозможно применить гальваническое разделение сигнальных и питающих цепей, так как они используют общие провода.

Двухпроводная линия связи.

Использует только два провода для передачи питания датчику и одновременно для передачи информационного сигнала в устройства обработки информации. На рис. 2.39 изображена структурная схема двухпроводного подключения измерительного устройства.



Работа схемы:

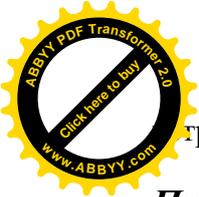
Измерительное устройство при нулевом входном физическом воздействии формирует сигнал 4мА, соответствующий нулевому значению выходного информационного сигнала. При изменении измеряемой физической величины от нуля (начало) до максимума диапазона измерения токковый сигнал на выходе изменяется от 4 мА

Рис. 2.39. до 20 мА. Схема измерения выходного тока измерительного преобразователя снимает сигнал с R_{OC} вычисляет рассогласование и формирует управляющий сигнал на транзистор для стабилизации требуемого тока (преобразователь компенсационного типа). Нулевой сигнал 4 мА может складываться как сумма токов X мА – ток через ИП и ток через сопротивление обратной связи R_{OC} , равный также Y мА, которые в сумме дадут 4 мА. При изменении измеряемой физической величины изменится и ток на выходе. Например, при увеличении входного физического параметра до 50% от диапазона, выходной ток будет равен 12 мА, и будет стабилизироваться схемой компенсационного типа на данном уровне. Это значит, что возникает дополнительный ток через транзистор, равный 8 мА.

В норм необходим для преобразования тока в напряжение. В качестве него применяется резистор, имеющий стабильное сопротивление, мало зависящий от температуры, влажности, не подвержен старению и т. Д. Например, берется резистор по ГОСТу номиналом 200..250 Ом.

Достоинства: данная схема использует минимальное количество проводов.
Недостатки:

- из стандартных сигналов схема применима только для сигнала тока 4-20 мА;
- невозможность гальванического разделения цепи питания и цепей сигнала, т.к. и питание, и сигнал передаются по одной цепи



Несмотря на указанные недостатки, двухпроводное включение измерительных устройств широко распространено. Это связано также с популярностью стандарта 4-20 мА.

Преимущества и недостатки линии связи с токовыми сигналами и сигналами напряжения.

Линии связи измерительных устройств с сигналами тока и с сигналами напряжения отличаются друг от друга тем, что возмущающие факторы внешней среды оказывают на них разное воздействие.

ЛС напряжения. Представим линию связи с сигналом напряжения схемой замещения рис. 2.40.

E_c – источник сигнала;

$R_{вн}$ – внутренне сопротивление источника сигнала, у идеального источника напряжения $R_{вн} \rightarrow 0$, у реального оно составляет $1 \div 10 \text{ Ом}$;

$R_{лс}$ (сопротивление линии связи) – $0 \div 10 \text{ Ом}$;

R_y (сопротивление утечки) – 1 МОм и более;

$R_{нагр}$ (сопротивление нагрузки) – 10 КОм и более;

Здесь U_c – выходной сигнал измерительного устройства, а $U_{вых}$ – напряжение на выходе ЛС, или сигнал на входе устройства обработки информации. R_n – сопротивление приемника.

В схеме протекают токи: $I_{вых}$ – ток протекающий через нагрузку (через УОИ), I_y – ток утечки, протекающий как правило через изоляцию кабелей.

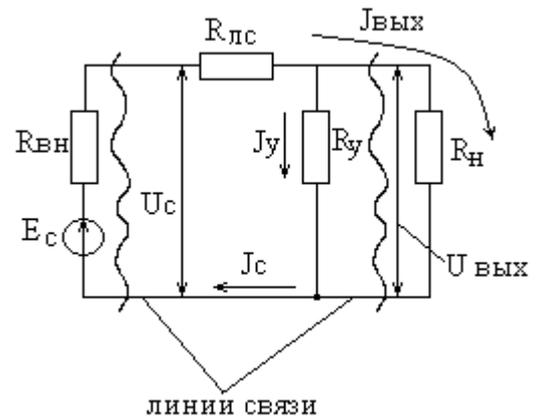


Рис. 2.40.

Влияние сопротивлений линии связи и утечки

Выражение для $U_{вых}$:

$$U_{вых} = \varepsilon - I_{вых} \cdot R_{вн} - I_{вых} \cdot R_{лс} - I_y \cdot R_{вн} - I_y \cdot R_{лс}$$

ε – ЭДС источника;

$$I_{вых} \cdot R_{вн}, I_{вых} \cdot R_{лс}, I_y \cdot R_{вн}, I_y \cdot R_{лс} -$$

потенциальные источники погрешности, т.к. создают падения напряжения в цепи сигнала. Эти составляющие необходимо минимизировать. Рассмотрим их влияние.

R_y – сопротивление изоляции как правило существенно выше R_n , следовательно $I_y < I_{вых}$ и погрешность от утечки в линии связи по напряжению незначительна.

$R_{вн}$ – определяется производителем/разработчиком измерительного устройства, при номинальном значении $I_{вых}$ и при $I_y < I_{вых}$ погрешность от $R_{вн}$ не выходит за пределы основной погрешности измерительного устройства.

$R_{лс}$ – определяется сечением, материалом, протяженностью проводника, качеством электрических контактов. $R_{лс}$ может быть источником погрешности при использовании сигналов напряжения. Учитывать и компенсировать $R_{лс}$ удается не всегда, т.к. на сопротивление провода оказывает влияние окружающая температура.

$I_{вых}$ – ток через нагрузку, определяется в основном значением R_n , если выбрать R_n выше,

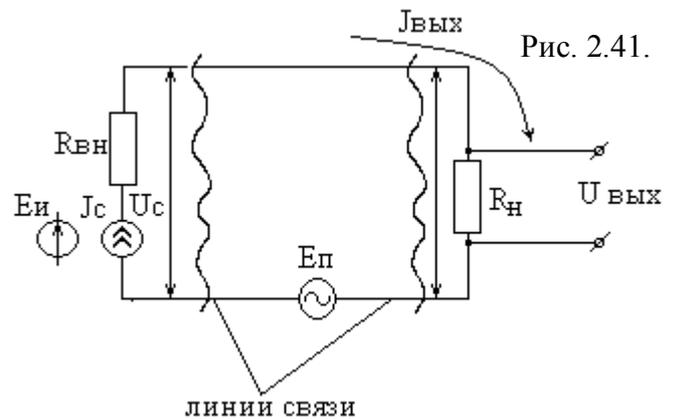


Рис. 2.41.

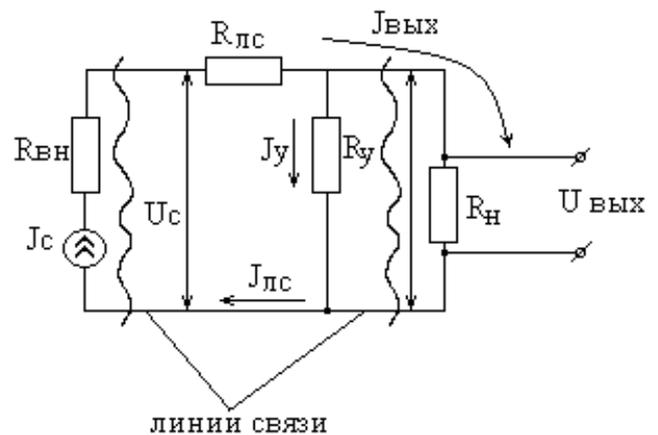


Рис. 2.42.



Уровня соответственно будет ниже, и нежелательные падения напряжения в цепи сигнала также будут меньше.

Влияние ЭДС помехи.

Линия связи представляет собой электрически замкнутую цепь, электрический контур. Электромагнитные волны вызывают возникновение ЭДС помехи в контуре, а следовательно возникает и ток помехи. Этот ток протекая по элементам контура создает падения напряжений. Чем выше сопротивление элемента контура, тем выше падение напряжения, тем выше рассеиваемая мощность помехи на этом элементе. В линии связи по напряжению самое высокое сопротивление у R_n , т.е. самое высокое падение напряжения. Отсюда можно сделать вывод, что линии связи по напряжению чувствительна к электромагнитным помехам. А т.к. площадь контура зависит от протяженности линии связи, то, чем протяженнее линия связи, тем больше помех она «собирает».

ЛС тока.

$R_{вн}$ – внутренне сопротивление источника сигнала, у идеального источника тока $R_{вн} \rightarrow \infty$, у реального оно составляет $10000 \div 1000000$ Ом;

$R_{лс}$ (сопротивление линии связи) – $0 \div 10$ Ом;

R_u (сопротивление утечки) – 1МОм и более;

$R_{нагр}$ (сопротивление нагрузки) – $100 - 500$ Ом, типовое значение 250 Ом; Рис. 3.6.

Здесь U_c – выходной сигнал измерительного устройства, а $U_{вых}$ – напряжение на выходе ЛС, или сигнал на входе устройства обработки информации.

R_n – сопротивление приемника.

В схеме протекают токи: $I_{вых}$ – ток на выходе ЛС, протекающий через нагрузку (через УОИ), I_u – ток утечки, протекающий как правило через изоляцию кабелей.

Влияние сопротивлений линии связи и утечки

Выражение для $U_{вых}$:

$U_{вых} = I_{вых} \cdot R_n$, R_n в данном случае нормирующий резистор, преобразующий ток в напряжение. Его точность и стабильность пропорционально отражаются на сигнале.

$$I_{вых} = I_c - I_u$$

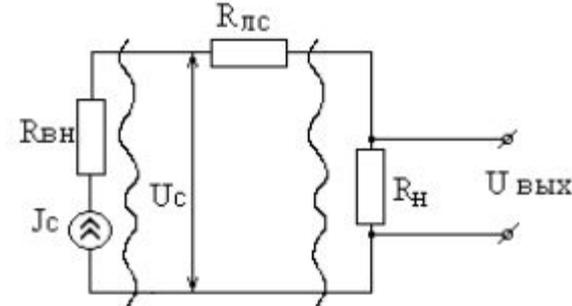


Рис. 2.43.

Из представленных выражений видно, что $U_{вых}$ не зависит от $R_{лс}$ ($0 \div 10$ Ом). Погрешность может внести завышенный ток утечки, обусловленный низким сопротивлением изоляции. Снижение сопротивления изоляции может возникнуть из за воздействия факторов окружающей среды и нарушения условий эксплуатации (перепады температур, влажность, механические повреждения изоляции...).

ды температур, влажность, механические повреждения изоляции...).

Влияние ЭДС помехи на сигнал тока незначительно ввиду того, что сопротивление приемника много меньше сопротивления источника сигнала.

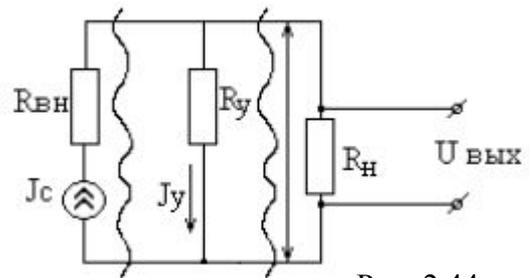
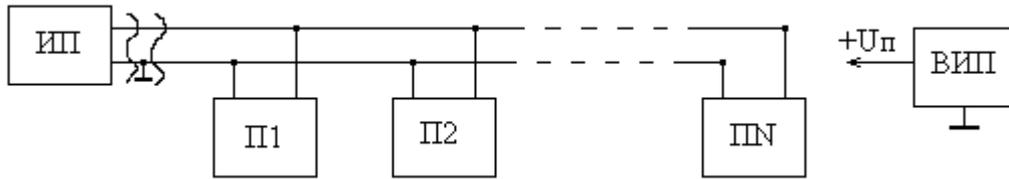


Рис. 2.44.

особенности подключения потребителей к линиям связи.

Линия связи по напряжению.

Схема подключения в этом случае выглядит следующим образом:



Потребители П1, П2,...,ПN подключены к источнику напряжения параллельно. Количество потребителей ограничено условием: общее суммарное сопротивление, соединенных параллельно потребителей, не должно быть меньше сопротивления, дающего предельную погрешность при передаче сигнала.

Позволяют подключать в параллель большое число приемников (П), питающихся от одного источника питания или приемников с единой сигнальной землей, что упрощает решение задачи, обеспечение надежности без применения дополнительных технических средств.

Преимущества:

Возможность подключения большого количества потребителей с высоким входным сопротивлением;

Возможность применения общей земли и одного источника питания;

Простота схемы, и не требуется никаких дополнительных условий.

Токовая линия связи.

ИП – измерительный преобразователь, который является источником сигнала;

ИЭП – источник электропитания;

П1, П2,...,ПN – приемники.

Поскольку приемники включаются последовательно, то у каждого есть своя сигнальная земля. Следовательно, цепи приемников, кроме сигнальной, должны быть гальванически развязаны. У каждого приемника должен быть свой изолированный от остальных вторичный источник питания.

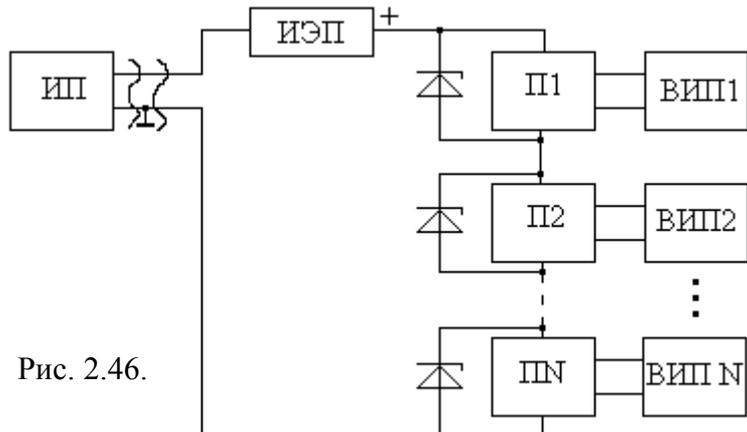


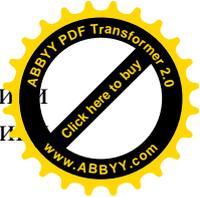
Рис. 2.46.

Если вышел из строя хотя бы один приемник, цепь (схема) теряет свою работоспособность. Однако, можно поставить ключ к каждому приемнику, тогда схема продолжит свою работу. Еще один вариант решения – включить стабилитрон.

Для того, чтобы при выходе из строя, извлечении, отсоединении одного из приемников линия связи не теряла свою работоспособность, параллельно приемникам включают стабилитроны, такие, чтобы напряжение стабилизации стабилитрона было больше или равно максимальному падению напряжения на приемнике.

Общее число приемников ограничено условием: сумма падений напряжений на приемниках и на ИП должно быть меньше напряжения питания линии связи.

Кроме того, каждый приемник должен иметь источник питания, гальванически не связанный с цепями ИП и источниками питания других приемников.



Для того чтобы при выходе из строя одного из приемников (извлечении и соединении) линия связи не теряла работоспособность, параллельно каждому приемнику включен стабилитрон $U_{СТ} \geq U_{П1}$.

Комбинированные линии связи.

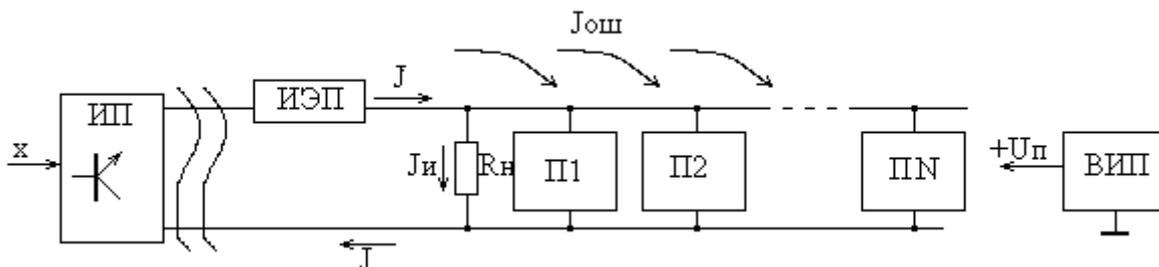


Рис. 2.47.

В данной схеме информационный сигнал передается на расстояние с помощью сигнала тока. Нормирующее сопротивление преобразует сигнал тока в сигнал напряжения. Дальнейшее распределение сигнала на приемники П1...ПN производится с помощью линии связи по напряжению. Потребители должны иметь большие сопротивления.

$$J_{II} = J - J_o \text{ - ток источника тока.}$$

Сумма входных проводимостей приемника должна быть много меньше проводимости R_n .

Ограничения:

Входное сопротивление, параллельно включенное к приемникам, должно быть много больше R_n .

Комбинированная линия связи совмещает достоинства токовой линии связи и линии связи по напряжению.

2.6. Нормирующие преобразователи

Преобразователь сигналов резистивных датчиков в стандартный токовый сигнал БУС-10.

Предназначен для преобразования с резисторного датчика относительного изменения сопротивления в стандартный токовый сигнал 0..5мА. с целью передачи сигнала на расстояние.

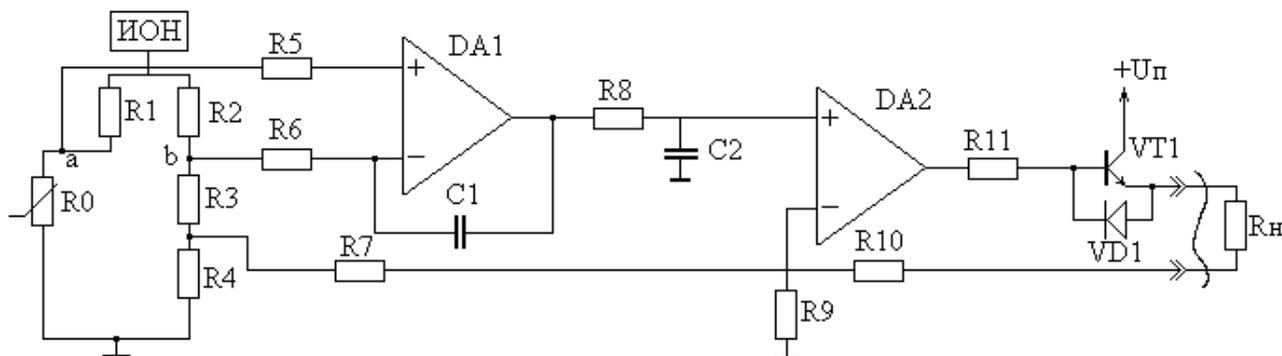


Рис. 2.48.

Значение тока выхода, равное нулю, соответствует некоторому начальному сопротивлению R_0 датчика R_D . При изменении сопротивления от R_0 до R_{max} выходной ток изменяется от 0 до 5мА. ИОН – источник опорного напряжения.

Функциональный состав схемы:

R_D – резистивный датчик со стандартной характеристикой. Эта характеристика нормируется начальным и конечным значениями сопротивления при изменении измеряемой величины в диапазоне изменений

$$R_0 = 100\text{Ом}, R_{max} = 150\text{Ом}.$$



Резистивная мостовая схема состоит из резисторов R1, R2, R3, R4 и питается от Источника опорного тока). Как элемент мостовой схемы входит RД.

Двухконтурный ПИ-регулятор выходного тока, состоит из DA1, DA2, C1, C2, R5, R6, R8, R11 и сопротивлений в ОС R7, R9, R10.

Первый контур регулирования формирует сигнал обратной связи для DA2 в виде падения напряжения на R9. Второй контур регулирования создает падение напряжения на R4, и таким образом балансирует измерительный мост. Выходной каскад собран на транзисторе VT1, резисторе R11 и защитном диоде VD1. Элементы R1, R8 и C2 образуют фильтры и одновременно являются элементами, вносящими астатизм в данный регулятор. При работе схемы возникают помехи. Поэтому элементы C1, R8 и C2 являются фильтрами, образуя одновременно интегратор.

Питание БУС-10 осуществляется от импульсного преобразователя.

Приняты следующие обозначения:

- С – стабилизатор,
- Г – генератор,
- Т – трансформатор,
- В1, В2 – выпрямители,
- Ф1, Ф2 – фильтры.

Работа схемы БУС-10:

Устройство питается от промышленной сети 24В постоянного тока.

С – стабилизатор, стабилизирующий напряжение на некотором уровне, находящемся ниже уровня колебаний в сети 24В.

Пусть в начальный момент времени измерительный мост сбалансирован, и в обоих плечах моста текут равные токи. Следовательно, напряжение между точками а и b равно нулю. При изменении сопротивления датчика RД возникает разность потенциалов между точками а и b. Усиливаясь усилителями DA1 и DA2, это разность потенциалов вызывает изменение выходного тока схемы. Ток, пройдя через нормирующее сопротивление RН, возвращается в схему и создает падение напряжения на R9 для первого контура регулирования и на R4 для второго контура регулирования. Изменения падения напряжения на R4 компенсирует рассогласование мостовой схемы, и она возвращается в балансное состояние, когда потенциал между точками а и b равен нулю.

Генератор преобразует входящее напряжение UBХ в переменный ток J через первичную обмотку трансформатора Т. Выпрямители В1 и В2 выпрямляют полученное напряжение со вторичных обмоток. Ф1 и Ф2 фильтруют напряжение питания от пульсации. RД – сопротивление датчика, преобразующее входящий физический параметр в сигнал сопротивления. Измерительный мост преобразует сигнал сопротивления в дифференциальный сигнал напряжения.

Дифференциальный усилитель напряжения DA1 является одновременно интегралом. Он усиливает и одновременно фильтрует входной сигнал дополнительной интегрирующей цепочкой R8C2.

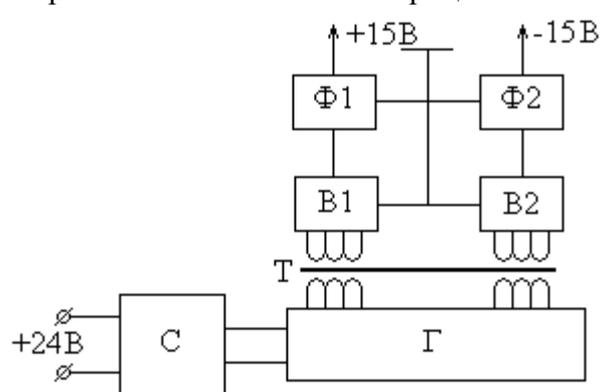
DA2 – усилитель мощности, управляющий Диод VD1 служит для защиты перехода база-эмиттер напряжения, которое может возникнуть при переходных режимах.

Транзистор VT1 регулирует ток в токовой линии связи.

RН – нормирующий резистор, преобразующий сигнал тока в сигнал напряжения. Находится на стороне приемника сигнала.

R9R10 – резистивный делитель, формирующий сигнал ОС первого контура регулирования.

Рис. 2.49. транзистором VT1. от отрицательного





R4R7 – резистивный делитель, формирующий сигнал ОС второго контура стабилизации.

$X=X_0$ – входной параметр. В этом случае $R_D=R_{D0}$

$R_D=1000\text{ Ом}$,

Разность потенциалов в точках а и б равно нулю ($a-b=0$), $J_{ВЫХ}=0$.

Входной параметр возрастает:

$X=X_1$, тогда $R_{D0}<R_{D\text{max}}$, $J_{ВЫХ}\neq 0$, $(a-b)\neq 0$.

Входящий параметр достигает максимального значения:

$X=X_{\text{max}}$, тогда $R_D=R_{D\text{max}}=1500\text{ Ом}$, $(a-b)$ принимает максимальное значение, а ток выхода $J_{ВЫХ}=5\text{ мА}$.

Преобразователь малых постоянных напряжений в стандартный токовый сигнал (БУТ).

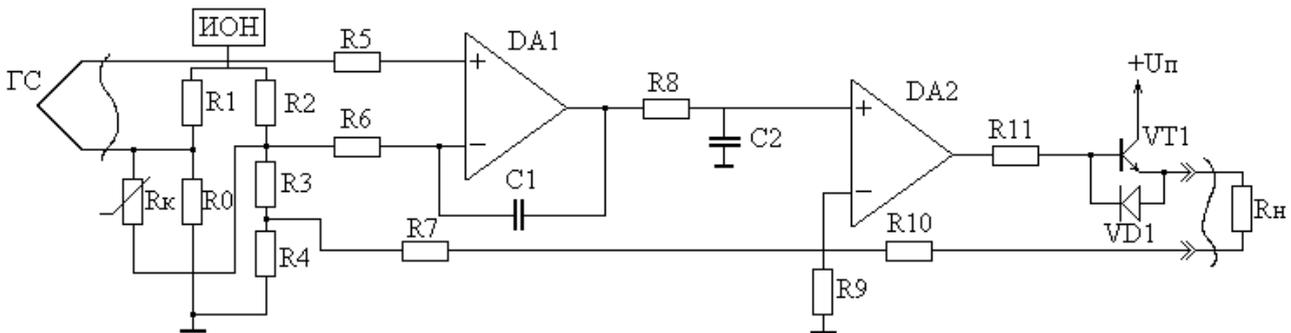


Рис. 2.50.

Предназначен для преобразования нестандартных электрических сигналов (сигналов термопар) в стандартный токовый сигнал (5 мА).

Данная схема отличается от предыдущей тем, что последовательно с резистивным мостом включена термопара. В диагональ моста включен компенсирующий терморезистор R_K , он предназначен для компенсации температуры холодного спая термопары.

Электрическая схема самого преобразователя содержит усилитель, и питается от двухполярного источника $\pm 15\text{ В}$ питания. Преобразователь импульсный.

Существуют 2 принципа, по которым строятся блоки питания:

Трансформаторный;

Импульсный.

С – стабилизатор;

Г – генератор, который преобразует постоянное напряжение в переменное с частотой 30 кГц. Поскольку напряжение стало переменным, то трансформатор заработал и выдал на выходе другое значение напряжения.

Напряжение, снимаемое с вторичных обмоток, выпрямляется и фильтруется фильтром Ф.

2.9. Устройства, обеспечивающие работу датчиков во взрывоопасных помещениях

П288 – преобразователь измерительный, двухпроводный.

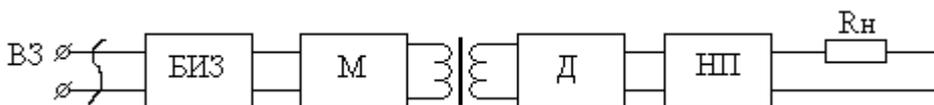


Рис. 2.51.

Приняты следующие обозначения:

ВЗ – взрывоопасная зона,



БИЗ – барьер искрозащиты,
 М – модулятор,
 Д – демодулятор,
 НП – нормирующий преобразователь.

Источники питания на схеме не показаны, но они тоже имеют гальваническую развязку(за счет трансформатора) от источника питания и между искробезопасными цепями и выходными цепями преобразователя.

БИЗ ограничивает значения токов и напряжений на уровне безопасных значений, а также содержит РН для преобразования сигнала тока в сигнал напряжения.

Модулятор преобразует сигнал напряжения в переменный сигнал для последующей его передачи через трансформатор.

Демодулятор работает синхронно с модулятором и выпрямляет сигнал с выхода трансформатора.

Нормирующий преобразователь преобразует сигнал напряжения в стандартный электрический сигнал.

Барьер искрозащиты.

Барьер искрозащиты применяется при использовании вида взрывозащит «е»

Ex I – он обеспечивает передачу питания по взрывоопасным зонам и передачу сигнала из взрывоопасной зоны.

При использовании такого вида взрывозащиты ограничиваются параметры напряжения, тока, ёмкости и индуктивности линий связи и подключаемых к ней приборов с целью исключения возможностей образования искры с мощностью, достаточной для воспламенения взрывоопасной смеси.

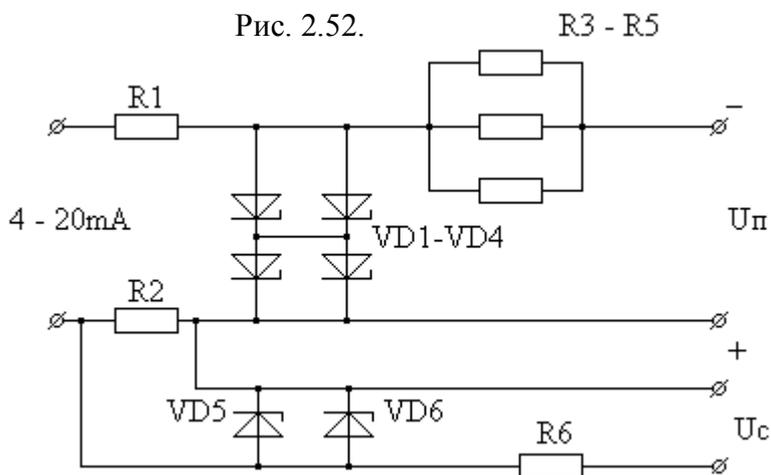
Барьер искрозащиты способен ограничивать напряжение и ток в искробезопасной цепи на уровне заданных безопасных значений. Напряжение ограничивают стабилитроны (диоды Зенера, ограничительные диоды), которые, как правило, включены с применением резервирования.

Ограничение по току в цепи питания обеспечивается R3 – R5, ограничение по напряжению обеспечивается стабилизаторами VD1- VD4.

Для цепи сигнала ограничение обеспечивает R6, ограничению по напряжению VD5, VD6.

R2 выполняет функцию нормирующего резистора, преобразует ток в напряжение. Избыточное количество стабилизаторов и сопротивлений используется с целью резервирования.

Рис. 2.52.



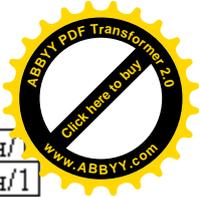
Блок питания датчиков – Ex.

Такое обозначение несет информацию о том, что данное устройство обладает видом взрывозащиты, искробезопасная электрическая цепь.

Структурно-функциональная схема:

Обозначения:

СИП – стабилизирующий источник питания,



ПНТ – преобразователь
напряжения-ток,
БИЗ – барьер
искрозащиты,
HL1 – индикатор
включения в сеть (лампа)
Схема имеет два
идентичных канала.

Блок питания
предназначен для совместной
работы с датчиками (с
искробезопасным исполнением)
с использованием стандартного
токового сигнала 4..20мА.

Устанавливается вне
взрывоопасных зон помещений и наружных установок. Искробезопасность
входных цепей, связанная с датчиками достигается за счет ограничения тока и напряжения в
его электрических цепях до безопасных значений, а также за счет соответствующего
исполнения конструкторского блока.

Ограничение тока и напряжения достигается с помощью БИЗ (барьер искрозащиты).

Ограничение тока короткого замыкания осуществляется установкой БИЗ, резистора
не менее 200Ом.

Ограничение напряжения на уровне 28В осуществляется с помощью стабилитрона
КС512А.

Электрические цепи связаны с искрозащитными цепями, а также силовые цепи
переменного тока, разделены нечетным экраном. Этот печатный экран соединен с «землей».

Искробезопасные цепи объемного монтажа проложены проводом, имеющий
отличительный синий цвет.

Разъемы искробезопасных и неискробезопасных цепей выполнены
взаимонезаменяемыми.

Участок платы, на которой расположены элементы БИЗ, закрыт специальными
крышками, имеющими неразборную конструкцию.

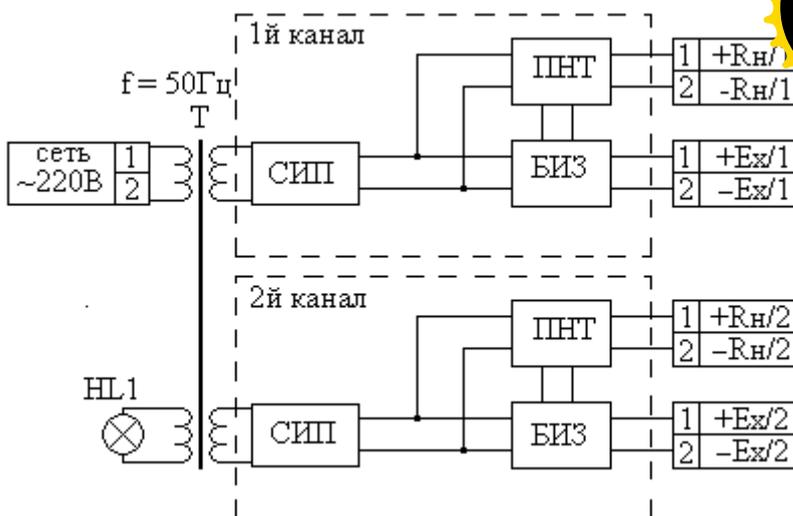


Рис. 2.53.

Заключение для раздела ИП.

В последнее время появилось и стремительно развивается новое поколение
датчиков, в которых имеются встроенные контроллеры, осуществляющие
преобразование сигнала в цифровую форму. Такой интеллектуальный датчик сам становится
элементом вычислительной сети. Он становится микро-эвм, поддерживающей сетевой
протокол и передающей данные уже в преобразованном в цифровую форму виде.

Часто в контроллере такого датчика производится предварительная цифровая
обработка сигнала, например, коррекция систематической погрешности преобразователя,
предварительная фильтрация случайных помех, а также контроль работоспособности. Как
бы то ни было, но тенденция развития здесь однозначная - всё больше технических средств
САиУ становятся чисто цифровыми. Среди датчиков появляются такие, в которых
преобразование происходит непосредственно в цифровую форму, причём, непосредственно
подготовленную к передаче по каналу связи.

Так же могут быть устроены и другие составные части САиУ. Цифровыми и
интеллектуальными (со встроенными микроконтроллерами) могут являться исполнительные
устройства, каналы связи, задатчики воздействий, фильтры и т.п. Кроме
перепрограммируемости, это даёт повышение надёжности и гибкость конфигурации.



3. ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЦИФРОВЫЕ ИНТЕРФЕЙСЫ.

Промышленные цифровые интерфейсы предназначены для обмена цифровыми данными между устройствами промышленной автоматики. Цифровые интерфейсы бывают параллельными (LPT) и последовательными (COM). В промышленной автоматике получили наибольшее распространение последовательные интерфейсы, это обусловлено значительно меньшей стоимостью линий связи из за счет меньшего количества проводников.

В настоящее время заметна следующая тенденция средств автоматизации: Изделия из кремния дешевеют (микросхемы), изделия из металлов дорожают. Поэтому в большинстве случаев экономически целесообразной является например установка на площади цеха или участка нескольких локальных контроллеров или интеллектуальных УСО, объединенных в единую цифровую сеть, вместо прокладки большого количества кабелей к центральному котроллеру.

Основные понятия и определения

Линия связи – физическая среда, предназначенная для переноса информации между единицами оборудования, принимающими участие в информационном обмене, включая данные, сигналы управления и синхронизации. Как правило, ЛС представляют собой витые экранированные и неэкранированные пары, коаксиальные кабели и оптоволоконные кабели. Благодаря невысокой стоимости наибольшее применение нашли витые пары.

Канал передачи данных – совокупность физической среды и технических средств, включая аппаратуру преобразования сигналов, вовлекаемых в процесс передачи информации.

Протокол – набор соглашений и правил в соответствии, с которыми осуществляется прием и передача информации.

Протоколы можно разделить на:

Симплексные протоколы позволяют передавать данные только в одну сторону, т.е. только с передатчика на приемник, но не обратно. Хороший пример симплексного протокола - FM радио или телевидение. Применяется в тех случаях, когда надо просто передать информацию какому либо устройству без необходимости подтверждения и обратной связи.

Полудуплексные протоколы снимают главное ограничение симплексных протоколов - односторонняя связь. Они позволяют двум устройствам обмениваться информацией, причем оба устройства могут быть и приемниками и передатчиками, но не одновременно! Т.е. каждое устройство может либо передавать, либо принимать. Например, RS-485 – применяет полудуплексный протокол.

Дуплексные протоколы позволяют производить прием и передачу информации одновременно, т.е. оба устройства могут быть и приемником и передатчиком одновременно. Например, RS-232 – позволяет реализовать дуплексный протокол.

Интерфейсы последовательной передачи данных

	RS-232	RS-422	RS-485
Количество устройств	1 передатчик 1 приемник	5 передатчиков 10 приемников на 1 передатчик	32 передатчика 32 приемника
Вид протокола	Дуплексный	дуплексный	полудуплексный
Макс. длина провода	~15.25 м. при 19.2Kbps	~1220 м. при 100Kbps	~1220 м. при 100Kbps
Макс. скорость передачи	19.2Kbps для 15 м.	10Mbps для 15 м.	10Mbps для 15 м.

Сигнал	Небалансный	балансный	балансный
двоичная 1	-5В мин. -15В макс.	2В мин. (B>A) 6В макс. (B>A)	1.5В мин. (B>A) 5В макс. (B>A)
двоичный 0	5В мин. 15В макс.	2В мин. (A>B) 6В макс. (A>B)	1.5В мин. (A>B) 5В макс. (A>B)
Мин. входное напряжение	+/- 3В	0.2В диф.	0.2В диф.
Выходной ток	500мА	150мА	250мА

RS (Recommendet Standart) - рекомендуемый стандарт.

3.1. Рекомендуемый стандарт RS-232

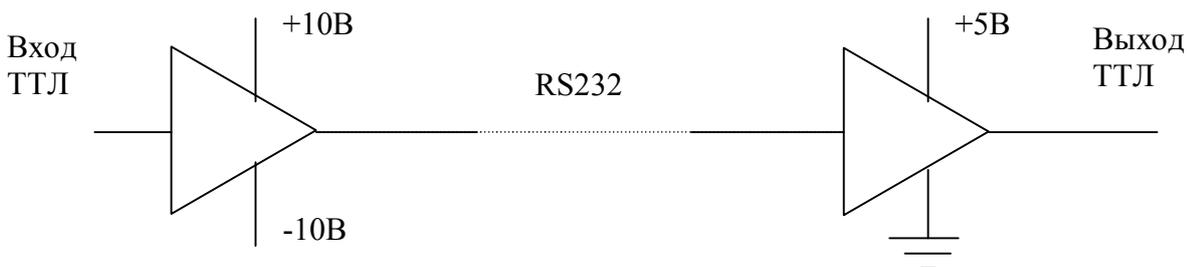
Используется как последовательный интерфейс (COM) во всех PC-совместимых ЭВМ для связи с периферийными устройствами. Не применяется в качестве промышленного интерфейса, но часто служит связующим звеном между PC и устройством формирующим другой интерфейс (например RS-485 или RS-422). RS-232 является асинхронным интерфейсом передачи данных, приемник и передатчик используют фиксированную скорость из набора скоростей: 300, 1200, 2400, 4800, 9600 и 19200 бод (бит в секунду). Стандарт RS-232 определяет: электрические параметры канала связи, наличие дополнительных сигналов квитирования, протокол обмена, тип разъема и назначение его контактов.

Позволяет соединить только два устройства, одно из которых является ведущим, другое ведомым, поэтому все оборудование, соединяемое по RS-232 протоколу, разделяют на DCE (Data Communication Equipment, оборудование Передачи Данных) и DTE (Data Terminal Equipment, Терминальное Оборудование). Нельзя соединить два DTE или два DCE. Различие заключается в разъемах и разводке разъемов.

На смену RS-232C в качестве последовательного интерфейса персонального компьютера пришел USB (Universal Serial Bus) – универсальная последовательная шина.

В таблице представлены основные параметры стандартов «RS».

Приемник и передатчик стандарта RS-232:



Уровни напряжений:

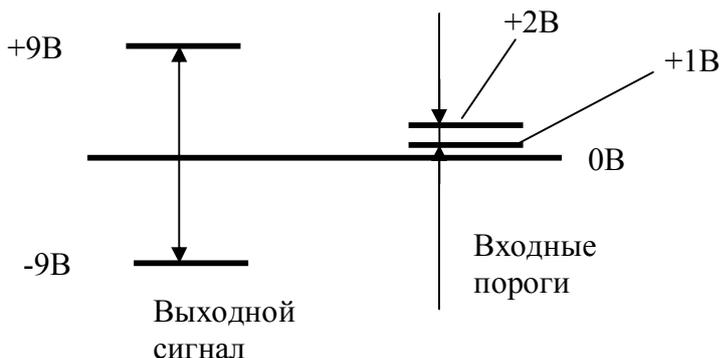
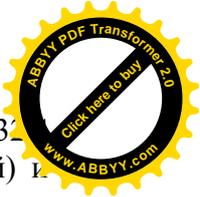


Рис. 3.1.



Сигналы интерфейса RS-232C подразделяются на следующие классы:

Последовательные данные: - (например, TXD, RXD). Интерфейс RS-232C обеспечивает два независимых последовательных канала данных: первичный (главный) и вторичный (вспомогательный). Оба канала могут работать в дуплексном режиме.

Управляющие сигналы квитирования: -- (например, RTS, CTS). Сигналы квитирования - это средство, с помощью которого обмен сигналами позволяет DTE начать диалог с DCE до фактических передачи или приема данных по последовательной линии связи.

Сигналы RS-232:

Номер контакта (9-Pin)	Сигнал	
1	FG	Подключение земли к стойке или шасси оборудования
2 (3)	TD(TXD)	Последовательные данные, передаваемые от DTE к DCE
3 (2)	RD(RXD)	Последовательные данные, принимаемые DTE от DCE
4 (7)	RTS	Активным уровнем этого сигнала DTE указывает, что оно "хочет" послать данные к DCE
5 (8)	CTS	Активным уровнем этого сигнала DCE указывает, готовность воспринимать данные от DTE
6 (6)	DSR	Активным уровнем этого сигнала DCE сообщает, что связь установлена
7 (5)	SG	Возвратный тракт общего сигнала (земли)
8 (1)	DCD	Активным уровнем этого сигнала DTE показывает, что оно работает и DCE может подключиться к каналу связи
20 (4)	DTR	Готовность терминала

Возможно использование только трех сигнальных линий TD, RD и SG (такой вариант используется часто) для двустороннего обмена без дополнительных сигналов квитирования.

Формат кадра RS-232:

3.2. Рекомендуемый стандарт RS-422

Стандарт устанавливает требования только к электрическим параметрам формирователей и приемников и не определяет другие характеристики системы связи.

В этом стандарте для передачи данных использованы дифференциальные сигналы, это повысило помехоустойчивость и обеспечило высокую скорость обмена. Парные ТТЛ инверторы посылают в нагруженную скрученную пару прямой и инверсный сигналы, а дифференциальный приемник воспроизводит уровни ТТЛ:

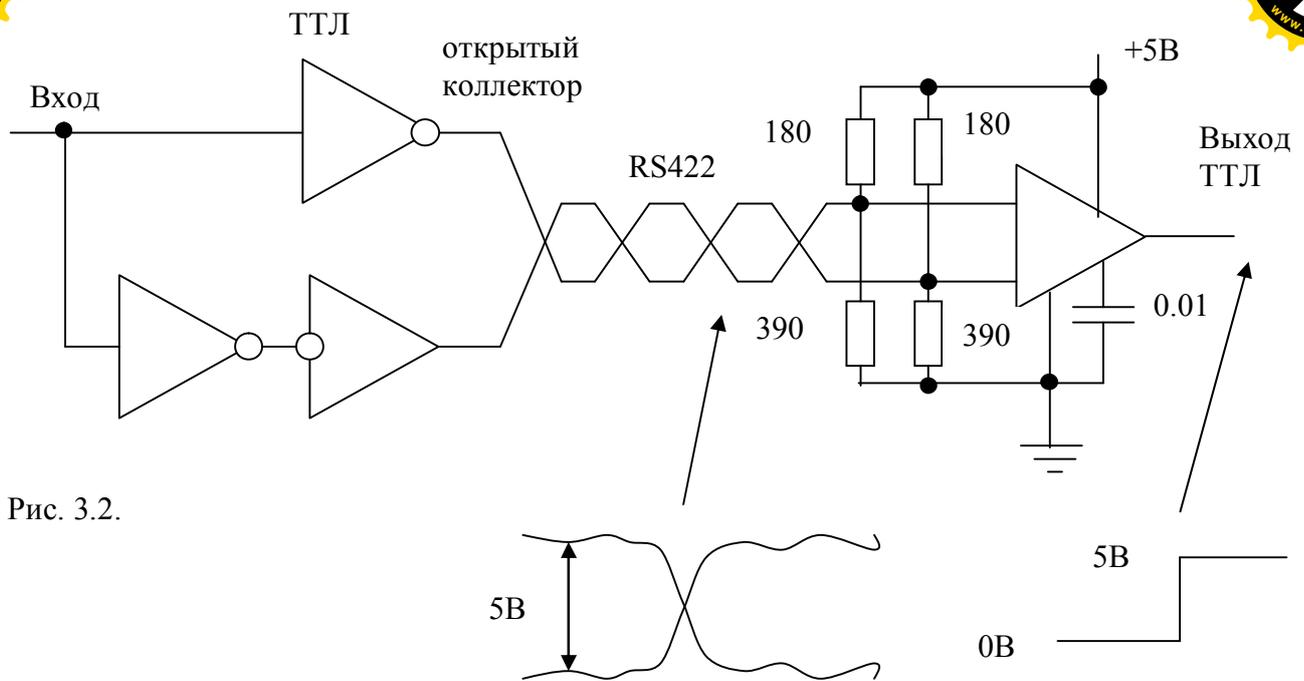


Рис. 3.2.

Линия нагружена входным сопротивлением приемника 120 Ом.

Управляющие сигналы квитирования отсутствуют.

В отличие от RS-232 позволяет подключать до 10 приемников, а в некоторых случаях и более.

3.3. Рекомендуемый стандарт RS-485

Наиболее широко используемый интерфейс для промышленных сетей. Этот вариант является базовым в технике передачи данных для приложений промышленности, автоматизации строительства и управления приводами. В нем используется двухпроводная витая пара с экранированием или без. Подобен RS-422, но использует только одну пару проводов и поэтому работает в полудуплексном режиме.

Этот стандарт относится только к электрическим параметрам интерфейса и не оговаривает качество сигнала, синхронизацию, протоколы, назначение контактов разъемов и другие подобные вопросы. Максимально допустимая скорость передачи для двоичных данных достигает 10 Мбит/с. В соответствии со стандартом RS-485 несколько устройств соединяются сбалансированной витой парой. Устройства могут быть приемными, передающими или комбинированными. На обоих концах кабеля должны устанавливаться терминаторы (оконечные резисторы) с сопротивлением не менее 60 Ом (рис. 3.3).

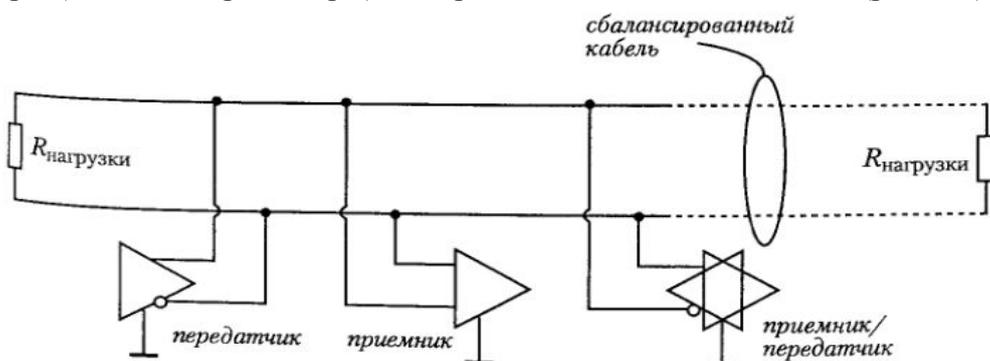
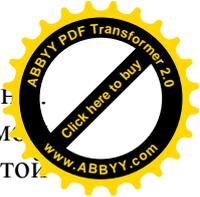


Рис. 3.3. Структура интерфейса RS-485



Работа интерфейса аналогична работе тристабильной логической шины. Дифференциальный порог для приемников установлен на уровне 0.2В при допустимом диапазоне входных напряжений от -7В до +12 В по отношению к "земле" приемника. В этой конфигурации ни один из проводов не находится под потенциалом "земли". Перекоммутация контактов генератора или приемника эквивалентна инверсии значений бит.

Входной импеданс приемника и выходной импеданс передатчика в пассивном состоянии измеряется в единицах нагрузки, которые точно определены в стандарте. Передатчик должен обеспечивать питание до 32 единиц нагрузки и двух оконечных резисторов при полной эквивалентной нагрузке линии 54 Ом. Передатчик также должен выдерживать мощность, выделяемую при активном состоянии двух или большего числа передатчиков, часть из которых работает в режиме источника, а часть - в режиме потребления питания.

Стандарт на RS-485 предусматривает только 32 пары передатчик/приемник, но производители расширили возможности RS-485 протокола, так что теперь он поддерживает от 128 до 255 устройств на одной линии, а используя репитеры (повторители) можно продлевать RS-485/RS-422 практически до бесконечности.

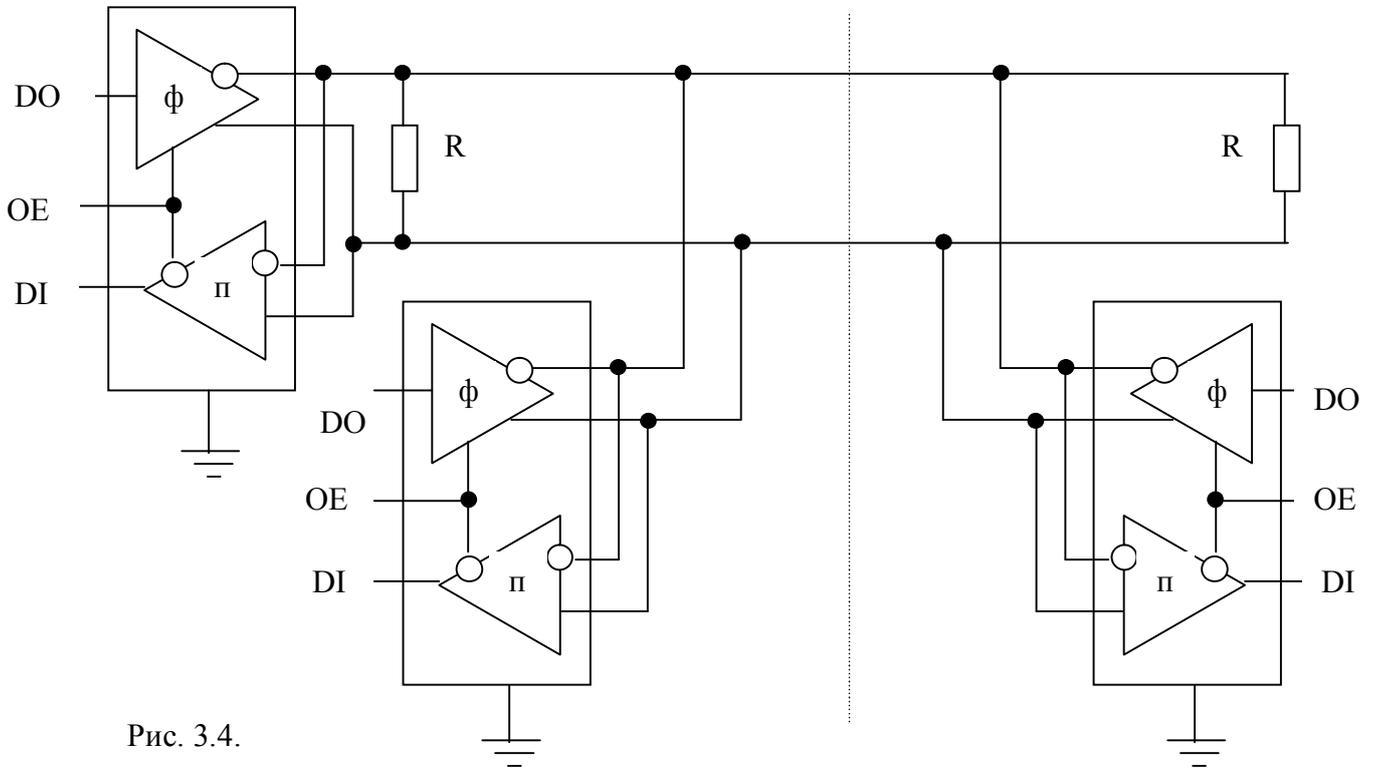


Рис. 3.4.

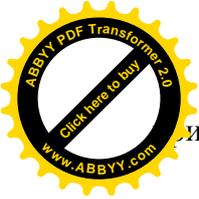
DO- передаваемые данные, DI- принимаемые данные, OE- разрешение передачи, Ф – формирователь, П – приемник, R – согласующий резистор.

Формирователь представляет собой дифференциальный ТТЛ – передатчик (см. схему для RS-422). Приемник представляет собой дифференциальный усилитель с высоким входным сопротивлением.

По стандарту, формирователь рассчитан на подключение 32 приемников и двух согласующих резисторов.

Принцип работы сети RS485

Инициатором обмена может быть только одно устройство, которое называется ведущим. Остальные устройства, называемые ведомыми, работают в режиме «запрос-ответ». Формирователи имеют три состояния: «1», «0» и «Z»



Изначально все формирователи находятся в высокоомном состоянии - Z и приемники настроены на прием.

Рассмотрим последовательность «ведущего» при обмене:

- разрешение передачи (сигнал Output-Enable);
- перевод устройства в состояние передачи;
- передача адреса ведомого устройства и команды;
- переход в состояние приема, ожидание ответа ведомого.

Рассмотрим последовательность действий «ведомого» при обмене:

- изначально настроенный на прием ведомый при получении адреса, совпадающий с его собственным, записывает следующую за адресом команду в регистр;
- выполнение команды;
- передача ответа и переход в состояние приема.

Из этого следует, что ведомое устройство самостоятельно не может инициировать обмен, и вся информация передается через ведущее устройство, а порядок обмена определяется программой ведущего устройства.

Преимуществом сети RS485 является дешевизна, простота монтажа и использования, а также детерминированность протокола.

Недостатки: относительно низкая пропускная способность и невозможность инициирования обмена любым устройствам.

4. УСТРОЙСТВА СВЯЗИ С ОБЪЕКТОМ

4.1. На примере модулей фирмы GRAYHILL.

УСО являются важными элементами систем сбора данных и управления. Они обеспечивают гальваническую развязку и нормализацию сигналов между устройствами обработки информации и периферией (ИП, исполнительные механизмы и т. д.).

Подразделяются на аналоговые и дискретные. Являются конструктивно-законченными, выполняющие вышеуказанные функции для одного или нескольких каналов.

Как правило, в специализированные платы, имеющие клеммные соединители для подвода внешних цепей. Такие платы называются монтажными панелями или оптопанелями (оптическая развязка).

Конструктивная особенность модулей и монтажных панелей позволяют быстро производить диагностику и замену вышедших из строя модулей.

Дискретные модули УСО.

Обеспечивают опрос датчиков с релейным выходом, концевых выключателей, контроль наличия напряжения в цепи и т. п.

Выходные модули формируют сигналы для управления пускателями, двигателями и прочими исполнительными устройствами.

Структурная схема модуля дискретного ввода:



Входным сопротивлением данного модуля является переменное напряжение (VAC).
 RX – гасящий резистор, ограничивающий ток на заданном уровне, необходимом для питания светодиода - оптопары VT.

VD1-VD4 – двухполупериодный выпрямитель.

Транзисторная оптопара обеспечивает гальваническое разделение.

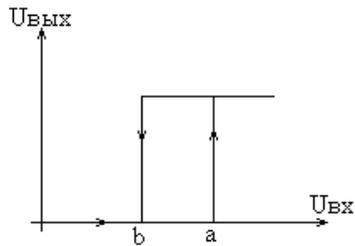


Схема обеспечения гистерезиса:
 Где точка а – точка включения,
 b – точка выключения.

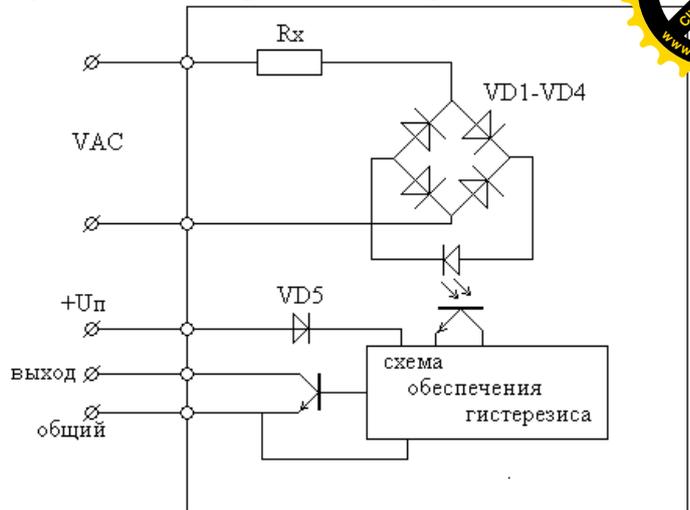


Схема применяется для исключения дребезга, запитывается внешним напряжением питания +UП.

Выход типа «открытый коллектор». Диод VD5 применяется для защиты от переплюсовки.

Структурная схема модуля дискретного вывода:

J-информационный сигнал

Назначение: формирует сигналы для управления пускателями, контакторами и другими однофазными маломощными нагрузками.

Работа: для включения внешней нагрузки управляющее устройство формирует выходной логический сигнал, поступающий на вход модуля.

Диод VD2 предназначен для защиты входной цепи от переплюсовки, сопротивление RX ограничивает ток в цепи питания светодиода оптопары.

Сигнал с VT1 поступает на схему включения VD1, которая формирует управляющий сигнал для семистора.

Демпфирующая цепь сглаживает переходный процесс, возникающий при включении-выключении семисторов.

Нагрузка включается в разрыв цепи, идущее к источнику переменного напряжения.

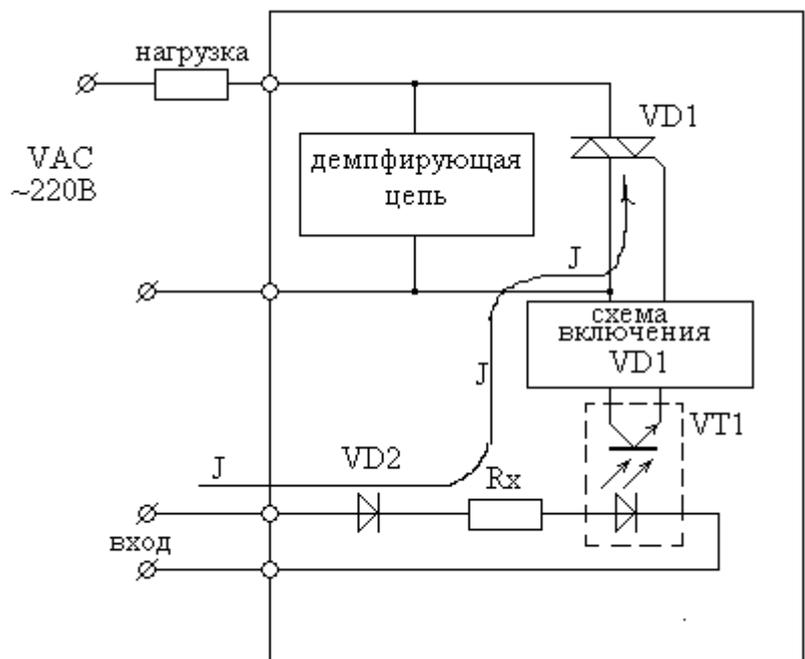


Рис. 3.5.

Аналоговые модули УСО.

Предназначены для обеспечения ввода сигналов в устройства обработки информации и вывода сигналов для пропорционального управления исполнительных устройств. Должны обладать высокой точностью и линейностью, обеспечивать высокое напряжение изоляции.

Желательно, чтобы модули могли работать с различными источниками сигналов (терморезистор, термопара и т. д.)

АС – переменное напряжение;
 DC – постоянное напряжение.

Структурная схема модуля аналогового ввода:

Данная схема предназначена для ввода сигнала тока в УОИ (устройство обработки информации).

Работа: Внешний сигнал тока создает падение напряжения на нормирующем сопротивлении R_H . Это напряжение фильтруется, усиливается и с помощью ПНЧ (преобразователь «напряжение-частота») сигнал напряжения преобразуется в сигнал частоты.

Транзисторная оптопара осуществляет гальваническую развязку и формирует выходной сигнал.

УОИ подсчитывает количество импульсов за фиксированное время.

Далее этот сигнал частоты в УОИ преобразуется в сигнал другого вида (как правило, в цифровой код).

Схема запитывается напряжением +5В от УОИ, внутри модуля DC/DC конвертер осуществляет гальваническое разделение для питания цепей, гальванически связанных со входными цепями.

Структурная схема модуля аналогового вывода:

Предназначен для вывода аналогового сигнала, для пропорционального управления исполнительными устройствами.

Данный модуль преобразует сигнал частоты или последовательный цифровой код на входе в сигнал напряжения на выходе

Работа: на вход модуля поступает сигнал частоты, пропорциональный требуемому управляющему воздействию.

Сигнал усиливается транзистором VT1, гальванически изолируется с помощью транзисторной оптопары VT2. Преобразуется из последовательного кода в параллельный цифровой код в буфере. Буфер подсчитывает количество импульсов за определенное время.

Буфер – регистр сдвига, который накапливает цифровой код.

Пропорционально цифровому коду ЦАП формирует сигнал напряжения, который потом преобразуется в выходной сигнал тока, который нормализуется усилителем.

Питание модуля осуществляется от УОИ. Встроенный DC/DC конвертер осуществляет гальваническую развязку по питающей мощности.

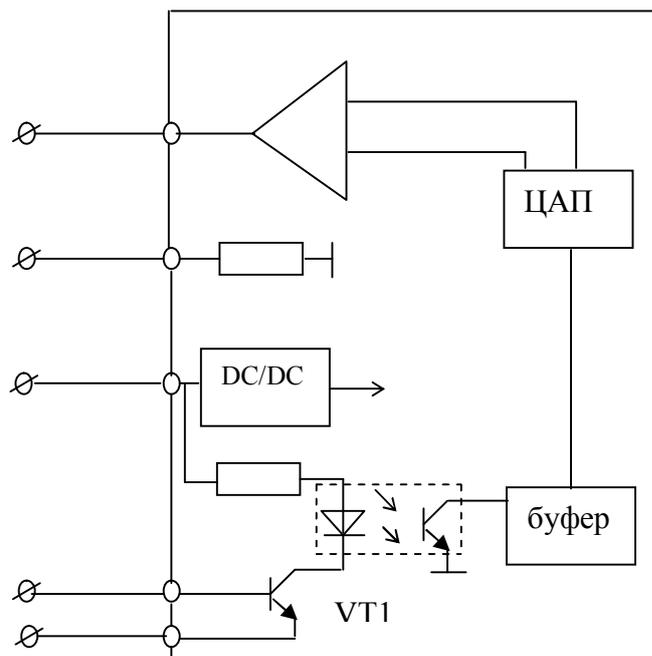
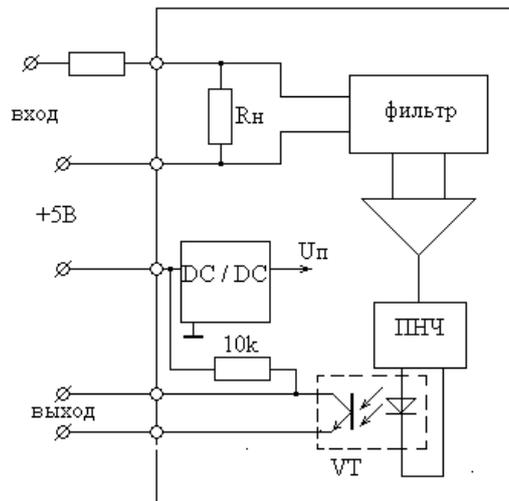


Рис. 3.6.

4.2. УСО на примере устройств серии ADAM4000.

Устройство серии ADAM4000 представляет собой широкую номенклатуру интеллектуальных модулей, содержащих встроенные микроконтроллеры (интегральные).



Модули дистанционно управляются с помощью простого набора команд в ASCII-формате (формат американского стандартного кода), передаваемого по коммуникационному протоколу RS485.

Устройства серии ADAM 4000 имеют разнообразные назначения и в целом обеспечивают выполнение согласования сигналов, гальванического разделения, преобразования диапазонов, АЦП и ЦАП, сравнение данных и цифровая передача данных.

Программное конфигурирование.

Модули не предусматривают никаких переключателей или регуляторов для подстройки. Настройка диапазонов, выбор типа термопары, сопротивления и т. д. осуществляется выдачей соответствующей команды «ведущим» (компьютером). Все параметры конфигурации таким образом могут быть установлены дистанционно.

Благодаря наличию ЭСППЗУ (EEPROM) (электрически стираемое программируемое постоянное запоминающее устройство) параметры конфигурации сохраняются при отключении питания.

Для того чтобы установить (назначить) адрес устройства, к «ведущему» подключают только это устройство, и ведущее устройство программирует адрес (в данном случае, только одному найденному ведомому).

После того, как всем ведомым назначены «уникальные» адреса их можно включать в одну сеть, конфигурировать и запускать в работу.

Модуль аналогового ввода на примере ADAM4012.

Предназначен для преобразования сигналов термопар и термосопротивлений, а также сигналов тока и напряжения в цифровой формат. Дополнительно модуль позволяет осуществлять подсчет низкочастотных импульсов и дискретно управлять внешними устройствами.

В соответствии с заданными параметрами конфигурации, при выполнении АЦП модуль выполняет перевод полученной цифровой информации в единицы физической величины, в дополнительный шестнадцатеричный код, либо в проценты шкалы рабочего диапазона.

При запросе со стороны «ведущего» модуль отправляет данные по RS485.

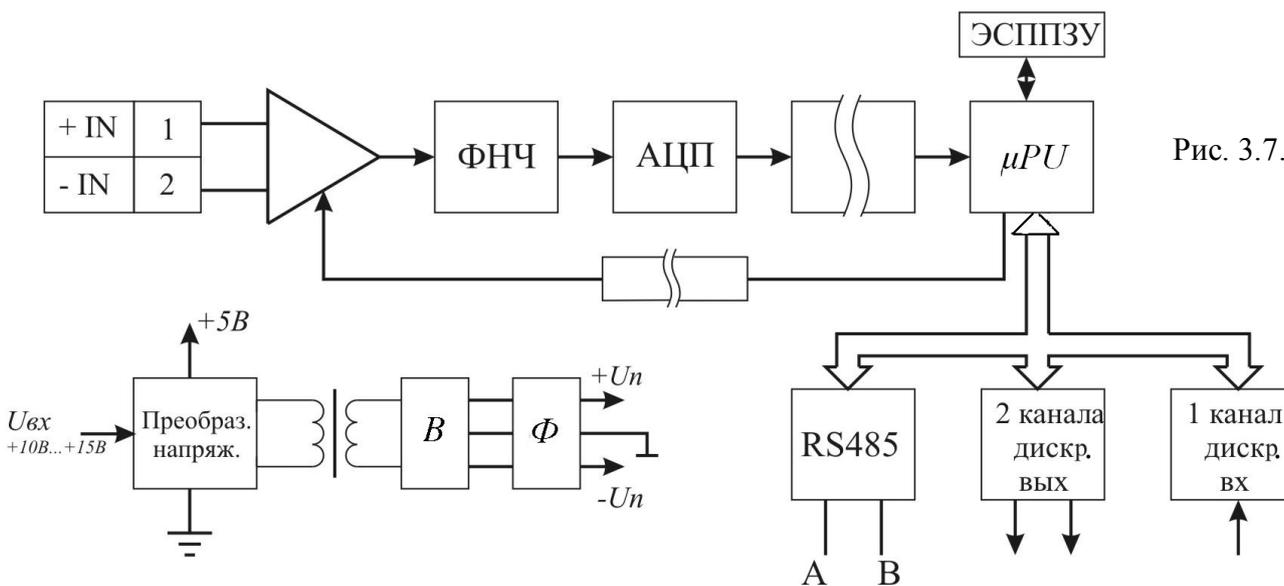
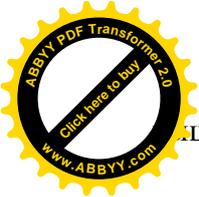


Рис. 3.7.



Рассмотрим работу модуля по его структурно-функциональной схеме, изображенной на рис. 3.8.

Выходной аналоговый сигнал поступает на +IN, - IN. Масштабируется услителем, управляемым коэффициентом усиления.

Фильтруется с помощью фильтра нижних частот (ФНЧ), преобразуется в цифровой код и через оптическую развязку поступает в микроконтроллер.

Микроконтроллер преобразует данные в требуемый формат и сохраняет в регистре.

При поступлении запроса от «ведущего» на значение с аналогового входа, значение из регистра отправляется вместе с ответной посылкой через RS485. Модуль содержит два дискретных входа и один дискретный выход.

С помощью выходов можно управлять внешними устройствами такими, как твердотельное реле, пускатели и другое оборудование.

Дискретный вход может быть использован для подсчета внешних низкочастотных (НЧ) импульсов.

Питание от $\pm 10\text{В} \div +30\text{В}$, преобразователь напряжения формирует 5В для питания цифровой схемы, а с использованием развязывающего трансформатора, выпрямителя и фильтра формируется питание для аналоговой части схемы.

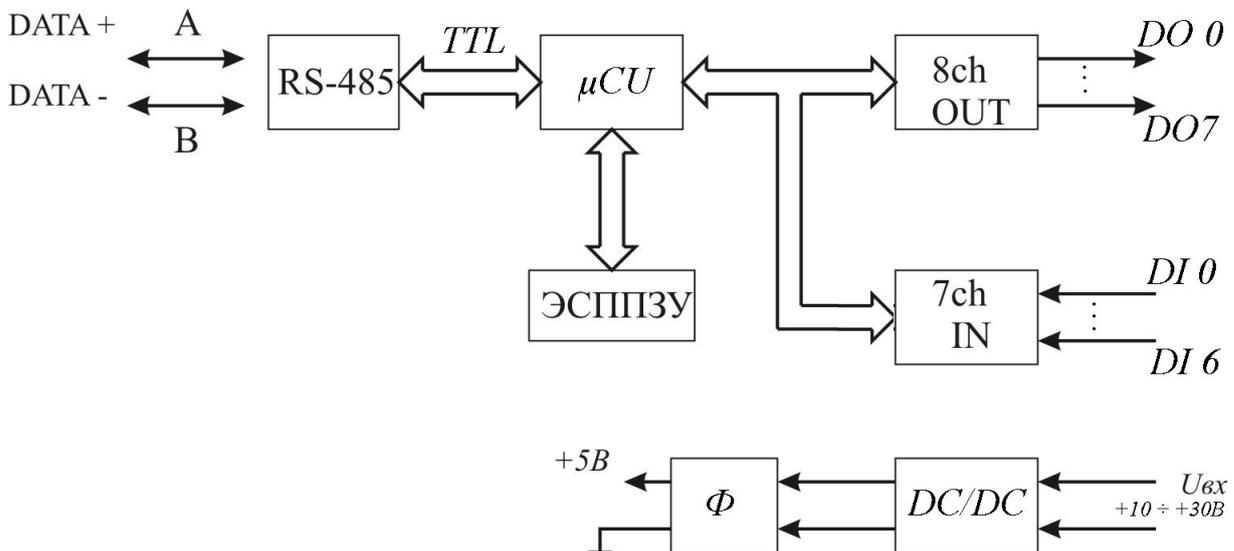
Модуль дискретного ввода-вывода.

Для примера рассмотрим модуль ADAM4050.

Содержит 7 каналов дискретного ввода и 8 каналов

Рис. 3.8. дискретного вывода.

Данный модуль не имеет гальванической развязки, поэтому предназначен для использования совместно с дискретными модулями УСО, твердотельными реле и другими усилительными устройствами, имеющие гальваническое разделение. Логические TTL-сигналы и датчики типа «сухой контакт» могут быть подключены без гальванического разделения.



Конвертор преобразует напряжение $+10 \div +30\text{В}$ в $+5\text{В}$ (DC/DC-конвертор).

Модули коммуникационной связи.

Применяются для преобразования сигналов интерфейса RS232 в RS485.

Эти модули могут содержать или не содержать устройства гальванического разделения. Они могут быть прозрачными с точки зрения протокола RS232. Это значит, что такие модули не контролируются и не обмениваются своими параметрами через интерфейс RS485, а только лишь преобразуют уровни сигнала и распознают направление передачи.



Также могут быть непрозрачным, то есть иметь адрес и параметры конфигурации. Для примера рассмотрим формат кадра RS232:

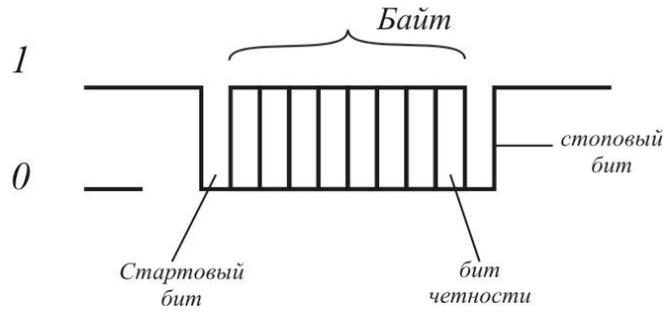


Рис. 3.9.

Для того, чтобы повысить помехозащищенность данные передают, как правило, в виде символов американского стандартного кода.

Если принято число, которое составляет символ, не предназначенный для использования в данном поле пакета информации, то пакет считается сбойным.

5. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ.

Регуляторы можно строить на основе как аналоговой, так и цифровой техники. Соответственно, для анализа и проектирования аналогового и цифрового регулятора требуются разные математические методы. Хотя цифровая технология позволяет хорошо моделировать работу аналоговой системы управления, т. е. реализовать аналоговые понятия цифровыми средствами, ее возможности гораздо шире. Например можно построить нелинейные и самонастраивающиеся регуляторы, которые нельзя создать на основе только аналоговых средств. Главная проблема цифрового управления - найти соответствующую структуру регулятора и его параметры. После определения этих параметров реализация алгоритмов управления обычно представляет собой простую задачу. Помимо этого, каждый регулятор должен включать средства защиты, предотвращающие опасное развитие процесса под действием регулятора в нештатных ситуациях.

Многие производственные процессы характеризуются несколькими входными и выходными параметрами. В большинстве случаев внутренние связи и взаимодействие соответствующих сигналов не имеют принципиального значения, и процессом можно управлять с помощью набора простых регуляторов, при этом каждый контур управления обрабатывает одну пару вход/выход. Такой подход используется в системах прямого цифрового управления.

Типовая структурная схема регулятора

Автоматический регулятор (рис. 5.1.) состоит из: ЗУ - задающего устройства, СУ - сравнивающего устройства, УПУ - усилительно-преобразующего устройства, БН - блока настроек.

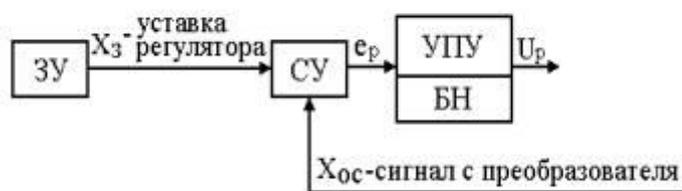


Рис. 5.1. Типовая структурная схема автоматического регулятора.

Задающее устройство должно вырабатывать высоко стабильный сигнал задания (уставку регулятора), либо изменять его по определенной программе. Сравняющее устройство позволяет сопоставлять сигнал задания с сигналом обратной связи и, тем самым,

сформировать величину ошибки регулирования e_p . Усилительно-преобразующее устройство состоит из блока формирования алгоритма регулирования, блока настройки параметров этого алгоритма и усилителя мощности. В промышленных регуляторах имеется также переключатель "Прямой - Обратный", с помощью которого может инвертироваться величина приращения сигнала управления. Выбор положения этого переключателя осуществляется таким образом, чтобы обеспечить отрицательную обратную связь в системе.

5.1. Классификация регуляторов

Автоматические регуляторы классифицируются по назначению, принципу действия, конструктивным особенностям, виду используемой энергии, характеру изменения регулирующего воздействия и т.п.

По принципу действия они подразделяются на регуляторы прямого и непрямого действия. Регуляторы прямого действия не используют внешнюю энергию для процессов управления, а используют энергию самого объекта управления (регулируемой среды).

Примером таких регуляторов являются регуляторы давления. В автоматических регуляторах прямого действия для его работы требуется внешний источник энергии.

По роду действия регуляторы делятся на непрерывные и дискретные. Дискретные регуляторы, в свою очередь, подразделяются на релейные, цифровые и импульсные.

По виду используемой энергии они подразделяются на электрические (электронные), пневматические, гидравлические, механические и комбинированные. Выбор регулятора по виду используемой энергии определяется характером объекта регулирования и особенностями автоматической системы.

По закону регулирования они делятся на двух- и трехпозиционные регуляторы, регуляторы с непрерывным управляющим воздействием (интегральные, пропорциональные, пропорционально-дифференциальные, пропорционально-интегральные, и пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы - сокращенно И, П, ПД, ПИ и ПИД - регуляторы), регуляторы с переменной структурой, адаптивные (самонастраивающиеся) и оптимальные регуляторы. Двухпозиционные регуляторы нашли широкое распространение, благодаря своей простоте и малой стоимости.

По назначению регуляторы подразделяются на специализированные (например, регуляторы уровня, давления, температуры и т.д.) и универсальные с нормированными входными и выходными сигналами и пригодные для управления различными параметрами.

По виду выполняемых функций регуляторы подразделяются на регуляторы автоматической стабилизации, программные, корректирующие, регуляторы соотношения параметров и другие.

Позиционные регуляторы.

Реализуются на практике с применением электронных, электромеханических, пневматических аналоговых и дискретных устройств, имеющих релейные характеристики.

Позиционные регуляторы производят сравнение контролируемого параметра с сигналами задания и обеспечивают переключение управляющего воздействия на дискретные уровни, которые определяются структурой регулятора. Позиционный регулятор постоянно оказывает на объект управляющее воздействие, отличное от значений, необходимых для равновесного состояния объекта. В результате этого регулятор работает в автоколебательном режиме в окрестностях равновесного состояния.

В общем случае позиционный регулятор включает в себя (см. рис. 5.2.):

устройство сравнения (1);

нормализатор (2);

релейный элемент (3);

датчик обратной связи (4);

объект регулирования (5).

Приняты следующие обозначения:

q_1 – сигнал задания;

ϵ_0 – сигнал рассогласования;

m – управляющее воздействие;

q_3 – регулируемый параметр.

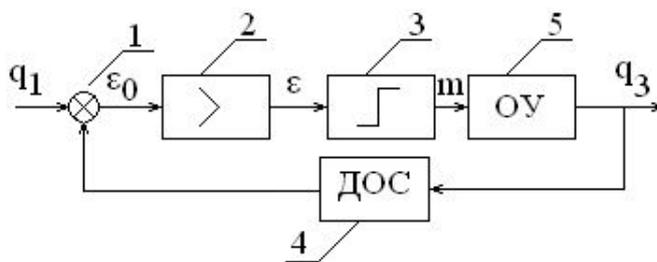


Рис. 5.2.

Различают двух, трех и многопозиционные регуляторы.

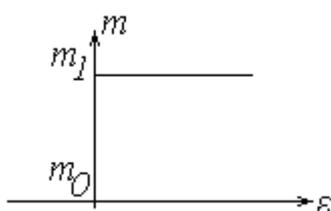
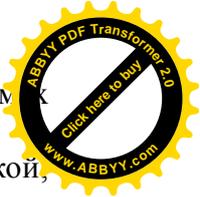
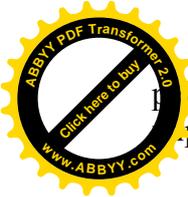


Рис. 5.3.

Например, для двух позиционного регулятора существуют два уровня управляющего воздействия: \max – m_1 , нулевой – m_0 . (см. рис.5.3.). В зависимости от сигнала рассогласования ϵ , регулятор переключается в одно из состояний.

Это простые и дешевые регуляторы с обратной связью, применяемые в несложных приложениях, например в термостатах отопительных систем и бытовых холодильников. Эти



регуляторы используются также в простых производственных, например, в системах управления уровнем или простейших дозаторах.

Для малоинерционных объектов частота переключения может быть очень высокой, поэтому в позиционном регуляторе искусственно создают зону гистерезиса.

Позиционное реле вызывает колебания относительно постоянного опорного значения, поскольку управляемая переменная изменяется скачком между двумя фиксированными значениями. Это может вызвать чрезмерный износ конечного элемента системы управления, механический клапан может быстро выйти из строя; для других исполнительных механизмов, например соленоидных выключателей, подобной проблемы не возникает.

Характеристика трехпозиционного регулятора (см. рис.5.4.) с реверсом и зоной гистерезиса, так как есть отрицательные управляющие воздействия.

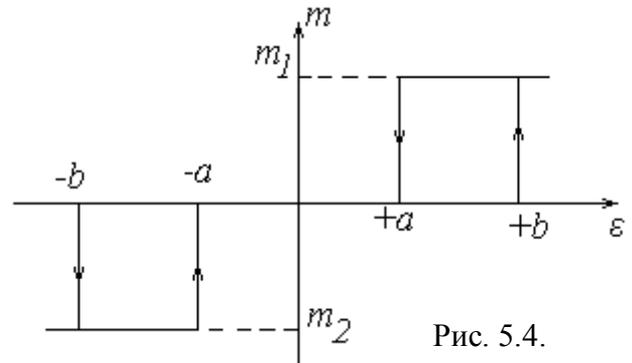


Рис. 5.4.

Самонастраивающееся управление

Самонастраивающееся управление относится к управлению с неизвестным изменением параметров.

Динамика многих процессов такова, что их параметры неизвестны, хотя и постоянны во времени. В других случаях параметры изменяются во времени очень медленно. Трубопроводные системы постепенно засоряются, и это влияет на расход и теплоотдачу. При управлении воздушно-топливной смесью в двигателе внутреннего сгорания чувствительность датчика меняется со временем непредсказуемым образом. В биологических ферментаторах или установках очистки сточных вод могут появиться новые организмы, изменяющие характер потребления кислорода.

Простые системы с динамикой низкого порядка легко управляются, если их параметры известны и постоянны. В большинстве подобных случаев достаточно использовать ПИД-регуляторы. Однако если параметры системы медленно изменяются во времени, качество управления при фиксированной настройке регулятора будет степенно снижаться. Одно из решений этой проблемы - автоматическая настройка параметров ПИД-регулятора с помощью так называемого **автонастройщика** (*auto-tuner*). Первоначальная настройка осуществляется оператором. Затем автонастройщик вносит небольшие возмущения в процесс для определения его динамики. Далее регулятор вычисляет параметры ПИД-управления по реакции системы, которые запоминаются и используются до тех пор, пока оператор не инициирует проведение новой настройки.

Следующий логический шаг - это непрерывное обновление параметров регулятора. Процедура непрерывной автоматической настройки параметров регулятора называется **адаптивным управлением** (*adaptive control*). Адаптивные регуляторы включают в себя две различные подсистемы, одну для **оценки** (*estimation*) и вторую для **управления** (*control*), как показано на рис. 5.5. Оценивающая часть регулятора непрерывно измеряет входной и выходной сигналы процесса. По этим данным алгоритм настройки вычисляет и обновляет параметры регулятора. В сущности, адаптивный регулятор состоит из двух контуров управления - быстрого контура для непосредственного управления и более медленного, осуществляющего настройку параметров.

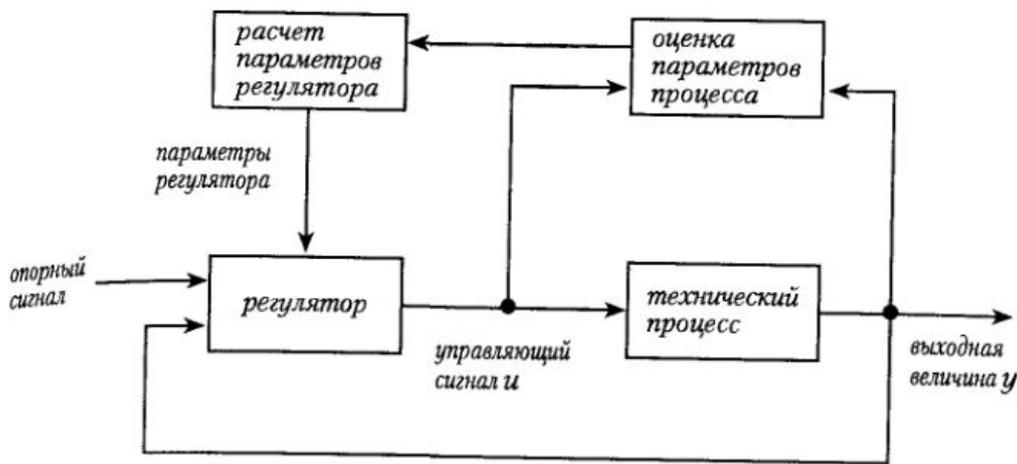


Рис 5.5. Основные элементы адаптивного регулятора

Существует несколько вариантов этой общей схемы, например выход процедуры оценки может непосредственно поступать на вход регулятора, минуя процедуру пересчета его параметров. Даже если основные алгоритмы достаточно просты с точки зрения программирования, адаптивное управление должно быть ограничено целым набором правил безопасности, позволяющих предотвратить его неправильное применение. Распространено совершенно необоснованное убеждение, что адаптивное управление является панацеей при решения сложных задач. Однако если адаптивное управление применять с осторожностью и пониманием, оно открывает широкие возможности. Управляющей частью адаптивного регулятора может быть обобщенный дискретный регулятор, рассмотренный в следующем разделе. Несколько типов адаптивных регуляторов выпускаются серийно.

5.2. Выбор типа регулятора

Задача проектировщика состоит в выборе такого типа регулятора, который при минимальной стоимости и максимальной надежности обеспечивал бы заданное качество регулирования. Разработчиком могут быть выбраны релейные, непрерывные или дискретные (цифровые) типы регуляторов.

Для того, чтобы выбрать тип регулятора и определить его настройки необходимо знать:

1. Статические и динамические характеристики объекта управления.
2. Требования к качеству процесса регулирования.
3. Показатели качества регулирования для серийных регуляторов.
4. Характер возмущений, действующих на процесс регулирования.

Выбор типа регулятора обычно начинается с простейших двухпозиционных регуляторов и может заканчиваться самонастраивающимися микропроцессорными регуляторами. Заметим, что по требованиям технологического регламента многие объекты не допускают применения релейного управляющего воздействия.

Рассмотрим показатели качества серийных регуляторов. В качестве серийных предполагаются непрерывные регуляторы, реализующие И, П, ПИ и ПИД - законы управления.

Теоретически, с усложнением закона регулирования качество работы системы улучшается. Известно, что на динамику регулирования наибольшее влияние оказывает величина отношения запаздывания к постоянной времени объекта τ/T . Эффективность компенсации ступенчатого возмущения регулятором достаточно точно может характеризоваться величиной динамического коэффициента регулирования R_d , а быстродействие - величиной времени регулирования. Минимально возможное время регулирования для различных типов регуляторов при оптимальной их настройке определяется таблицей 2.1.



Таблица 2.1.

Закон регулирования		И	ИД
t_p / T	.5	2	

где t_p - время регулирования, T - запаздывание в объекте.

$$t_{p\min} = 2T.$$

Теоретически, в системе с запаздыванием, минимальное время регулирования. Руководствуясь таблицей можно утверждать, что наибольшее быстродействие обеспечивает П-закон управления. Однако, если коэффициент усиления П-регулятора K_p мал (чаще всего это наблюдается в системах с запаздыванием), то такой регулятор не обеспечивает высокой точности регулирования, т.к. в этом случае велика величина статической ошибки. Если K_p имеет величину равную 10 и более, то П-регулятор приемлем, а если K_p меньше 10, то требуется введение в закон управления интегральной составляющей.

Наиболее распространенным на практике является ПИ-регулятор, который обладает следующими достоинствами:

1. Обеспечивает нулевую статическую ошибку регулирования.
2. Достаточно прост в настройке, т.к. настраиваются только два параметра, а именно

коэффициент усиления K_p и постоянная интегрирования T_i . В таком регуляторе имеется возможность оптимизации $K_p / T_i \rightarrow \max$, что обеспечивает управление с минимально возможной среднеквадратичной ошибкой регулирования.

3. Малая чувствительность к шумам в канале измерения (в отличии от ПИД-регулятора).

Для наиболее ответственных контуров можно рекомендовать использование ПИД-регулятора, обеспечивающего наиболее высокое быстродействие в системе. Однако, следует учитывать, что это условие выполняется только при его оптимальных настройках (настраиваются три параметра). С увеличением запаздывания в системе резко возрастают отрицательные фазовые сдвиги, что снижает эффект действия дифференциальной составляющей регулятора. Поэтому качество работы ПИД-регулятора для систем с большим запаздыванием становится сравнимо с качеством работы ПИ-регулятора. Кроме этого, наличие шумов в канале измерения в системе с ПИД-регулятором приводит к значительным случайным колебаниям управляющего сигнала регулятора, что увеличивает дисперсию ошибки регулирования и износ исполнительного механизма. Таким образом, ПИД-регулятор следует выбирать для систем регулирования, с относительно малым уровнем шумов и величиной запаздывания в объекте управления. Примерами таких систем является системы регулирования температуры.

При выборе типа регулятора рекомендуется ориентироваться на величину отношения запаздывания к постоянной времени в объекте τ/T . Если $\tau/T < 0.2$, то можно выбрать релейный, непрерывный или цифровой регуляторы. Если $0.2 < \tau/T < 1$, то должен быть выбран непрерывный или цифровой, ПИ- или ПИД-регулятор. Если $\tau/T > 1$, то выбирают специальный цифровой регулятор с упредителем, который компенсирует запаздывание в контуре управления. Однако этот же регулятор рекомендуется применять и при меньших отношениях τ/T .



6. ИЗМЕРИТЕЛИ-РЕГУЛЯТОРЫ

Успехи в микроэлектронике, появление микропроцессоров революционизировали технику построения систем управления. Микропроцессоры стали входить в состав отдельных средств автоматики и контроля. В настоящее время на рынке автоматизации представлено огромное количество микропроцессорных средств автоматики различной степени сложности – от простейших микропроцессорных приборов контроля и локального управления до многоканальных (до нескольких тысяч входов-выходов) микропроцессорных контроллеров.

6.1. Измерители-регуляторы на примере ТРМ-1, 2ТРМ-1

Измерители-регуляторы ТРМ-1, 2ТРМ-1 предназначены для измерения и регулирования температуры различных сред. Также они могут использоваться для измерения и регулирования других физических величин, преобразованных в электрический унифицированный сигнал по току (0 ... 5 мА, 0 ... 20 мА, 4 ... 20 мА) или напряжению (0 ... 1 В).

Прибор ТРМ-1 осуществляет одноканальное регулирование по позиционному или пропорциональному закону. 2ТРМ-1 может осуществлять:

- независимое регулирование двух измеряемых величин по двухпозиционному или пропорциональному закону;
- регулирование одной измеряемой величины по трехпозиционному закону;
- регулирование разности температур (или другой физической величины).

Приборы выполнены в настенном или в щитовом исполнении с напряжением питания 220 В (ТРМ-1(2)А) или с расширенным диапазоном напряжения питания 85 ... 250 В (ТРМ-1(2)Б). Внешний вид приборов представлен на рис. 6.1.



Рис. 6.1. Внешний вид приборов ТРМ-1 и 2ТРМ-1

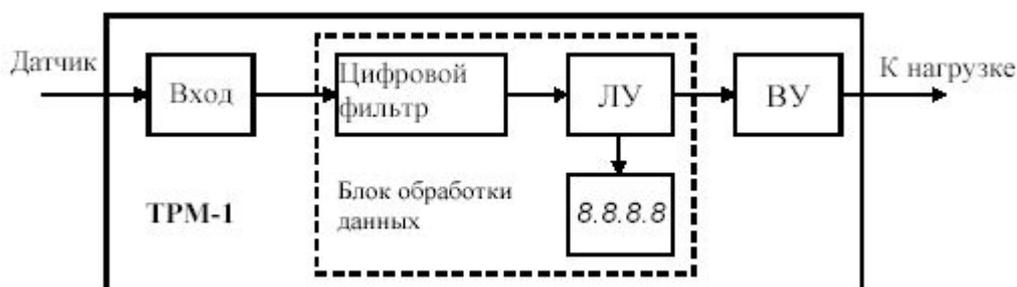


Рис. 6.2. Функциональная схема прибора ТРМ-1

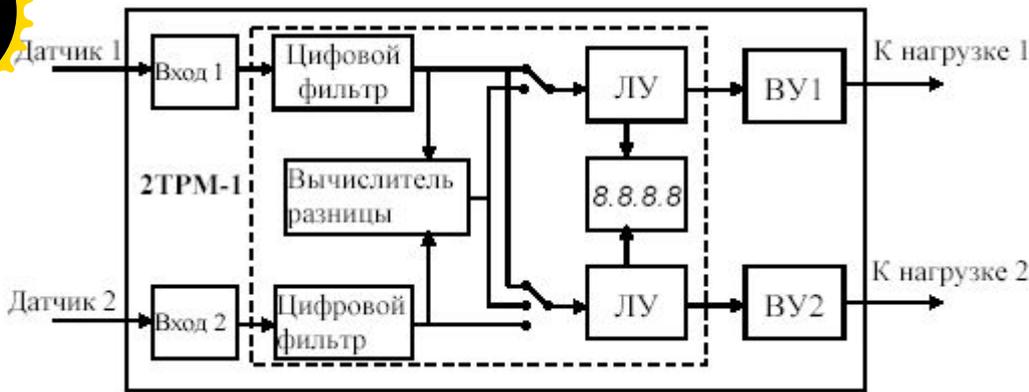


Рис. 6.3. Функциональная схема прибора 2ТРМ-1

Функциональные схемы приборов представлены на рис. 6.2 и 6.3. ТРМ-1 имеет один вход для подключения измерительного датчика. 2ТРМ-1 содержит два идентичных входа. Вход может быть выполнен в одной из следующих модификаций:

ТС – для подключения термометров сопротивления ТСМ или ТСР;

ТП – для подключения термопар ТХК, ТХА, ТНН, ТЖК;

ТПП – для подключения термопар ТПП;

АТ и АН – для подключения датчиков с унифицированным сигналом тока и напряжения, соответственно.

Блок обработки данных предназначен для предварительной обработки входного сигнала (цифровой фильтрации, коррекции и масштабирования), индикации измеренной величины и формирования сигнала управления выходным устройством. Блок обработки данных включает логическое устройство (ЛУ), которое может работать в одном из трех режимов:

Компаратор (устройство сравнения) – реализуется позиционное регулирование. Для работы ЛУ в этом режиме требуется выходное устройство (ВУ) ключевого типа (реле, оптосимистор, транзисторный ключ).

П-регулятор – реализуется аналоговое П-регулирование.

Измеритель-регистратор. Для реализации П-регулятора и измерителя-регистратора требуется установка в качестве выходного устройства цифро-аналогового преобразователя с выходным сигналом 4 ... 20 мА.

Модификация входного и тип выходного устройства определяются при заказе прибора. Программирование прибора осуществляется с помощью кнопок, расположенных на передней панели. Программирование заключается в установке параметров регулирования и режимов работы прибора. Все настроечные параметры сохраняются в энергонезависимой памяти прибора и остаются неизменными при выключении питания.

6.2. Измеритель-ПИД-регулятор ТРМ-10

Измеритель-ПИД-регулятор ТРМ-10 предназначен для измерения входного параметра, широтно-импульсного (ШИМ) или аналогового регулирования нагрузкой по ПИД-закону регулирования. Также прибор формирует на своих выходах дискретный сигнал в виде замыкания контактов реле, который может использоваться для двухпозиционного регулирования или сигнализации о выходе измеряемого параметра за установленные границы.

Приборы выполнены в настенном или в щитовом исполнении с напряжением питания 220 В (ТРМ-10А) или с расширенным диапазоном напряжения питания 85 ... 250 В (ТРМ-10Б). Функциональная схема прибора представлена на рис. 6.4.

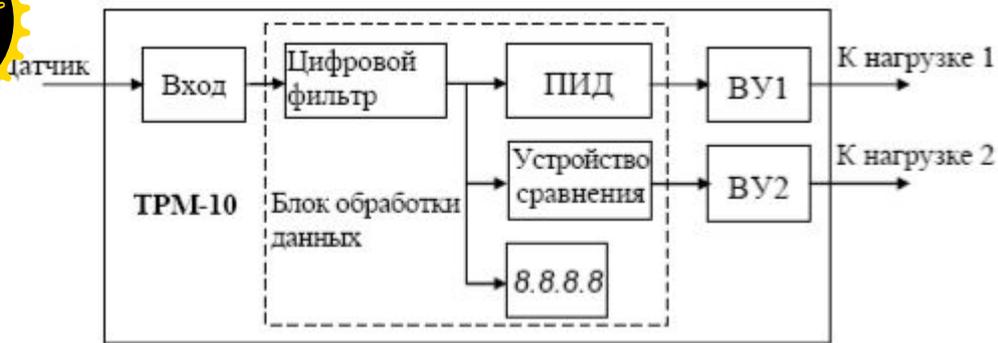


Рис. 6.4. Функциональная схема прибора ТРМ-10

К входу ТРМ-10 могут быть подключены термопара, термометр сопротивления или датчик с унифицированным сигналом тока или напряжения. Конкретная модификация входа прибора указывается при заказе.

Блок обработки данных включает два логических устройства: ПИД-регулятор и устройство сравнения. Текущее значение регулируемой величины поступает на входы обоих логических устройств. Каждое логическое устройство имеет собственные уставки и работает независимо от другого. В зависимости от установленного в приборе выходного устройства сигнал с ПИД-регулятора может быть преобразован в последовательность импульсов (с помощью широтно-импульсного модулятора ШИМ) для управления электрическими импульсными исполнительными механизмами или в аналоговый сигнал 4 ... 20 мА. В качестве выхода для компаратора используется сильноточное реле с коммутирующей способностью 8 А при 220 В. Тип выходных устройств, установленных в приборе, определяется при заказе.

Программирование прибора осуществляется с помощью кнопок, расположенных на передней панели, и заключается в установке параметров регулирования и режимов работы прибора.

6.3. ПИД-регулятор с универсальным входом ТРМ-101

ПИД-регулятор с универсальным входом ТРМ-101 предназначен для регулирования температуры или других физических величин в различных технологических процессах. ТРМ-101 представляет собой одноканальный ПИД-регулятор с универсальным входом для подключения датчиков; дополнительным входом для дистанционного управления; блоком обработки данных, формирующим сигналы управления выходными устройствами, и с двунаправленным интерфейсом RS-485. Функциональная структура прибора представлена на рис. 6.5.

ТРМ-101 имеет один универсальный вход (вход 1), к которому могут быть подключены датчики различных типов: термопреобразователи сопротивления, термопары, датчики с унифицированным сигналом тока 0 ... 5 мА, 0(4) ... 20 мА и напряжения 0 ... 1 В, -50 ... +50 мВ.

К дополнительному входу (вход 2) ТРМ101 можно одновременно подключить два внешних ключа: для управления запуском/остановом процесса регулирования и для переключения на управление от компьютера (по интерфейсу RS-485).

ТРМ-101 осуществляет регулирование по ПИД-закону. Настройка коэффициентов ПИД-регулятора на объекте осуществляется автоматически (автонастройка).

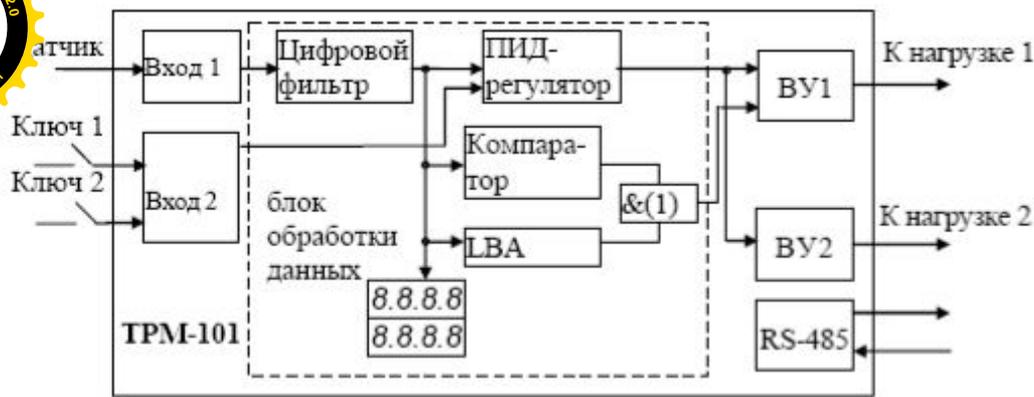


Рис. 6.5. Функциональная структура ТРМ-101

Управление нагрузкой может осуществляться двумя способами: импульсным (через реле, транзисторную или симисторную оптопару) или аналоговым (током 4 ... 20 мА). Способ управления зависит от установленного в приборе выходного устройства и определяется при заказе.

В ТРМ-101 реализована функция обнаружения обрывов в контуре регулирования (LBA). Прибор контролирует скорость регулируемой величины и выдает сигнал об аварии, если при подаче максимального управляющего воздействия измеряемое значение регулируемой величины не меняется в течение определенного времени.

В приборе устанавливаются два выходных устройства в следующих сочетаниях: оба ключевого типа (реле, транзисторная или симисторная оптопара); выход 1 – ключевой; выход 2 – аналоговый (ток 4... 20 мА); оба выхода аналоговые (ток 4 ... 20 мА).

В регуляторе ТРМ-101 установлен модуль двунаправленного интерфейса RS-485, который позволяет осуществлять связь с РС-совместимым компьютером. При этом с компьютера можно производить чтение измеряемых величин, изменение режимов регулирования, запуск/останов процесса регулирования.

Микропроцессорный регулятор ТРМ-101 выполнен в щитовом исполнении. Производство приборов ТРМ-1, 2ТРМ-1, ТРМ-10, ТРМ-101 осуществляется ПО «ОВЕН», г. Москва (www.owen.com.ru).



7. ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЛЕРЫ.

7.1. Ремиконт Р130.

Контроллер предназначен для построения современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и позволяет выполнять оперативное управление с использованием персональных ЭВМ, автоматическое регулирование, автоматическое логико-программное управление, автоматическое управление с переменной структурой, защиту и блокировку, сигнализацию, регистрацию событий. Контроллеры Р-130 позволяют осуществлять объединение в кольцевую сеть «Транзит», реализованную на основе интерфейса ИРПС.

Контроллер имеет проектную компоновку, которая позволяет пользователю выбрать нужный набор модулей и блоков согласно числу и виду входных/выходных сигналов. В состав Ремиконта входит блок контроллера БК-1 и ряд дополнительных блоков, расширяющих его возможности.



Рис. 7.1.

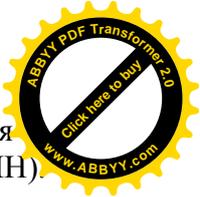
Предназначен для автоматического регулирования и логико-программного управления технологическими процессами.

Программирование Р130 производится посредством пульта настройки и программирования, а также использования процедуры технологического программирования.

Процедура программирования сводится к тому, что с помощью пульта настройки из библиотеки алгоритмов, зашитых в памяти контроллера, пользователь извлекает необходимые модули, объединяет их в виде структуры заданной конфигурации и устанавливает внутри каждого модуля требуемые значения параметров настройки.

Программа формируется в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ). Для того чтобы сохранить эту программу существуют три варианта:

- не отключать питание контроллера;
- подключить внешний аккумулятор, позволяющий сохранить информацию в ОЗУ;
- прошить информацию в постоянном запоминающем устройстве (ПЗУ).



Состав:

ПЛ – панель лицевая. Имеет несколько модификаций, тип ПЛ выбирается в зависимости от решаемой задачи. ПЛ имеет разъем для подключения пульта настройки (ПН).

Два посадочных места для УСО-А и УСО-Б. Туда могут быть установлены в любой комбинации два из трех возможных модуля.

Модуль контроля и программирования (МКП) обеспечивает взаимодействие модулей контроллера лицевой панели и пульта настройки (ПН).

Модуль процессора (ПРЦ).

Аккумулятор (АКК) предназначен для сохранения данных в ОЗУ.

Модуль стабилизированного напряжения (МСН).

Межблочный соединитель (МБС) предназначен для обеспечения связи между блоками контроллера Р130.

КБС – клеммо-блочный соединитель, предназначенный для подключения к контроллеру внешних устройств.

Внешние УСО для дополнительного преобразования сигнала. К ним относятся: БУС, БУТ-10, БУМ.

Пульт настройки ПН-1 предназначен для технологического программирования контроллера, его статической и динамической настройки, а также для контроля сигналов в процессе наладки системы.

Блок питания БП-1 преобразует сетевое напряжение переменного тока 220 В в нестабилизированное напряжение постоянного тока 24 В. Это напряжение используется для питания блока контроллера БК-1 и усилителей БУТ-10 и БУС-10, а также для питания дискретных входов и выходов контроллера.

Контроллер может работать со следующими входными сигналами:

- сигналы от термопар ТХК, ТХА, ТПР, ТВР, ТПП;
- сигналы от термометров сопротивлений ТСМ, ТСП;
- унифицированные аналоговые сигналы постоянного тока 0 – 5, 0 – 20, 4 – 20 мА; 0 – 10 В;

Дискретные сигналы:

- логическая «1» напряжением от 19 до 32 В;
- логический «0» напряжением от 0 до 7 В.

Унифицированные аналоговые сигналы подаются непосредственно на клеммно-блочные соединители, соединенные с блоком контроллера. Сигналы от термопар и термометров сопротивления заводятся в контроллер через устройства БУТ-10 и БУС-10 соответственно.

Устройства БУТ-10 и БУС-10 представляют собой усилители сигналов. Они преобразуют сигналы от термопар и термометров сопротивлений в унифицированный сигнал 0 – 5 мА. Оба усилителя имеют два независимых канала усиления.

На выходах Ремиконта могут быть сформированы следующие управляющие сигналы:

- унифицированные аналоговые сигналы постоянного тока 0 – 5, 0 – 20, 4 – 20 мА;
- дискретные сигналы

Транзисторные выходы

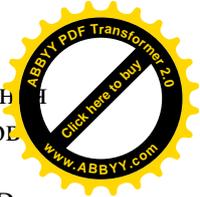
- максимальное напряжение коммутации 40 В;
- максимальный ток нагрузки 0,3 А.

Сильноточные релейные выходы:

- максимальное напряжение коммутации 220 В;
- максимальный ток нагрузки 2 А.

Сильноточные выходные дискретные сигналы формируются на выходе Ремиконта при использовании блока усилителя мощности БУМ-10. Усилитель содержит четыре независимых реле с мощными выходными нормально разомкнутыми контактами.

Блок переключения БПР-10 предназначен для коммутации аналоговых или дискретных сигналов и применяется при необходимости внешней коммутации, блокировок, переключений.



Пульт настройки ПН-1 предназначен для технологического программирования контроллера, его статической и динамической настройки, а также для контроля сигналов в процессе наладки системы.

Блок питания БП-1 преобразует сетевое напряжение переменного тока 220 В в нестабилизированное напряжение постоянного тока 24 В. Это напряжение используется для питания блока контроллера БК-1 и усилителей БУТ-10 и БУС-10, а также для питания дискретных входов и выходов контроллера.

Модуль аналоговых сигнала (МАС).

Устройство связи с объектом, предназначено для ввода или вывода аналогового сигнала.

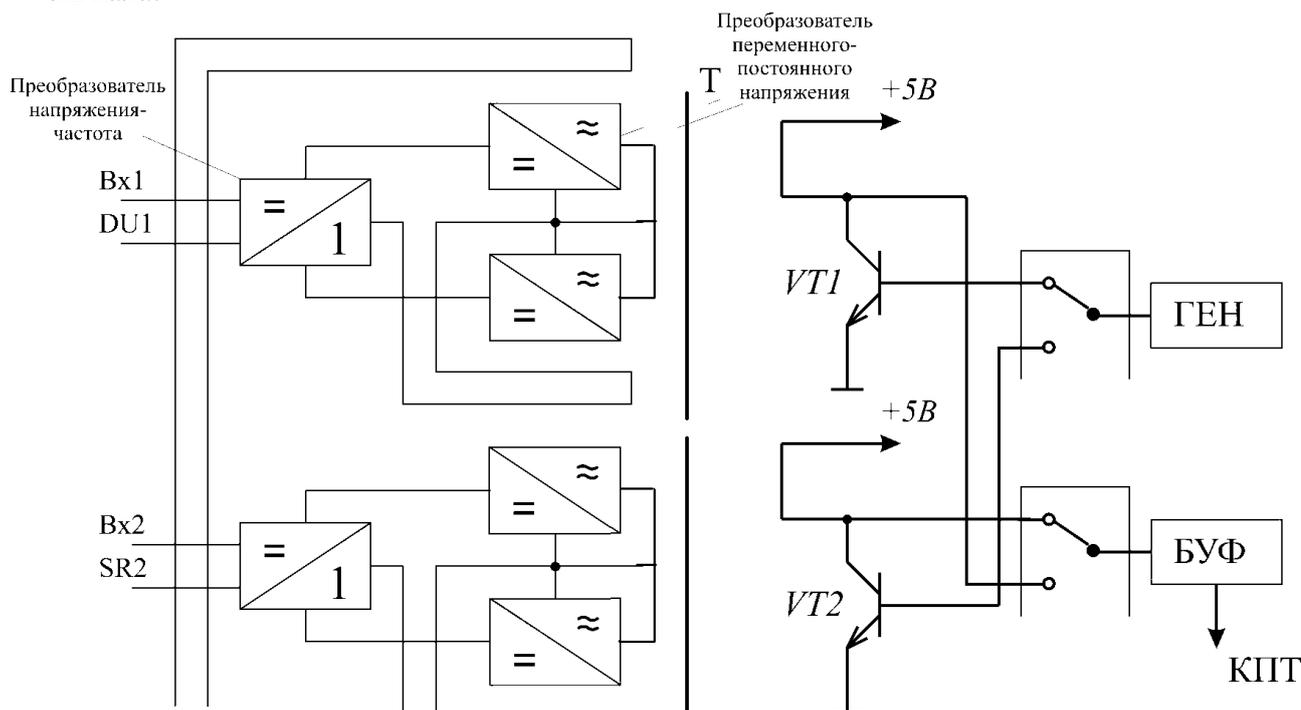


Рис. 7.2.

МАС выполняет функции:
АЦП,
ЦАП.

Каналы АЦП. Работа АЦП основана на применении преобразовании аналогового сигнала в последовательность импульсов, частота которых пропорциональна входному аналоговому сигналу с последующим подсчетом этих импульсов за фиксированное время с помощью двоичного счетчика.

В МАС реализовано 8 каналов АЦП с полной гальванической развязкой.

Работает всегда только один канал, остальные просто опрашиваются.

Преобразователи напряжение-частота собраны на ячейках ДН1-ДН8, каждая из которых аббревиатуры ИМС (интегрирующая микросхема) преобразователя напряжение-частота (1) (на схеме), выпрямительное устройство (2 и 3), разделительный трансформатор (Т) и усилитель мощности (VT)

Особенностью работы многоканального АЦП является то, что выходной сигнал частоты каждой ячейки поступает на дополнительную обмотку разделительного трансформатора (Т) по следующей ячейке. Причем разделительный трансформатор данной ячейки работает в режиме обеспечения питанием ИМС1, а разделительный трансформатор последовательной ячейки работает в режиме передачи сигнала частоты для дальнейшей обработки.



Режимы работы ячеек определяются коммутаторами D5-D6, синхронно связанными с регистром D3 (нет в схеме), который в режиме записи по сигналу с шины данных определяет номер канала АЦП.

Ячейки работают поочередно, что позволяет экономить на количестве трансформаторов.

Микросхема программируемого таймера D4 (нет на схеме) преобразует сигнал частоты и выставляет цифровой код на шину данных. Микросхемы (D3, D1, D2) (нет на схеме) осуществляют дешифрацию адреса и выбор канала АЦП.

Теперь рассмотрим каналы ЦАП:

Сформированный транзистором VT ШИМ-сигнал усиливается буфером (1),

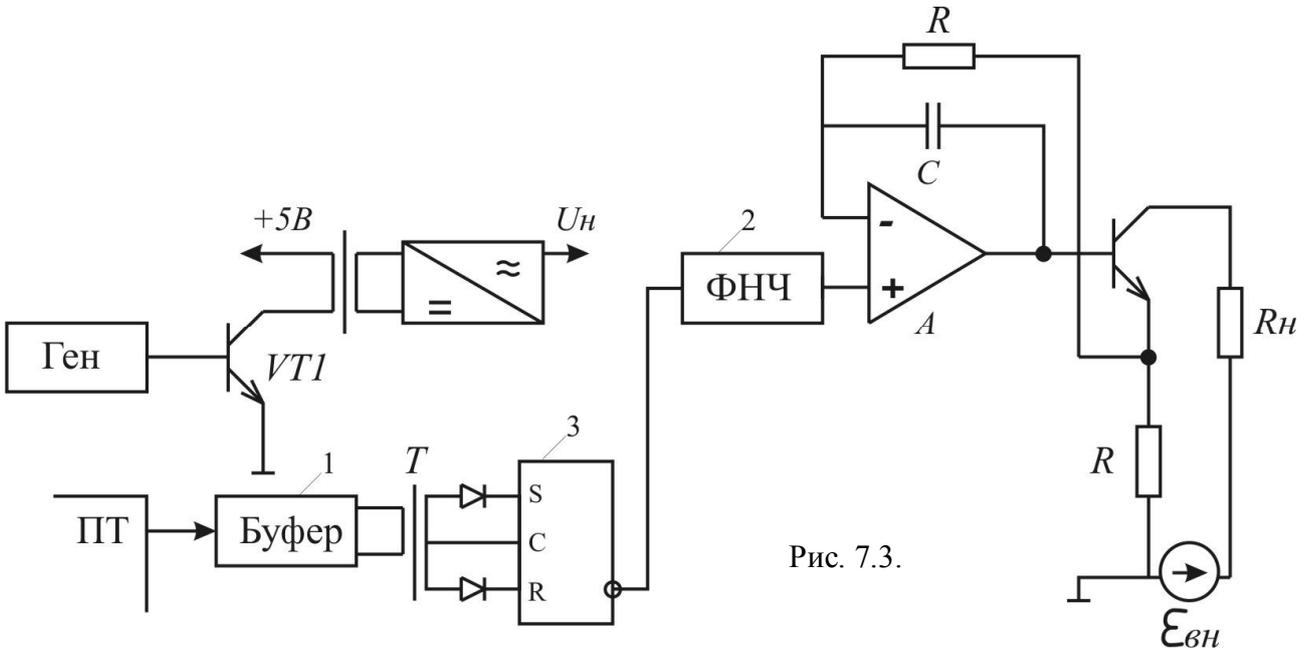


Рис. 7.3.

проходит через гальваническую развязку (Т), нормализуется триггером (3) и поступает на ФНЧ, который выделяет среднее значение напряжения. Усилитель (А) и транзистор VT преобразуют сигнал напряжения в сигнал тока на выходе УСО.

Для обеспечения возможности передачи токовых сигналов должны быть отключены внешний источник напряжения (Eвнеш) и нормирующий резистор RH, находящийся на стороне приемника сигнала.

ПТ – программный таймер, имеющий набор счетчиков.

Модуль сигналов дискретный (МСД).

Выполняет функции:

ДЦП - преобразование дискретных сигналов в цифровой двоичный код;

ЦДП – наоборот.

В МСД предусмотрено 16 дискретных входов и столько же выходов с групповой гальванической развязкой.

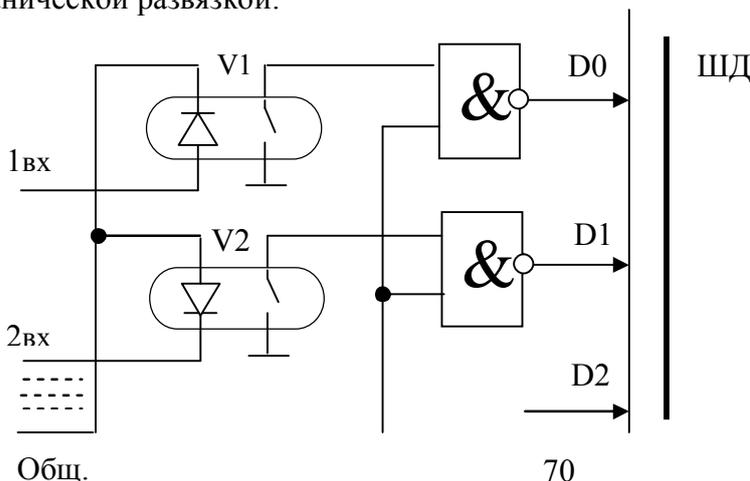


Рис. 7.4.

Обращение к модулю и обеспечение его работой определяется его сборкой D1-D2, D3-D4. В режиме чтения информация с дискретных входов поступает на шину данных D0-D7. Сначала с первого по восьмой входы через оптопары В1-В8 (младший байт), затем с

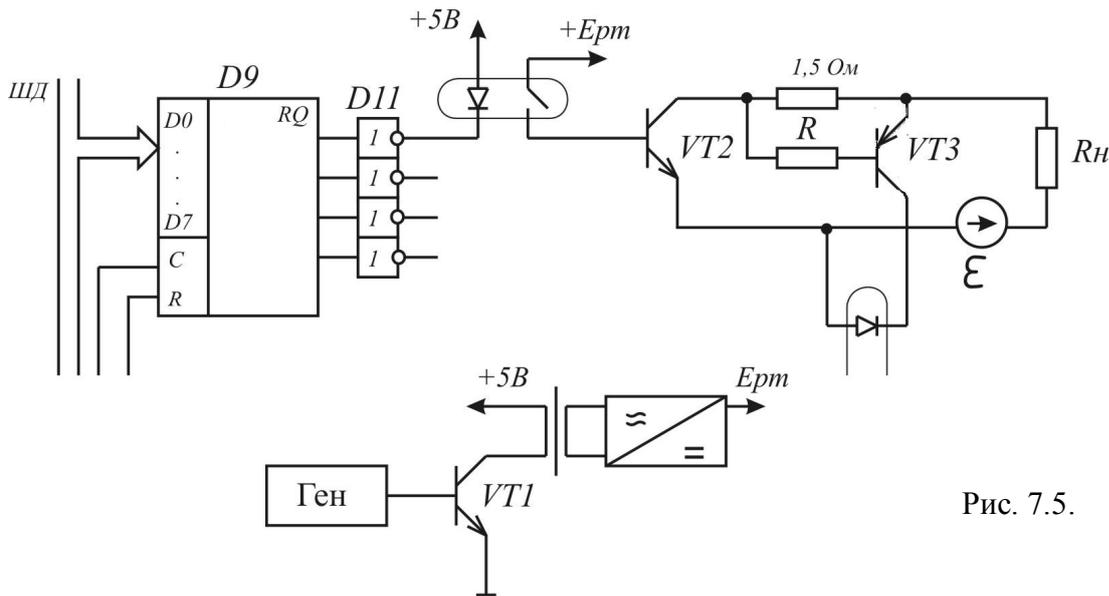


Рис. 7.5.

девятого по 16 входы через оптопары В9-В16 (старший байт).

Все каналы связаны между собой гальванически.

Дискретный вывод.

В режиме установки состояния выходных дискретных каналов, сначала происходит запись информации с шины данных в регистр D9, обеспечивающий работы первым восьми каналов ЦДП, затем происходит запись в регистр D10, обеспечивающий работу второй половины выходов ЦДП.

Оптопара обеспечивает гальваническое разделение, а транзистор VT3 – усиление выходного сигнала. Для обеспечения работоспособности схемы необходимо подключить внешний источник напряжения и сопротивление нагрузки.

Если ток в выходной цепи станет больше, чем максимально допустимый, то падение напряжения на резисторе 1.5 Ом откроет VT3, а тот включит оптопару защиты, который передает сигнал о перегрузке в процессоре.

Модуль стабилизированного напряжения (МСН).

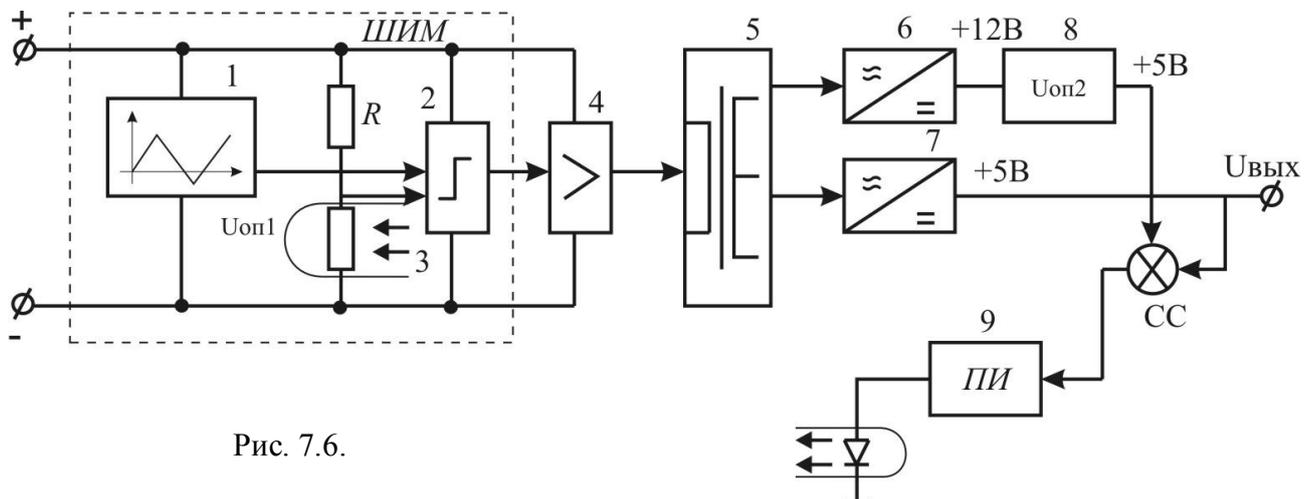


Рис. 7.6.



Функциональный состав.

генератор пилообразного напряжения;
 компаратор;
 регулирующий элемент по обратной связи (ОС);
 усилитель мощности;
 разделительный импульсный трансформатор;
 6,7) выпрямители;
 источник опорного напряжения;
 усилитель постоянного напряжения;
 СС – схема сравнения.

МСН является компенсационным стабилизатором напряжения с непрерывным регулированием. Он представляет собой систему автоматического регулирования (САР), в которой с заданной точностью поддерживается постоянное выходное напряжение, независимо от изменения входного напряжения и сопротивления нагрузки.

Работа схемы.

При подаче напряжения на входные клеммы МСН генератор (1) начинает формировать импульсы треугольной формы, которые поступают на компаратор.

Делитель на резисторе R и фотоприемники – оптопары формируют напряжение УОП1, которое также поступает на компаратор. Результатом сравнения этих двух сигналов является широтно-импульсный сигнал (ШИС), который усиливается усилителем (4) и поступает на первичную обмотку трансформатора (5).

Одна из вторичных обмоток трансформатора формирует напряжение 12В, предназначенное для формирования УОП2.

Другая вторичная обмотка является силовой и формирует напряжение для питания контроллера. Поскольку при включении МСН сигнал опорного напряжения достигает 5В раньше, чем сигнал с силовой обмотки, то это дает возможность корректно обрабатывать запуск МСН и формировать выходное напряжение +5В без перерегулирования.

Сигнал УОП2 сравнивается с сигналом +5В питания контроллера. Их разность усиливается усилителем (9) и передается через оптопару (3), замыкая, таким образом, контур регулирования.

Частота задающего генератора 30-4-кГц.

Транзистор работает при обратном ходе усилителя (4), который представляет собой транзисторный ключ.

Когда транзистор открыт, то происходит накопление энергии первичной обмотки трансформатора, а когда транзистор закрыт ЭДС самоиндукции (накопленная энергия) передается во вторичную цепь и заряжает конденсаторы выходных фильтров.

Выпрямители (6) и (7) также содержат фильтры на конденсаторах большей емкости. Такие преобразователи называют обратноходовыми.

Сетевое подключение P130.

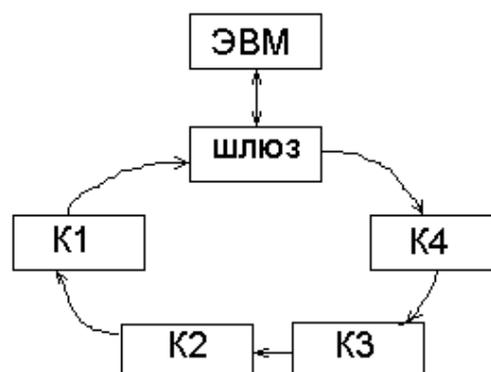


Рис. 7.7.



Для обмена информации между контроллерами предусмотрена возможность их объединения в цифровую локальную сеть кольцевой архитектуры, которая называется «транзит».

Для связи с ЭВМ верхнего уровня применяется модуль с названием «шлюз», который включается последовательно в сеть кольцевой архитектуры.

Данные в такой сети передаются от контроллера к контроллеру, и каждый контроллер извлекает из этой посылки данные, адресованные ему, и добавляет от себя данные с адресом контроллера, которому эти данные предназначены.

Программирование Ремиконта Р-130

Язык программирования Ремиконта Р-130 является непроцедурным. При программировании не задается порядок выполнения операций, а создается виртуальная (кажущаяся) структура, которая описывает информационную организацию контроллера и характеризует его как звено системы управления.

Часть элементов виртуальной структуры реализована аппаратно: аппаратура ввода-вывода информации, аппаратура оперативного управления и настройки, аппаратура интерфейсного канала. Часть реализовано программно в виде алгоритмических блоков (алгоблоков) и библиотеки алгоритмов.

Алгоблок служит для хранения одного из библиотечных алгоритмов контроллера. Алгоблок с помещенным в него алгоритмом может рассматриваться как виртуальный прибор, выполняющий алгоритмическую обработку информации в соответствии с помещенным в него алгоритмом. Он обладает входами и выходами в количестве, присущем данному алгоритму. Алгоблоки соединяются друг с другом и с входами-выходами контроллера программным путем. В Ремиконте Р-130 можно использовать

до 99 алгоблоков.

Библиотека алгоритмов – это перечень алгоритмов управления, которые могут помещаться в алгоблоки. Библиотека насчитывает 76 алгоритмов. В ее состав входят алгоритмы автоматического регулирования, динамических преобразований, логики, арифметических операций.

Часть библиотечных алгоритмов, которые называются специальными, выполняют особую задачу: они связывают аппаратуру контроллера с основной массой функциональных алгоритмов. К специальным алгоритмам относятся: алгоритмы ввода и вывода аналоговых и дискретных сигналов; алгоритмы обслуживания лицевой панели; алгоритмы приема и передачи сигналов через интерфейсный канал.

Аппаратные средства виртуальной структуры (УСО, лицевая панель, интерфейсный канал) начинают выполнять свои функции после того, как в какие-либо алгоблоки будут помещены соответствующие алгоритмы.

В качестве примера библиотечного алгоритма на рис. 7.8 представлена функциональная схема алго ритма «Регулирование аналоговое РАН».

Функциональная схема алгоритма содержит несколько звеньев. Звено, выделяющее сигнал рассогласования, суммирует два входных сигнала, при этом один из сигналов масштабируется, фильтруется и инвертируется. Сигнал рассогласования ε на выходе звена (без учета фильтра) равен

$$\varepsilon = x_1 - k_m x_2,$$

где k_m – масштабный коэффициент.

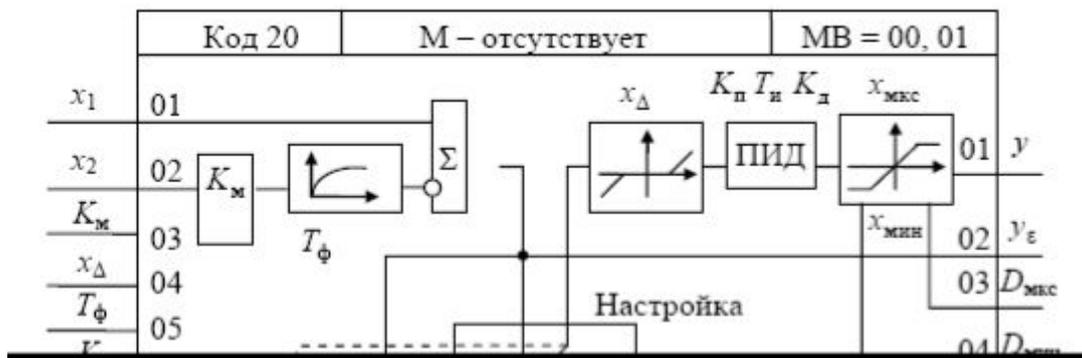


Рис. 7.8. Функциональная схема алгоритма

«Регулирование аналоговое РАН»

Фильтр имеет передаточную функцию

$$(W(p) = 1 / (T_\phi p + 1)),$$

$$W(p) = 1 / (T_\phi p + 1),$$

где T_ϕ – постоянная времени фильтра.

Зона нечувствительности не пропускает на свой выход сигналы, значения которых находятся в пределах от $-x_\Delta / 2$ до $x_\Delta / 2$.

ПИД-звено выполняет преобразование в соответствии с передаточной функцией

$$W(p) = K_\pi \left(1 + \frac{1}{T_\pi p} + \frac{K_\Delta T_\Delta p}{(1 + K_\Delta T_\Delta p / 8)^2} \right),$$

где K_π , T_π , K_Δ – соответственно коэффициент пропорциональности, постоянная времени интегрирования и коэффициент времени дифференцирования.

На выходе ПИД-звена устанавливается ограничитель, который ограничивает выходной сигнал алгоритма по максимуму $x_{\text{мкс}}$ и минимуму $x_{\text{мин}}$. Момент достижения выходным сигналом ПИД-звена значений $x_{\text{мкс}}$ и $x_{\text{мин}}$ фиксируют два дискретных выхода $D_{\text{мкс}}$ и $D_{\text{мин}}$.

Алгоритм содержит узел настройки, состоящий из переключателя режимов «настройка-работа», нуль-органа и дополнительного фильтра с постоянной времени $T_{\phi 1}$. При дискретном сигнале на входе $c_{\text{нас}} = 1$ алгоритм переходит в режим настройки, и в замкнутом контуре регулирования устанавливаются автоколебания. Параметры этих колебаний (амплитуда и период), которые контролируются на выходе y_ϵ , используются для определения параметров настройки регулятора.

Общие правила программирования. В исходном состоянии в алгоблоках отсутствуют алгоритмы управления, и алгоблоки не связаны друг с другом и аппаратной частью виртуальной структуры. При программировании контроллера алгоритмы помещаются в алгоблоки и между алгоблоками программно устанавливаются связи.

При размещении алгоритмов в алгоблоках в большинстве случаев действуют два правила:

1. Любой алгоритм можно помещать в любой (по номеру) алгоблок, за исключением алгоритмов, обслуживающих лицевую панель. Эти алгоритмы могут быть помещены в первые четыре алгоблока (номер алгоблока определяет номер контура регулирования).

2. Один и тот же алгоритм можно помещать в разные алгоблоки, т.е. использовать многократно.

При размещении необходимо задать реквизиты (параметры) алгоритма: библиотечный номер, модификатор и масштаб времени.

Библиотечный номер представляет собой двухзначное число, под которым данный алгоритм хранится в библиотеке, и является основным параметром, характеризующим свойства алгоритма.



Модификатор задает дополнительные свойства алгоритма. В частности в алгоритме программирования модификатор задает число суммируемых входных сигналов, в алгоритме программного задатчика – количество участков и т.д.

Масштаб времени имеется только в алгоритмах, чья работа связана с реальным временем, например, регулирование, программный задатчик, таймер и т.д. Масштаб времени задает одну из двух размерностей для временных сигналов или параметров. Если контроллер настроен на младший диапазон, то масштаб времени индивидуально в каждом алгоблоке задает масштаб «секунды» или «минуты». Для

старшего диапазона масштаб времени задает «минуты» или «часы».

Соединение алгоблоков между собой и с аппаратной частью контроллера осуществляется операцией конфигурирования. В процессе конфигурирования для каждого входа алгоблока задается источник сигнала или параметры настройки, т.е. каждый вход алгоблока находится в одном из двух состояний – связанном или свободном.

Вход считается связанным, если он соединен с выходом какого-либо алгоблока, в противном случае вход считается свободным.

Сигналы на свободных входах могут быть представлены в виде констант или в виде коэффициентов. Отличие между ними заключается в возможности их изменения: константы можно устанавливать и изменять только в режиме программирования, коэффициенты можно также устанавливать и изменять и в режиме работы.

Возможности конфигурирования не зависят от алгоритма, помещенного в алгоблок, и определяются тремя правилами:

1. Любой вход любого алгоблока можно связать с любым выходом любого алгоблока или оставить свободным.

2. На любом свободном входе любого алгоблока можно вручную задавать сигнал в виде константы или коэффициента.

3. На любом входе любого алгоблока сигнал можно инвертировать.

Исключениями из этих правил являются неявные входы и выходы тех алгоритмов, которые связывают аппаратуру контроллера с основной массой функциональных алгоритмов.

В целях упрощения процесса программирования из библиотеки контроллера можно переписать в ОЗУ уже готовые, так называемые стандартные конфигурации аналогового (рис. 7.9) и импульсного регуляторов. При этом процесс программирования сводится к вызову стандартной конфигурации, к установке заданных параметров настройки алгоритмов (коэффициентов и констант на свободных входах алгоблоков), а также к изменению или дополнению (если требуется) этой стандартной конфигурации с помощью обычных процедур программирования.

На рис. 7.9 показана структурная схема стандартной конфигурации «Регулятор аналоговый РЕГА», предназначенной для построения контура регулирования с аналоговым выходным сигналом (свободные входы алгоблоков на рисунке не показаны).

«Регулятор аналоговый РЕГА» содержит шесть алгоритмов.

ОКО – алгоритм оперативного контроля контуров – применяется для связи лицевой панели контроллера с алгоритмами ЗДН, РУЧ, РАН и др. Алгоритм позволяет контролировать сигналы задания и рассогласования, входной и выходной сигналы, параметры программного задания (при программном регулировании) и т.п.

ВАА и АВА – соответственно, ввод аналоговый группы А и аналоговый вывод группы А – применяются для связи функциональных алгоритмов с аппаратными средствами аналогового ввода (АЦП группы А) и вывода (ЦАП группы А).

ЗДН – алгоритм «задание» – применяется для изменения режима задания и формирования сигнала ручного задания в контуре регулирования.

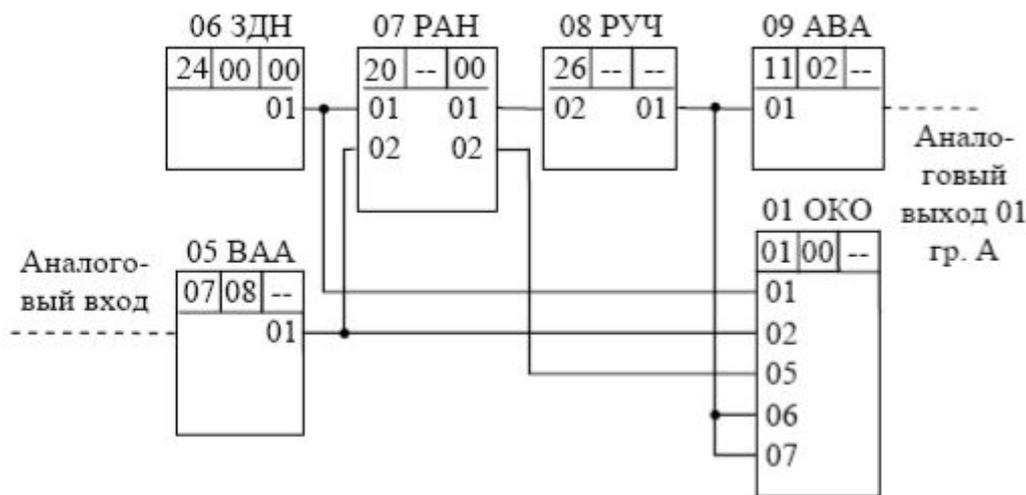


Рис. 7.9. Стандартная конфигурация 01 «Регулятор _____ аналоговый РЕГА»

РАН – алгоритм ПИД-регулирования.

РУЧ – алгоритм «ручное управление» – используется для изменения режима управления (ручное – автоматическое) и изменения выходного сигнала регулятора в ручном режиме.

Процедуры технологического программирования и настройки.

В режиме программирования задаются все программируемые параметры контроллера, определяющие его алгоритмическую структуру, т.е. действия, которые будет совершать контроллер как звено системы управления. Эти параметры в общем случае задаются трехступенчатым методом: вначале выбирается та или иная процедура программирования, в ней выбирается нужная операция, и в пределах этой операции устанавливаются требуемые параметры.

В контроллере имеются восемь процедур программирования:

1. Тестирование («Тест»).
2. Приборные параметры («Приб»).
3. Системные параметры («Сист»).
4. Алгоритмы («Алг»).
5. Конфигурация («Конф»).
6. Параметры настройки («Настр»).
7. Начальные условия («Н.усл.»).
8. Работа с ППЗУ («ППЗУ»).

В процедуре «Тест» можно осуществить проверку ОЗУ, ПЗУ, ППЗУ, интерфейсного канала, сторожа цикла, пульта настройки и лицевой панели, средств вывода информации.

В процедуре «Приб» задаются и контролируются параметры, характеризующие контроллер в целом. Здесь производится очистка ОЗУ и установка стандартной конфигурации, задание модификации контроллера, установка времени цикла (времени опроса входов и выдачи управляющих сигналов) и др.

В процедуре «Сист» устанавливается режим интерфейса.

В процедуре «Алг» производят заполнение алгоблоков алгоритмами и устанавливают требуемые модификаторы и масштабы времени алгоритмов.

В процедуре «Конф» определяют состояние каждого входа алгоблоков: связанное или свободное.

Для связанных входов задают номер алгоблока – источника и номер его выхода, с которым соединяется данный вход. На свободном входе определяется вид параметра настройки: константа или коэффициент.

В процедуре «Настр» устанавливаются значения параметров настройки – как констант, так и коэффициентов. Эта процедура выполняется лишь для тех входов алгоблоков, которые в процедуре конфигурирования были определены как свободные.

В процедуре «Н.усл.» устанавливаются значения сигналов на выходах алгоблоков, с которыми алгоблоки начнут работать при переходе в режим «работа».



В процедуре «ППЗУ» выполняются операции записи, восстановления, регенерации информации в ОЗУ, ПЗУ, ППЗУ.

Микроконтроллер «Ремиконт Р-130» изготавливается ОАО «Завод Электроники и Механики», г. Чебоксары, www.zeim.ru.

Кроме базовой модели «Ремиконта Р-130» этим предприятием изготавливаются «Ремиконт Р130М», «Ремиконт Р-130ТМ», «Ремиконт Р-130ISa».

Контроллер Р-130М является модернизацией базового контроллера «Ремиконт Р-130» и имеет расширенные функциональные возможности. В контроллере Р-130М сохранены все функциональные возможности Р-130 (включая поддержку библиотеки алгоритмов) и габаритно-присоединительные размеры. Контроллер имеет физические интерфейсы ИРПС, RS232, RS485 и осуществляет поддержку протоколов «Транзит», Modbus, Ethernet TCP/IP.

В контроллере Р-130М по сравнению с базовой моделью Р-130 увеличено число независимых контуров регулирования и число независимых логических программ шагового управления до 8 (в Р-130 их 4), появилась возможность создания библиотек собственных алгоритмов.

Контроллер Р-130ТМ – исполнение контроллера Р-130 со встроенным микромонитором реального времени и OEM-версии интегрированной SCADA/HMI системы Trace Mode.

Перспективной возможностью является и *исполняющая система языка FBD стандарта IEC*

61131-3. Международные стандарты содержат пять языков технологического программирования. Однако контроллер Р-130 имеет язык программирования, не соответствующий этим стандартам. В перспективе планируется адаптировать контроллер к одному из стандартных языков технологического программирования.

Следует отметить, что новый технологический язык вводится в модернизированный вариант контроллера путем подключения новой, динамически подключаемой библиотеки, что позволяет без существенных проблем выполнять на одном контроллере задачи, использующие различные библиотеки. Одной из подключаемых библиотек станет *библиотека нечеткой логики*, которая все шире используется в задачах управления технологическими процессами.

Предусматривается *возможность создания библиотек собственных алгоритмов с программированием на языке C/C++*.

Работа над расширением возможностей контроллера будет проводиться последовательно и внедряться после тщательного тестирования. Обновление программного обеспечения станет осуществляться путем



8. УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ

Выходные порты управляющих контроллеров имеют очень низкую мощность и не могут непосредственно управлять каким-либо физическим устройством. Для того чтобы возбуждать исполнительные механизмы, взаимодействующие с физическим процессом (двигатели и т. п.), выходной сигнал компьютера необходимо усиливать. Усилители мощности управляющих сигналов могут быть выполнены как отдельные устройства, так и входить непосредственно в состав исполнительного механизма. При уровнях мощности до нескольких сотен ватт можно использовать усилители, аналогичные применяемым в аудиосистемах. При больших мощностях чаще используется название сервоусилитель. Конструктивно последние обычно выполнены таким образом, чтобы их можно было монтировать вместе с двигателями или электроклапанами.

Усилители с ШИМ

С целью уменьшения мощности, выделяющейся на выходном каскаде устройства регулирования, часто применяют регуляторы, выходной сигнал которых представляет собой импульсы с переменной длительностью и переменным периодом.

Как правило, объект в этом случае по отношению к импульсному сигналу выполняет функцию ФНЧ и поэтому осуществляется квазинепрерывное регулирование.

Широтно-импульсная модуляция (ШИМ, pulse-width modulation - PWM). В этом случае выходное напряжение переключается между двумя постоянными значениями с высокой частотой, обычно в диапазоне нескольких килогерц. Средний уровень напряжения поддерживается изменением (модуляцией) ширины импульсов. На Рис 8.1 приведен пример такого сигнала. "Узкие" импульсы соответствуют низкому а «широкие» - высокому среднему напряжению. Устройство ШИМ включено в схему управления мощностью на основе твердотельных выключателей типа транзисторов, мощных полевых МОП-транзисторов или тиристоров. В преобразователях для мощностей порядка 300 кВт используются так называемые биполярные транзисторы с изолированным затвором (*Insulated Gate Bipolar Transistors - IGBT*). Для больших уровней мощности целесообразно применять **запираемые тиристоры** (*Gate Turn Off thyristors - GTO thyristors*).

Технология ШИМ используется в тех случаях, когда обычный усилитель просто сгорит из-за высокого уровня мощности. Переключения приводят к тому, что твердотельные приборы загружены полной мощностью лишь короткое время и, соответственно рассеивание мощности в них мало, а значит, ШИМ-усилители имеют высокую эффективность. Дополнительным преимуществом ШИМ-усилителей является возможность непосредственного управления переключениями через цифровой выходной порт компьютера.

ШИМ-управление широко используется в технике исполнительных механизмов непрерывного действия- таких как двигатели переменного и постоянного тока и гидропривод. Если частота переключений ШИМ-усилителя достаточно высока по сравнению с постоянной времени исполнительного механизма, то результирующий сигнал имеет некое среднее значение (рис. 8.1). Входное напряжение переключается между нулевым и максимальным значениями, в результате вырабатывается определенное среднее значение выходной мощности. Если частота переключения достаточно высока по сравнению с постоянной времени управляемой системы, то колебания выходных величин пренебрежимо малы.

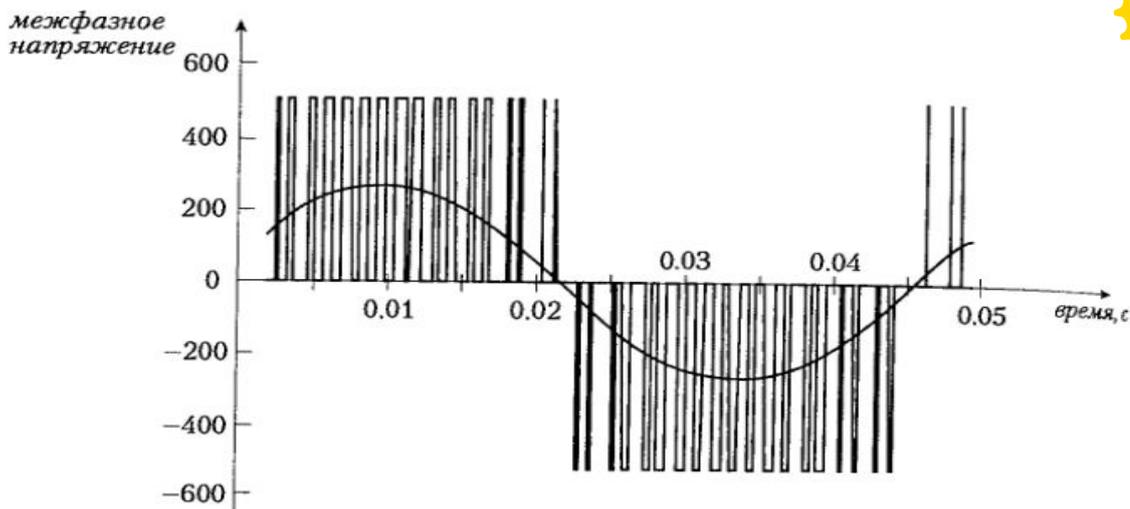


Рис. 8.1. Огибающая результирующего напряжения в цикле широтно-импульсной модуляции (ШИМ)

Напряжение переключается между тремя значениями (ноль, положительный максимум и отрицательный минимум). Синусоидальная кривая — эффективное напряжение, приложенное к нагрузке

Частотный преобразователь (frequency converter) - это регулятор частоты вращения и момента двигателя, основанный на применении ШИМ-технологии: он применяется для двигателей переменного тока. Частотные преобразователи можно использовать как в новых системах, так и для модификации старых. Поскольку большинство насосов и компрессоров уже имеют асинхронные двигатели, то в некотором смысле они подготовлены к применению частотных преобразователей. При реализации сложных режимов с широким рабочим диапазоном, при низких скоростях и больших моментах может потребоваться дополнительное охлаждение по сравнению с обычно применяемым в двигателях.

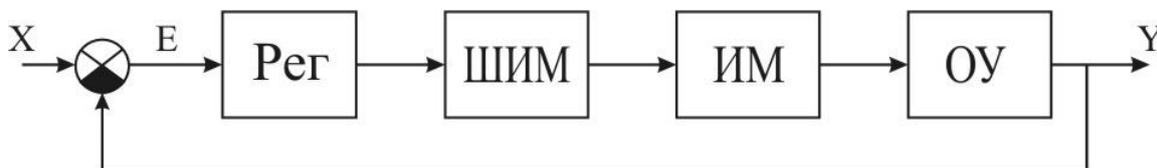


Рис. 8.2.

Здесь приняты следующие обозначения:

- Reg – регулятор с непрерывным управляющим воздействием (П, ПИ, ПИД-регуляторы);
- ШИМ – широтно-импульсная модуляция;
- ИМ – исполнительный механизм.

Рассмотрим схему ШИМ на ОУ:

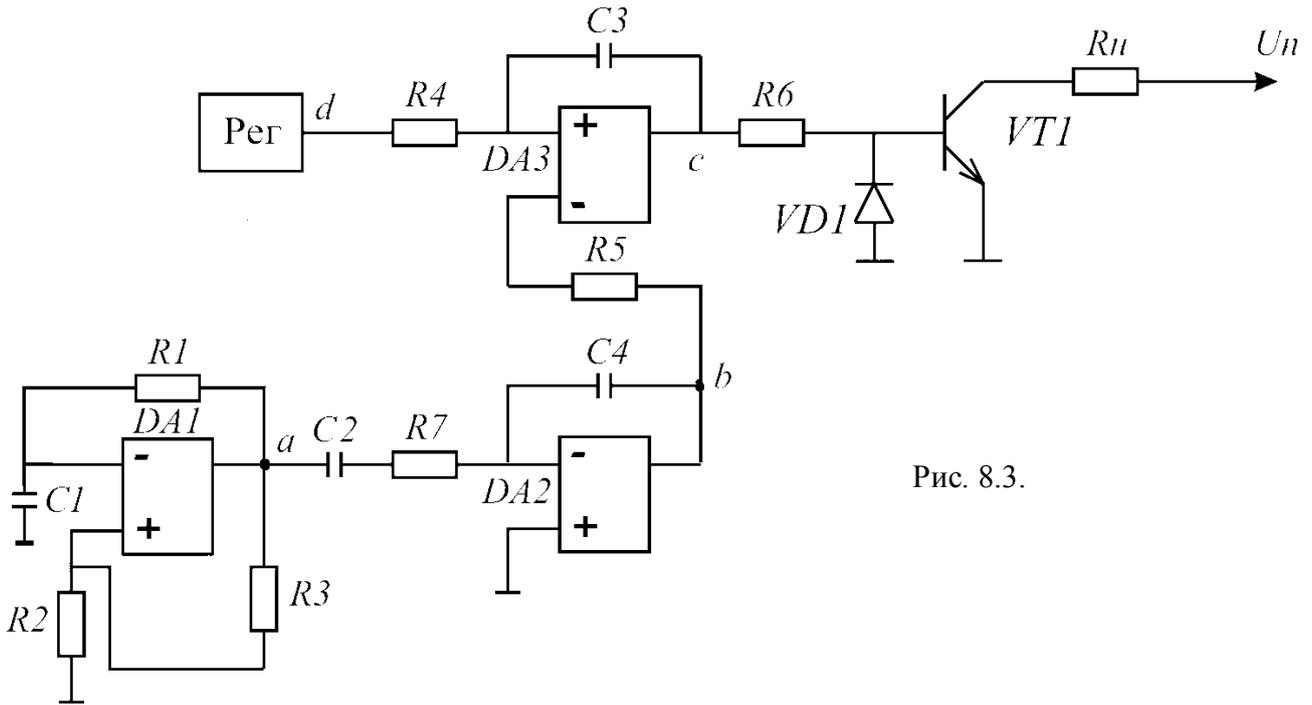


Рис. 8.3.

Диаграммы работы:

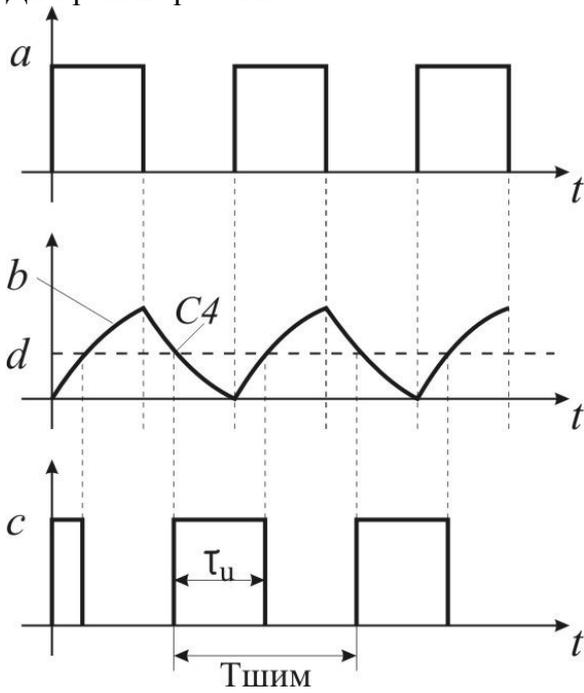
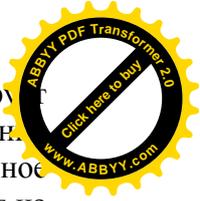


Рис. 8.4.

Функциональный состав:

- генератор прямоугольных импульсов.
Выполнен на элементах: R1, C1, R2, R3, DA1/
- формирователь пилообразного напряжения:
C2, R7, C4, DA2.
- компаратор:
R4, R5, C3, DA3.
- выходной усилительный каскад:
R6, VD1, VT1.



Транзистор работает в ключевом режиме. Непрерывный регулятор формирует сигнал управления, который поступает на положительный вход компаратора. Одновременно на инвертирующий вход компаратора поступает пилообразное напряжение, сформированное генератором (1) и формирователем (2). Результат сравнения этих двух сигналов поступает на выходной усилитель (4).

Скважность вычисляется по формуле:

$$\gamma = \frac{\tau_{И}}{T_{ИМП}}$$

Где $\tau_{И}$ – длительность импульса, а $T_{ИМП}$ – период ШИМ.

Пример - Преобразователь частоты для асинхронных двигателей.

Частота вращения регулируется с помощью частоты питающей напряжение сети. Использовали электромеханические преобразователи (ЭМП). Сейчас же используют статические преобразователи (электронные).

Функции:

- регулирование параметров питания асинхронного двигателя в целях:
- управления усилием и положением рабочего органа по требуемому закону;
- экономии энергии, затрачиваемой на технологический процесс;
- уменьшения потерь в процессе преобразования энергии;
- обеспечение точного и удобного способа управления двигателем.

Современные частотные преобразователи оснащены устройствами ввода, вывода информации:

- дискретный сигнал ввода: старт, стоп, реверс;
- дискретный сигнал вывода: аварийный выход;
- входные аналоговые сигналы позволяют управлять двигателем, используя стандартные сигналы тока и напряжения;
- промышленные интерфейсы позволяют встроить системы управления на базе промышленных полевых шин (RS485 с протоколом MOD, BUS, EtherNet, CAN).

Структурно-функциональная схема:

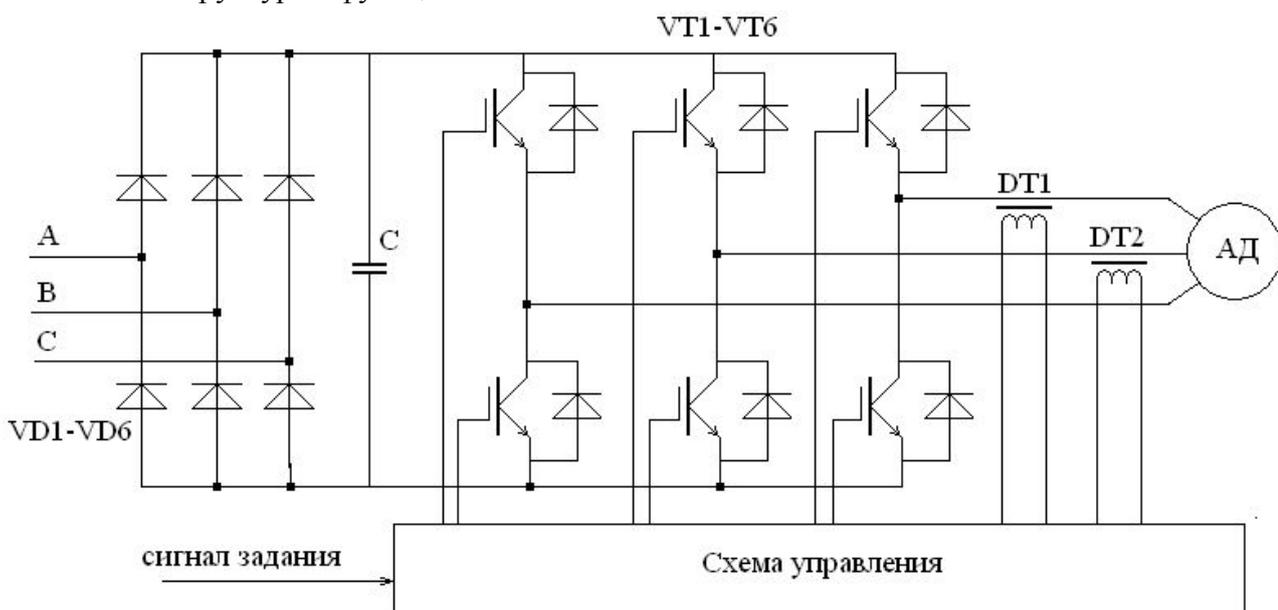
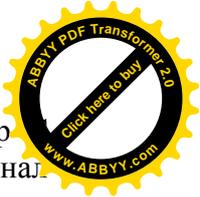


Рис. 8.5.



Работа схемы:

Диоды VD1 – VD6 выпрямляют сетевое трехфазное напряжение. Конденсатор сглаживает пульсации, транзисторы VT1 – VT6 формируют импульсный трехфазный сигнал управления двигателем.

Обратная связь по току ОС снимается датчиками DT1, DT2. Схема управления формирует управляющее воздействие для транзисторов. Схема управления по сигналу задания, используя информацию с датчиков тока формирует требуемый закон управления двигателем.

Биполярный транзистор с изолированным затвором.

IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor) – биполярные транзисторы с изолированным затвором. В составе высоковольтных транзисторов входят обратно включенные диоды от выбросов напряжения (обратной полярности).

Задачей преобразователя является сформировать на выходе трехфазное управление, где каждая фаза сдвинута относительно другой на 120° .

Частота коммутации: $0.5 \div 20$ кГц;

Частота модуляции: $0 \div 1000$ Гц.

Выбор частоты коммутации:

Низкая частота, достоинства: малый уровень помех, малый уровень потерь преобразователя.

Низкая частота, недостатки: повышенный шум, вибрация двигателя.

Высокая частота, достоинства: низкий уровень шума, улучшение тепловых и электромеханических показателей двигателя.

Высокая частота, недостатки: высокий уровень помех, потери преобразователя, потери в кабеле.

9. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Исполнительные механизмы — это устройства, механически воздействующие на физические процессы путем преобразования электрических сигналов в требуемое управляющее воздействие. Аналогично датчикам, исполнительные механизмы должны быть подобраны соответствующим образом для каждой задачи. Исполнительные механизмы могут быть бинарными, дискретными или аналоговыми; конкретный тип для каждой задачи выбирается с учетом необходимой выходной мощности и быстродействия.

Будет рассмотрено электромеханическое преобразование энергии с помощью двигателей постоянного тока, асинхронных, синхронных и шаговых двигателей. Многие исполнительные механизмы сами по себе являются системами управления, т. е. включают в себя контуры регулирования своих параметров основе управляющего сигнала от внешней системы управления; некоторые сервомеханизмы, изменяющие скорость и позиционирование, включают в себя и элемент управления этими параметрами. В других случаях контур регулирования может быть реализован управляющим компьютером.

Исполнительное устройство или механизм (actuator) преобразует электрическую энергию в механическую или в физическую величину для воздействия на управляемый процесс. Электродвигатели, управляющие "суставами" промышленного робота, и есть исполнительные механизмы. В химических процессах оконечными управляющими элементами могут быть клапаны, задающие расход реагентов. Следует подчеркнуть, что

исполнительные устройства обычно лишь опосредованно влияют на переменные физических процессов, измеряемые датчиками. Например, датчики измеряют температуру, координаты или химическую концентрацию, а исполнительные устройства управляют подводом тепла, движением или потоками исходных реагентов. И уже от динамики физической системы зависит, как измеряемые величины изменятся из-за управляющих воздействий исполнительных устройств.

В составе исполнительного устройства можно выделить две части (рис. 9.1): преобразователь (transducer) и/или усилитель (amplifier),

силовой преобразователь (converter) и/или исполнительный механизм (actuator). Преобразователь превращает входной сигнал в механическую или физическую величину, например, электромотор преобразует электрическую энергию во вращательное движение. Усилитель изменяет маломощный управляющий сигнал, получаемый от выходного интерфейса компьютера, до значения, способного привести в действие преобразователь. В некоторых случаях усилитель и преобразователь конструктивно составляют одно целое. Таким образом, некоторые оконечные управляющие элементы могут представлять собой самостоятельную систему управления - выходной сигнал компьютера является опорным значением для окончательного управляющего элемента.

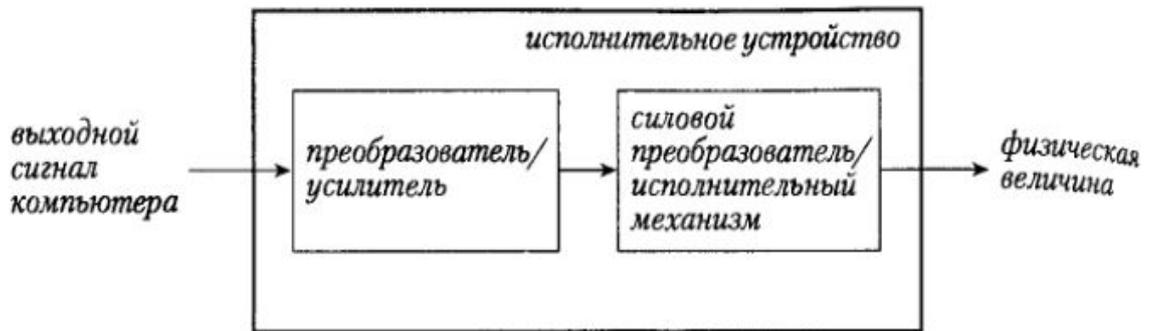


Рис. 9.1. Составные элементы исполнительного устройства

Требования к исполнительным устройствам - потребляемая мощность, разрешающая способность, повторяемость результата, рабочий диапазон и т. д. - могут существенно различаться в зависимости от конкретного приложения. Для успешного управления процессом правильно выбрать исполнительные устройства также важно, как и датчики.

Для перемещения клапанов часто применяется сжатый воздух. Если необходимо развивать значительные усилия, обычно используют гидропривод. Электрический сигнал компьютера должен быть преобразован в давление или расход воздуха или масла. Бинарное управление обеспечивается электромеханическими реле или электронными переключателями.

9.1. Шаговые двигатели

Шаговые двигатели (stepping motors) являются приводными исполнительными механизмами, обеспечивающими фиксированные угловые перемещения (шаги). Каждое изменение угла поворота ротора - это реакция шагового двигателя на входной импульс. Поскольку каждый шаг двигателя соответствует определенному углу поворота ротора, а движение строго задано управляющими импульсами, управлять позиционированием и скоростью вращения очень просто. Это, однако справедливо при допущении, что ни один шаг не был пропущен, т. е. положение ротора полностью определено входными импульсами. В этом случае нет необходимости в обратной связи по углу поворота ротора - разомкнутый контур управления. В условиях переходного процесса при моменте, близком к номинальному, часть импульсов может быть пропущена. Если шаговому двигателю приходится работать в таких условиях, необходимо предусматривать контур обратной связи для компенсации ошибок.

Преимущества шаговых двигателей:

- высокая точность, даже в разомкнутой структуре управления, т. е. без датчика угла поворота;
- естественная интеграция с приложениями цифрового управления;
- отсутствие механических коммутаторов, которые часто создают проблемы в двигателях других типов.

Недостатки шаговых двигателей:

- малый вращающий момент по сравнению с двигателями приводов непрерывного типа;



ограниченная скорость;
высокий уровень вибрации из-за скачкообразного движения;
большие ошибки и колебания при потере импульсов в системах с разомкнутым контуром управления.

Преимущества шаговых двигателей намного превосходят их недостатки, поэтому они часто применяются в тех случаях, когда достаточно небольшой мощности приводных устройств.

9.2. Двигатели постоянного тока

Электрические и механические динамические свойства двигателей постоянного тока были описаны выше (пример 3.3. раздел 3.2.1. и пример 3.5. раздел 3.2.2). Двигатели постоянного тока широко используются в качестве сервомоторов, несмотря на то что в настоящее время все чаще для этого применяются двигатели переменного тока. Основным недостатком двигателей постоянного тока является наличие механического коммутатора (коллектора), который ограничивает как мощность, так и частоту вращения двигателя. Этот недостаток отсутствует у бесщеточных двигателей постоянного тока т.е. двигателей с ротором в виде постоянного магнита, у которых коммутация осуществляется электронным переключением токов статора. Бесщеточный двигатель постоянного тока имеет сходство с шаговым двигателем и некоторыми типами асинхронных двигателей.

Управление двигателем постоянного тока осуществляется регулированием напряжения приложенного к ротору, и иногда, напряжением возбуждения. Применение переменных резисторов, включенных последовательно с источником питания, имеет много недостатков. Резистор рассеивает энергию, причем выделившееся тепло должно быть отведено из-за возможных нежелательных эффектов. Распространенный способ управления напряжением питания - использование твердотельных приборов и ШИМ-управления. Напряжение питания "нарезается" таким образом, что его среднее значение имеет заданный уровень. В качестве переключателей в схемах управления двигателями постоянного тока обычно используются тиристоры.

9.3. Асинхронные и синхронные двигатели

Двигатели переменного тока (a.c. motor), как правило, применяются в тяжелых эксплуатационных условиях, однако они находят все большее распространение в системах промышленного управления, например в качестве сервомоторов. Некоторые преимущества двигателей переменного тока перечислены ниже:

- экономичность;
- надежная и простая конструкция;
- высокая эксплуатационная надежность;
- простое энергопитание;
- отсутствие коммутатора;
- практическое отсутствие дуговых явлений (поскольку нет коммутаторов).

Отрицательными чертами двигателей переменного тока являются более низкий момент начала движения, чем у двигателей постоянного тока, и более сложные цепи управления. Однако преимущества систем привода переменного тока таковы, что они успешно конкурируют с двигателями постоянного тока в роботах, манипуляторах и других промышленных системах силового привода.

Широкое применение двигателей переменного тока в качестве сервомоторов стало возможным по мере развития силовой электроники в сочетании с новыми методами управления. Применение микроэлектроники обеспечивает вполне приемлемое управление частотой питающего напряжения. Вращающий момент двигателя нельзя измерить так же просто, как у двигателей постоянного тока, однако существуют способы его оперативной (on-line) оценки. Из-за жестких временных требований для управления должны использоваться микропроцессоры со специальной архитектурой, обеспечивающей очень



высокую скорость вычислений, - цифровые сигнальные процессоры (Digital Signal Processors - DSP).

У асинхронного (индукционного) двигателя магнитное поле статора не постоянно, в отличие от двигателя постоянного тока. В простейшей (двухполюсной) машине имеются три статорные обмотки, расположенные вокруг статора под углом 120° друг относительно друга. Когда по ним подается трехфазное переменное напряжение, результирующий магнитный поток статора вращается с частотой приложенного напряжения. Поскольку к обмотке ротора не подводится никакого внешнего питания (она короткозамкнута), то нет необходимости в щеточных коммутирующих устройствах.

Вращающееся поле статора пересекает обмотки ротора и индуцирует в них ток. Результирующий поток ротора взаимодействует с вращающимся потоком статора и создает вращающий момент в направлении вращения поля статора. Этот момент и есть рабочий момент двигателя. Из-за потерь на трение ротор не может даже на холостом ходу достичь так называемой синхронной частоты вращения, т. е. точного значения частоты вращения поля статора. Вращающий момент образуется именно из-за разности частот вращения ротора и поля статора. Относительная разность частот вращения называется скольжением ротора (slip)

$$s = \frac{\omega_s - \omega_m}{\omega_s}$$

где ω_s - частота вращения поля статора (синхронная частота), а ω_m — частота вращения ротора. Очевидно, что при $s=0$ вращающий момент равен нулю.

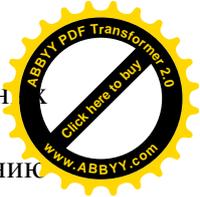
Ротор синхронного двигателя движется синхронно с вращающимся магнитным полем, создаваемым обмотками статора (статор синхронного двигателя в принципе такой как у асинхронного). В отличие от асинхронного, обмотки ротора синхронного двигателя возбуждаются от внешнего источника постоянного тока. Полюса возникающего магнитного поля ротора занимают фиксированное положение относительно вращающегося поля статора и вращаются вместе с ним; следовательно, скорости вращения поля статора и ротора идентичны и скольжение равно нулю. Синхронные двигатели часто используются в тех случаях, когда необходима постоянная скорость вращения при переменной нагрузке. В сочетании с современными преобразователями частоты синхронные двигатели могут работать с переменной скоростью вращения. Большое распространение приобретают синхронные двигатели с постоянными магнитами. Шаговые двигатели можно рассматривать как специальный тип синхронного двигателя.

9.4. Управляющие клапаны

Управляющий клапан (control valve) состоит из тела клиновидной или цилиндрической формы (иногда называется тарелкой), закрепленного на стержне (штоке), который движется вверх и вниз относительно цилиндрического седла. Стержень обычно перемещается под давлением сжатого воздуха на поршень или диафрагму с пружиной. Пружина может либо открывать, либо закрывать клапан в зависимости от того, какое положение требуется в случае прекращения подачи сжатого воздуха. Иногда для управления потоком используется электрический или гидравлический привод. Конструкции тела и седла клапана различаются в зависимости от требований к соотношению между производительностью и потерями напора на клапане, типа жидкости и расхода при разных положениях штока.

Размер клапана обычно выбирают в соответствии с параметрами трубопровода, в котором он устанавливается. Выбор формы клапана и сочетания размеров седла и тела (тарелки) требует оценки следующих факторов.

Потери напора (pressure drop). Большие потери напора на клапане могут затруднить движение штока. Специальная конструкция клапана заставляет поток двигаться в противоположных направлениях через два запирающих элемента, тем самым уравнивая



ды. Необходимость снижения потерь напора может потребовать применения различных типов клапанов, например типа "бабочка" (butterfly valve).

Максимальный расход (maximum flowrate). Это требование сводится к сочетанию максимального расчетного расхода с максимальной зоной управления. Последняя должна в идеале составлять 30-50 % от расчетного расхода. Иногда неопытные специалисты задают эту величину на уровне 10 %, что заметно ухудшает рабочие характеристики.

Управляемость (rangeability). Это отношение расходов при двух различных положениях штока. Оно в основном связано с конструкцией тела и седла и зависимости от потерь напора от расходных характеристик, которые, в свою очередь, связаны характеристиками нагнетающего насоса. Управляемость должна обеспечивать номинальный диапазон расходов с соответствующими зонами управления (желательно 30-50 %) по обе стороны диапазона.

Чувствительность (sensitivity) связана с управляемостью и величиной управляющего воздействия, необходимого для управления с заданной точностью. Иногда большой клапан обеспечивает номинальный расход, а малый, установленный параллельно, обеспечивает необходимую чувствительность.

Линейность (linearity). Желательно, чтобы в контуре управления существовала линейная зависимость между выходами регулятора и датчика, т. е. в цепочке «клапан - процесс - датчик». Если контур управления не обладает линейной зависимостью выходных и входных величин, ее можно обеспечить выбором характеристик клапана, а иногда и датчика. Качество управления при отсутствии линейности и может оказаться низким, или потребуются реализация специальных способов управления.

Гистерезис (hysteresis). Это обычная проблема управляющих клапанов, возникающая из-за процессов сухого трения (прилипания) в месте прилегания запорного элемента клапана к седлу, а также потерь напора на клапане. Как правило, гистерезис является причиной небольших постоянных колебаний в контуре управления, для борьбы с которыми можно применять устройства точного позиционирования клапана. Это специальное устройство управления с большим коэффициентом усиления, которое обеспечивает нужное положение штока клапана. В этом случае управляющий компьютер не осуществляет точного контроля за открытием клапана, а только вырабатывает опорные значения для устройства позиционирования клапана.

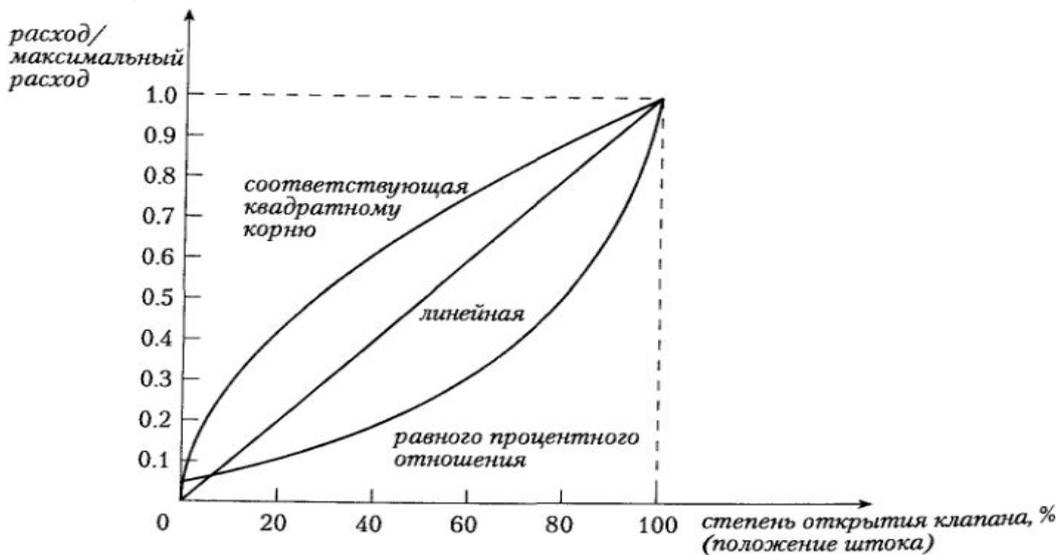


Рис. 9.2. Характеристики клапанов

Управляемость клапана можно определить на основании расчета двух расходов, равных, например, 15 и 85 % от максимального расхода. В этом случае необходим знать функцию $f(x)$, которая характеризует клапан. Клапаны поставляются со следующими характеристиками:

$$f(x) = x \quad - \text{линейная,}$$



$f(x) = \sqrt{x}$ - соответствующая квадратному корню,

$f(x) = A \uparrow (x-1)$ - равно процентного отношения (где конструктивная постоянная

обычно лежит в пределах от 20 до 50).

Эти зависимости показаны на рис. 9.2. Следует отметить, что идеальный клапан равно процентного отношения не закрывается полностью. На практике их проектируют таким образом, чтобы получить линейную характеристику при очень малых открытиях и следовательно, они закрываются полностью.

10. ОБЪЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ

10.1. Классификация промышленных объектов управления

По характеру протекания технологических процессов объекты управления делятся на циклические, непрерывно-циклические и непрерывные. Локальные системы наиболее широко применяются для управления объектами второго и третьего типов.

По характеру установившегося значения выходной величины объекта при действии на его вход ступенчатого сигнала выделяют объекты с самовыравниванием и без самовыравнивания.

По количеству входных и выходных величин и их взаимосвязи объекты делятся на одномерные (один вход и один выход) и многомерные. Последние могут быть многосвязными - когда наблюдается взаимное влияние каналов регулирования друг на друга, либо несвязные - взаимосвязь между каналами которых мала.

Статические характеристики объекта управления устанавливают связь между установившимися значениями входа и выхода объекта. По виду статических характеристик объекты делятся на линейные и нелинейные. В последних статическая характеристика может быть гладкой, линеаризуемой в окрестности заданной точки, либо носить существенно нелинейный характер. При наличии в объекте нескольких нелинейностей, графическим методом определяется его суммарная нелинейная характеристика.

Большинство систем регулирования относятся к классу систем автоматической стабилизации режима работы объекта относительно его рабочей точки (относительно номинального режима работы). В этом случае в процессе работы отклонения переменных, относительно рабочей точки будут малы, что позволяет использовать линейные модели объекта управления. Однако, при смене рабочей точки происходит изменение коэффициента усиления объекта, что будет негативно влиять на динамику замкнутой системы.

Для системы автоматической стабилизации не обязательно определение полной статической характеристики объекта. Достаточно знать лишь динамический коэффициент усиления в окрестности рабочей точки. В тоже время на некоторых объектах управления необходимо знание всей статической характеристики процесса. Если она носит нелинейный характер, то с целью стабилизации общего коэффициента усиления системы, в замкнутый контур включают дополнительную нелинейность, обратную статической характеристике объекта. На практике такой подход реализуется путем использования регулирующих клапанов с различными видами расходной характеристики. Реальные объекты занимают в пространстве какой-либо объем, поэтому регулируемая величина зависит не только от времени, но и от текущих координат точки измерения. Поэтому полное описание объекта управления будет состоять из системы дифференциальных уравнений с частными производными. При использовании точечного метода измерения одним датчиком, система дифференциальных уравнений с частными производными переходит в систему уравнений с обычными производными. Это существенно упрощает построение математической модели объекта, позволяя определить его передаточную функцию. Однако при наличии множества датчиков, распределенных например по длине объекта, может возникнуть необходимость использования множества управляющих сигналов (распределенное управление).

Объекты могут быть как стационарные и так и нестационарные. В нестационарных объектах параметры изменяются с течением времени (дрейфуют). Примерами таких объектов могут быть химический реактор с катализатором, активность которого падает с



тением времени, или аэрокосмический аппарат, масса которого по мере выгорания топлива уменьшается. Такие явления должны учитываться при проектировании соответствующих систем управления.

В зависимости от интенсивности случайных возмущений действующих на объект, они делятся на стохастические и детерминированные. В реальных условиях часто точно неизвестны ни точка приложения возмущения F , ни его характер (Рис. 10.1).

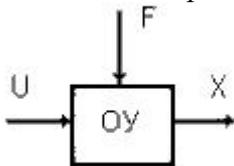


Рис. 10.1. Внешние возмущения в объектах управления.

Известно, что лишь при наличии достаточно точной математической модели объекта можно спроектировать высококачественную систему управления этим объектом. Причем, согласно принципу Эшби, сложность управляющего устройства должна быть не ниже сложности объекта управления. Поэтому основной целью построения математической модели объекта управления является определение структуры объекта, его статических и динамических характеристик. Особенно важно определение структуры для многомерных и многосвязных объектов управления. В тоже время для локальных объектов управления определение структуры может быть сведено к определению порядка дифференциального уравнения описывающего объект. Кроме того, оцениваются входные сигналы и возмущения, действующие на объект (их статистические характеристики, точки приложения, максимальные амплитуды). Значение этих характеристик позволяет выбрать структуру регулятора и рассчитать параметры его настройки, ориентируясь также на критерий качества работы этой системы. Наряду с динамической частью $W(p)$ в структуре объекта могут содержаться различные запаздывания в сигналах управления, измерения и состояния (рецикла) (Рис. 10.2).

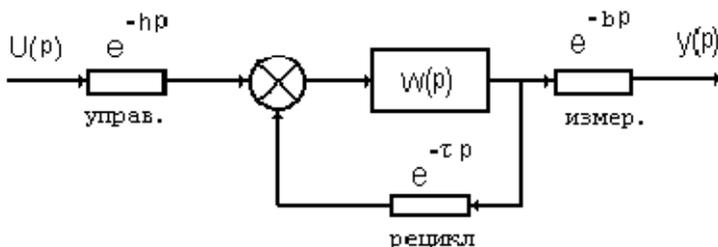


Рис. 10.2. Объект управления с запаздыванием.

В промышленных объектах под рециклом понимается возврат части продукта с выхода объекта на его вход с целью повторной переработки. Большинство промышленных объектов управления имеют запаздывания. Наличие запаздывания объясняется конечной скоростью распространения потоков информации в технологических объектах (транспортное запаздывание). Наряду с этим при понижении порядка модели объекта вводят дополнительное динамическое запаздывание. Для этого выделяют одну наибольшую постоянную времени, а все остальные малые постоянные времени заменяют звеном динамического запаздывания.

10.2. Методы получения математического описания

Существуют аналитические, экспериментальные и комбинированные методы получения математического описания объектов управления.

Аналитические методы базируются на использовании уравнений описывающих физико-химические и энергетические процессы, протекающие в исследуемом объекте управления. Это, например, законы сохранения вещества и энергии (уравнения материального баланса). В настоящее время для многих классов объектов управления



получены их математические модели. В частности, для аэрокосмических объектов (ракеты, самолеты, вертолеты), для технологических объектов (химические реакторы), для энергетических процессов (ядерные реакторы, паровые турбины, генераторы, двигатели). При получении таких описаний обычно оперируют с дифференциальными уравнениями в частных производных, т.к. переменные изменяются как во времени, так и в пространстве.

Экспериментальные методы предполагают проведение серии экспериментов на реальном объекте управления. Обработав результаты экспериментов, оценивают параметры динамической модели объекта, задавшись предварительно ее структурой.

Наиболее эффективными оказываются комбинированные методы построения математической модели объекта, когда, используя аналитически полученную структуру объекта, ее параметры определяют в ходе натуральных экспериментов.

Рекомендуемая литература

1. И.А. Елизаров, Ю.Ф. Мартемьянов, А.Г. Схиртладзе, С.В. Фролов, Технические средства автоматизации. Программно-технические комплексы и контроллеры: Учебное пособие. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2004. 180 с.
2. Коновалов Л.И., Петелин Д.П. Элементы и системы электроавтоматики. -М.: Высшая школа, 1985. – 10 экз.
3. Королев Г.В. Электронные устройства автоматики.- М.: Высшая школа, 1991. - 22 экз.
4. Родионов В.Д., Терехов В.А., Яковлев В.Б. Технические средства АСУ ТП.-М.: Высшая школа, 1989. - 12 экз.
5. Густав Олссон, Джангуидо Пиани, Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб.: Невский диалект, 2001. -557с.: ил.
6. Справочник по средствам автоматики. Под ред. В.Э. НIZE и И.В.Антика.-М.:Энергоиздат, 1983.
7. Андреев А.А. Автоматические электронные показывающие, регистрирующие и регулирующие приборы.- Л.: Машиностроение, 1981.
8. Прокунцев А.Ф., Юмаев Р.М. Преобразование и обработка информации с датчиков физических величин.-М.: Машиностроение,1992.
9. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника.-М.: Энергоиздат, 1983.
10. Контроллеры малоканальные многофункциональные регулирующие микропроцессорные ремиконты Р-130. Техническое описание. 2Яа.399.550ТО, ТО-1, ТО-2 (книги).
11. Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник\ под общ. ред. Черенкова В.А.- Л.: Машиностроение, 1987.
12. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования. Под ред. Ключева С.А. -М.: Энергоиздат, 1989.
13. Лейтман М.Б. Нормирующие измерительные преобразователи электрических сигналов. М.: Энергоатомиздат, 1986.