А. Н. АЛЕКСАНДРОВСКАЯ

АВТОМАТИКА

Учебник

Рекомендовано
Федеральным государственным учреждением
«Федеральный институт развития образования»
в качестве учебника для использования в учебном
процессе образовательных учреждений, реализующих
программы среднего профессионального образования
по специальности «Техническая эксплуатация и обслуживание
электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)»

Регистрационный номер рецензии 435 от 28 ноября 2010 г. ФГУ «ФИРО»

3-е издание, стереотипное

ACADEMIA
Москва
Издательский центр «Академия»
2014

УДК 681.5(075.32)
ББК 32.965я723
А467

Рецензенты:
зам. директора по учебно-экспериментальной и научно-исследовательской работе ГОУ СПО «Московский политехнический колледж»,
преподаватель высшей категории, канд. техн. наук *С.А.Петрова*

Александровская А.Н.

А467 Автоматика: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А.Н.Александровская. — 3-е изд., стер — М. : «Издательский центр «Академия», 2014. — 256 с.

ISBN 978-5-4468-0826-7

Учебник может быть использован при освоении профессионального модуля ПМ.01 «Организация технического обслуживания и ремонта электрического и электромеханического оборудования (МДК.01.01-01.04)» по специальности 140448 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования».

Приведены сведения о роли автоматики в современной технике и технологии, показаны тенденции развития и социально-экономические аспекты автоматизации производства. Рассмотрены общие характеристики и принципы действия основных элементов автоматики. Подробно описаны различные системы автоматики и телемеханики. Изложены основы автоматизации различных технологических процессов и функционирования различного электрического и электромеханического оборудования. Показано применение цифровых систем, использующих ЭВМ в автоматических манипуляторах, а также в системах телемеханики и передачи данных. Особое внимание уделено конструкциям промышленных роботов и применению робототехнических систем.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 681.5(075.32)
ББК 32.965я723

Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия правообладателя запрещается

ISBN 978-5-4468-0826-7

© Александровская А.Н., 2011
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2011
© Оформление. Издательский центр «академия», 2011

Введение

Современный уровень развития науки и техники стал возможен благодаря отвоевыванию у природы все большего количества тайн устройства окружающего нас мира. Потребности развития сначала продовольственной базы, а затем и других отраслей хозяйства привели к созданию механизмов и машин, облегчающих труд человека.

Первоначально единственной управляющей системой этих механизмов и машин являлся сам человек, который направлял их работу в нужном ему направлении и контролировал достигнутые результаты. При этом ему приходилось выполнять много рутинных операций, которые быстро его утомляли и приводили к срыву выполнения заданий производства. Возникла необходимость автоматизации этих рутинных операций, а значит и необходимость познания закономерностей процессов управления. В результате их познания и появились «умные» машины и агрегаты, называемые *автоматами*, а наука о создании таких автоматов получила название *автоматика*.

Создание автоматических устройств требует развития всех элементов, входящих в состав этой автоматизированной системы управления:

- датчиков состояния окружающей среды и происходящих процессов;
- приборов, вырабатывающих управляющее воздействие;
- исполнительных элементов, реализующих управляющее воздействие.

В зависимости от назначения автоматизированные системы управления имеют дело с микро- и макромиром. Соответственно и датчики должны отражать явления, происходящие в этих мирах.

В настоящее время начали стремительно развиваться нанотехнологии, позволяющие значительно повысить качество и возможности создаваемой техники. Технологические процессы в этом случае имеют дело с манипуляциями молекулами и атомами, расставляя их в нужные места для получения необходимых свойств материалов, из

которых создаются новые машины и аппараты. Датчики таких автоматических систем должны различать молекулы различных веществ и чувствовать состояние составляющих их атомов.

В макромире датчики, как правило, измеряют температуру, давление и влажность окружающей среды, состав окружающих газов и жидкостей, размеры и свойства различных твердых тел.

Процесс познания природы человеком идет непрерывно, и каждый новый уровень этого познания требует создания все более совершенных датчиков. Некоторые датчики необходимы для работы в условиях, недоступных или вредных для существования человека. Например, прежде чем отправить человека в космос, необходимо изучить условия, в которых будет находиться человек. Эту задачу решают автоматические межпланетные станции, снабженные соответствующими датчиками и системами передачи данных на Землю.

Управляющие элементы автоматических систем за последнее время претерпели значительное изменение : от механических и аналоговых вычислителей до цифровых высокоскоростных вычислительных машин, способных с большой точностью и в реальном масштабе времени моделировать требуемые технологические процессы. Стало возможным создание виртуальных объектов управления, например тренажеров для обучения летчиков и космонавтов.

Прогресс в области промышленной электроники, электромагнитной техники предопределил пути развития электроавтоматики. В сочетании с вычислительной техникой и современными достижениями в теории автоматического управления стало возможным создание автоматизированных систем управления предприятиями (АСУП), отраслями (ОАСУ), широкое применение промышленных роботов и гибких автоматизированных производственных систем.

Исполнительные элементы автоматических систем управления (электродвигатели, сельсины, контакторы, гидравлические системы и т. д.) за последние 20 лет также претерпели значительные изменения. Электродвигатели и сельсины становятся малоэнергоемкими и высокоточными, контакторы заменяются сильноточными транзисторами и микросхемами. Появление сверхпроводимых материалов, работающих при обычных температурах и давлениях, приводит к дальнейшим коренным изменениям в конструкциях исполнительных механизмов автоматов.

В развитие автоматики вложен труд многих отечественных и зарубежных ученых.

С именем М. В. Ломоносова связано начало развития приборостроения. Он вместе с академиком Г. В. Рихманом впервые в мире

построил электрический измерительный прибор со шкалой. М. В. Ломоносов доказал, что «электричество взвешено быть может».

Автоматический регулятор, принцип действия которого лежит в основе всех современных регуляторов, был разработан и испытан в 1765 г. И. И. Ползуновым.

Академик Б. С. Якоби создал электродвигатель и синхронную передачу (1834 г.). В 1874 г. В. Н. Чиколевым был разработан электрический регулятор со следящей системой. Профессор Петербургского технологического института И. А. Вышнеградский в 1877 г. заложил основы теории автоматического регулирования.

Создание автоматических участков, цехов и заводов с широким использованием ЭВМ, автоматических систем управления производством, систем управления качеством, гибких роботизированных комплексов привело к комплексной автоматизации производственных процессов.

Интенсивное развитие автоматики вызвало необходимость выделения ее в самостоятельную область науки и техники. Это было осуществлено в 1930 г. на Второй международной энергетической конференции.

Каким бы коренным изменениям не подвергались элементы автоматических систем, основным управляющим звеном систем управления всегда был и остается человек. Автоматы лишь позволяют ему легче, быстрее и точнее добиваться поставленных целей. В производственных процессах участие человека минимально, но контроль правильности работы автоматов все равно остается за ним.

Чем сложнее автоматическое устройство, тем образованнее должны быть специалисты, контролирующие его работу. Если человек не понимает, как работает автомат, он не сможет принять правильного решения в случае появления сбоев в его работе.

В России теоретическим и практическим вопросам автоматики придается большое значение. Создан ряд научно-исследовательских институтов в составе Российской академии наук (РАН), разрабатывающих теоретические и прикладные вопросы автоматики, а также институты, конструкторские бюро и объединения в составе отраслей промышленности, разрабатывающих прикладные вопросы автоматизации производства.

Все большее применение находит автоматика на коммунально-бытовых предприятиях и объектах жилищно-гражданского строительства. Полностью автоматизированы различного назначения насосные станции и тепловые пункты, широкое распространение получила объединенная диспетчерская служба (ОДС), контролирую-

щая состояние инженерного оборудования зданий и работу лифтов.

Область применения автоматизации и механизации безгранична. Автоматика постепенно охватывает все отрасли хозяйства.

Глава 1

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ПРОЦЕСС КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ АВТОМАТИКИ

Автоматика — отрасль науки и техники об управлении и контроле протекания различных процессов, действующих без непосредственного участия человека.

Автоматика является одним из разделов кибернетики — науки об общих законах управления как в живой, так и неживой природе. *Управление* — это процесс воздействия на объект с целью привести его в желаемое состояние или положение.

Задачей автоматики как науки является разработка принципов и средств, необходимых для управления техническими объектами без участия человека. Технический объект (станок, двигатель, летательный аппарат, поточная линия, цех, завод и т. д.), нуждающийся для успешного взаимодействия с другими объектами (внешней средой) в специально организованном *управляющем воздействии*, называется *объектом управления* (*ОУ*).

Целенаправленное воздействие на объект управления возможно при выполнении следующих условий:

- наличия правил, позволяющих добиваться поставленной цели управления в различных ситуациях, т. е. *алгоритма управления*;
- существования *автоматического управляющего устройства* (*АУУ*), способного создавать в соответствии с алгоритмом управляющее воздействие.

Совокупность объекта управления и автоматического управляющего устройства, взаимодействие которых приводит к выполнению поставленной цели управления, называется *системой автоматического управления* (*САУ*).

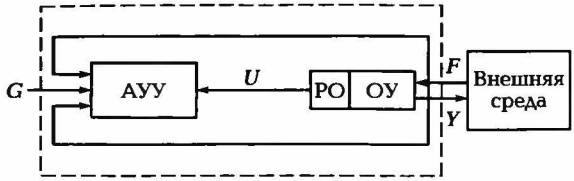


Рис. 1.1. Структурная схема САУ

В общем виде САУ и ее взаимодействие с внешней средой можно представить в виде структурной схемы, показанной на рис. 1.1. Объект управления создает воздействие *Y* на внешнюю среду. Воздействие *Y* характеризует желаемое состояние или положение ОУ и называется *управляемой величиной*. Информация о действительном (текущем) значении управляемой величины *Y* в большинстве САУ используется для выработки управляющего воздействия *U* на ОУ, поэтому информация о *Y* вводится в АУУ. Воздействие ОУ на внешнюю среду может осуществляться комплексно (одновременно по нескольким параметрам). В этом случае оно будет векторной величиной *Y*.

Со стороны внешней среды на ОУ действует *возмущающее воздействие F*, нарушающее нормальную работу объекта и затрудняющее достижение поставленной цели управления. В некоторых САУ информация о возмущающем воздействии *F* используется в АУУ для выработки управляющего воздействия *U*.

На вход АУУ подается *задающее воздействие G*, содержащее информацию о цели управления, т. е. о предписанном (заданном) значении *Y*. Воздействия *U*, *G*, *F*, так же как и *Y*, в общем случае могут быть векторными. В показанной на рис. 1.1 схеме САУ управляющее воздействие *U* вырабатывается в результате переработки информации об управляемой величине *Y*, задающем воздействии *G* и возмущающем воздействии *F*. Возможно построение САУ, использующих только часть информации. Существуют САУ, управляющие только по задающему воздействию *G*, представляющему в этом случае команды программы. Такое управление называется *жестким*, так как при этом не учитываются действительные значения управляемой величины *Y* и возмущающего воздействия *F* (параметры САУ и значение *F* считаются постоянными). Подобные САУ дают удовлетворительное качество управления лишь при высокой стабильности параметров САУ и внешней среды и при невысоких требованиях к точности. По структуре эти САУ являются *разомкнутыми*, так как не имеют обратной связи по управляемому параметру *Y* и не образуют *замкнутого контура управления*. Существуют разомкнутые САУ, управляющие только по возмущающему воздействию *F* или по двум воздействиям: задающему *G* и возмущающему *F*.

Более высокое качество управления позволяют получить *замкнутые* САУ, в которых используется информация об управляемой величине *Y* и задающем воздействии *G*. Управляющее воздействие *U* в этих САУ вырабатывается в зависимости от отклонения *Y* от значения *G* и независимо от причин, вызвавших это отклонение. Такое управление может быть названо *гибким*, так как при этом учитывается действительное состояние ОУ. Информация об *Y* передается в АУУ, образуя *контур главной обратной связи* (сигнал с выхода системы подается на вход).

Системы автоматического управления, в которых используется информация одновременно о трех воздействиях: *G*, *Y* и *F*, называются *комбинированными*. Комбинированные САУ имеют более высокое качество управления, чем системы, работающие только по отклонению, так как информация о значении возмущающего воздействия *F* позволяет АУУ работать с предвидением, т. е. начинать компенсацию внешнего возмущения, нарушающего нормальную работу ОУ, раньше, чем возникнет достаточно большое отклонение.

Еще более совершенными по качеству управления являются *адаптивные* САУ. Они обладают способностью приспосабливаться к изменению внешних условий работы, улучшать свою работу по мере накопления опыта. Адаптивные САУ используются для управления объектами, информация о которых не является полной либо недостаточно достоверна, а взаимодействие ОУ с внешней средой неоднозначно или мало изучено.

Автоматическое управляющее устройство состоит из отдельных *элементов*, соединенных определенным образом для выработки управляющего воздействия *U*. Элемент является функционально обособленной составной частью АУУ, выполняющей часть общей задачи по переработке информации. Элементы систем автоматики отличаются однонаправленностью потока информации со входа на выход. В энергетическом отношении каждый элемент является преобразователем энергии.

В сложных САУ (система управления посадкой самолета, система управления адаптивным роботом-манипулятором и т. д.) информация о действительном значении управляемой величины вводится в вычислительное устройство (ВУ). Это устройство должно воспринимать информацию от нескольких датчиков, находить оптимальное сочетание параметров и вырабатывать одновременно несколько управляющих воздействий. В этом случае в качестве ВУ используются микропроцессоры, микроЭВМ и мини-ЭВМ, управляющие цифровые вычислительные машины [ЦВМ] и т. д. Комплексная автомати-

зация производства, создание автоматизированных систем управления производством (АСУП) возможны только на основе ЭВМ.

Создание систем *гибкого автоматизированного производства* (ГАП) требует применения целых вычислительных комплексов, так как в единый процесс включаются все этапы создания нового изделия: проектирование, технологическая подготовка производства, изготовление и контроль, автоматическое управление вспомогательными операциями (складирование, транспортировка и т. д.).

1.2. ПОНЯТИЕ ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

В развитом обществе автоматизация производства закономерна. Она является одним из средств уничтожения существенного различия между умственным и физическим трудом.

Средства автоматики и телемеханики заменяют труд человека при контроле производственных процессов и управлении ими. Рассмотрим пример поддержания постоянной заданной температуры в помещении. Для выполнения этой задачи без применения автоматики, человек должен, во-первых, наблюдать за показаниями термометра, во-вторых, сравнивать эти показания с заданной температурой и, в-третьих, в случае разности между заданной и наблюдаемой величинами изменять температуру нагревателя таким образом, чтобы эта разность стала равной нулю. Таким образом, человек выполняет здесь следующие функции:

- контроль температуры;
- сравнение ее с заданным значением;
- управление температурой. Автоматическое устройство призвано заменить утомительный труд человека по постоянному наблюдению и регулированию температуры. Поэтому структура его выглядит так, как это представлено на рис. 1.2.

Датчик (измерительный орган) измеряет величину, подлежащую регулированию в данном объекте, и преобразует ее в величину другого вида, более удобную для воздействия на управляющий орган. Управляющий орган воспринимает это воздействие, сравнивая его с заданным значением величины, и при наличии расхождения передает соответствующее воздействие на исполнительный орган, который и восстанавливает заданное значение регулируемой величины.



Рис. 1.2. Структура системы автоматического регулирования

В приведенном примере при неавтоматическом регулировании объектом является комната, регулируемой величиной — температура, датчиком — термометр, исполнительным органом — нагреватель, а функцию управляющего органа выполняет человек.

Автоматизация — процесс, при котором функции управления и контроля осуществляются методами и средствами автоматики. Она характеризует освобождение человека от непосредственного выполнения функций управления производственными процессами и передачей этих функций автоматическим устройствам.

Техническая направленность автоматизации позволяет организовать технологические процессы с такой скоростью, точностью, надежностью и экономичностью, которые человек обеспечить не может.

Экономическая направленность позволяет получить сравнительно быструю окупаемость первоначальных затрат за счет снижения эксплуатационных расходов и повышения объема и качества выпускаемой продукции.

Социальная направленность позволяет изменить характер и улучшить условия труда человека.

1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПО ВЫПОЛНЯЕМЫМ ФУНКЦИЯМ

По степени автоматизации производства различают частичную, комплексную и полную автоматизацию.

Частичная автоматизация — это автоматическое выполнение отдельных производственных операций, осуществляемое в тех случаях, когда определенные производственные процессы вследствие своей сложности или быстродействия невыполнимы для человека.

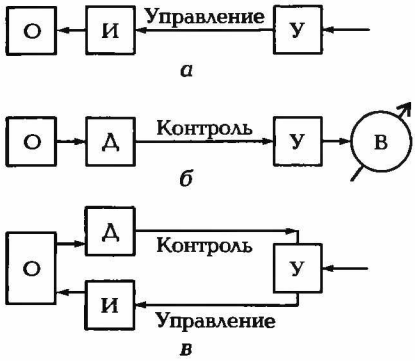


Рис. 1.3. Системы автоматики:
а — система автоматического управления (разомкнутая); *б* — система автоматического контроля; *в* — система автоматического регулирования (замкнутая система автоматического управления); О — объект; Д — датчик; У — управляющий орган; И — исполнительный орган; В — воспроизводящий орган

Функции человека сводятся к участию в производственных операциях, контроле и управлении.

Комплексная автоматизация — это автоматическое выполнение всех производственных операций участка, цеха, завода, электростанции и других объектов как единого взаимосвязанного комплекса. Функции человека при комплексной автоматизации ограничиваются контролем и общим управлением. При комплексной автоматизации отдельные автоматические регуляторы и программные устройства должны быть связаны между собой и образовывать единую систему управления.

Полная автоматизация — высшая ступень, при которой автоматизируются все основные и вспомогательные участки производства, включая систему управления и контроля. Управление и контроль автоматизируются с помощью вычислительных машин или специализированных автоматических устройств. Функции человека при полной автоматизации сводятся к наблюдению за работой оборудования и устранению возникающих неисправностей.

В зависимости от выполняемых функций автоматизация классифицируется таким образом, как это представлено на рис. 1.3: управление, контроль, сигнализация, блокировка, защита, регулирование.

Управление — это совокупность действий, направленных на поддержание функционирования объекта в соответствии с заданной программой, выполняемых на основе определенной информации о значениях параметров управляемого процесса.

Любой процесс управления в каждый момент времени характеризуется одним или несколькими показателями, которые отражают физическое состояние управляемого объекта (температура, скорость, давление, электрическое напряжение, ток, электромагнитное поле и т. д.). Эти показатели могут изменяться или оставаться посто-

янными при изменении внешних условий и режимов работы управляемого устройства. Такие показатели называются параметрами управляемого процесса. С точки зрения автоматизации производства управление подразделяется на автоматическое и полуавтоматическое.

При *автоматическом* управлении подача команд на управляемый объект осуществляется от специальных устройств либо по заданной программе, либо на основании информации контролируемых параметров.

При *полуавтоматическом* управлении контроль работы управляемого объекта и подача команд осуществляются частично оператором. Полуавтоматическое управление может быть местным и дистанционным. При местном управлении аппараты управления и контроля размещаются рядом с объектом, при дистанционном — на любом расстоянии от объекта.

Автоматический контроль — автоматическое получение и обработка информации о значениях контролируемых параметров объекта с целью выявления необходимости управляющего воздействия. Автоматический контроль можно рассматривать как составную часть автоматического управления.

Контроль может быть непрерывным и дискретным, местным и дистанционным.

Непрерывный контроль — это контроль, при котором контролируемые параметры постоянно сопоставляются с заданными значениями.

Дискретный контроль — это контроль, при котором сопоставление параметров осуществляется периодически.

Местный контроль — это контроль, при котором наблюдение за состоянием параметров осуществляется непосредственно у объекта, при *дистанционном* контроле наблюдение за состоянием параметров осуществляется на расстоянии от объекта.

Сигнализация — это преобразование информации о функционировании контролируемого объекта (о значении характерных параметров) в условный сигнал, понятный дежурному или обслуживающему персоналу.

Сигнализация подразделяется на технологическую и аварийную.

Технологическая сигнализация извещает персонал о ходе процесса при возможных допустимых отклонениях контролируемых параметров. Извещение может быть в виде световых сигналов (загорание или мигание ламп, табло, и т. д.), а также сочетания световых и звуковых сигналов.

Аварийная сигнализация извещает об отклонениях контролируемых параметров технологического процесса за допустимые пределы и необходимость вмешательства персонала. Обычно она выполняется в виде световых и звуковых сигналов.

Блокировка — это фиксация механизмов, устройств в определенном состоянии в процессе их работы. Блокировка позволяет сохранить механизм, устройство в фиксированном положении после получения внешнего воздействия. Блокировка повышает безопасность обслуживания и надежность работы оборудования, обеспечивает требуемую последовательность включения механизмов, устройств, а также ограничивает перемещение механизмов в пределах рабочей зоны.

Автоматическая защита — это совокупность методов и средств, прекращающих процесс при возникновении отклонений за допустимые значения контролируемых параметров. В ряде случаев устройства защиты одновременно выполняют функции управления.

Автоматическое регулирование — это автоматическое обеспечение заданных значений параметров, определяющих требуемое протекание управляемого процесса в соответствии с установленной программой. Автоматическое регулирование можно рассматривать как составную часть автоматического управления.

Параметры управляемого процесса, подлежащие заданным изменениям или стабилизации, называются регулируемыми параметрами.

Устройство, которое обеспечивает автоматическое поддержание заданного значения, регулируемого в управляемом объекте, или его изменения по определенному закону, называется *регулятором*.

Совокупность объекта регулирования и автоматического регулятора называется системой автоматического регулирования (САР).

В системе автоматического регулирования различают прямую и обратную связь.

Прямая связь — это воздействие каждого предыдущего элемента регулятора на последующий.

Обратная связь — это воздействие одного из последующих элементов регулятора на предыдущий.

Обратная связь может быть положительной и отрицательной. При положительной связи — направление ее воздействия совпадает с направлением воздействия предыдущего элемента на последующий, а при отрицательной — в противоположном направлении.

1.4. ПОНЯТИЕ О ТЕЛЕМЕХАНИКЕ

Если в системе автоматики расстояние между объектом контроля и регулирования и пунктом управления становится таким большим, что необходимо применять специальные технические средства, то системы автоматики преобразуются в системы телемеханики.

Телемеханика — это отрасль технических наук, исследующая комплекс вопросов, связанных с управлением на расстоянии и контролем состояния подвижных и неподвижных объектов. Приставка происходит от греческого слова «теле» (далеко) и характеризует передачу сигналов на расстояние.

Развитие производства и его автоматизация выявили необходимость передачи на расстояние сигналов, связанных с функциями контроля и управления, и термин «телемеханика» был присвоен технике передачи именно этих сигналов. Телемеханика неразрывно связана с автоматикой и является ее продолжением на более высокой ступени развития. Развитие энергосистем, связывающих вместе ряд электростанций и подстанций, разделенных расстояниями в тысячи километров, невозможно без средств телемеханики, приведенных на рис. 1.4.

С развитием радиорелейных линий связи исключительно важное значение приобретают системы радиотелеуправления и радиотелеконтроля. Весьма эффективно применение телемеханики в коммунальном хозяйстве. Водопровод, канализация, газификация, тепло-

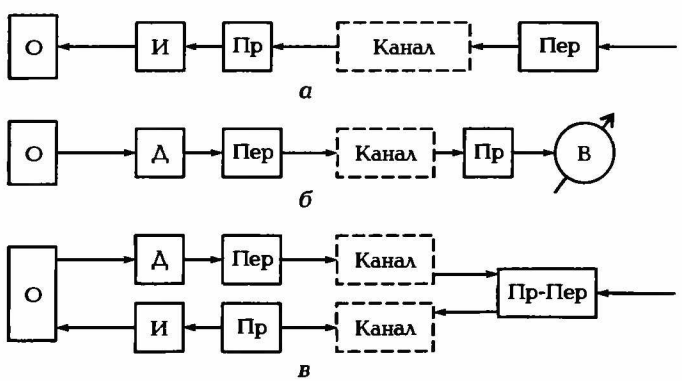


Рис. 1.4. Средства телемеханики:

а — система телеуправления (разомкнутая); *б* — система телеконтроля; *в* — система телерегулирования (замкнутая система телеуправления); О — объект; Д — датчик; И — исполнительный орган; Пр — приемник; Пер — передатчик; Пр-Пер — приемно-передающее устройство; В — воспроизводящий орган

снабжение, городской транспорт, наружное освещение — все эти объекты городов, оборудованные телемеханическими устройствами, — дают большую экономию и повышают оперативность в работе.

К основным понятиям телемеханики относятся:

- телемеханическая система;
- телеуправление;
- телеконтроль;
- канал связи.

Телемеханической системой называется система, обеспечивающая управление на расстоянии и контроль состояния подвижных и неподвижных объектов. Телемеханическая система состоит из двух основных частей: системы телеуправления и системы телеконтроля.

Система *телеуправления* представляет собой совокупность устройств, обеспечивающих передачу на расстояние различных команд путем посылки специальных сигналов, которые в месте их приема преобразуются в необходимые воздействия на различные цепи управляемых объектов.

Система *телеконтроля* осуществляет передачу на расстояние и прием информации о состоянии объекта или происходящих в нем процессах путем посылки специальных сигналов от этого объекта на пункт приема информации. Передача сигналов на расстояние в системах телеуправления и телеконтроля производится по каналам связи.

Канал связи образуется устройством, передающим информацию (энергию), устройством, воспринимающим эту информацию, и физической средой, через которую происходит передача данного вида энергии (информации).

В зависимости от вида энергии, передаваемой на расстояние, и диапазона частот используемых колебаний различают каналы связи:

- электрические;
- оптические;
- акустические.

По своей конструкции каналы связи подразделяются на проводной и радиоканал.

Проводной канал связи образуется двумя проводами или системой провод — земля.

Радиоканал связи образуется путем использования радиопередающего устройства, работающего на определенной несущей частоте, и радиоприемного устройства, настроенного на ту же несущую

частоту. В радиоканале связи для передачи информации используется модуляция одного из параметров несущей частоты — амплитуды, частоты, фазы — или нескольких параметров одновременно.

Модуляция — это преобразование электрических сигналов, несущих определенную информацию, в изменение параметров колебательного процесса высокой частоты. Модуляция осуществляется в передающем устройстве. В приемном устройстве высокочастотные колебания демодулируются.

Пропускная способность канала связи определяется объемом информации, передаваемой в единицу времени, и зависит от полосы пропускаемых частот и соотношения мощностей сигнала и помехи на входе приемного устройства.

1.5. ПОНЯТИЕ О КИБЕРНЕТИКЕ

Кибернетикой называют науку об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в машинах, живых организмах и их объединениях. Термин «кибернетика» происходит от греческого слова «кибернетес», что означает рулевой.

Современная кибернетика объединяет ряд самостоятельных научных направлений, например:

- теория информации;
- теория программирования;
- теория систем управления.

Теория информации изучает способы восприятия, преобразования и передачи информации. Информация передается и воспринимается с помощью сигналов — физических процессов, у которых определенные параметры находятся в соответствии с передаваемой информацией. Установление такого соответствия называется *кодированием*. Кодирование — это основной способ передачи информации различного содержания по каналу, когда имеются помехи или когда система содержит цифровое вычислительное устройство.

Теория программирования занимается изучением и разработкой методов переработки и использования информации для управления. Информационный метод позволяет программировать работу любой системы управления путем переработки информации по определенному правилу, называемому алгоритмом.

Теория систем управления изучает структуру и принципы построения таких систем, их связи с другими управляемыми системами и с возможной реакцией на внешнее воздействие.

1.6. ПОНЯТИЕ ОБ ИНФОРМАЦИИ

Термин «информация» происходит от лат. information, что означает разъяснение, изложение. Информация несет в себе широкое понятие и используется для объяснения сущности разнообразных явлений и процессов. В жизни человека информация всегда играла важную роль, однако с середины XX в. в результате социального прогресса и стремительного развитии науки и техники роль информации значительно выросла. Сейчас понятие информации предусматривает обмен сведениями между человеком и человеком, человеком и автоматом, автоматом и автоматом. Широкое использование информации вызвало необходимость в ее исследовании, что привело к созданию теории информации — самостоятельного раздела кибернетики, и разработке математического аппарата, отражающего основные свойства информации. Определилась и получила всеобщее признание количественная мера информации. За единицу информации принимается количество информации, содержащееся в случайной величине, принимающей с равной вероятностью два различных значения (например, 0 и 1). Эта единица информации называется двоичной единицей и носит наименование «бит» (сокращение bit от англ. binary digit — двоичная цифра).

Измерение информации в двоичных единицах особенно удобно для применения в различных областях техники, так как в системах, хранящих и перерабатывающих информацию, проще всего оперировать величинами, выраженными в двоичной системе счисления, а одна двоичная единица есть как раз количество информации, необходимое для указания одной двоичной цифры. Информация, представленная в двоичных единицах, нашла широкое применение

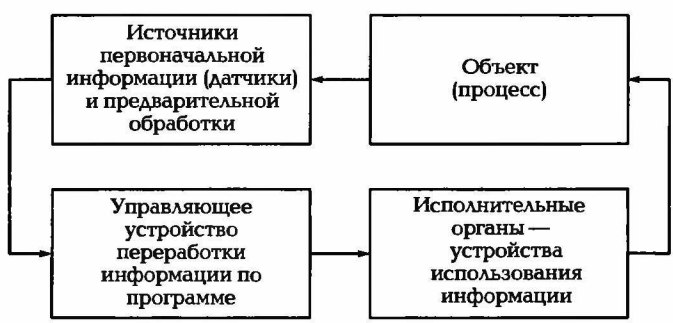


Рис. 1.5. Последовательность передачи информации в системе автоматического управления

в различных областях техники: в связи, вычислительных машинах, системах управления технологическими процессами.

Управление технологическими процессами (объектом) основывается на информации о параметрах, которые их характеризуют (давление, температура, скорость и т. д.), значения этих параметров заранее неизвестны и непостоянны во времени. Информация о параметрах собирается с помощью датчиков и передается непосредственно или после некоторой обработки в управляющее устройство, вырабатывающее команды на основании программы управления, которые воздействуют на объект управления через исполнительные органы. Между блоками, приведенными в структурной схеме автоматического управления (рис. 1.5), а также внутри каждого из блоков происходит процесс передачи информации.

Таким образом, в системе автоматического управления могут происходить процессы сбора, передачи, обработки и хранения информации. Информация может быть дискретной или непрерывной.

Дискретность (прерывистость) информации, как правило, связана с характером отдельных параметров процесса (например, двигатель включен или выключен), либо с необходимостью иметь грубое представление о том или ином параметре (например, «напряжение в пределах нормы» и «за пределами нормы»).

Непрерывное получение и передача информации, различной по характеру и объему, диктуется требованиями управляемого процесса и определяется возможностью ее передачи, т. е. пропускной способностью канала связи.

Для передачи информации по каналу связи ее следует преобразовать в условные сигналы (систему символов) — *код*. Однако даже кодируемая информация может быть искажена помехами, наводимыми в канале связи. Для исключения этого явления строят помехоустойчивый код путем введения в него проверочных сигналов.

В автоматическом управлении передаваемая информация кодируется посредством набора комбинаций из электрических импульсов и пауз между ними, что эквивалентно изображению значений кодируемой непрерывной величины в виде двоичных чисел. Типичным примером такого кода является код Морзе. В коде Морзе для обозначения букв, цифр, знаков препинания и различных специальных сигналов используют комбинацию электрических импульсов и пауз между ними (точек и тире). Кодовому символу «точка» (•) соответствует сигнал из импульса тока и паузы одинаковой длительности; кодовому символу «тире» (—) соответствует сигнал из импульса тока тройной длительности и паузы. Кодовые комбинации отделяются друг от друга разделительным знаком — двойной паузой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Определите задачи автоматики как отрасли науки.
2. Что называется объектом управления?
3. При каких условиях возможно целенаправленное воздействие на технический объект (объект управления)?
4. Что понимается под управляющим, возмущающим, задающим воздействиями?
5. В чем состоит различие разомкнутой и замкнутой систем автоматического управления (САУ)?
6. Что такое обратная связь?
7. Дайте определение жесткого, гибкого, адаптивного автоматического управления.
8. Перечислите и охарактеризуйте основные элементы системы управления.
9. Дайте характеристику процесса автоматизации.
10. В чем заключается различие технической, экономической и социальной направленности автоматизации?
11. Дайте краткую характеристику степеней автоматизации производства.
12. Перечислите виды автоматизации по выполняемым функциям.
13. Дайте краткую характеристику понятий «телемеханика», «кибернетика», «информация».

Глава 2

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ

2.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕМЕНТАХ АВТОМАТИКИ

Системы автоматики состоят из ряда связанных между собой элементов, выполняющих определенные функции и обеспечивающих в комплексе весь процесс управления: получение первичной информации, усиление сигналов информации и преобразование их в управляющие сигналы, воздействие на исполнительные механизмы.

В соответствии с выполняемыми функциями все элементы, составляющие автоматические системы, классифицируются на три самостоятельные группы:

- *измерительная*, представляющая собой различного типа датчики, информирующие о достижении определенного значения контролируемого параметра;
- *преобразовательная*, служащая для усиления информационного сигнала и преобразования его в другой, удобный для управления;
- *исполнительная*, включающая в себя комплекс механизмов, непосредственно осуществляющих управление.

Все элементы любой группы имеют вход и выход. На вход поступает информация, форма которой преобразуется в другую, необходимую для дальнейшего движения и воздействия. Входная величина элемента обозначается через X, а выходная — через Y.

Входной величиной элемента могут быть мгновенные значения физических величин (скорости, ускорения, давления, температуры, перемещения, освещенности, тока, напряжения и т. д.), амплитудные значения синусоидальных или импульсных электрических величин (тока или напряжения), частота физических величин и т. д.

Выходной величиной может быть электрический сигнал, отличающийся по величине и характеру. Входную величину обычно называют *входным сигналом*, а выходную — *выходным сигналом*

2.2. СТАТИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ

Режим работы элемента (системы) при постоянных во времени входной и выходной величинах называют *установившимся* или *статическим* режимом. В установившемся режиме

$$X(t) = \text{const}; \; Y(t) = \text{const}.$$

Элемент представляет собой самостоятельное конструктивное исполнение, выполняющее определенные функции. Элементом может быть, например, резистор, конденсатор, трансформатор и т. д. Элементы могут отличаться друг от друга физической природой, принципом действия, схемой включения, конструкцией и т. д.

Все элементы автоматики различают по физическим основам их действия (свойствам). Свойства элемента определяются рядом характеристик и параметров. Под характеристикой понимают зависимость одной величины от другой, а под параметром — величину, характеризующую некоторое существенное свойство элемента.

Статические характеристики и параметры. Функциональная зависимость выходной величины Y от входной X, выраженная математически или графически, называется *статической характеристикой элемента* $Y = f(X)$.

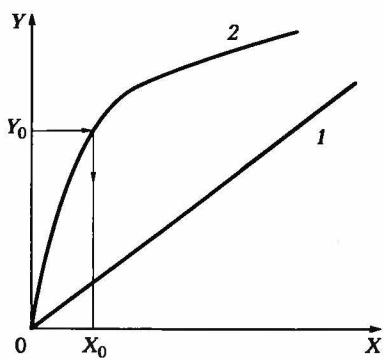


Рис. 2.1. Линейная (*1*) и нелинейная (*2*) характеристики элементов

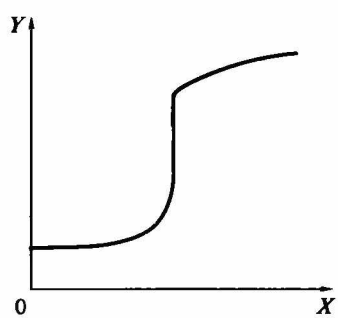


Рис. 2.2. Скачкообразная характеристика реле

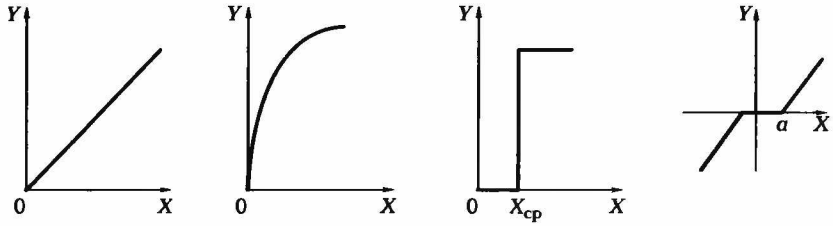


Рис. 2.3. Статические характеристики элементов автоматики

Элементы, имеющие не зависящие от времени параметры и линейные статические характеристики, называются *линейными*, а имеющие нелинейные характеристики — *нелинейными*. По статической характеристике можно определить вид элемента (датчик, реле).

Так, например, если статическая характеристика элемента непрерывна, т. е. величина Y находится в определенной непрерывной зависимости от величины X (рис. 2.1), то такой элемент называют *источником первичной информации*, или *датчиком*.

Если статическая характеристика элемента изменяется скачком, т. е. практически осуществляется включение или отключение при достижении входной величиной X определенных, заранее установленных значений, то такой элемент называется *реле* (рис. 2.2).

В зависимости от природы контролируемой входной величины X реле называются *электрическими*, *тепловыми*, *оптическими*. По наименованию входной величины X реле имеет уточняющий термин: *реле уровня*, *реле скорости*, *реле тока*, *реле напряжения* и т. д.

Как датчики, так и реле являются основными элементами автоматики. Они входят в состав воспринимающих блоков (устройств) в качестве основных и обязательных элементов. Их используют также и в промежуточных, и в исполнительных блоках автоматических систем (рис. 2.3). Элементы для конкретных автоматических систем выбирают по ряду параметров, их характеризующих: коэффициенту передачи, порогу чувствительности, погрешности.

Коэффициент передачи элемента. Коэффициент передачи элемента представляет собой отношение выходной величины элемента Y к входной величине X:

$$K = Y/X.$$

У элементов с линейной статической характеристикой коэффициент передачи — величина постоянная, а у элементов с нелинейной — переменная, зависящая от X.

Если входная и выходная величины элемента имеют одинаковую физическую природу, т. е. одинаковые размерности, то коэффициент передачи размерности не имеет и его называют *коэффициентом усиления.*

При разных размерностях входной и выходной величин коэффициент передачи элемента имеет размерность. Применительно к датчику коэффициент передачи называют также *чувствительностью.* Чем больше K, тем больше выходной сигнал элемента при том же изменении входной величины и тем меньше нужно будет усиливать выходной сигнал до требуемого значения.

Порог чувствительности. Это наименьшее (по абсолютному значению) значение входного сигнала, способное вызвать изменение выходного сигнала. Интервал между значением входного сигнала, не оказывающего воздействия на значение выходного сигнала, и значением входного сигнала, оказывающего воздействие на значение выходного сигнала, называется *зоной нечувствительности* $\Delta X_н$. Чем больше $\Delta X_н$, тем хуже элемент. Например, у электродвигателя порог чувствительности равен напряжению трогания двигателя.

Погрешность элемента. Эта погрешность появляется из-за неточной тарировки или градуировки (вследствие разброса параметров) элементов в процессе их изготовления (в пределах установленных допусков). В результате погрешности происходит отклонение характеристики элемента от заданной «идеальной» статической характеристики. Погрешность элемента может также возникнуть в результате изменения его внутренних свойств (старение, износ) или внешних факторов (воздействие температуры, влажности, питающего напряжения).

Различают абсолютную, относительную и приведенную погрешности.

Под абсолютной погрешностью элемента понимают разность между полученным $Y_п$ и действительным Y значениями выходной величины, т. е. $\Delta = Y_п - Y$.

Действительное номинальное значение выходной величины — это идеальное значение выходной величины при отсутствии погрешности.

Абсолютная погрешность имеет размерности выходной величины. Она может быть положительной и отрицательной.

Относительная погрешность дает более полное представление о нестабильности статической характеристики. Она представляет собой отношение абсолютной погрешности к действительному значению выходной величины элемента, выраженной в относительных единицах или процентах:

$$\delta_0 = \Delta / Y \text{ или } \delta_0 = (\Delta / Y)100,$$

где Δ — абсолютная погрешность; Y — действительное значение выходной величины элемента.

По мере уменьшения номинального значения выходной величины при неизменном значении абсолютной погрешности относительная погрешность увеличивается.

Приведенная погрешность чаще всего характеризует элементы автоматики. Под приведенной погрешностью понимают отношение абсолютной погрешности к разности предельных значений выходной величины, выраженной в относительных единицах или процентах,

$$\delta = \frac{\Delta}{Y_{max} - Y_{min}} 100,$$

где Y_{max} и Y_{min} — максимальное и минимальное значения выходной величины элемента; Δ — абсолютная погрешность.

Погрешность, которая возникает при нормальных условиях эксплуатации, называется *основной* погрешностью. Условия эксплуатации элемента не всегда совпадают с нормальными, поэтому к основной погрешности элемента добавляется погрешность, называемая *дополнительной*.

2.3. ДИНАМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ

Динамические характеристики и параметры. В реальных системах автоматики сигналы от элементов, как правило, бывают непостоянными. В большинстве случаев они изменяются во времени.

Для элементов, составляющих системы автоматики, основным режимом работы является режим, при котором входная и выходная величины во времени не остаются постоянными. Такой режим называется *динамическим*. Для оценки работы элемента в динамическом режиме используются динамические характеристики (рис. 2.4) и параметры.

Процесс перехода элемента из одного установившегося состояния в другое называется *переходным процессом*. Так как во время переходного процесса Y изменяется, то переходный процесс является частным случаем динамического режима.

Переходный процесс характеризуется переходной характеристикой. Под переходной характеристикой понимают зависимость выходной величины от времени $Y = f(t)$ при скачкообразном изменении

входной величины. Реакция большинства элементов на скачкообразный входной сигнал, т. е. их переходная характеристика, представляет собой нарастающую экспоненту.

Время от начала экспоненциального изменения выходной величины до момента, когда она достигает 63 % (2/3) установившегося значения выходной величины, называется *постоянной времени элемента* τ. Чем меньше τ, тем круче будет переходная характеристика, тем меньше длительность переходного процесса и тем меньше инерционность элемента.

Динамические свойства элемента принято оценивать по его реакции на скачкообразное изменение входного сигнала. При этом переходный процесс, называемый *переходной характеристикой*, определяется только свойствами элемента. До подачи скачкообразного сигнала на вход элемент находится в одном установившемся состоянии (режиме), после подачи скачка и окончания изменений выходной величины элемент будет находиться в другом установившемся состоянии. Таким образом, переходная характеристика позволяет выявить и оценить инерционность элемента.

Переходные процессы. Различные элементы автоматики имеют различные графики переходных процессов. На рис. 2.5, *а* показан переходный процесс без запаздывания, на рис. 2.5, *б* — переходный процесс элементов, обладающих инерцией. Степень инерционности подобных элементов оценивается постоянной времени τ. Это время определяется расстоянием по оси абсцисс от начала координат до точки пересечения *а* касательной к кривой переходного процесса в начале координат с установившимся значением выходного сигнала $Y_{уст}$. На рис. 2.5, *в* показан колебательно-затухающий переходный

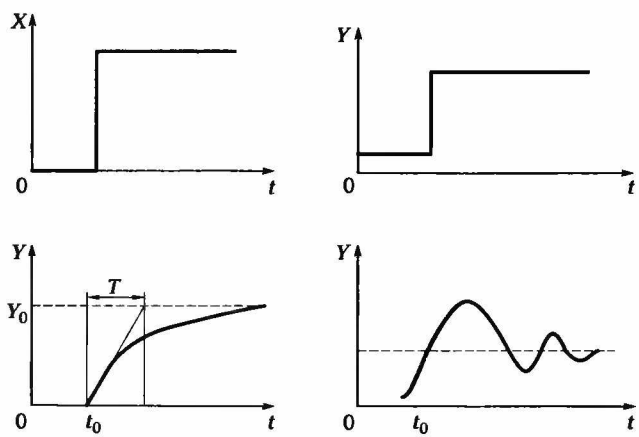


Рис. 2.4. Переходные характеристики элементов автоматики

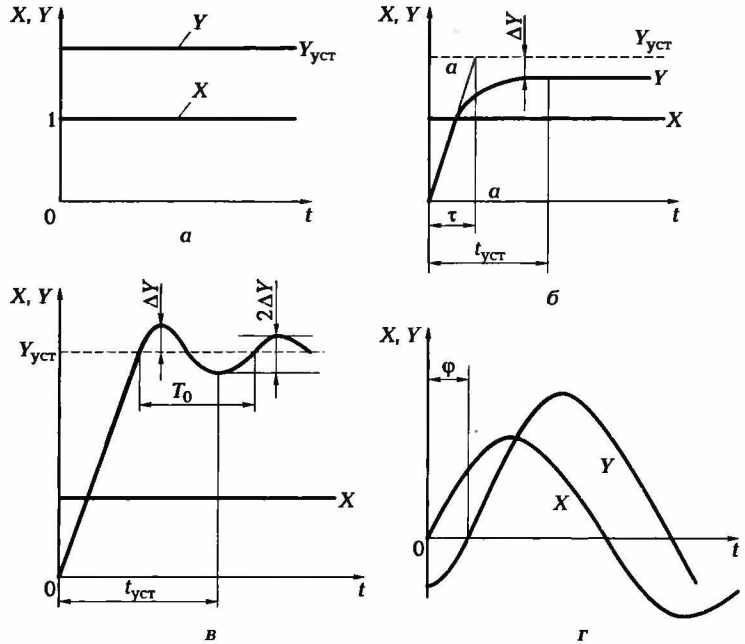


Рис. 2.5. Варианты графиков переходных процессов:

а — переходный процесс без запаздывания; *б* — апериодический процесс; *в* — периодический процесс; *г* — переходный процесс с запаздыванием

процесс, при котором выходная величина колеблется около ее установившегося значения $Y_{уст}$ с постоянной частотой $f_0 = 1/\tau_0$, где τ_0 — период колебаний с непрерывно убывающей амплитудой. Время $t_{уст}$, в течение которого выходной сигнал достигает значения, отличающегося на ΔY от установившегося значения выходной величины Y, называется *длительностью переходного процесса*. Переходный процесс (см. рис.2.5, *в*) называется периодическим в отличие от апериодического переходного процесса (см. рис. 2.5, *б*).

Выходной сигнал (рис. 2.5, *г*) изменяется периодически, при этом выходной сигнал Y сдвинут по фазе на угол φ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение элемента системы автоматического управления.
2. Определите назначение функций элементов автоматики: измерительной, преобразовательной, исполнительной.
3. Какой режим работы элемента называется установившимся (статическим)?

4. Определите различие понятий «характеристика» и «параметр».
5. Дайте определение статической характеристики элемента; коэффициента передачи элемента, коэффициента усиления.
6. Объясните понятия «порог чувствительности» и «зона нечувствительности», покажите их на графике.
7. Перечислите все виды погрешностей элементов и дайте им определение.
8. Дайте определение динамического режима, перечислите виды динамических (переходных) процессов.
9. Объясните, что такое время установления и постоянная времени элемента.

Глава 3

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ДАТЧИКОВ СИГНАЛА

В системах автоматики датчик предназначен для преобразования контролируемой или регулируемой величины (параметра контролируемого объекта) в выходной сигнал, более удобный для дальнейшего движения информации, поэтому датчик нередко называют *преобразователем*, хотя этот термин является слишком общим, так как любой элемент автоматики и телемеханики, имея свой вход и выход, является в той или иной мере преобразователем.

Исключительное многообразие датчиков, применяемых в современной автоматике, вызывает необходимость их классификации. Датчики как элементы автоматики могут быть построены на различной физической и конструктивной основах, поэтому основными их признаками являются *функциональная зависимость* и *принцип формирования элемента*. Для дальнейшего подразделения могут быть приняты такие признаки, как состояние (твердое, жидкое, газообразное) вещества, из которого состоит элемент, и характер измеряемой величины, т. е. механическая, акустическая, тепловая, электрическая, магнитная, химическая и др. Каждому характеру измеряемой величины соответствует множество конкретных измеряемых величин и состояний.

В настоящее время известны следующие типы датчиков, которые наиболее целесообразно классифицировать по входной величине, практически соответствующей принципу действия:

- механический — входной величиной является перемещение твердого тела;
- электрический —электрическая величина (ток, напряжение, частота тока, мощность);

- акустический — работа звука, скорость звука в веществе и т. д.;
- оптический — яркость, освещенность, световой поток, частота волны света, энергия;
- радиоактивный — поток радиации, интенсивность радиации, энергия радиации и т. д.

Ознакомление со всеми этими датчиками возможно только в специальных работах.

3.2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП РАБОТЫ ДАТЧИКА

В простейшем случае датчик осуществляет только одно преобразование $Y = f(X)$, например силы в перемещение (в пружине) или температуры в электродвижущую силу (в термоэлементе) и т. д. Такой вид датчиков называется *датчиками с непосредственным преобразованием*. Однако в ряде случаев не удается непосредственно оказать воздействие входной величины X на необходимую выходную величину Y (если такая связь неудобна или она не дает желаемых качеств). В этом случае осуществляют последовательные преобразования: входной величиной X воздействуют на промежуточную Z, а величиной Z — на необходимую выходную величину Y:

$$Z = f_1(X);\ Y = f_2(Z).$$

В результате получается функция, связывающая X с Y:

$$Y = f_2[f_1(X)] = F(X).$$

Число таких последовательных преобразований может быть и больше двух, и в общем случае функциональная связь Y с X может проходить через ряд промежуточных величин:

$$Y = f_n\{f_2[f_1(X)]\} = F(X).$$

Датчики, имеющие такие зависимости, называются *датчиками с последовательным преобразованием*. Входная часть таких датчиков называется *воспринимающим органом*, выходная — *исполнительным органом*. Все остальные части называются *промежуточными органами*. В датчике с двумя преобразованиями промежуточные органы отсутствуют, в нем имеются только воспринимающий и исполнительный органы. Нередко один и тот же конструктивный элемент выполняет функции нескольких органов. Например, упругая мембрана выполняет функцию воспринимающего органа (преобразо-

вание давления в силу) и функцию исполнительного органа (преобразование силы в перемещение).

3.3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

Датчики, у которых хотя бы одна из величин (входная или выходная) — электрическая, называются *электрическими*.

Статическая характеристика — это функциональная зависимость между входной X и выходной Y величинами датчика в установившемся режиме; она может быть линейной (рис. 3.1, *а*) или нелинейной (рис. 3.1, *б*) и представляться аналитически (уравнением) в виде графика или таблицы. В общем случае для линейной статической характеристики уравнение имеет вид

$$Y = F(X) = \pm B + KX,$$

где B — постоянная; K — коэффициент преобразования.

Если $B = 0$, то характеристика проходит через начало координат (рис. 3.1, *а*); при $B > 0$ характеристика смещена относительно начала координат по оси абсцисс на величину выходного сигнала холостого хода $Y_0 = B$ (рис. 3.1, *в*, прямая *1*); при $B < 0$, характеристика имеет зону нечувствительности $0 \ldots X_0$ (рис. 3.1, *в*, прямая *2*).

Для датчиков с нелинейными характеристиками (см. рис. 3.1, *б*) используется дифференциальный коэффициент преобразования $K_д = dY/dX$, определяемый углом наклона касательной к характеристике в рабочей точке.

Чувствительность датчиков — это отношение выходной величины к входной в соответствующих единицах. Например, для реостатного датчика единица измерения чувствительности — Ом/мм, для термопары — мВ/К, для фотоэлемента — мкА/лм и т. д.

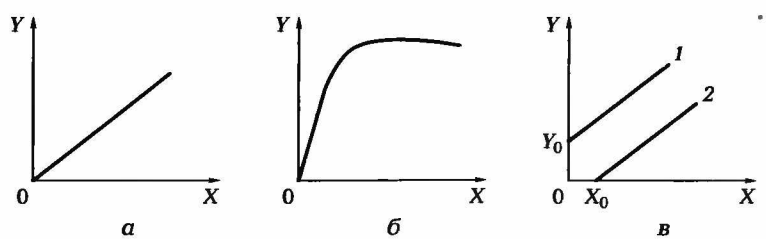


Рис. 3.1. Статические характеристики датчиков:
а — линейная; *б* — нелинейная; *в* — с зоной нечувствительности

Порог чувствительности — минимальное значение входного сигнала X, вызывающего появление регистрируемого выходного сигнала Y.

Динамическая характеристика определяет скорость отклика датчика на изменение контролируемого параметра; по динамическим характеристикам большинство датчиков относится к усилительным, апериодическим или колебательным звеньям.

Погрешности датчиков подразделяются на основные и дополнительные. Основная погрешность — это максимальная разность между измеренным значением выходного сигнала и его истинным значением, определяемым по идеальной статической характеристике. Электрические датчики наиболее распространены как в автоматике, так и в телемеханике. Большинство электрических датчиков обладает универсальностью, они используются практически во всех отраслях современной техники и их можно применять для решения различных технических задач.

3.4. ПРИНЦИП РАБОТЫ И ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ И ГЕНЕРАТОРНЫХ ДАТЧИКОВ

Электрические датчики подразделяются на генераторные и параметрические.

В *генераторных датчиках* осуществляется преобразование измеряемого параметра непосредственно в электрический сигнал.

В *параметрических датчиках* измеряемая величина преобразуется в параметр электрической цепи — сопротивление, индуктивность, емкость и т. д.

Датчики генераторного типа с коэффициентом $K = Y/X$ чаще всего выполняются по схеме прямого однократного преобразования (рис. 3.2, *а*); при необходимости получения унифицированного выходного сигнала используют многозвенную структуру из нескольких измерительных преобразователей (ИП) с коэффициентом передачи $K_1 \ldots K_n$ (рис. 3.2, *б*). В датчиках, построенных по дифференциальной схеме (рис. 3.2, *в*), измеряемая величина подается на два идентичных ИП ($K_1 = K_2$), при этом выходной сигнал датчика пропорционален разности выходных сигналов ИП каждого из каналов.

К достоинствам таких датчиков относятся: повышенная помехозащищенность, возможность реверсирования статической характеристики и уменьшение ее нелинейности.

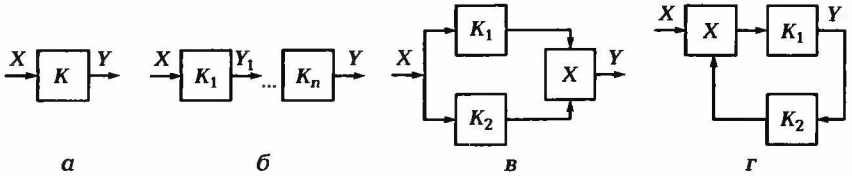


Рис. 3.2. Схемы включения датчиков:

а — однократное преобразование; *б* — многозвенное преобразование; *в* — с дифференциальное преобразование; *г* — компенсационная схема (с обратной связью)

Наиболее совершенной схемой является схема с обратной связью (компенсационная) (рис. 3.2, *г*), в которой обеспечивается автоматическое уравновешивание контролируемой величины компенсирующей величиной того же вида непосредственно или после предварительного преобразования; здесь K_2 — коэффициент передачи цепи обратной связи.

Электрические датчики в зависимости от принципа производимого ими преобразования подразделяются на два типа: модуляторы и генераторы.

У модуляторов (параметрические датчики) энергия входа воздействует на вспомогательную электрическую цепь, изменяя ее параметры и модулируя значение и характер изменения тока или напряжения от постороннего источника энергии. Благодаря этому одновременно усиливается сигнал, поступивший на вход датчика. Наличие постороннего источника энергии является обязательным условием работы *датчиков-модуляторов* (рис. 3.3).

Модуляция осуществляется с помощью изменения одного из трех параметров — омического сопротивления, индуктивности и емкости. В соответствии с этим различают группы омических, индуктивных и емкостных датчиков.

Каждая из этих групп подразделяется на подгруппы. Так, наиболее обширная группа омических датчиков может быть подразделена на подгруппы: тензорезисторы, потенциометры, терморезисторы, фоторезисторы. Ко второй подгруппе относятся индуктивные, маг-

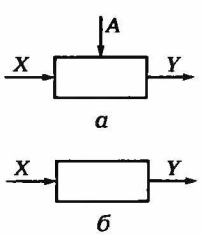


Рис. 3.3. Функциональные блоки датчика-модулятора (а) и датчика-генератора (б)

нитоупругие и трансформаторные датчики. Третья подгруппа объединяет различного типа емкостные датчики. Второй тип — *датчики-генераторы* являются просто преобразователями (рис. 3.3, *б*). Они основаны на возникновении электродвижущей силы под влиянием различных процессов, связанных с контролируемой величиной.

Возникновение такой электродвижущей силы может происходить, например, вследствие электромагнитной индукции, термоэлектричества, пьезоэлектричества, фотоэлектричества и других явлений, вызывающих разделение электрических зарядов. Соответственно этим явлениям генераторные датчики подразделяются на индукционные, термоэлектрические, пьезоэлектрические и фотоэлектрические.

Возможны еще группы электротехнических, электростатических датчиков, датчиков Холла и др. В результате получается общая схема классификации основных датчиков по выходной электрической величине, представленная на рис. 3.4.

Электромагнитные преобразователи. Измерительные преобразователи электромагнитных датчиков составляют большую группу преобразователей для измерения различных физических величин, которые в зависимости от принципа действия могут быть как параметрическими, так и генераторными. К параметрическим относятся ИП, преобразующие изменение входного механического воздействия в изменение параметров магнитной цепи: магнитного сопротивления, индуктивности и взаимной индуктивности обмоток, магнитной проницаемости; к генераторным — ИП индукционного типа, основанные на электромагнитной индукции и реализуемые на базе трансформаторов и электрических машин.

Значениями индуктивности L и взаимной индуктивности M можно управлять, изменяя зазор между якорем и магнитопроводом перемещением якоря в вертикальной плоскости, изменяя сечение магнитного потока при вращении якоря относительно неподвижной части магнитной цепи, вводя в воздушный зазор пластинку из ферромагнитного или электропроводящего неферромагнитного материала и тем самым уменьшая или увеличивая магнитное сопротивление воздушного зазора. Преобразователи перемещения в изменение индуктивности называются *индуктивными*, а преобразователи перемещения в изменение взаимоиндуктивности — *трансформаторными*.

Третий тип электромагнитного ИП — *магнитоупругий* — основан на изменении магнитной проницаемости замкнутого сердечника под воздействием сжимающего, растягивающего или скручивающего усилия, что приводит к изменению магнитного со-

противления сердечника и к изменению L или M. Питание магнитоупругих ИП осуществляется чаще всего от сети промышленной частоты.

Четвертый тип электромагнитного ИП — *индукционный* — основан на явлении электромагнитной индукции: наведенная ЭДС в катушке, перемещающейся в магнитном поле, прямо пропорциональна числу витков w_2 и скорости изменения магнитного потока $d\Phi/dt$ (или скорости перемещения катушки при постоянном магнитном потоке). Здесь рассматриваются наиболее распространенные датчики, у которых хотя бы одна из величин (входная или выходная) — электрическая. Электрические датчики наиболее распространены как в автоматике, так и в телемеханике. С помощью электрических датчиков получают наиболее простые, удобные и надежные формы связи задающих и исполнительных систем автоматического регулирования. Электрические датчики используются практически во всех отраслях современной техники. Большинство электрических датчиков обладает универсальностью и их можно применять для решения различных технических задач.



Рис. 3.4. Схема классификации основных электрических датчиков

Датчики-модуляторы. К датчикам с изменяющимся омическим сопротивлением относятся тензометрические датчики, которые применяются для измерения упругих — омическим датчиком — деформаций (измерения растяжения или сжатия тел), а также для измерения крутящих и изгибающих моментов, возникающих на поверхности различных механических деталей при их механической нагрузке. Значение измеренной деформации позволяет с помощью известных формул теории упругости и упругих констант (постоянных значений) материала деталей вычислять механические напряжения в них и судить о целесообразности их конструкции. Тензодатчики, используемые в автоматическом контроле, дают возможность следить за деформациями и напряжениями при статических и динамических нагрузках. Основным элементом проволочного тензодатчика является константановая проволока диаметром 0,015 ... 0,05 мм, сложенная в виде петлеобразной решетки (спирали) между двумя склеенными полосками тонкой бумаги или пленки (рис. 3.5). Датчик *1* через специальную бумагу *2* приклеивается к детали *3*, деформацию которой нужно измерить. При действии деформации, например при растяжении, как показано на рис. 3.5 сплошной стрелкой, вместе с деталью будет растягиваться и проволока. При этом ее длина *l* увеличится, а сечение *S* уменьшится. За счет этого сопротивление проволоки $R = \rho l/S$ увеличивается. Это сопротивление является выходной величиной датчика.

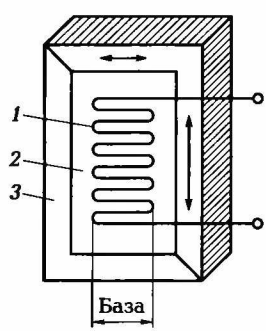


Рис. 3.5. Проволочный тензодатчик:

1 — датчик; *2* — специальная бумага; *3* — деталь

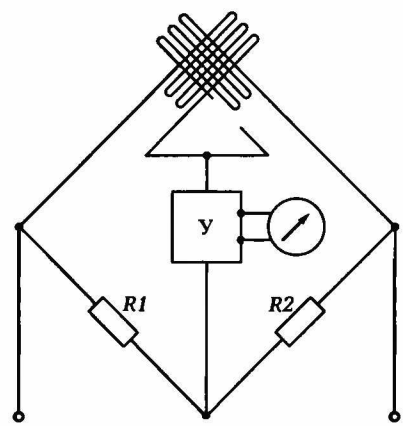


Рис. 3.6. Мостовая схема включения тензодатчика

Если деформация будет действовать, как показано на рис. 3.5. пунктирной стрелкой, то проволока на изгибах будет еще больше изгибаться. При этом ни длина, ни толщина проволоки практически не изменяются, Следовательно, не будет изменяться сопротивление датчика. Деформацию такого направления датчик не измеряет.

Относительное изменение сопротивления тензодатчика

$$\Delta R/R = K\Delta l/l,$$

где K — коэффициент относительной чувствительности (в пределах упругой деформации проволоки величина постоянная); l — начальная длина деформируемого участка проволоки.

Для тензодатчиков, выпускаемых промышленностью, используется константановая или фехралевая проволока. Тензочувствительность таких датчиков может иметь значения от 1,7 до 2,9, сопротивление составляет 50 ... 2000 Ом, база — 5 ... 30 мм, номинальный рабочий ток при наклейке на металлические детали — 30 мА, допустимые относительные деформации — не более 0,3 % (при большей деформации проволока оборвется), максимальная рабочая температура составляет 500 °С (для датчиков с пленочной основой).

Достоинство проволочных тензодатчиков — простота конструкции, практически безинерционность, недостаток — малая чувствительность. С целью исключения зависимости тензодатчика от температуры применяются мостовые схемы с двумя тензодатчиками в смежных плечах моста, из которых один не подвергается деформации, но находится в тех же температурных условиях (рис. 3.6)

Измерительный, или регистрационный, прибор обычно включается через усилитель (У). Разработаны также полупроводниковые тензодатчики, у которых чувствительность в 50 ... 60 раз выше, чем у проволочных. Их недостатки — малая механическая прочность.

Потенциометрические (реостатные) датчики. Эти датчики применяются для измерения угловых или линейных перемещений и преобразования измеренных величин в изменение сопротивления.

Конструктивно датчики такого типа, как элементы автоматики, могут быть построены на различной физической и конструктивной основах, поэтому основными их признаками являются *функциональная зависимость* и *принцип формирования элемента*. Для дальнейшего подразделения могут быть приняты такие признаки, как состояние вещества, из которого состоит элемент (твердое, жидкое, газообразное), и характер измеряемой величины (или состояния), т. е. механическая, акустическая, тепловая, электрическая, магнитная, химическая и др. Каждому характеру измеряемой величины

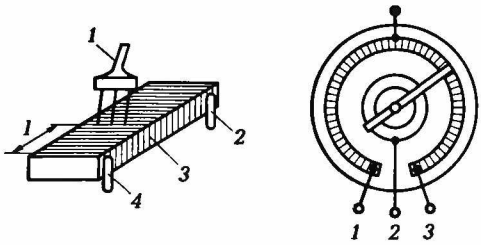


Рис. 3.7. Конструкции потенциометрических датчиков:
а — прямоугольный: *1* — щетка; *2*, *4* — контакты; *3* — проволока; *б* — кольцевой: *1*, *2*, *3* — выводы

соответствует множество конкретных измеряемых величин и состояний.

Потенциометрические датчики представляют собой каркас прямоугольной или кольцевой формы, на который намотана в один ряд тонкая проволока *3* (рис. 3.7, *а*). По виткам проволоки скользит щетка *1*, называемая движком потенциометра, механически связанная с объектом, перемещение которого нужно измерить.

От концов намотки и от движка сделаны электрические выводы *1*, *2*, *3* (рис. 3.7, *б*), с помощью которых датчик включается в схему. При перемещении движка потенциометра от вывода *1* к выводу *2* щетка переходит от одного витка намотки на другой. При этом длина проволоки между движком и выводом *1* увеличивается, а между движком и выводом *2* уменьшается. За счет этого сопротивление между выводами *3* и *1* увеличивается от 0 до R, а между выводами *2* и *3* — уменьшается от R до 0, где R — сопротивление проволоки, намотанной на каркас. По изменению этих сопротивлений можно определить перемещение *l*.

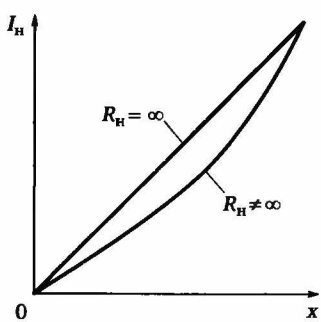


Рис. 3.8. Зависимость силы тока $I_н$ от изменения сопротивления нагрузки

Для намотки потенциометров, используемых в нормальных условиях работы, применяются материалы с высоким удельным сопротивлением: константан, манганин, вольфрам, платиноиридий; для намотки потенциометров, используемых в условиях высоких температур,— фехралевая проволока. Каркас датчика изготовляют из текстолита, стеклотекстолита или пластмассы. Чтобы повысить чувствительность и плот-

ность тока в обмотке датчика, применяют каркасы из алюминиевых сплавов, покрытые оксидной пленкой или изоляционным лаком.

Свойства потенциометрического датчика определяются его характеристикой $I_н = f(x)$, т. е. зависимостью силы тока $I_н$ в нагрузке $R_н$ от перемещения движка x потенциометра (рис. 3.8).

При подключении к датчику нагрузки $R_н$ из-за ее шунтирующего действия линейная зависимость силы тока $I_н$ от перемещения движка потенциометра нарушается. Чтобы нарушение линейности было незначительным, должно быть $R_н >> R$ (в 20 раз и более). Существует несколько вариантов включения потенциометрических датчиков: на рис. 3.9, *а* представлена схема линейного потенциометра, а на рис. 3.9, *б* — схема потенциометра с выводом от средней точки. В датчике с выводом от средней точки (см. рис. 3.9, *б*) при перемещении движка в одну сторону от средней точки на выходе датчика появляется напряжение положительной полярности, а при перемещении в другую сторону от средней точки — отрицательной полярности. По полярности выходного сигнала можно судить о направлении перемещения.

С целью снижения влияния температуры на $R_{вых}$ применяется провод с малым температурным коэффициентом сопротивления (нихром, константан, манганин).

Достоинство потенциометрического датчика — высокая точность преобразования, простота конструкции, возможность питания постоянным и переменным током, безинерционность.

Термометрические датчики. Термометрические датчики — термисторы, или терморезисторы, — предназначены для измерения температуры путем преобразования измеряемого сигнала в изменение активного сопротивления. Термисторы бывают металлические и полупроводниковые. Зависимость сопротивления металлических термисторов почти линейная:

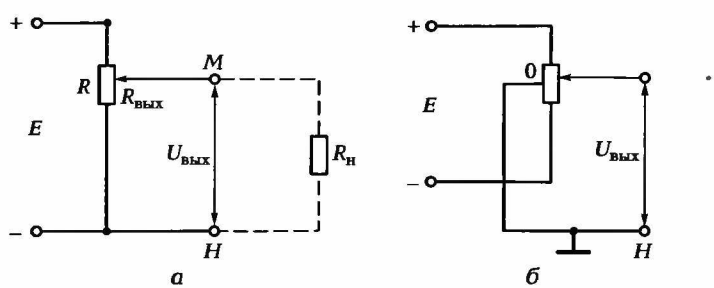


Рис. 3.9. Схемы включения потенциометрических датчиков:
а — линейный потенциометр; *б* — потенциометр с выводом от средней точки

$$R_t = R_0 [1 + \alpha(t - t_0)],$$

где R_0 — сопротивление при t_0, Ом; α — температурный коэффициент сопротивления; t_0 — начальная температура, °С; t — измеряемая температура, °С.

Термисторы изготовляются в виде нити, спирали, катушки и т. д. Применяются для температурного контроля обмоток исполнительных механизмов (электродвигателей, катушек). Недостаток — большая инерционность.

Полупроводниковые термисторы изготовляются из окиси различных металлов (марганца, меди, никеля, титана). Они имеют отрицательный температурный коэффициент сопротивления, что означает: с увеличением температуры сопротивление полупроводника уменьшается. В сравнении с металлическими полупроводниковые термисторы обладают большей чувствительностью и меньшей инерционностью.

Термисторы нашли применение в измерительной технике.

Индуктивные датчики. Применяются для измерения углового или линейного перемещения. Принцип действия их основан на изменении индуктивности катушки с магнитопроводом при перемещении якоря (рис. 3.10).

При перемещении якоря *1* воздушный зазор в датчике изменяется, следовательно, изменяется индуктивность катушки *2*.

Сила тока в катушке датчика

$$I = U/Z = U\sqrt{R^2 + X_L^2},$$

где U —напряжение питания; Z — полное сопротивление катушки; R — активное сопротивление катушки; $X_L = 2\pi fL$ — индуктивное сопротивление катушки; f — частота напряжения питания; L — индуктивность катушки, зависящая от воздушного зазора.

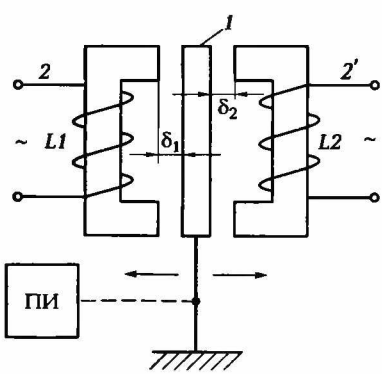


Рис. 3.10. Индуктивный датчик с подвижным якорем:

1 — подвижный якорь; *2* и *2'* — катушки индуктивности с ферромагнитным сердечником; ПИ — первичный измеритель

При постоянных U, R, f сила тока катушки зависит только от ее индуктивности, следовательно, от воздушного зазора (площади воздушного зазора):

$$I = kS,$$

где k — коэффициент пропорциональности или чувствительность датчика; S — площадь воздушного зазора.

Достоинства индуктивных датчиков: отсутствие скользящих контактов; высокая чувствительность; простота конструкции.

Недостатки: работа только на переменном токе; трудность получения нулевого напряжения на выходе; необходимость предохранения от помех.

Генераторные датчики. Это преобразователи различных видов энергии в электрическую. Наибольшее применение в качестве датчиков находят индукционные, термоэлектрические и пьезоэлектрические преобразователи.

Индукционные датчики. Принцип действия индукционных датчиков основан на законе электромагнитной индукции, дающем возможность непосредственного преобразования входной измеряемой величины в электродвижущую силу (ЭДС) без источника дополнительной энергии.

К этим датчикам относятся тахогенераторы постоянного и переменного токов, представляющие собой небольшие электромашинные генераторы, у которых выходное напряжение пропорционально угловой скорости вращения вала генератора. Тахогенераторы используются как датчики угловой скорости.

Тахогенераторы постоянного тока. Они бывают двух типов: с возбуждением от постоянных магнитов и с электромагнитным возбуждением от независимого источника постоянного тока. Индуцированная электродвижущая сила пропорциональна не только скорости вращения n, но и магнитному потоку Ф:

$$E = BL\upsilon = \frac{\Phi}{S} L \frac{\pi D n}{60} = K\Phi n.$$

Основным требованием к тахогенераторам постоянного тока является постоянство магнитного потока.

Тахогенераторы переменного тока. Эти датчики бывают двух типов: синхронные и асинхронные.

Синхронные (рис. 3.11) состоят из статора (наружной обмотки) и ротора, выполненного в виде постоянного магнита с несколькими полюсами. При вращении ротора в статоре индуцируется ЭДС

$$E = 4{,}44kf\omega\Phi \equiv kn,$$

где $f = p/(60n)$.

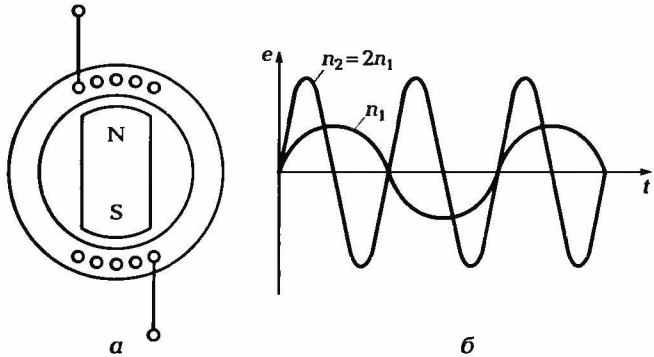


Рис. 3.11. Синхронный тахогенератор:
а — схема; *б* — график электродвижущей силы

Следовательно, с изменением скорости вращения n вместе с ЭДС изменяется и частота f. Это создает неудобство при использовании таких датчиков в автоматических устройствах с индуктивностью и емкостью, так как при изменении скорости вращения изменяются и параметры (индуктивное, емкостное сопротивление). Линейность характеристики нарушается.

Асинхронный тахогенератор (рис. 3.12) нашел широкое применение в автоматических схемах управления, его частота не зависит от скорости вращения ротора, что создает линейность статической характеристики.

Конструктивно асинхронный тахогенератор представляет собой асинхронный двухфазный двигатель с полым ротором. Две обмотки статора сдвинуты на 90°. К одной обмотке подводится постоянное по амплитуде и частоте напряжение возбуждения, создающее магнитный поток Φ_1. Этот поток никакого влияния на вторую обмотку при неподвижном роторе не оказывает, так как перпендикулярен ее магнитной оси. Поэтому при неподвижном роторе вторая обмотка никакого напряжения не создает.

Ротор начнет вращаться, его стенки пересекают магнитный поток Φ_1 и в них появятся токи, создающие магнитный поток Φ_2, уже направленный по магнитной оси второй катушки. Так как поток Φ_1 изменяется по синусоиде, то и поток Φ_2 — синусоидальный и наводит во второй обмотке индуцированную ЭДС

$$E = 4{,}44kf\omega_2\Phi_2.$$

Индуцированная во второй обмотке ЭДС прямо пропорциональна скорости вращения ротора.

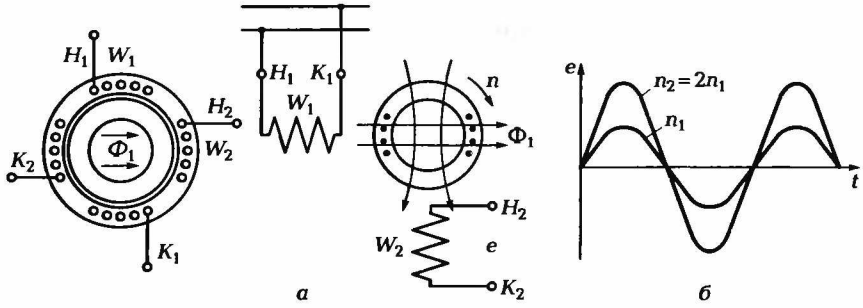


Рис. 3.12. Асинхронный тахогенератор
а — схема; *б* — график электродвижущей силы

Фотоэлектрические датчики. Эти датчики бывают двух типов: генераторные и оптические пирометры. Фотоэлектрические датчики генераторного типа — это фотоэлементы с внешним фотоэффектом, которые под действием света выделяют свободные электроны (рис. 3.13). Этим создается разность потенциалов, возникает электрический ток, т. е. преобразование света в электрическую величину без модуляции энергии от постороннего источника. Конструктивно могут быть вакуумные и полупроводниковые.

Вакуумные фотоэлементы вырабатывают слабые сигналы и не могут непосредственно воздействовать на исполнительный механизм. Совместно с ним применяют электронный усилитель. Полупроводниковые фотоэлементы (фотодиод, фототранзистор) вырабатывают сигнал, достаточный для воздействия на измерительный прибор.

Фотоэлектрические датчики генераторного типа применяются в системах автоматического контроля для измерения силы света различных источников, освещенности и т. д.

Путем фотоэлектрического измерения радиации, яркости или цвета накаленного тела можно судить о его температуре. В данном

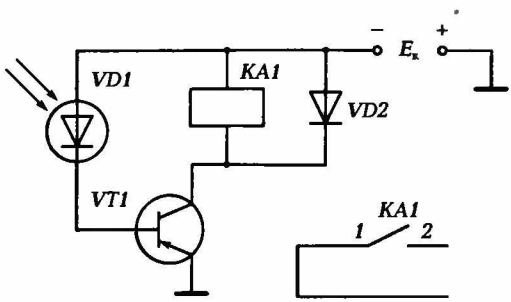


Рис. 3.13. Схема фотоэлектрического датчика

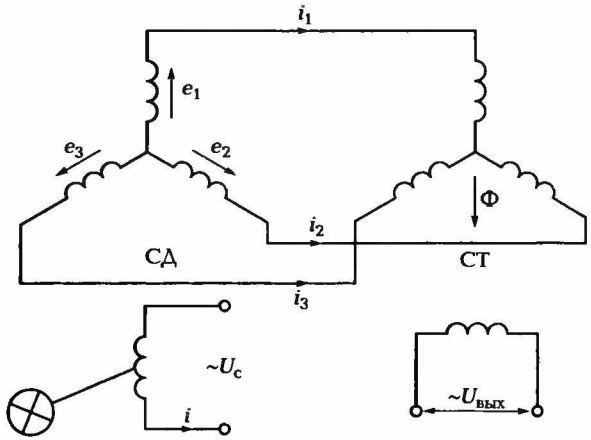


Рис. 3.14. Схема включения сельсинов в трансформаторном режиме

случае имеется последовательное преобразование температуры в лучистую энергию и лучистой энергии в электрическую.

Такие фотодатчики называются *оптическими пирометрами.*

Сельсинные датчики. Сельсины, работающие в трансформаторном режиме, применяются для измерения угла рассогласования двух осей. Сельсин по конструкции напоминает трехфазный синхронный генератор (рис. 3.14). На роторе у него располагается однофазная обмотка с контактными кольцами и щетками, а на статоре — трехфазная, или наоборот. Есть также бесконтактные сельсины, у которых обе обмотки располагаются на статоре, а магнитопровод ротора имеет специальную конструкцию. Сельсин, у которого ось ротора механически связана с вращением контролируемого вала, называется сельсином-датчиком (СД). Однофазная обмотка СД подключается к сети переменного тока. Другой сельсин называется сельсином-трансформатором (СТ). С его однофазной обмотки снимается выходное напряжение. Ось ротора СТ механически соединяется с валом исполнительного элемента.

Под действием напряжения сети в однофазной обмотке СД создается ток i, который наводит в витках трехфазной обмотки электродвижущие силы. Эти ЭДС наводят токи в фазах системы, которые создают в СТ магнитный поток Ф. Если ось однофазной обмотки СТ перпендикулярна магнитному потоку Ф, то потокосцепление с этой обмоткой равно нулю, ЭДС в ней не наводится и $E_{вых} = 0$.

Положение роторов сельсинов, при котором $E_{вых} = 0$, называется *согласованным.*

Магнитоуправляемые герметизированные контакты (герконы). Магнитоуправляемым контактом (МК) называется контакт, изменяющий состояние электрической цепи посредством механического замыкания, или размыкания ее при воздействии управляющего магнитного поля на его элементы. В простейшей конструкции геркона (рис. 3.15) внутри герметизированной стеклянной капсулы *1*, наполненной инертным газом, размещены две пластины *2* и *3* из упругого ферромагнитного материала (сплав железа с никелем). На концах пластин внутри капсулы расположены контакты *4*, которые покрыты слоем родия или золота. К выходящим из капсулы штырькам припаиваются монтажные провода. Размеры капсулы зависят от типа геркона, они имеют длину 10 ... 70 мм, диаметр 2 ... 7 мм.

При воздействии на МК внешнего магнитного поля концы ферромагнитных пластин намагничиваются и притягиваются друг к другу, замыкая электрическую цепь. При снятии внешнего магнитного поля упругие пластины возвращаются в исходное положение, разомкнув цепь. Внешнее магнитное поле создается с помощью управляющей обмотки, на которую подается постоянное напряжение, или с помощью постоянного магнита.

Вследствие малой инерционности пластин герконы обладают повышенным быстродействием. Нахождение контактов в инертном газе существенно повышает надежность их работы, поэтому герконы нашли широкое применение в автоматических системах. На их базе могут быть созданы реле различного назначения, датчики, кнопки и т. д. Герметизация контактов реле в стеклянном корпусе позволяет использовать герконы для изготовления искробезопасной аппаратуры автоматизации. На базе герконов налажен выпуск герконовых электромагнитных реле: промежуточных реле напряжения (РПГ), реле тока (РТГ), реле времени (РВГ) и т. д.

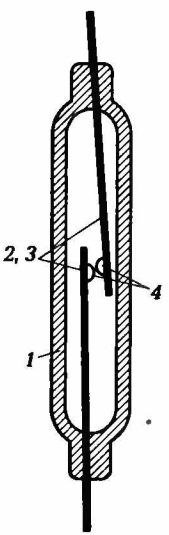


Рис. 3.15. Конструкция геркона:
1 — стеклянная капсула; *2*, *3* — пластины; *4* — контакты

По сравнению с обычными электромагнитными реле, коммутационная износостойкость которых достигает нескольких миллионов включений, у герконовых реле она может со-

ставлять несколько десятков миллионов срабатываний. Герконовые датчики могут быть путевыми или конечными выключателями, воспринимающей частью которых является геркон. Последний располагается в контролируемой точке пространства, через которую должна пройти движущаяся часть объекта управления. На движущейся части находится постоянный магнит или электромагнит, который создает магнитное поле. При нахождении движущейся части в контролируемой точке на геркон действует магнитное поле, под действием которого контакты замыкаются. При отсутствии движущейся части в контролируемой точке контакты геркона разомкнуты и сигнал управления равен нулю.

Датчики положения. Используются для получения сигналов при достижении контролируемым объектом определенных положений при его перемещении, которые затем поступают в схему управления объектом. Это широко применяемые конечные и путевые выключатели различных типов, посредством которых осуществляется управление электроприводами в функции пути.

Несмотря на большое разнообразие конструктивных вариантов конечных и путевых выключателей, по принципу действия их можно разделить на две основные группы: аппараты с механическим воздействием на контактную систему и аппараты, в которых меняются параметры электрической цепи.

Конечные выключатели с механическим воздействием состоят из двух основных частей: контактов и механического привода, который замыкает или размыкает контакты. В зависимости от вида привода выключатели делятся на вращающиеся, рычажные и нажимные. Вращающиеся выключатели имеют привод от валика, который через

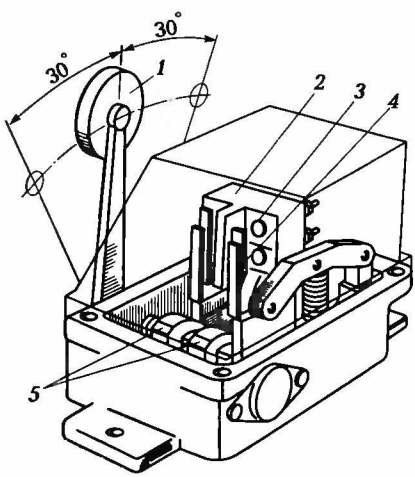


Рис. 3.16. Конструкция конечного выключателя:

1 — рычаг; *2* — блок кулачковых элементов; *3* — неподвижный контакт; *4* — контактный мостик; *5* — барабан

редуктор соединяется с валом механизма. На валике расположены кулачки, воздействующие на контакты выключателя. При вращении вала механизма в определенном положении кулачки осуществляют переключение контактов выключателя. Рычажные выключатели имеют привод своей контактной системы от поворотного рычага, на который оказывает воздействие движущаяся часть объекта управления. Рычаг и контакты в исходное положение возвращаются под воздействием пружины. В нажимных выключателях переключение контактов происходит при нажатии на шток выключателя, возврат которого в исходное положение осуществляется под действием пружины.

Чаще всего конечные выключатели применяются в крановых установках для ограничения хода моста, тележки, грузозахватывающего устройства и т. д. Конечные выключатели применяются также в лифтах, конвейерах, механизмах задвижек насосов и компрессоров.

Внутри корпуса выключателя (рис. 3.16) находится барабан *5* с фасонными шайбами и блок кулачковых элементов *2*, на котором укреплены четыре неподвижных контакта *3*. При упоре ограничительной линейки в ролик рычага *1* последний поворачивает барабан с шайбами и контактные мостики *4* замыкают или размыкают неподвижные контакты. Таким образом, в результате действия конечного выключателя размыкается или замыкается одна из цепей управления электроприводом.

Тот же принцип действия имеют этажные переключатели, которые применяются, главным образом, в схемах управления тихоходными пассажирскими лифтами. В корпусе этажного переключателя (рис. 3.17, *а*) на изоляционных пластинах *1* укреплены неподвижные контакты *2*, которые замыкаются подвижными контактами *3* при повороте рычага *4* этажного переключателя. Рычаг *4* с резиновым роликом *5* при ходе кабины вверх под действием фасонной отводки *6* поворачивается вправо, при ходе кабины вниз — влево. При этом замыкаются соответствующие неподвижные контакты. Когда кабина находится на уровне этажа, контакты этажного переключателя разомкнуты.

Недостатком контактных датчиков является их значительное механическое изнашивание при частых переключениях. Поэтому широкое применение находят и другие датчики положения.

Дискретный индуктивный датчик. Этот датчик относится к датчикам положения (рис. 3.18), он состоит из разомкнутого магнитопровода *6* и катушки *5*, последовательно с которой включен конденсатор *4*. Катушка с конденсатором включена в цепь переменного тока

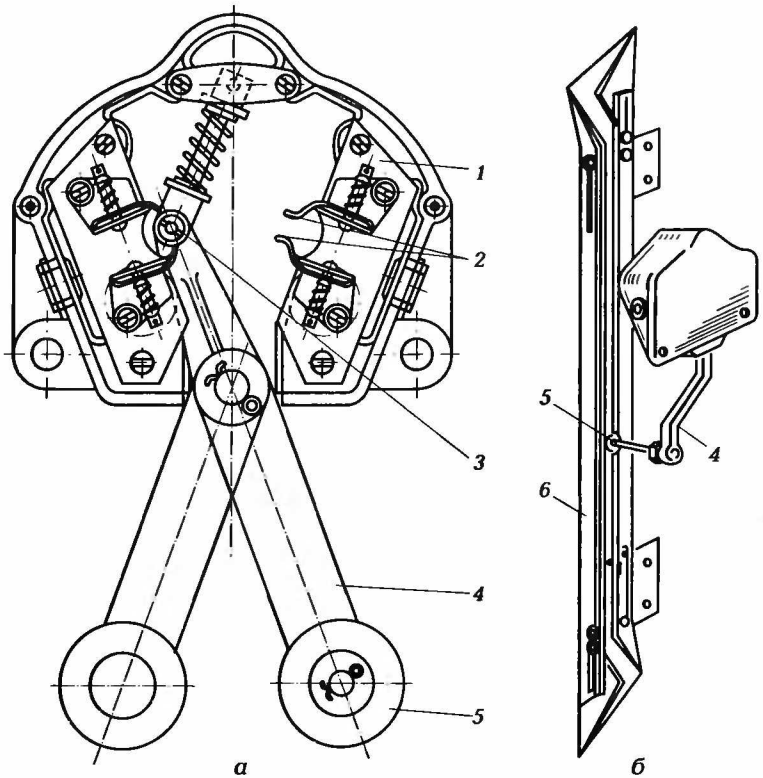


Рис. 3.17. Конструкция этажного переключателя (а) и отводка лифтовой установки (б):

1 — изоляционная пластина; *2* — неподвижные контакты; *3* — подвижные контакты; *4* — рычаг; *5* — резиновый ролик; *6* — фасонная отводка

вместе с обмоткой *2* электромагнитного реле. Параметры элементов схемы подобраны таким образом, что при отсутствии над магнитопроводом якоря *1* датчика, который закреплен на подвижной части контролируемого объекта, индуктивное сопротивление катушки X_L

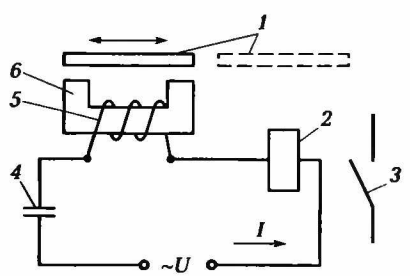


Рис. 3.18. Схема дискретного индуктивного датчика:

1 — якорь; *2* — обмотка реле; *3* – контакт цепи управления; *4* – конденсатор; *5* – катушка; *6* — магнитопровод

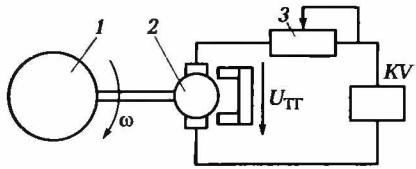


Рис. 3.19. Схема датчика скорости: *1* — электродвигатель; *2* – тахогенератор; *3* — реостат

меньше емкостного сопротивления конденсатора X_C. Ток, проходящий по катушке реле *2*, недостаточен для его срабатывания. При прохождении над магнитопроводом *6* якоря *1* индуктивное сопротивление катушки увеличивается до значения $X_L = X_C$, при котором наступает резонанс напряжений, характеризующийся резким увеличением тока в цепи. Реле *2* включается и замыкает контакты *3* в цепи управления объектом.

Датчики скорости. Дискретные датчики скорости удобно применять для контроля скорости объекта управления. Например, если скорость электродвигателя превышает заданное значение, то происходит его автоматическое отключение с целью предотвращения аварийных режимов работы. При торможении такой датчик удобно использовать для автоматического отключения электродвигателя от сети после снижения его скорости до нуля. На валу электродвигателя (рис. 3.19) находится тахогенератор (ТГ) *2*. Выходное напряжение тахогенератора $U_{ТГ}$ подается на обмотку реле напряжения *KV* через реостат *3*. Реле напряжения срабатывает при определенном напряжении тахогенератора, которому соответствует заданное значение скорости электродвигателя, и своими контактами осуществляет переключение соответствующих цепей управления. Изменяя положение движка реостата *3*, можно регулировать значение скорости электродвигателя, при котором срабатывает реле *KV*.

Датчики давления. Эти датчики преобразуют давление жидкости или газа в электрическую величину. У многих датчиков чувствительный элемент преобразует давление в перемещение, которое затем измеряется каким-либо датчиком. В качестве чувствительных элементов часто используют мембраны и сильфоны.

Мембрана представляет собой тонкую пластинку, которая укрепляется на конце трубопровода (рис. 3.20, *а*). Под действием давления жидкости или газа жесткий центр мембраны прогибается, перемещая, например, движок потенциометра. Из-за этого изменяется выходное сопротивление датчика.

Сильфон представляет собой тонкостенную гофрированную трубку из упругого материала (рис. 3.20, *б*). Под действием давления газа сильфон растягивается, перемещая, например, движок потенциометра. В результате изменяется выходное сопротивление датчи-

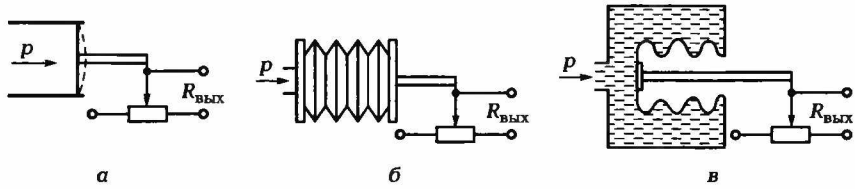


Рис. 3.20. Датчики давления:
а — мембранный; *б* — сильфонный для газов; *в* — сильфонный для жидкостей

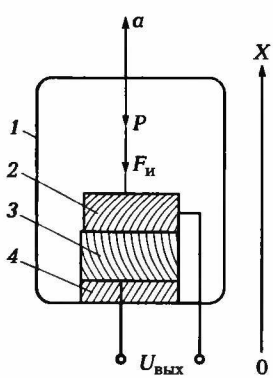
ка. При измерении давления жидкостей применяется другая конструктивная схема сильфонного датчика (рис. 3.20, *в*). Жидкость под давлением p поступает в полость сильфона, который, сжимаясь, перемещает движок потенциометра.

Датчики линейных ускорений (акселерометры). Акселерометры преобразуют линейное ускорение в электрическую величину. Один из вариантов акселерометра преобразует ускорение в усилие, которое затем измеряется пьезоэлектрическим датчиком (рис. 3.21). Кварцевая пластина *3* наклеивается на основание *4*, а сверху к кварцевой пластине с помощью токопроводящего клея приклеивается пластинка *2*, называемая чувствительным элементом. Ось *OX*, перпендикулярная плоскости кварцевой пластины, называется *осью чувствительности акселерометра.*

Акселерометр устанавливается на подвижном объекте. Когда объект движется с ускорением a вдоль оси *OX*, на чувствительный элемент действует инерционная сила, направленная в сторону, противоположную ускорению

$$F_и = ma,$$

где $F_и$ — инерционная сила; m — масса чувствительного элемента; a — ускорение.



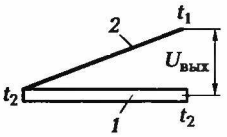
На чувствительный элемент также действует вес (сила тяжести) $P = mg$, где g — ускорение свободного падения.

Для случая, показанного на рис. 3.21, эти силы совпадают по направлению, поэтому результирующая сила

$$F = F_и + P = m(a + g).$$

Рис. 3.21. Пьезоэлектрический акселерометр:
1 — корпус; *2* — чувствительный элемент; *3* — кварцевая пластинка; *4* — основание

Рис. 3.22. Термоэлектрический датчик:
1, 2 — термоэлектроды, изготовляемые из разнородных проводников



При изменяющейся силе F возникает выходное напряжение

$$U_{вых} = \frac{d}{C_д + C_м} F = \frac{dm}{C_д + C_м}(a + g) = Ka_к,$$

где d — пьезомодуль; $C_д$ — емкость датчика; $C_м$ — емкость монтажа; $K = \frac{dm}{C_д + C_м}$ — коэффициент передачи; $a_к = a + g$ — кажущееся ускорение.

Термометрические датчики (термопары). Применяются для точного измерения высоких температур (100 ... 2 100 °С). Термопара состоит из двух разнородных проводников (термоэлектродов), одни концы которых спаяны (сварены), а с двух других снимается выходное напряжение (рис. 3.22). Точка спая термоэлектродов, помещаемая в область контролируемой температуры, называется *горячим спаем*. Если температура свободных «холодных» концов термопары t_1отличается от температуры горячего спая t_2, то в силу термоэлектрического эффекта в термоэлектродах возникает термоЭДС E_t, пропорциональная разности температур. За счет этой ЭДС появляется выходное напряжение.

$$U_{вых} = E_t = c(t_1 - t_2),$$

где c — коэффициент пропорциональности, зависящий от материала проводников термопары.

Измерив термоЭДС E_t при температурах: t_2, равной контролируемой, и t_1, равной градуировочной (обычно 0 °С), определяют контролируемую температуру t_2 по градуировочной таблице или по статической характеристике.

Статические характеристики большинства термопар нелинейны. Чаще всего используются следующие термопары: хромель — копель (до 600 °С — длительный нагрев); хромель — алюмель (до 1000 °С); платина — платинородий (до 1300 °С); вольфрам — молибден (до 2100 °С). ТермоЭДС при максимальной рабочей температуре не превышает 10 ... 50 мВ. Все термопары обладают инерционностью. Постоянные времени термопар в зависимости от конструкции могут быть от десятых долей секунды до нескольких сотен секунд.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие элементы автоматического управления (контроля) называются первичными преобразователями (датчиками)?
2. В чем заключается различие между параметрическими и генераторными преобразователями?
3. Расскажите об устройстве параметрических преобразователей.
4. Почему у индуктивных преобразователей статическая характеристика (вход-выход) нелинейная?
5. Объясните принцип действия и назначение емкостных преобразователей.
6. В чем заключаются достоинства и недостатки тензометрических преобразователей?
7. Объясните принцип действия фотоэлектрических преобразователей, перечислите их типы.

Глава 4

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

4.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В АВТОМАТИКЕ

Исполнительное устройство является промежуточным преобразователем, которое состоит из двух самостоятельных узлов: исполнительного механизма и регулирующего (управляющего) органа.

Исполнительные механизмы предназначены для воздействия через регулирующий орган или непосредственно на объект управления. В исполнительный механизм входят двигатель и передаточное устройство. Основными параметрами, характеризующими работу исполнительных механизмов, являются усилие на выходе механизма, коэффициент усиления по мощности, линейное или угловое перемещение, частота вращения, быстродействие и т. п.

В зависимости от управляющего воздействия на выходе различают два вида исполнительных механизмов: силовые и параметрические.

Если исполнительные механизмы создают управляющее воздействие на регулирующий орган в виде силы или момента, то такие механизмы называются *силовыми*. К этой группе относятся электромагниты, электромеханические муфты, различного вида двигатели.

В общем случае исполнительные устройства состоят из совокупности следующих элементов:

- двигателя — источника силового воздействия на регулирующий орган;
- передаточного или преобразовательного устройства (различного рода редукторы, храповики, муфты и т. д.), располагающегося между исполнительным двигателем и

регулирующим органом системы и служащего для получения определенной скорости, направления или характера его движения;

- узла концевых выключателей, с помощью которого осуществляется автоматическая остановка или переключение исполнительного механизма в конечных или промежуточных положениях (если в этом имеется необходимость);

- системы управления, включающей аппаратуру пуска, реверсирования, останова, регулирования скорости, программирования (контакторы, пускатели, реле, золотники, клапаны и др.), защиты (предохранительные и переливные клапаны, реле давления, реле максимального тока и др.) и сигнализации (лампы, звуковые сигнальные устройства и др.).

В ряде случаев в структурную схему исполнительных механизмов могут входить усилительные элементы (усилители). Они служат для преобразования сигнала, подаваемого к исполнительному двигателю, и получения вследствие этого больших перестановочных усилий в нем. Кроме усилителей в структурную схему исполнительных механизмов могут входить устройства обратной связи по положению и скорости выходного звена исполнительного механизма и др.

Часто электрические, пневматические и гидравлические исполнительные устройства (механизмы) называются *электрическими*, *пневматическими* или *гидравлическими приводами* (или просто приводами).

Для гидравлических механизмов, использующих в качестве энергоносителя масло, иногда в литературе употребляются термины «сервомеханизм», «сервопривод» и «серводвигатель». *Сервомеханизмом*, или сервомотором, называется совокупность устройств, использующих для усиления энергию от постороннего источника и воспроизводящих с возможно меньшей ошибкой на выходе маломощные управляющие сигналы, поданные на его вход. При этом прямое управление без усиления остается возможным независимо от того, прекращается ли вследствие аварии поступление энергии извне или имеет место произвольная остановка исполнительного механизма (отключение). Таким образом, сервомеханизмы в основном являются астатическими устройствами, с помощью которых возможно обратить в нуль ошибку, по крайней мере, для постоянного входа.

4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ АВТОМАТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ

В настоящее время в нашей стране и за рубежом разработано и применяется большое число разнообразных исполнительных механизмов, основанных на различных принципах действия и выполняющих различные функции в зависимости от требований, обусловливаемых характером технологического процесса или получением заданного закона изменения положения регулирующего органа.

Поэтому возникает необходимость в четкой и строгой классификации исполнительных механизмов как по виду потребляемой энергии, их устройству, конструкции и принципу действия, так и по назначению и характеру их использования в автоматических системах.

По виду потребляемой энергии все исполнительные механизмы можно подразделить на следующие группы:

1) электрические, использующие для своего действия электрическую энергию;

2) пневматические, использующие энергию сжатого воздуха или газа;

3) гидравлические, использующие энергию жидкости (гидравлические приводы с рециркуляционной маслосистемой или гидроприводы, использующие в качестве энергоносителя транспортируемую по трубопроводам жидкость, например, нефть или воду);

4) исполнительные механизмы, использующие энергию паров воды или легкокипящей жидкости;

5) исполнительные механизмы, использующие энергию газов, образующихся при взрыве (механизмы взрывного действия);

6) исполнительные механизмы с использованием энергии газов, образующихся при нормальном протекании химической реакции (механизмы химического действия);

7) исполнительные механизмы, использующие потенциальную энергию падающего груза или сжатой пружины (грузовые и пружинные исполнительные механизмы).

Каждый из перечисленных типов исполнительных механизмов в свою очередь можно классифицировать по типу, конструкции и принципу действия применяемого двигателя (например, электромоторные, соленоидные, мембранные, поршневые и др.), виду преобразовательного устройства и т. д.

По своему *исполнению* эти механизмы подразделяются на две категории: нормального и специального исполнения.

К последним относятся исполнительные механизмы взрыво- и водозащищенные, тропического и морского исполнения, вибро- и морозостойкие и т. д.

По *характеру и назначению работы* в автоматических системах исполнительные механизмы подразделяются:

- на работающие по дискретному принципу («открыто — закрыто»);
- работающие по закону непрерывной функции. К ним относятся исполнительные механизмы позиционного действия, исполнительные механизмы пропорционального действия, осуществляющие регулирование системы по постоянному параметру, а также некоторые специальные исполнительные механизмы дистанционного управления, работающие в комплексе с другими автоматическими устройствами (например, электронными регуляторами);
- исполнительные механизмы следящего и программного действия.

Задача исполнительного механизма, осуществляющего регулирование системы по постоянному параметру — поддерживать постоянным один заданный параметр. Следящий исполнительный механизм сообщает ведомому звену движение, согласованное с определенной точностью с ведущим перемещением, задаваемым исполнительному механизму маломощным устройством.

Программный исполнительный механизм обеспечивает изменение регулируемого звена по заранее заданному закону в зависимости от времени или какой-либо другой величины.

По *скорости вращения или движения* исполнительные механизмы могут подразделяться на тихоходные и быстроходные.

Однако классификация по этому признаку является чисто условной, так как для разных процессов одни и те же исполнительные механизмы при одной и той же скорости их выходные звеньев могут считаться и быстроходными и тихоходными.

По *времени работы* исполнительные механизмы могут быть разбиты на три основные группы: а) с продолжительным; б) с кратковременным; в) с повторно-кратковременным режимом работы.

Этот признак имеет существенное значение для электрических исполнительных механизмов, где режимы работы определяют их тепловые нагрузки.

По *способу управления* исполнительные механизмы можно разделить на механизмы: а) местного действия; б) дистанционного действия; в) телеуправляемые.

Классификацию исполнительных механизмов можно также вести и по другим признакам.

В частности, например, исполнительные механизмы, осуществляющие переключение затворов напорных трубопроводов в зависимости от времени срабатывания дросселирующего органа затвора, можно разбить: а) на быстродействующие, переключающие трубопровод мгновенно; б) с плавным дросселированием проходного сечения и т. д.

Электрические исполнительные механизмы получили большое распространение в различных системах автоматики.

Преимущества электрических исполнительных механизмов по сравнению с исполнительными механизмами, использующими для своей работы другие виды энергии, выражаются в следующем:

- неограниченный радиус действия и управления;
- возможность применения при отрицательной температуре окружающей среды;
- простота в эксплуатации;
- отсутствие сложной системы трубопроводов, требующих безукоризненной герметизации.

В зависимости от применяемого первичного двигателя электрические исполнительные механизмы можно подразделить на две группы: моторные и соленоидные.

В *моторных* исполнительных механизмах, которые иногда называют электрическими приводами, силовым элементом является электродвигатель постоянного или переменного тока (асинхронный, синхронный или коллекторный).

В *соленоидных* исполнительных механизмах (их часто называют электромагнитными приводами) силовым элементом является соленоид или электромагнит постоянного или переменного тока.

4.3. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ УСИЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, ИХ ПРИНЦИП РАБОТЫ

Выходные сигналы первичных преобразователей и сигналы рассогласования регуляторов в большинстве случаев обладают небольшой мощностью и не могут быть непосредственно измерены или привести в действие исполнительный механизм. Поэтому сигнал усиливают до значения, которое позволяет либо его измерить (в

системах контроля), либо приводить в действие исполнительный механизм (в системах регулирования).

Усиление сигнала осуществляется устройством, называемым *усилителем*, путем изменения потока вспомогательной энергии, поступающей от источника к измерительному прибору или исполнительному механизму в соответствии со знаком и амплитудой сигнала. В некоторых случаях одновременно с усилением сигнала происходит его качественное преобразование. В связи с этим усилители можно подразделить на четыре группы (рис. 4.1.): с механическим перемещением на входе и выходе; электрическим сигналом на входе и выходе; механическим перемещением на входе и пневматическим или гидравлическим сигналом в виде изменения давления на выходе; механическим перемещением на входе и электрическим сигналом на выходе.

Элементы, усиливающие механические перемещения, выполняются в виде рычажных устройств, механических регуляторов или механических и гидравлических муфт. Они имеют относительно небольшой коэффициент усиления.

Усилители электрических сигналов выполняются в виде электромеханических (реле), электромашинных, магнитных и электронных устройств.

Усилители, имеющие механическое перемещение на входе и пневматический или гидравлический сигнал в виде изменения давления на выходе, представляют собой вентиль, золотник или устройство типа сопло-заслонка (дроссельная заслонка). Усилители, имеющие механическое перемещение на входе и электрический сигнал на выходе, представляют собой переменный резистор, автотрансформатор или замыкающиеся и размыкающиеся контакты реле.

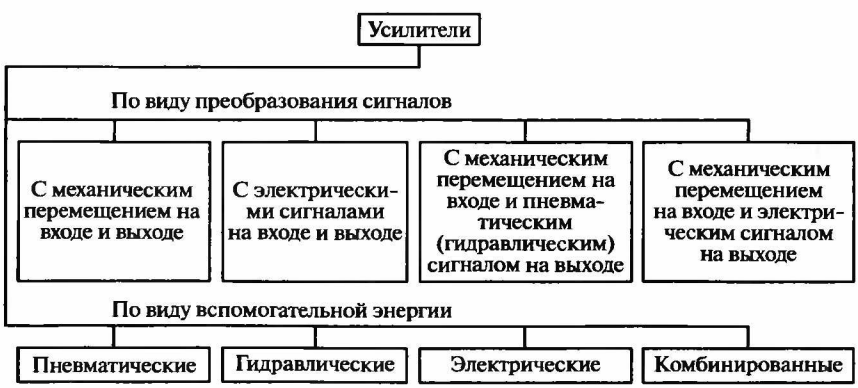


Рис. 4.1. Классификация усилителей

В зависимости от вида применяемой вспомогательной энергии различают пневматические, гидравлические, электрические (электромеханические, магнитные), диэлектрические, электронные (полупроводниковые и тиристорные) и комбинированные усилители.

В системах автоматики наибольшее распространение получили электрические усилители.

К основным характеристикам усилителей относятся выходная мощность, коэффициент усиления и форма статической характеристики.

Выходная мощность усилителя определяется потребляемой мощностью исполнительного механизма и изменяется в широких пределах (от долей ватт до десятков киловатт).

Коэффициент усиления является одной из основных характеристик усилителя. В электрических усилителях различают коэффициенты усиления по напряжению, току и мощности. Коэффициентом усиления по напряжению $K_н$ называют отношение напряжения выходного сигнала $U_{вых}$ к входному $U_{вх}$, т. е.

$$K_н = U_{вых} / U_{вх}.$$

Коэффициентом усиления по току — $K_т = I_{вых}/I_{вх}$; коэффициентом усиления по мощности $K_м = P_{вых}/P_{вх}$.

Статическая характеристика усилителя отражает зависимость между входной и выходной величинами в установившемся режиме и может быть линейной и нелинейной.

4.4. ВИДЫ УСИЛИТЕЛЕЙ, ПРИНЦИПЫ ИХ РАБОТЫ, ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Магнитные усилители. Примером статического электрического аппарата, не имеющего подвижных частей, в котором связь входа и выхода осуществляется через магнитное поле в ферромагнитном сердечнике, является магнитный усилитель.

Магнитным усилителем (*МУ*) называется устройство, в котором использовано свойство ферромагнитных материалов изменять свою магнитную проницаемость под влиянием подмагничивания постоянным током. Этим обеспечивается возможность управления значительной мощностью нагрузки в цепи переменного тока относительно малым подмагничивающим током.

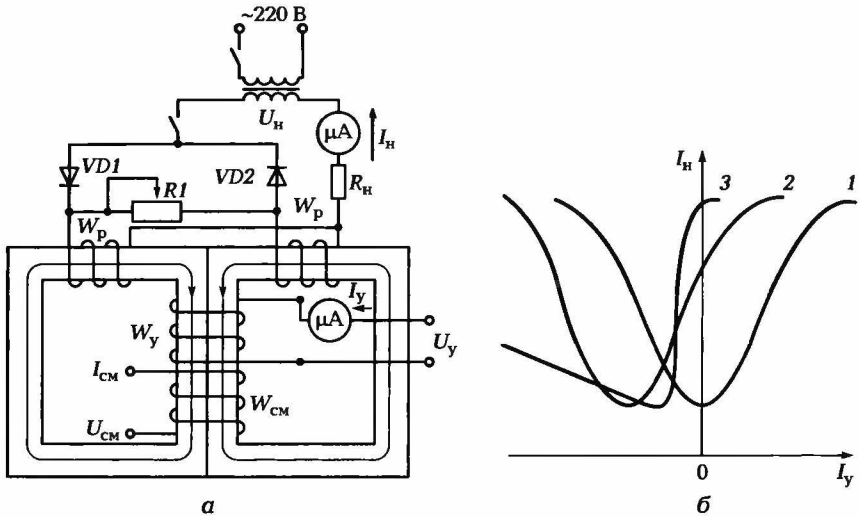


Рис. 4.2. Схема магнитного усилителя (а) и его характеристики управления (б)

Магнитные усилители получили широкое распространение в автоматизированных электроприводах общепромышленных механизмов. Это связано с тем, что магнитный усилитель представляет собой статический аппарат относительно простой и надежной конструкции, обладающий высоким коэффициентом усиления сигнала. Весьма важными его свойствами являются возможность получения бесгистерезисной нагрузочной характеристики, суммирования нескольких сигналов, способность выдерживать значительные перегрузки.

Конструктивно магнитный усилитель состоит из ферромагнитного сердечника с обмотками переменного и постоянного токов. Сердечники выполняют из электротехнической стали (железокремниевые сплавы) или из пермаллоя (железоникелевые сплавы). Они обладают свойствами быстрого насыщения и имеют очень малые потери на гистерезис и вихревые токи. Сердечники могут быть тороидальными, П- и Ш-образными.

Простейший магнитный усилитель состоит из двух одинаковых дросселей (сердечника из ферромагнитного материала с одной или несколькими обмотками), разделенных немагнитной прокладкой (рис. 4.2, *а*)

Рабочие обмотки переменного тока $W_р$ и $W_р'$ через диоды *VD1* и *VD2* соединены между собой параллельно и включены в цепь переменного тока последовательно с сопротивлением $R_н$. Между катодом

VD1 и анодом *VD2* включен переменный резистор *R1*. Вокруг стержней обоих дросселей расположены обмотки постоянного тока $W_у$ и $W_{см}$. Обмотка $W_у$ называется обмоткой управления, обмотка $W_{см}$ — обмоткой смещения. На обмотку управления подается напряжение постоянного тока $U_у$, на обмотку смещения — напряжение постоянного тока $U_{см}$. Обмотки $W_р$ и $W_р'$ соединены между собой таким образом, чтобы исключить влияние создаваемых ими переменных магнитных потоков (они взаимно компенсируют друг друга) на обмотки $W_у$ и $W_{см}$. При рассмотрении принципа работы магнитного усилителя примем, что на схеме (см. рис. 4.2, *а*) отсутствуют диоды *VD1*, *VD2*, резистор *R1* и обмотка смещения $W_{см}$. Действующее значение тока нагрузки $I_н$ определяется в цепи переменного тока индуктивным сопротивлением параллельно соединенных рабочих обмоток и сопротивлением нагрузки $R_н$ (активное сопротивление рабочих обмоток относительно мало):

$$I_н = \frac{U_н}{\sqrt{x_р^2 + R_н^2}},$$

где $U_н$ — действующее напряжение питания рабочих обмоток $W_р$ и $W_р'$ и нагрузки.

Индуктивное сопротивление рабочих обмоток $x_р$ пропорционально магнитной проницаемости сердечника. Если через обмотку управления пропустить постоянный ток, то магнитная проницаемость сердечника уменьшится. Это вызовет снижение индуктивного сопротивления рабочих обмоток $x_р$, что в свою очередь приведет к увеличению тока $I_н$ и мощности в нагрузке. Небольшому изменению тока и мощности обмотки управления соответствует значительное изменение мощности нагрузки. В этом состоит усиливающее действие магнитного усилителя. Характеристика управления $I_н = f(I_у)$ изобразится нелинейной кривой *1*, симметричной относительно оси ординат (рис. 4.2, *б*).

Кривая *1* в начальной ее части, т. е. при малых токах управления, является нелинейной с малым коэффициентом усиления по току. Для его увеличения в усилитель вводят дополнительную обмотку смещения $W_{см}$. Если через обмотку смещения пропустить постоянный ток смещения $I_{см}$, то это приведет к дополнительному уменьшению магнитной проницаемости сердечников, индуктивного сопротивления $x_р$ и возрастанию тока нагрузки. В зависимости от направления тока смещения характеристика управления смещается относительно кривой *1* вправо или влево (кривая *2*). Это приводит к увеличению крутизны одной из ветвей характеристики при малых токах управления $I_у$, т. е. к увеличению коэффициента усиления

магнитного усилителя. Обмотка смещения применяется также для увеличения или уменьшения тока нагрузки $I_н$ в зависимости от полярности тока управления $I_у$. В рассматриваемом случае ток нагрузки возрастает при положительной полярности тока $I_у$ и уменьшается при отрицательной.

Для дальнейшего увеличения коэффициента усиления магнитного усилителя в цепь каждой из рабочих обмоток $W_р$ и $W_р'$ вводят полупроводниковые диоды *VD1* и *VD2* противоположной полярности. В этом случае по каждой из рабочих обмоток протекает ток одного направления. Это вызывает дополнительное подмагничивание сердечников, уменьшение их магнитной проницаемости и увеличение тока нагрузки $I_н$, который складывается из токов I_1, и I_2, протекающих по рабочим обмоткам $W_р$ и $W_р'$.

Здесь имеет место внутренняя положительная обратная связь по току нагрузки, так как с его увеличением магнитная проницаемость сердечников уменьшается, что приводит к дальнейшему росту тока нагрузки.

Характеристика управления такого усилителя будет изображена кривой *3* (см. рис. 4.2, *б*), которая имеет несимметричный вид. Рабочую точку целесообразно выбирать на правой ветви, где динамический коэффициент усиления по току наибольший.

Для регулирования коэффициента усиления магнитного усилителя включается резистор *R1*, шунтирующий оба диода. Уменьшение *R1* уменьшает коэффициент усиления магнитного усилителя. При $R1 = 0$ от кривой *3* переходим к кривой *1*, где отсутствует дополнительное подмагничивание от токов, протекающих по обмоткам $W_р$ и $W_р'$.

Постоянная времени магнитных усилителей находится в пределах от тысячных долей секунды для быстродействующих магнитных усилителей и до нескольких секунд для мощных.

Наиболее широко магнитные усилители применяются в схемах управления электроприводом подъемных машин и экскаваторов.

Недостатком магнитных усилителей является большая инерционность, определяемая в основном индуктивностью управляющей обмотки $W_у$, а также значительные габаритные размеры и масса по сравнению с транзисторными усилителями. Несмотря на эти недостатки, магнитные усилители находят очень широкое применение в устройствах автоматики, как усилители с большим коэффициентом усиления, как преобразователи постоянного тока в переменный (модуляторы), и как преобразователи величины постоянного напряжения в фазу переменного напряжения прямоугольной формы.

Электромеханические усилители. Электромеханические усилители выполняют в виде электромашинных усилителей (ЭМУ) или электромагнитных реле.

Электромашинные усилители — специальные электрические генераторы постоянного тока, выходная мощность которых регулируется путем изменения мощности управления. Конструктивно электромашинные усилители выполняют в виде установки, в корпусе которой располагаются асинхронный электродвигатель и генератор.

Электромашинные усилители допускают значительные форсировки по току и напряжению, имеют малую мощность управления и хорошее быстродействие.

Однако электромашинные усилители имеют невысокую надежность из-за наличия подвижных контактов между щетками и коллектором, создают большие помехи для работы радиоаппаратуры, имеют относительно большие размеры и массу.

Электронные усилители. К *электронным усилителям* относятся устройства систем автоматики, в которых используются полупроводниковые приборы, значение активного сопротивления которых зависит от интенсивности или полярности электрического поля.

Особенностью электронных усилителей является их способность усиливать маломощные сигналы порядка 10^{-6} Вт. Поэтому в системах управления их применяют в основном в маломощных цепях для обработки сигналов от датчиков, согласования элементов системы управления по уровню или мощности сигналов, выработки управляющего сигнала.

Различают следующие типы транзисторных усилителей:

- усилители переменного тока, которые управляют мощностью переменного тока рабочей частоты (например, 50 Гц), подаваемого на электродвигатель синхронный или асинхронный;
- усилители с импульсной модуляцией, предназначенные для усиления мощности импульсов, управляющих электромагнтными распределителями в гидро- и пневмоприводах, электромагнитными муфтами, шаговыми электродвигателями, электродвигатлями, работающими в импульсном режиме;
- усилители постоянного тока, предназначенные для усиления сигналов постоянного тока от датчиков управления электромагнитными реле, согласования элементов системы управления по току и напряжению.

4.5. ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА И РАСПРЕДЕЛИТЕЛИ

Шаговые искатели и распределители. Под действием управляющего сигнала осуществляют поочередное переключение нескольких исполнительных цепей. В простейшем случае шаговый искатель имеет один входной зажим и несколько выходных (рис. 4.3, *а*). При подаче управляющего импульса в обмотку электромагнита (ЭМ) входной зажим перемещается на один шаг, соединяясь с очередным выходным зажимом. Следовательно, номер подсоединенного выходного зажима определяется числом импульсов, поступивших на обмотку электромагнита (ЭМ).

Устройство шагового искателя показано на рис. 4.3, *б*. По окружности расположен набор неподвижных контактов — ламелей *3*. По этим ламелям скользит подвижный контакт *2*, закрепленный на оси *10* и имеющий токоподвод с помощью кольца и щетки *9*. Шаговое перемещение контакта *2* осуществляется храповым механизмом, состоящим из храпового колеса 8, рабочей собачки *6* и формирующей собачки *7*. Приводом храпового механизма служит электромагнит *4*.

При подаче в обмотку электромагнита управляющего импульса якорь притягивается к сердечнику и поворачивает храповое колесо на один зубец. В результате контакт *2* переходит с одной ламели на другую и происходит переключение во внешней цепи.

Шаговый искатель может иметь несколько рядов ламелей и контактов, укрепленных на одной оси, что позволяет увеличить число коммутируемых цепей. Шаговый механизм искателя может пере-

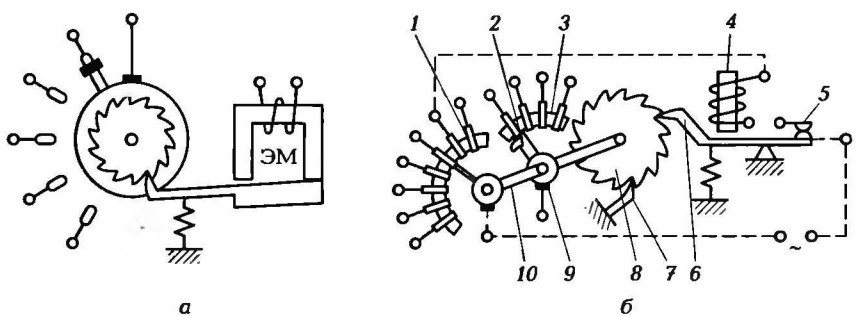


Рис. 4.3. Шаговый искатель:

1 — подвижные ламели; *2* – контакт; *3* – неподвижные ламели; *4* — электромагнит; *5* — размыкающие контакты; *6* — собачка; *7* — формирующая собачка; *8* — якорь электромагнита; *9* — щетка; *10* — ось

мещаться лишь в одном направлении. Поэтому возврат подвижного контакта в исходное положение происходит после завершения полного оборота. Если число тактов в цикле работы шагового искателя меньше числа ламелей, то для ускоренного возврата в исходное положение используется специальный ряд ламелей *1* (см. рис. 4.3, *б*). Все ламели этого ряда, кроме нулевой, электрически соединены друг с другом. Цепь возврата образуется ламелями *1*, катушкой электромагнита *4* и вспомогательными размыкающими контактами *5*. При каждом срабатывании электромагнита *8* контакты *10* размыкаются и цепь возврата, показанная на рис. 4.3, *б* пунктиром, прерывается. Якорь электромагнита *8* возвращается в исходное положение, и контакты 5 вновь замыкаются, восстанавливая цепь возврата. В результате собачка *6* получает импульсное движение с частотой, определяемой собственной частотой электромеханической системы, и контакт *2* быстро перемещается по ламелям. Когда контакт *2* дойдет до нулевой ламели, цепь возврата размыкается и ускоренное движение шагового механизма прекращается.

Все искатели рассчитаны на работу в импульсном режиме с частотой до 10 срабатываний в секунду.

Шаговый распределитель телефонного типа может производить переключение с максимальной рабочей скоростью 30 ... 60 шагов в секунду.

Существуют также распределители, собранные из электромеханических (обычно электромагнитных) реле. При поступлении импульсов на такой распределитель обеспечивается поочередное включение реле и замыкание цепей.

Классификация и основные характеристики реле. К *релейным элементам автоматики* (*реле*) относятся устройства, преобразующие плавное изменение входной величины в скачкообразное изменение выходной. Реле широко применяют в системах автоматики в качестве элементов управления и защиты, дискретных датчиков и усилителей, размножителей сигналов и логических элементов, в электрических установках, при автоматическом управлении и регулировании различных технологических процессов.

Реле классифицируют следующим образом:

- по виду физических величин, поступающих на вход реле, — электрические и неэлектрические;
- назначению — реле управления, защиты, сигнализации, связи и т. д.;
- принципу воздействия на выходную цепь — контактные и бесконтактные;

- роду величины, на которую реагирует реле, — реле тока, напряжения, мощности, частоты, сопротивления и т. д.;
- исполнению — открытые, с защитным чехлом, пылебрызгозащищенные и герметические.

Из электрических реле в современных дискретных системах автоматики широко используют электромеханические реле, являющиеся контактными устройствами, магнитные, электронные (ламповые) и полупроводниковые реле, являющиеся бесконтактными устройствами.

В *контактных реле* скачкообразное изменение выходной величины достигается замыканием или размыканием выходной цепи; *бесконтактных реле* — путем резкого изменения параметров выходной цепи (R, L, C).

Основная характеристика реле — *статическая характеристика управления*, выражающая зависимость выходной величины y от входной x. Для статических характеристик большинства реле характерным является наличие гистерезисной релейной петли, объясняющейся неоднозначностью характеристик при увеличении и уменьшении входного сигнала. Основные виды статических характеристик реле приведены на рис. 4.4, из которых видно, что при достижении входной величиной x определенного значения скачкообразно изменяется выходная величина y. На рис. 4.4, *а* и *б* показаны характеристики двухпозиционных нейтральных реле, не реагирующих на знак входного сигнала. При изменении входного сигнала от 0 до x_2 (рис. 4.4, *а*) реле не изменяет своего состояния. При достижении входным сигналом значения x_2 (параметр срабатывания) выходной сигнал y скачкообразно изменяется от y_{min} до y_{max}. Дальнейшее увеличение входного сигнала не изменяет величину выходного сигнала, т. е. $y = y_{max} = \text{const}$. При уменьшении входного сигнала от $x > x_2$ до $x = x_1$ выходной сигнал не изменяется, т. е. $y = y_{max}$, а при достижении входным сигналом значения x_1 (параметр отпускания) выходной сигнал скачкообразно изменится от y_{max} до y_{min}.

Отличием устройств, имеющих характеристику, изображенную на рис. 4.4, *б*, от устройств, имеющих характеристику, показанную на рис. 4.4, *а*, является инвертирование сигнала. При отсутствии входного сигнала ($x = 0$) выходной сигнал $y = y_{max}$, при наличии входного сигнала ($x = x_2$) выходной сигнал отсутствует или имеет минимальное значение ($y = y_{min}$).

Характеристика двухпозиционных релейных устройств, обладающих двумя устойчивыми состояниями, приведена на рис. 4.4, *в*. При снятии входного сигнала ($x = 0$) реле останется в состоянии, в котором находилось до этого. Отличием этой зависимости (рис. 4.4, *в*)

является ее реверсивный характер: при изменении знака сигнала на входе изменяется знак сигнала на выходе.

На рис. 4.4, *г*, *g* представлены характеристики трехпозиционных релейных элементов с зоной нечувствительности.

К основным характеристикам реле относятся:

- мощность срабатывания $P_{срб}$ — это минимальная мощность, потребляемая катушкой реле при срабатывании;
- выходная, (коммутируемая), мощность $P_{вых}$ — это произведение максимального отключаемого тока на напряжение источника питания выходной цепи;
- время срабатывания $t_{срб}$ — это время от момента подачи на вход реле управляющего сигнала до появления (исчезновения) сигнала на выходе (замыкания или размыкания выходных контактов);
- время отпускания $t_{отп}$ — это время от момента снятия входного сигнала до размыкания (замыкания) выходных цепей, равное времени трогания и времени движения якоря, т. е. $t_{отп} = t_{тр} + t_{дв}$;

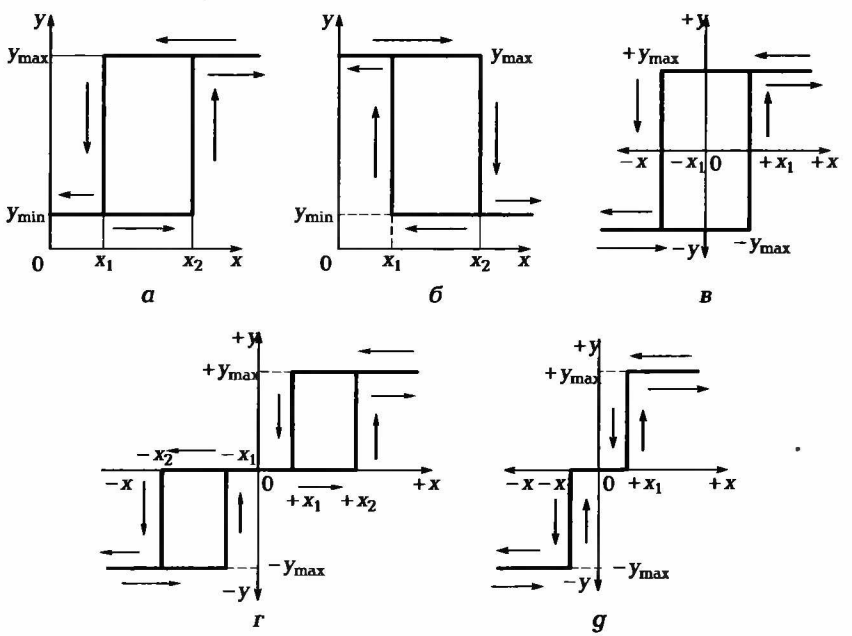


Рис. 4.4. Виды статических характеристик релейных элементов:

а, *б* — двухпозиционные нейтральные реле; *в* — двухпозиционные реле, обладающие двумя устойчивыми состояниями; *г*, *д* — трехпозиционные реле с зоной нечувствительности

- коэффициент возврата реле $k_{взв}$ — отношение параметра отпускания реле к параметру срабатывания ($k_{взв} = x_{отп}/x_{срб} < 1$. Коэффициент возврата характеризует относительную ширину релейной петли статической характеристики;
- коэффициент запаса $k_{зап}$ — отношение МДС катушки реле при установившемся режиме к МДС при токе срабатывания;
- коэффициент управления (усиления) k_y — отношение максимального значения выходного сигнала к входному при срабатывании $k_y = P_y/P_{ср}$, где P_y —максимальная мощность в нагрузке управляемой цепи;
- минимальная мощность $P_{ср}$ входного сигнала, при котором происходит срабатывание реле.

Реле — наиболее распространенный электрический аппарат, применяемый практически в большинстве систем автоматического управления. Функции, выполняемые реле, и их конструкции чрезвычайно разнообразны. Характерные признаки реле позволяют классифицировать их по следующим факторам: по принципу действия (электромагнитные, магнитоэлектрические, электронные); по способу коммутации (контактные, бесконтактные); по назначению (управления, защиты, автоматизации); по характеру входной величины (электрические, оптические, тепловые, акустические, механические).

Основные характеристики реле определяются зависимостями между параметрами выходной и входной величины. Различают следующие основные характеристики реле:

- величина срабатывания $x_{ср}$ — параметр, при котором реле включается. При $x < x_{ср}$ выходная величина $y = 0$. При $x \geqslant x_{ср}$ величина y скачком изменяется от y_{min} до y_{max} и реле включается;
- величина отпускания $x_{отп}$ — значение параметра входной величины, при котором произошло скачкообразное уменьшение выходного параметра с y_{min} до y_{max} и реле отключилось. Значение параметра, на которое отрегулировано реле, называется *уставкой*;
- коэффициент возврата $K_в$ — отношение величины отпускания к величине срабатывания;
- время срабатывания $t_{ср}$ — промежуток времени от момента появления импульса (входной величины) до момента скачкообразного изменения выходной величины;

- время отпускания $t_{отп}$ — промежуток времени от момента снятия сигнала (входной величины) до момента достижения y_{min}. Это время состоит из двух частей: времени отпускания и времени гашения дуги.

Помимо функции коммутации реле выполняет также функцию усиления, определяемую отношением

$$K_y = P_y / P_{ср},$$

где P_y — максимальная мощность в нагрузке управляемой цепи; $P_{ср}$ — минимальная мощность входного сигнала, при котором происходит срабатывание реле.

Для реле с исполнительным органом в виде контактной системы максимальная мощность управления P_y определяется не длительным током, который может пропустить контакт, а током, который может быть многократно отключен.

Электромагнитные реле. Электромагнитные реле благодаря простому принципу действия и надежности получили широкое применение в системах автоматики, а также в схемах защиты энергосистем.

Электромагнитным реле называют реле, у которого контакты перемещаются при притягивании якоря к сердечнику электромагнита, по обмотке которого протекает ток.

Основными параметрами электромагнитных реле являются:

- ток срабатывания $I_{ср}$ — это такое значение тока в катушке реле, при котором оно срабатывает, т. е. его контакты переходят из исходного в другое состояние (замыкаются или размыкаются);
- рабочий ток $I_{ср}$ — это такое значение тока в катушке реле, при котором обеспечивается заданное нажатие контактов, т. е. минимальное переходное сопротивление между контактами;
- ток отпускания $I_{отп}$ — это такое значение тока в катушке реле, при котором магнитный поток недостаточен для удержания якоря и контакты возвращаются в исходное состояние.

Реле постоянного тока являются наиболее распространенным видом электромагнитных реле. Это объясняется сравнительно простой конструкцией реле и значительным коэффициентом усиления K_y. На практике наиболее часто применяются электромагнитные реле с поворотным и втяжным якорями.

Реле с поворотным якорем показано на рис. 4.5, *а*. Под действием напряжения U в катушке *1* возникает ток I, который создает магнит-

ный поток, замыкающийся через сердечник *2*, магнитопровод *3* и якорь *4*. Поток намагничивает якорь, возникает электромагнитная сила, под действием которой якорь притягивается к сердечнику, поворачиваясь при этом вокруг центра *О*. Под действием якоря контакт *6* перемещается влево. В результате контакты *5* и *6* разомкнутся, а контакты *6* и *7* замкнутся. Цепь с лампой Л2 будет выключена, а с лампой Л1 включена.

После снятия напряжения *U* ток в катушке исчезнет, соответственно исчезнет электромагнитная сила и якорь под действием силы возвратной пружины *6* (возвратной пружиной может являться сам контакт) отклонится в обратном направлении. При этом контакты *6*, *7* разомкнутся, контакты *5*, *6* замкнутся, Л1 погаснет Л2 загорится.

Контакты *5*, *6*, *7* укреплены на основании *9* из диэлектрика. Благодаря штифту *8* якорь не будет вплотную прилегать к сердечнику (между ними всегда будет зазор), поэтому не возникнет эффект «залипания» (прохождения остаточного магнитного потока по магнитопроводу, якорю и сердечнику после исчезновения тока) и для отрыва якоря от сердечника потребуется меньшая сила пружины чем при отсутствии штифта.

Реле с втяжным якорем (рис. 4.5, *б*) срабатывает также при наличии тока в катушке *2* и создании при этом электромагнитной силы. Якорь *1* втягивается внутрь катушки и притягивается к сердечнику *3*. Одновременно с якорем перемещается контактная перемычка *4*, которая замыкает контакты *5*. При отключении тока якорь под действием пружины возвращается в исходное положение. Как следует из описания принципа действия, электромагнитное реле конструктивно состоит из магнитопровода (включая якорь), катушки и контактной группы.

Магнитопровод выполняется из различных материалов с заданными магнитными характеристиками. Различают следующие основные виды магнитных материалов: магнитомягкие и магнитотвердые. Магнитомягкие характеризуются низкой коэрцитивной силой H_c (напряженность магнитного поля, необходимая для снижения остаточной индукции и высоким значением магнитной проницаемости. При выборе материала для магнитной системы учитывают требования, предъявляемые к реле, что определяется его назначением и стоимостью. Различают два основных вида магнитопровода: сплошной и шихтованный. Как правило, реле постоянного тока имеют магнитопровод из сплошного материала, а реле переменного тока — из шихтованного.

Катушка реле является одним из основных элементов электрического аппарата. Она должна удовлетворять следующим требованиям:

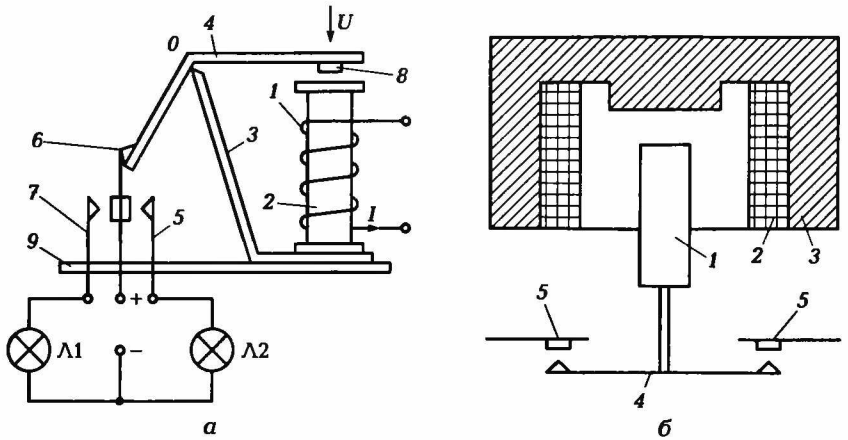


Рис. 4.5. Электромагнитные реле постоянного тока:

а — с поворотным якорем: *1* — катушка; *2* — сердечник; *3* — магнитопровод; *4* — якорь; *5, 6, 7* — контакты; *8* — штифт; *9* — основание; *б* — с втяжным якорем: *1* — якорь; *2* — катушка; *3* — сердечник; *4* — контактная перемычка; *5* — контакты

иметь минимальные габаритные размеры, не перегреваться при максимально допустимом напряжении питания, обладать механической устойчивостью и устойчивостью к испытательному напряжению для проверки диэлектрической прочности изоляции.

Нагрев катушки определяется потерей мощности при протекании тока $I/P = I^2/R$. Предельная допустимая температура нагрева катушки ограничивается теплостойкостью изоляции.

Контактной группой называется элемент реле, осуществляющий операции замыкания или размыкания цепи, в которую включены контакты. Контакты изготовляются из различных материалов, выбираемых в зависимости от принятого давления в контактах, условий работы по частоте, разрывной мощности и ресурса работы. Разрушение контактов определяется механическим износом (получается вследствие ударов подвижного контакта о неподвижный), химическим износом — коррозией (получается вследствие окисления материала при высоких температурах) и электрическим износом — эрозией (выражается в переносе металла с одного контакта на другой и нарушении при этом контактной поверхности).

При замыкании и размыкании контактов, включенных в электрическую цепь с ЭДС, происходит искрение между контактами. Наиболее сильное искрение получается при размыкании цепи с индуктивной нагрузкой. Такой нагрузкой может быть обмотка контактора, электромагнита, электродвигателя и т. д. Искрение приводит к обгоранию и оплавлению контактов, кроме того, при искрении возника-

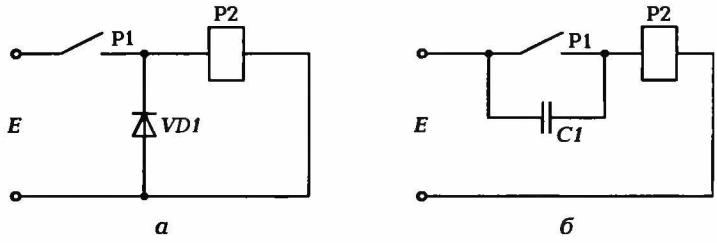


Рис. 4.6. Схемы искрогашения с диодом (*а*) и конденсатором (*б*)

ют помехи, которые могут нарушать работу находящейся поблизости электронной аппаратуры и радиоаппаратуры. Таким образом, искрение вредно и его стараются уменьшить, применяя различные схемы искрогашения. На рис. 4.6 представлены схемы с полупроводниковым диодом *VD1* (рис. 4.6, *а*) и конденсатором *C1* (рис. 4.6, *б*), включенным параллельно индуктивной нагрузке. При размыкании контактов Р1 в катушке реле Р2 возникает ЭДС самоиндукции. Ток, вызванный этой ЭДС, замыкается через диод *VD1* и катушку Р2 (в схеме с диодом) и через источник питания *E*, конденсатор *C1* и катушку Р2, минуя контакты Р1. За счет этого искрение контактов Р1 уменьшается. Следует отметить, что в схеме с диодом изменять полярность питающего напряжения *E* нельзя, так как в случае замены диод при замыкании контактов Р1 замкнет накоротко источник *E*, т. е. возникнет короткое замыкание.

При включении и отключении электромагнитного реле возникают переходные процессы, влияющие на время срабатывания $t_{ср}$ и время отпускания $t_{отп}$. При замыкании контакта Р1 (рис. 4.7) напряжение U на катушке реле Р увеличивается скачком от 0 до E. С этого момента ток в катушке начинает возрастать по экспоненциальному закону:

$$i = I_р(1 - e^{-t/\tau_1}),$$

где $I_р = E/R$ — рабочий ток (R — активное сопротивление цепи катушки); $\tau_1 = L_1/R$ — постоянная времени цепи катушки реле.

При размыкании контактов Р1 напряжение U скачком уменьшается. С этого момента ток в катушке начинает уменьшаться по экспоненте

$$i = I_р e^{-t/\tau}.$$

Из формул следует, что $t_{ср}$ и $t_{отп}$, т. е. быстродействие реле, зависят от постоянной времени цепи катушки и токовых параметров реле.

Электромагнитные реле переменного тока (рис. 4.8) по принципу действия не отличаются от реле постоянного тока, однако имеют особенности конструкции, обусловленные тем, что ток в катушке

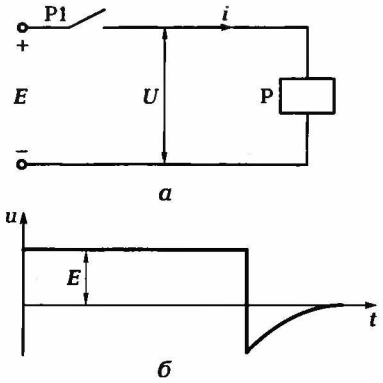


Рис. 4.7. Схема включения реле (*а*) и временна́я диаграмма (*б*) работы реле

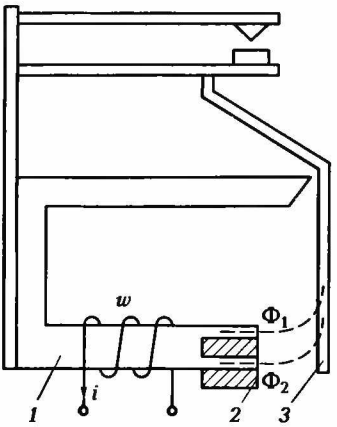


Рис. 4.8. Реле переменного тока: *1* — сердечник; *2* — медная пластинка; *3* — якорь

дважды за период принимает нулевые значения и тем самым вызывает вибрацию якоря и контактов. Для уменьшения вибрации один полюс сердечника раздваивают и на одну половину помещают медную пластину *2* (короткозамкнутый виток). Ток *I* создает магнитный поток, который разветвляется в полюсе сердечника на два потока Φ_1 и Φ_2. Поток Φ_2 наводит в короткозамкнутом витке ток, который препятствует изменениям потока Φ_2 (по закону электромагнитной индукции). В результате поток Φ_2 отстает по фазе от потока Φ_1. Тогда при $\Phi_1 = 0$, $\Phi_2 \neq 0$, и наоборот, поэтому электромагнитная сила прочно удерживает якорь возле сердечника. Сердечник *1* и якорь *3* выполняются шихтованными из листовой трансформаторной стали с целью уменьшения потерь на гистерезис и вихревые токи.

Поляризованные реле. *Поляризованным* называется электромагнитное реле, у которого направление перемещения якоря зависит от направления тока в катушке реле, т. е. от полярности входного напряжения, что достигается взаимодействием двух магнитных потоков: рабочего, образованного катушкой, и поляризованного, создаваемого постоянным магнитом. Благодаря этому поляризованные реле имеют значительно большую чувствительность по сравнению с электромагнитными. Главным недостатком поляризованных реле является малое число контактных групп.

На рис. 4.9, *а* показана поляризованная система, получившая большое применение благодаря своей чувствительности и быстродействию. Распределение магнитных потоков, образованных по-

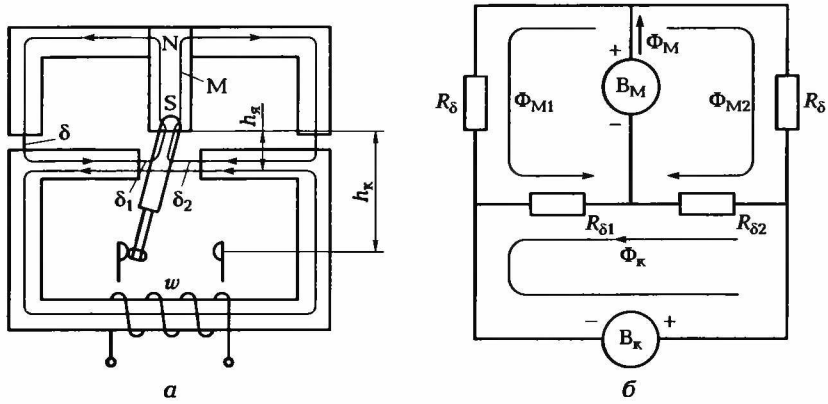


Рис. 4.9. Схема поляризованного реле:
а — схема; *б* — респределение магнитных потоков

стоянным магнитом М и электромагнитом (катушкой с витками *w*) представлено на рис. 4.9, *б*. Потоки постоянного магнита в зазорах δ_1 и δ_2 равны. Результирующая сила, действующая на конец якоря, равна разности сил, создаваемых в зазорах δ_1 и δ_2.

Электронные реле. Электромагнитное реле постоянного тока, имеющее дополнительно в своем составе усилитель для усиления входного сигнала управления, называется *электронным реле*

К достоинствам такого реле относится высокая чувствительность, которая обусловливается наличием в схеме усилителя. Реле реагирует на малые входные напряжения и токи.

Принципиальная схема электронного реле изображена на рис. 4.10. Реле Р1 выключено, если нет сигнала на входе, т. е. транзистор *VT1* закрыт и в коллекторной цепи нет тока. При подаче напряжения $U_{вх}$ отрицательной полярности возникает ток в цепи: $+E_к$, эмиттер — коллектор транзистора *VT1* обмотка реле Р1,—$E_К$. Соответственно срабатывает реле Р1, контакты *1* и *2* замыкаются. После снятия входного напряжения транзистор закрывается и реле Р1 выключается. Чтобы не было пробоя транзистора, параллельно обмотке реле ставится диод *VD1*. Диод открывается под действием ЭДС самоиндукции, возникающей в обмотке реле Р1 при закрытии транзистора, и шунтирует обмотку реле.

Фотореле. *Фотореле* называется устройство, скачкообразно переключающее электрическую цепь при изменении освещенности.

В качестве элементов, реагирующих на освещенность, в фотореле используются фотоэлемент (фотодиод, фототранзистор или фоторезистор). Принципиальная схема одного из фотореле изобра-

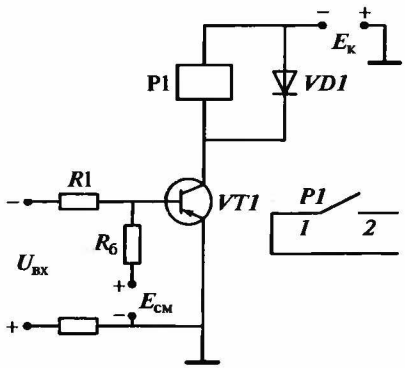


Рис. 4.10. Принципиальная схема электронного реле

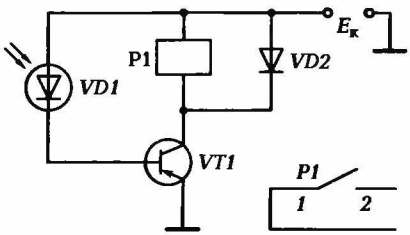


Рис. 4.11 Схема фотореле

жена на рис. 4.11. Если фотодиод *VD1* не освещен, то транзистор (*VT1*), закрыт, так как внутреннее сопротивление *VD1* велико и током базы можно пренебречь. Реле *P1* выключено.

При освещении фотодиода его внутреннее сопротивление резко уменьшается и возникает ток в цепи: $+E_к$, эмиттер — база транзистора, фотодиод *VD1*, $-E_к$. Транзистор открывается, реле P1, включается. Диод *VD2* предохраняет транзистор от пробоя.

Тепловое реле. *Тепловым реле* называется устройство, скачкообразно переключающее электрическую цепь при изменении температуры окружающей среды на определенное значение. Основным элементом тепловых реле является двухслойная биметаллическая пластинка: первый слой из инвара, второй — из латуни.

При увеличении температуры латунный слой *1* расширяется и пластина *2* изгибается в сторону инвара. При этом контакты реле замыкаются (рис. 4.12, *а*). Биметаллическая пластина нагревается также проходящим через нее электрическим током (рис. 4.12, *б*). При коротком замыкании нагрузки происходит возрастание тока, пластина нагревается, изгибается и размыкает контакты. В этом случае тепловое реле работает как реле максимальной защиты, срабатывающее при увеличении тока в цепи.

Время срабатывания тепловых реле от одной секунды до нескольких минут. Это объясняется большой тепловой инерцией реле.

Тепловые реле используются как реле времени, температуры и максимальной защиты.

Путевые переключающие устройства. Путевые переключающие устройства широко используются при автоматизации процессов, связанных с перемещениями механизмов или обрабатываемых ма-

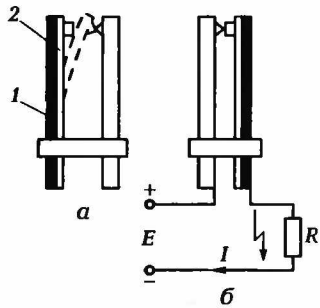


Рис. 4.12. Схемы конструкции теплового реле:

а — изгиб пластинок при изменении температуры: *1* — латунный слой; *2* — пластина; *б* — нагрев пластины проходящим электрическим током

териалов. Эти устройства работают по принципу включено — отключено. Характерной особенностью их является то, что перемещение механизма или обрабатываемого материала управляет цепью электрического исполнительного элемента путем ее замыкания или размыкания.

Путевые переключающие устройства бывают контактные механические, бесконтактные индуктивного и трансформаторного типов, магнитомодуляционные.

Контактные механические переключающие устройства могут быть однопредельными или многопредельными, т. е. содержать одну или несколько пар рабочих контактов.

Путевое переключающее устройство, действующее только в конце пути, т. е. ограничивающее путь передвижения механизма путем размыкания или замыкания цепи электропривода, называется *конечным выключателем*. Конечные выключатели служат командоаппаратами при автоматическом управлении движущимися механизмами и аварийными ограничителями хода. Путевые переключающие устройства координируют работу нескольких механизмов, пуская их в ход, останавливая или изменяя их скорость в зависимости от проходимого пути. По способу привода контактные путевые переключающие устройства бывают рычажные, нажимные и вращающиеся.

В сложных схемах управления электроприводами применяются универсальные переключатели серии УП, обеспечивающие возможность нескольких переключений. Эти переключатели выполняются обычно в виде набора контактных устройств, в которых подвижные контакты укреплены на рычагах, управляемых кулачковыми шайбами. Изменение положения переключателя соответствует повороту на 45, 90, 135, 180°. Универсальные переключатели УП рассчитаны на управление током до 20 А при напряжении до 500 В. Они допускают комплектование в одном переключателе до 16 секций с соответствующим числом переключаемых цепей управления.

4.6. НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИНЦИП РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

Шаговые (импульсные) электродвигатели. Чаще всего такие электродвигатели используются в автоматических устройствах, где управляющий сигнал задается в цифровой форме или в виде последовательности импульсов. Автоматизированный привод дискретного действия с шаговыми электродвигателями достаточно прост, надежен и имеет малые габаритные размеры.

Шаговые двигатели (ШД) можно классифицировать:

1) по числу фаз обмоток управления: однофазные, двухфазные и многофазные;

2) типу роторов: активные (возбужденные) и пассивные (невозбужденные). Активные шаговые двигатели можно в свою очередь подразделить на двигатели с постоянными магнитами (магнитоэлектрические) и двигатели с обмотками возбуждения (электромагнитные); пассивные — на индукторные и реактивные;

3) числу пакетов стали магнитопровода: однопакетные, двухпакетные и многопакетные;

4) способу фиксации ротора при обесточенных обмотках управления: с внутренней и внешней фиксацией;

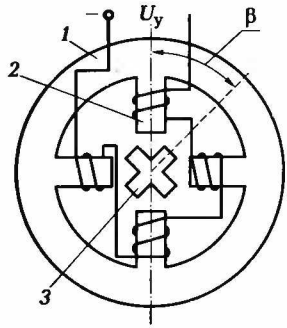
5) способу вращения: реверсивные, нереверсивные;

6) мощности: маломощные, силовые;

7) перемещению ротора: угловым и линейным.

Шаговые электродвигатели преобразуют управляющий импульс в фиксированный угол поворота ротора или в фиксированное линейное перемещение датчика обратной связи. Такие двигатели дают возможность преобразовывать унитарный код (последовательность импульсов) в пропорциональное перемещение механизма. Указанное свойство ШД является очень ценным, так как позволяет применять их в устройствах автоматики с цифровыми (дискретными) управляющими сигналами. Наибольшее распространение ШД получили в станкостроении для программного управления станками. В этом случае программа работы станка записывается на перфоленту или перфокарту, откуда она считывается и преобразуется в унитарный код для управления приводом станка.

Шаговые электродвигатели применяются также, когда управляющая команда (из-за технологических особенностей) носит дискретный характер. Примерами таких устройств являются различного рода счетчики, затворы, лентопротяжные механизмы и т. д.



4.13. Шаговый электродвигатель:

1 — статор; *2* — полюсы; *3* — ротор

Схема конструкции одного из типов шаговых электродвигателей приведена на рис. 4.13. Он состоит из статора *1*, полюсов с обмотками управления *2* и ротора *3*. Если на обмотку управления подать напряжение U_y, то под действием магнитного поля ротор электродвигателя повернется на угол β и останется в этом положении. При этом секторы ротора будут находиться непосредственно под полюсами статора и будут удерживаться магнитными потоками полюсов до тех пор, пока по обмоткам полюсов статора будет протекать ток.

Для следующего поворота ротора на заданный угол (шаг) в статоре должны быть предусмотрены еще четыре или более полюсов с обмотками.

Такой же эффект можно получить, если статор электродвигателя будет состоять из нескольких секций, расположенных в одной стороне двигателя по его длине. Однако полюсы каждой секции статора должны быть сдвинуты под определенным углом. Ротор этого двигателя по конфигурации также имеет секционную форму. При этом длина каждой секции равна длине секции статора, а выступы ротора сдвинуты на тот же угол, что и полюсы статорных секций. В таких конструкциях шаговых электродвигателей имеется не одна, а несколько обмоток — в зависимости от числа секций статора. Управление подобными двигателями осуществляется соответствующими усилителями, которые выдают серию повторяющихся импульсов определенной длительности. Такой усилитель имеет несколько выходных каналов управления. Каждый канал управления подает импульсы на свою обмотку управления шагового двигателя. Если двигатель имеет, например, четыре секции и соответственно четыре обмотки управления, то в этом случае усилитель ШД также должен иметь четыре выходных канала.

На рис. 4.14, *а* представлены в качестве примера схема обмотки и порядок коммутации напряжения двухфазного шагового двигателя типа ШД-2-1. Обмотки двигателя имеют выводы средних точек С5 и С6, что приводит к их расщеплению на две полуфазы и превращает двигатель из двухфазного в четырехфазный. Управление этого двигателя производится однополярными импульсами (рис. 4.14, *б*).

По своей конструкции шаговые двигатели мало отличаются от обычных синхронных двигателей. Их роторы чаще возбуждаются

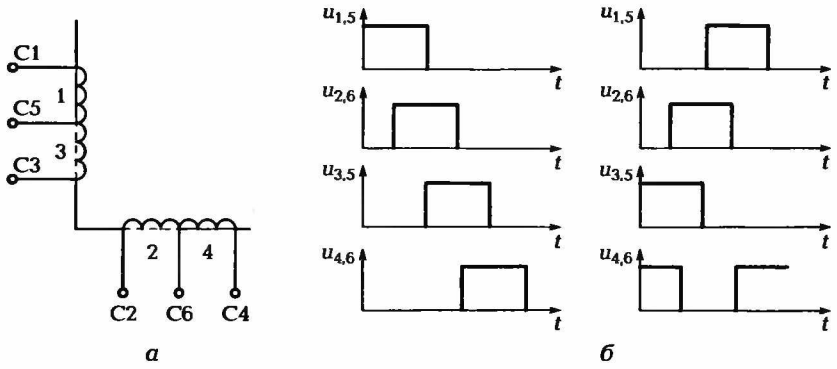


Рис. 4.14. Схема обмоток (а) и порядок коммутации напряжения (б) шагового двигателя типа ШД-2-1

постоянными магнитами, реже — обмоткой возбуждения постоянного тока. Роторы имеют выраженные полюсы. Их выполняют в виде магнитов-звездочек (многополюсными) с целью уменьшения шага.

Однофазные шаговые двигатели обычно применяются там, где не требуется больших синхронизирующих моментов и высоких скоростей. Они просты по устройству и управлению, не требуют сложных коммутаторов и чаще всего имеют одно направление вращения (не имеют реверса). Главная трудность создания однофазных двигателей состоит в получении у них пускового момента однонаправленного действия.

Электромагнитные исполнительные элементы. В системах электроавтоматики широко используются электромагнитные исполнительные элементы дискретного действия. В зависимости от типа, конструктивного исполнения и условий применения выходной величиной электромагнитных исполнительных элементов могут быть: для элементов с прямолинейным движением рабочего органа — перемещение, скорость, усилие; для элементов с вращательным движением рабочего органа — угол поворота, частота вращения или развиваемый им вращающий момент.

За управляющее воздействие на электромагнитные исполнительные элементы принимается электрический сигнал управления на намагничивающей обмотке, создающей электромагнитное поле и действующей через него на рабочий орган.

Ходовые электромагниты используются при автоматизации технологических процессов в системах двухпозиционного регулирования и в защитно-блокировочных системах. В последнем случае электромагнит с соответствующей арматурой или приспособлением

производит автоматическое прекращение (отсечку) или восстановление потока вещества в технологических коммуникациях. Нередко электромагниты используют как вспомогательный привод, дающий импульс к действию рабочего органа, а также в качестве соленоидных клапанов.

Электромагниты могут быть переменного (однофазные и трехфазные) и постоянного токов. Их основными характеристиками являются ход якоря (рабочего органа), зависимость между перемещением якоря и тяговым усилием, зависимость между положением якоря (его перемещением) и расходом электроэнергии, время срабатывания. Эти характеристики зависят от формы магнитопровода, состоящего из ярма и якоря, расположения намагничивающих обмоток и рода питающего тока (переменного или постоянного).

В зависимости от хода якоря (его максимального перемещения) различают короткоходовые и длинноходовые электромагниты. Выбор электромагнита осуществляют по напряжению, току, потребляемой мощности.

Электромагнитные муфты. Эти муфты являются связующими звеньями между приводом и рабочим механизмом. Принцип их действия основан на электромагнитных свойствах связываемых элементов. В зависимости от вида связи муфты подразделяются на фрикционные сухого трения, вязкого трения и различные индукционные. Регулирующее воздействие муфт осуществляется за счет изменения их сцепления.

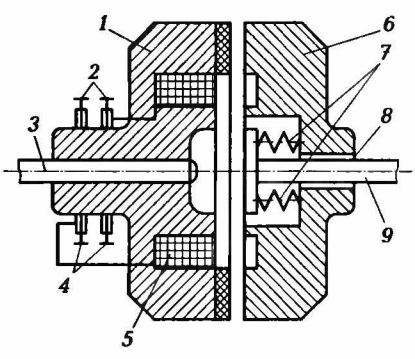


Рис. 4.15. Электромагнитная муфта сухого трения:

1 — обмотка; *2* — кольцо; *3*, *9* — валы; *4* — щетки; *5*, *6* — полумуфты; *7* — пружина; *8* — шпонка

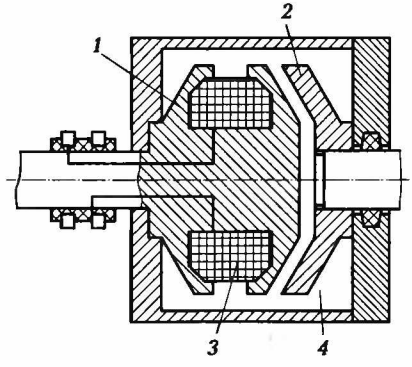


Рис. 4.16. Электромагнитная муфта вязкого трения:

1, *2* — полумуфты; *3* — обмотка; *4* — ферромагнитная среда

При выборе электромагнитной муфты необходимо учитывать следующие требования:

- принцип действия муфты должен соответствовать требуемому режиму (позиционного действия или при регулировании частоты вращения) и области применения;
- муфта должна быть рассчитана на требуемую мощность и обладать перегрузочной способностью; должна обеспечить требуемый коэффициент передачи, требуемое быстродействие и надежность; быть удобной в эксплуатации и простой в обслуживании.

Муфта сухого трения (рис. 4.15) состоит из двух полумуфт *5* и *6*, соответственно связанных с валами *3* и *9* обмотки *1*, в которую подается ток через кольца *2* и щетки *4*. Ведомая часть полумуфты *6* перемещается вдоль оси по шпонке *8* и связана валом *9* с рабочим механизмом. Ведомая полумуфта *6* отжимается от ведущей *5* пружиной *7*. При подаче тока в обмотку возбуждения электромагнитное поле, преодолевая усилие пружины, притягивает ведомую полумуфту. За счет сил трения между полумуфтами передается крутящий момент с ведущего вала на ведомый. Для увеличения передаваемого крутящего момента муфты изготавливают многодисковыми.

Муфты вязкого трения — ферропорошковые или магнитоэмульсионные работают по принципу намагничивания магнитного порошка, образуя сцепляющий слой ведомого и ведущего элементов муфты. Характерной особенностью таких муфт является то, что с увеличением магнитного потока возрастает передаваемый крутящий момент. Это позволяет использовать муфты вязкого трения в системах автоматического регулирования частоты вращения.

Конструктивная схема муфты вязкого трения дискового типа показана на рис. 4.16. Муфты вязкого трения различаются по конструктивному исполнению — расположением катушек (униполярные, многополюсные), их числом (однокатушечные, многокатушечные); по форме рабочей поверхности (дисковые, цилиндрические, барабанные, конусные); по числу рабочих зазоров (одно- и многозазорные); по виду токопроводов (с контактными кольцами и бесконтактные); по скорости срабатывания (малоинерционные и инерционные). Такие муфты не боятся перегрузок, являются быстродействующими исполнительными элементами.

Электрические исполнительные механизмы. В зависимости от типа принципа действия эти механизмы подразделяют на электромагнитные и электродвигательные.

Электромагнитные исполнительные механизмы являются наиболее простыми, надежными и быстродействующими из электриче-

ских исполнительных механизмов. Их используют для управления различного рода регулирующими и затворными клапанами, вентилями, золотниками и т. д. По виду движения исполнительного (регулирующего) органа (шток, выходной вал) электромагнитные механизмы подразделяют на электромагниты с прямолинейным движением и электромагнитные муфты с вращательным движением.

В зависимости от требований электромагниты могут отличаться друг от друга конструктивно. Однако они имеют общие элементы (рис. 4.17): катушку, подвижный сердечник, возвратную пружину. С помощью подвижного сердечника энергия магнитного поля преобразуется в механическую и через шток передается запирающему элементу. Перемещение сердечника, при котором происходит движение запирающего элемента, называют *рабочим ходом* δ.

По характеру движения сердечника и связанного с ним регулирующего органа электромагнитные механизмы подразделяют на тянущие, толкающие, поворотные, удерживающие и реверсивные.

В тянущих механизмах линейное перемещение сердечника направлено от точки приложения противодействующих сил, а в толкающих — наоборот. В поворотных электромагнитных механизмах при подаче напряжения на обмотку катушки силовой элемент поворачивается на определенный угол. Применение поворотных механизмов ограничивается вследствие малых крутящих моментов и громоздкости конструкции. Реверсивные электромагнитные механизмы обеспечивают изменение перемещения силового элемента в зависимости от характера электрического сигнала. Реверсивный механизм обычно содержит два электромагнита, сердечники которых механически связаны с запирающим элементом.

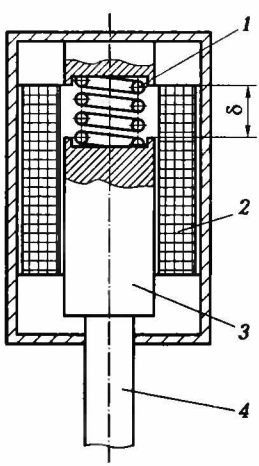


Рис. 4.17. Электромагнит:
1 — пружина; *2* — катушка; *3* — сердечник; *4* — шток

По числу позиций выходного силового элемента (регулирующего органа) различают одно-, двух- и трехпозиционные электромагнитные механизмы. У однопозиционных механизмов при подаче тока на обмотку катушки сердечник занимает одно определенное положение. У двухпозиционных механизмов силовой элемент занимает одно из двух положений в зависимости от того, на обмотку какого электромагнита подается электрический ток. После обесточивания он сохраняет

занятое им положение. Выходной силовой элемент трехпозиционных электромагнитных механизмов при отсутствии тока в обмотках занимает нейтральное положение.

В настоящее время получили широкое распространение электромагнитные приборы серии ЭВ. Приводы ЭВ-1 и ЭВ-2 рассчитаны на длительный режим работы, а привод ЭВ-3 рассчитан на кратковременный режим работы (в течение 1 мин) при усилии 100 Н.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните устройство и принцип действия электромагнитного реле.
2. Что такое характеристика управления реле?
3. Какие аппараты называются исполнительными устройствами?
4. Для чего нужна и как устроена фрикционная электромагнитная муфта?
5. Что понимается под ферромагнитными элементами? Как устроен и работает магнитный усилитель?
6. Какой элемент автоматики называется усилителем и каково его назначение?
7. Перечислите основные характеристики усилителей.
8. Перечислите основные типы усилителей.
9. Поясните отличия реле переменного и постоянного токов, реле напряжения, времени, промежуточное?
10. Расскажите о классификации электрических реле.
11. Какими параметрами характеризуются электрические реле?
12. Каковы назначения и принцип действия шагового искателя?
13. Расскажите о классификации исполнительных механизмов.
14. Какие электрические муфты применяются в системах автоматики?
15. Назовите электродвигательные исполнительные механизмы.
16. Что понимается под ферромагнитными элементами? Как устроен и работате магнитный усилитель?

Глава 5

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И СИГНАЛИЗАЦИИ

5.1. НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ

Многочисленные и весьма разнообразные автоматические устройства по основному назначению могут быть разделены на четыре группы.

Устройства автоматического контроля и сигнализации. Эти устройства служат для контроля за ходом того или иного процесса или состоянием того или иного объекта.

В отличие от обычного контроля, осуществляемого при помощи измерительных приборов (вольтметров, амперметров, термометров и т. д.), автоматический контроль не требует постоянного или периодического наблюдения за показаниями приборов. Устройство автоматического контроля и сигнализации подает определенный сигнал при изменении заданного режима или нарушении нормальных условий работы.

Устройства автоматической защиты и блокировки. Эти устройства предназначены для предотвращения аварий и несчастных случаев при нарушении нормального режима работы или правил эксплуатации различных установок. Они, в сущности, являются дальнейшим развитием устройств первой группы. При наличии устройств автоматического контроля и сигнализации переключения в схеме осуществляет оператор после получения сигнала о нарушении заданного режима работы. Применение автоматической защиты и блокировки позволяет осуществлять эти действия без оператора: сигнал сам воздействует на соответствующие элементы схемы, осуществляющие переключение или полное выключение аппаратуры. Таким сигналом может быть отклонение величины тока или напряжения от нормального значения, изменение температуры, давления и т. д. Автоматическая защита особенно важна там, где необходимо

быстродействие, недоступное человеку, или там, где присутствие человека невозможно по причинам безопасности.

Как правило, устройства автоматической защиты и блокировки соединяются с устройством, сигнализирующим о возникшем нарушении в работе аппаратуры.

Устройства автоматического регулирования. Устройства данной группы предназначены для поддержания постоянства положения или состояния какого-либо объекта или же для их изменения по некоторому закону, который в общем случае заранее может быть и не известен.

Эти устройства выполняют более сложные функции по сравнению с устройствами, рассмотренными ранее. Действительно, устройства защиты и блокировки выполняют лишь простейшие операции: выключение или переключение аппаратуры, в то время как системы автоматического регулирования могут осуществлять управление по весьма сложным законам. Это обстоятельство определяет и сложность самих систем.

Устройства автоматического регулирования весьма разнообразны. К ним относятся стабилизаторы напряжения, температуры, частоты, поддерживающие постоянное значение регулируемых параметров, системы самонаведения боевых ракет, системы автоматического радиолокационного сопровождения цели, системы автоматической подстройки частоты и другие устройства, в которых закон изменения регулируемого параметра заранее не известен.

В состав систем автоматического регулирования как вспомогательные элементы могут входить устройства автоматической защиты и блокировки, контроля и сигнализации.

Счетно-решающие устройства. Данную группу составляют устройства, в которых средства автоматизации используются для облегчения и ускорения вычислительной работы.

Современные универсальные счетно-решающие устройства могут решать самые разнообразные задачи, выполняя не только чисто математические, но и логические операции. Более того, они в зависимости от промежуточных результатов вычислений сами изменяют направление вычислительного процесса. Это не просто механизация, а автоматизация умственного труда. Счетно-решающие устройства применяются не только для вычислительных работ. Они дают возможность определенным образом моделировать работу сложных объектов или процессы в них. Это позволяет еще до построения того или иного объекта достаточно точно испытать его на модели и в зависимости от результатов испытания внести необходимые изменения в проект.

В состав счетно-решающих устройств, как правило, входят автоматические системы всех трех рассмотренных групп.

5.2. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

В современном промышленном производстве число контролируемых параметров технологических процессов становится настолько большим, что оператор не в состоянии следить за показаниями приборов и делать правильные выводы из получаемой информации. В связи с этим возникла необходимость в создании систем централизованного контроля, с помощью которых можно было бы осуществлять быстродействующий последовательный опрос состояния контролируемых величин, производить простейшую обработку и регистрацию.

Система автоматического контроля (рис. 5.1, *а*) представляет собой совокупность отдельных элементов, последовательно воздействующих друг на друга. Изменение контролируемого параметра в объекте контроля *1* воспринимается измерительным элементом — первичным преобразователем *2*, который преобразует поступившую на его вход какую-либо физическую величину *A* в сигнал *X*, способный воздействовать на исполнительный элемент *3*. Результат действия *Y* исполнительного элемента подается на воспроизводящий элемент *4*, который записывает или показывает текущее значение контролируемого параметра.

В зависимости от функции воспроизводящего элемента системы автоматического контроля подразделяются на измерительные системы, системы сигнализации и сортировки (система контроля готовой продукции).

В **автоматических измерительных системах** воспроизводящий элемент указывает или регистрирует текущее значение контроли-

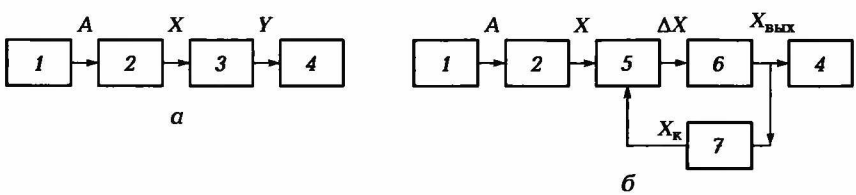


Рис. 5.1. Схемы систем автоматического контроля:
а — небалансной; *б* — балансной

руемого параметра. Как правило, эта система представляет собой прибор, предназначенный для одного параметра (температуры, давления, запыленности и т. д.).

Автоматическая система сигнализации используется для оповещения обслуживающего персонала о возникших отклонениях в контролируемом объекте путем подачи звуковых или световых сигналов. Автоматические системы сигнализации в зависимости от их назначения подразделяются на контрольные и предупредительные.

Автоматическая система сортировки осуществляет контроль обработанных изделий по их качественным и количественным признакам.

По структуре автоматические системы измерения подразделяют на системы с разомкнутой структурой, т. е. системы прямого преобразования (называемые также небалансными), и с замкнутой структурой, т. е. балансные системы.

Небалансные системы (см. рис. 5.1, *а*) основаны на непосредственном измерении выходного сигнала первичного преобразователя. Все преобразования от выходного сигнала преобразователя X до выходного сигнала Y всей системы имеют одно направление: системы к выходу.

Балансные системы (рис. 5.1, *б*) имеют замкнутую схему. В них контролируемая величина A уравновешивается известной величиной того же рода (например, напряжение уравновешивается напряжением)

Выходная величина первичного преобразователя используется для компенсации (уравновешивания) входной измеряемой величины. К основной (прямой) цепи балансной системы добавляется обратная связь. В прямую цепь дополнительно вводятся элементы сравнения *5* и усиления *6*. В обратную цепь входит балансирующий элемент *7*, преобразующий выходной сигнал системы $X_{вых}$ в компенсирующий $X_к$. На выходе элемента сравнения образуется разность $\Delta X = X - X_к$.

Если эта разность равна нулю, то система находится в равновесии и показания воспроизводящего элемента соответствуют измеряемой величине A. При возникновении разбаланса ΔX балансирующий элемент изменяет значения $X_к$ до наступления нового равенства изменившимся значением X. Показание воспроизводящего элемента изменяется пропорционально ΔX.

В зависимости от характера процесса уравновешивания во времени балансные системы делят на системы непрерывного балансирования (следящего уравновешивания) и системы периодического балансирования (развертывающего уравновешивания).

В *системах непрерывного балансирования* балансирующая $X_к$ и выходная $X_{вых}$ величины непрерывно следят за изменениями входной контролируемой величины A. При неизменной входной величине A = const все элементы этих систем находятся в состоянии равновесия.

В *системах периодического балансирования* уравновешивающая величина X изменяется через определенные моменты времени по заданному закону независимо от изменения значения A. Перед каждым новым циклом уравновешивания значение выходной величины сбрасывается на нуль. При A = const все элементы непрерывно работают.

5.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА СИГНАЛИЗАЦИИ, РЕГИСТРАЦИИ, ИНДИКАЦИИ И ЗАЩИТЫ

По виду выходного сигнала измерительные системы подразделяют на аналоговые, в которых используются стрелочные приборы, и системы с цифровым отсчетом, получившие наибольшее распространение.

В настоящее время все более широкое распространение получает дискретное (цифровое) воспроизведение измеряемой величины, которая обычно является непрерывной (аналоговой) функцией времени.

В цифровых приборах измеряемая величина представляется в дискретной форме (числом), т. е. в виде окончательного результата измерения.

Все бесконечное множество значений измеряемой величины в заданных пределах заменяется в цифровом приборе ограниченным рядом числовых значений, например, в четырехдекадном цифровом приборе — ограниченным рядом значений от 1 до 9999. Дискретная форма измеряемой величины обычно представляет собой определенное число электрических импульсов или их определенную комбинацию — код. Дискретная форма представления величины по сравнению с аналоговой более удобна для визуального отсчета и регистрации, а также для передачи на расстояние. Применение приборов с цифровым отсчетом исключает субъективную погрешность отсчета. При измерении числовое значение контролируемой величины определяется в процессе квантования.

Квантованием называется процесс преобразования непрерывных (аналоговых) величин в дискретные. Различают три вида кван-

тования: по уровню, времени и смешанное по уровню и по времени. Квантованием непрерывной величины по уровню (рис. 5.2, *а*) называют операцию, при которой непрерывная функция заменяется определенными дискретными значениями. Диапазон значений измеряемой величины X разбивается на одинаковые интервалы, называемые шагом квантования ΔX, и вместо действительных значений измеряемой величины воспроизводятся ближайшие дискретные к ним значения.

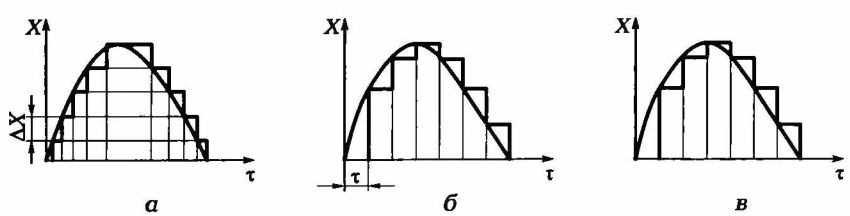
Квантованием по времени (рис. 5.2, *б*) называется замена непрерывной величины ее значениями, взятыми в определенные дискретные моменты времени $\tau_к$, $2\tau_к$, ..., $n\tau_к$, где величина $\tau_к$ называется *периодом дискретности* или *интервалом квантования*.

В цифровых измерительных приборах измеряемая величина преобразуется в число в результате комбинированного квантования (по уровню и времени) — цифрового кодирования (рис. 5.2, *в*).

Для перехода от непрерывных значений измеряемого параметра в цифровой код автоматические измерительные приборы с цифровым выходом имеют аналого-цифровые преобразователи, осуществляющие преобразование непрерывных выходных сигналов первичных преобразователей в соответствующие им цифровые коды. Аналого-цифровой преобразователь является одним из основных узлов цифровой системы автоматического измерения.

Существующие аналого-цифровые преобразователи по конструктивному признаку подразделяют на электромеханические и электронные, а по виду аналоговой величины — на преобразователи механических перемещений (линейных и угловых) и преобразователи электрических величин (токов, напряжений и т. д.).

Для воспроизведения показаний в цифровой форме применяют цифровые указатели (индикаторы) и регистраторы. Индикаторы выдают результаты измерений в цифровой форме для непосредственного восприятия оператором. Регистраторы воспроизводят результаты измерений также в цифровой форме и хранят их для дальнейшего непосредственного восприятия.



а *б* *в*

Рис. 5.2. Виды квантования сигналов:
а — по уровню; *б* — по времени; *в* — по уровню и времени

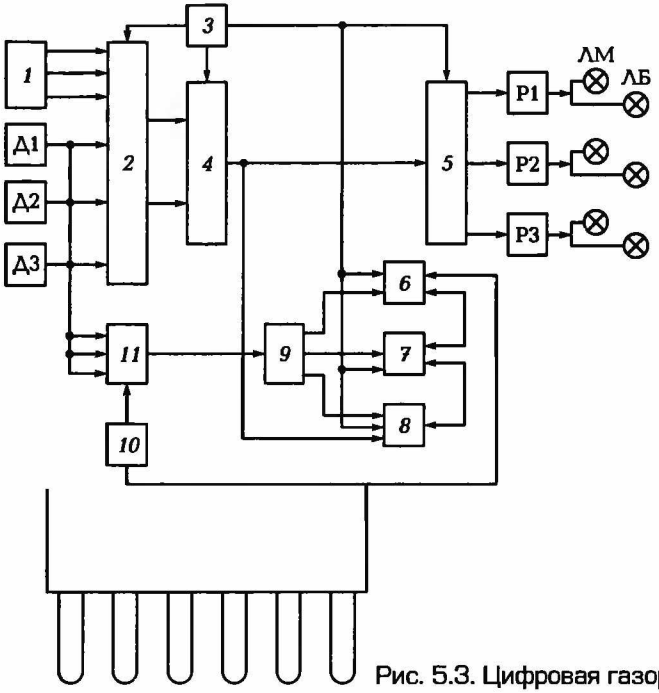


Рис. 5.3. Цифровая газоразрядная лампа

По принципу действия и конструктивному исполнению цифровые индикаторы выполняются в виде электромеханических устройств, цифровых ламп, электролюминесцентных знаковых элементов, устройств с подсветкой изображаемых цифр («световое табло»), электронно-лучевых трубок и др.

Цифровые индикаторы электромеханического типа представляют собой набор колес или непрерывных лент вращения, на которых нанесены изображения цифр. Эти индикаторы применяют главным образом в медленно действующих приборах, например в электрических счетчиках, массоизмерительных приборах различного рода и др.

В индикаторах на цифровых лампах для изображения цифр применяются газоразрядные лампы.

Такая лампа (рис. 5.3) представляет собой стеклянную цилиндрическую колбу, заполненную неоном. Внутри колбы расположены десять катодов, которые выполнены из нихромовых проволочек, изогнутых в форме цифр от 0 до 9, и один сетчатый анод, охватывающий пакет катодов. При подаче напряжения на один из катодов между ним и анодом возникает тлеющий разряд, охватывающий всю поверхность катода, который начинает светиться, и очертания данной цифры становятся видимыми.

Электролюминесцентные знаковые индикаторы выполняют обычно из семи (иногда больше) изолированных полосок, образующих цифру 8. При подаче возбуждающего напряжения на соответствующие полоски возникает светящееся изображение любой десятичной цифры.

Принцип действия индикатора состоит в использовании явления электролюминесценции, заключающегося в возникновении свечения люминофора (например, различных соединений фосфора) под воздействием электрического поля. Принципиально электролюминесцентный индикатор (рис. 5.4) является конденсатором с общим электродом *3*, выполненным в виде прозрачной токопроводящей пленки из оксида кадмия, нанесенной на стекло *1*. Второй электрод *4* конденсатора представляет собой изолированные друг от друга непрозрачные проводящие полоски из алюминия, отражающие свет, излучаемый люминофором. Электролюминофорный слой — смесь порошкообразного фосфора с диэлектриком — расположен между электродами *2* и *4* конденсатора. Конденсатор помещен в корпус *5* из диэлектриков. Для получения изображения нужной цифры напряжение подводят к определенным полоскам. Например, для получения цифры 2 необходимо включить пять полосок (на рис. 5.4, *б*, включенные полоски заштрихованы). Считывание происходит со стороны стекла, на котором темные полоски отражают излучение люминофора, при этом очертание цифр возникает на темном фоне.

Регистрирующие устройства по их назначению можно разбить на две группы: цифропечатающие, выдающие результаты измерения

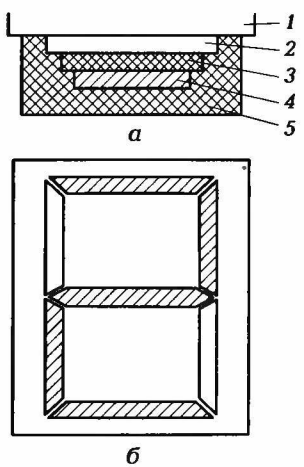


Рис. 5.4. Электролюминесцентный знаковый индикатор:

а — электролюминесцентный конденсатор: *1* — стекло; *2*, *4* — электроды конденсатора; *3* — общий электрод; *5* — корпус; *б* — схема расположения элементов

для непосредственного восприятия их оператором; запоминающие, предназначенные для хранения и дальнейшей переработки информации.

5.4. СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО КОНТРОЛЯ

Для уменьшения числа индивидуальных приборов применяют системы централизованного обегающего контроля. Основным техническим средством этих систем являются машины централизованного контроля, которые собирают, хранят и перерабатывают по определенному закону (алгоритму) информацию о ходе производственного процесса, поступающую от различных первичных преобразователей.

В этих системах показания всех приборов в форме электрических сигналов считываются в определенной последовательности обегающим устройством и перерабатываются в цифровую информацию, которая печатается в виде таблицы.

К машинам централизованного обегающего контроля можно присоединить первичные преобразователи, у которых выходной величиной является термоЭДС или изменение электрического сопротивления. Последовательное подключение к измерительному устройству машины централизованного обегающего контроля различных преобразователей требует от последних максимальной унификации выдаваемых сигналов по их виду и значению.

Рассмотрим принципы действия и типовую схему машины централизованного контроля (см. рис. 5.3). Основные функции, выполняемые машиной, следующие: опрос первичных преобразователей и сравнение полученных значений с заданной нормой; световая (звуковая) сигнализация и цифровая регистрация отклонений; измерение контролируемой величины и представление результатов измерения (в виде показания стрелочного прибора, цифрового указателя или записи) по запросу оператора; вычисление и анализ технико-экономических показателей, характеризующих объект контроля; цифровая регистрация измеренных и вычисленных значений параметров с заданной периодичностью, в том числе на перфокартах или магнитных лентах, для последующей обработки на вычислительной машине; цифровая регистрация значений параметров по запросу оператора, На вход машины от первичных преобразователей Д1 ... Д3 поступают сигналы в аналоговой форме, чаще всего в виде напряжения или постоянного тока. Входной переклю-

чатель *2* по очереди подключает преобразователи к узлу обнаружения отклонения *4*, фиксирующему отклонение контролируемого параметра от установленных задатчиком *1* пределов. При наличии отклонения с учетом знака последнего («меньше», «больше») через выходной переключатель *5*, работающий синхронно с входным, сигнал поступает на выходные реле Р1 ... Р3. Реле срабатывает и включает индикаторную лампу (ЛМ — «меньше», ЛБ — «больше»). Для цифрового представления значения контролируемого параметра преобразователи через входной переключатель *11* подключены к аналого-цифровому преобразователю *9*, который выдает цифровой код, полученный в преобразователе; этот код используется в печатающем устройстве *8*, регистрирующем значения контролируемых параметров, и в блоке логики *6*, служащем для выявления причин нарушения работы объекта контроля, анализа причин аварий и т. д.

Печатающее устройство регистрирует значения всех или определенным образом выбранных контролируемых параметров. При регистрации всех параметров машина как бы опрашивает каналы контроля, поэтому такая печать называется *опросной*. Опросная печать может запускаться либо автоматически в заранее выбранные и введенные в блок управления *3* моменты времени (периодическая регистрация), либо по произвольному выбору оператора с помощью блока выбора *10*. Кроме того, этот блок позволяет вызвать данный параметр на показывающий и записывающий приборы. Визуальное наблюдение за параметрами осуществляется также с помощью цифрового показывающего прибора *7*, на который оператор может вызвать значение любого контролируемого параметра из аналого-цифрового преобразователя либо из вычислительного устройства.

Информация, подлежащая обработке, поступает в вычислительное устройство, которое хранит результаты обработки в своей оперативной памяти и может выдавать их по требованию на печатающее устройство или цифровой показывающий прибор. Промышленность выпускает различные виды устройств централизованного автоматического контроля. К их числу относятся ЭЛРУ-2, МАР-1, ЗЕНИТ-1 и др.

Электронное логическое регистрирующее устройство ЭЛРУ-2 предназначено для автоматического централизованного измерения и цифровой регистрации на специальных бланках в виде таблиц параметров технологических процессов, а также для сигнализации при выходе этих параметров за пределы заданных значений. ЭЛРУ-2 может быть использовано для измерения и регистрации температуры,

состава газовой фазы, давления, расхода и т. д. К устройству ЭЛРУ-2 может быть подключено 56 преобразователей.

Устройство МАР-1 служит для нейтрализованного автоматического измерения и сигнализации 240 параметров и цифровой регистрации 200 параметров технологических процессов.

Устройство ЗЕНИТ-1 предназначен для измерения цифровой регистрации, сигнализации и позиционного регулирования 40 параметров технологических процессов.

Устройство МАРС-200-Р обеспечивает контроль по 200 параметрам технологических процессов и регулирование по 144 параметрам. Наиболее успешно машина работает при контроле температуры, реагируя на ее отклонение до ±1 °С.

Дальнейшим развитием централизованного контроля являются машины, содержащие блоки математической обработки полученной информации и выдачи результатов в соответствии с законом управления. Такие машины называются *управляющими вычислительными машинами* (УВМ).

5.5. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

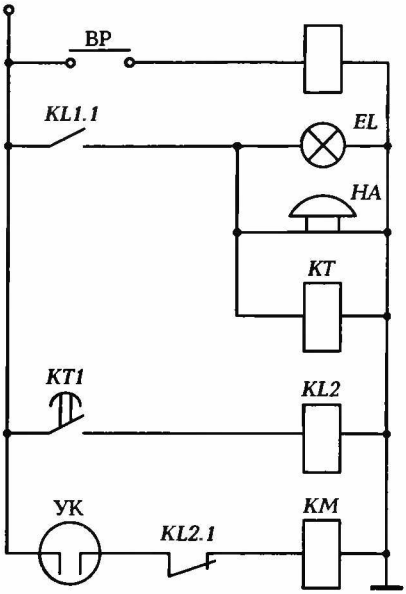
Предупредительная сигнализация извещает обслуживающий персонал о различных режимах работы оборудования или о непредвиденном его выключении, вызванном неисправностью или внешними причинами. Получаемая обслуживающим персоналом информация может быть как звуковой, так и световой.

Для подачи звуковых сигналов используются сирены, звонки, гудки, зуммеры и магнитофоны с предварительно записанными сообщениями. Громкость и частота звукового сигнала должны обеспечивать его хорошую слышимость на фоне производственных шумов (уровень сигнала должен быть выше на 10 дБ общего шума). Повышенной надежностью обладают модулированные (по высоте) и прерывающиеся во времени звуки.

В качестве визуальных сигнализаторов используются световые приборы: фонари, прожекторы, табло, транспаранты с надписью, указывающие характер событий, электромеханические реле с сигнальными флажками.

Отдельные сигнализаторы можно объединить в комплекс (на пультах управления), дающий изображение текущего состояния контролируемого объекта.

Рис. 5.5. Типовая схема устройства централизованного контроля



Конструкция и параметры светосигнальных устройств должны обеспечивать надежное фиксирование сигнала глазом человека. Для этого необходимо создавать такую освещенность, при которой начинает восприниматься цвет сигнала. Сигнальные цвета должны быть контрастными по отношению друг к другу и окружающему фону.

В аварийной световой сигнализации предпочтение отдается красному цвету, который лучше всего виден сквозь пыль и дым. Хорошо воспринимается мигающий свет с частотой мигания не более 10 Гц и продолжительностью не менее 0,05 с.

Для надежного обнаружения светового сигнала сигнализаторы должны располагаться в пределах 30° от нормальной оси зрения оператора.

В качестве источников света в сигнализаторах используют лампы накаливания, лампы тлеющего разряда и электролюминесцентные приборы.

Характерным примером предупредительной сигнализации в термических цехах является устройство, применяемое на селитровых ваннах. Перегрев селитры выше определенной температуры недопустим, так как может вызвать взрыв.

Для предупреждения перегрева предусматривается световая и звуковая сигнализации. Сигнальная лампа и звуковой сигнал включаются по достижении максимально допустимой температуры.

В литейных цехах при транспортировании и разливе жидкого металла обязательно предусматривается звуковая сигнализация. Упрощенная схема предупредительной сигнализации рольганговой печи с водоохлаждаемыми роликами показана на рис. 5.5. Если по каким-либо причинам вода недостаточно охлаждает ролики (или совсем прекратилась подача воды), приводится в действие световая и звуковая сигнализации. При недостатке воды в охлаждающей системе реле ВР замыкает контакты и включает промежуточное реле *KL1.1*, контакт которого включает сигнальную лампу *EL* и звуковой сигнал НА. Одновременно возбуждается реле *KT1*, которое своим контактом через определенный интервал времени включает промежуточное реле *KL2*. Контакт *KL2.1* этого реле размыкается, и цепь управления магнитным пускателем *KM* с управляющим контактом УК разрывается. Аналогичные схемы применяются и для контроля смазки подшипников ответственных механизмов

5.6. АВТОМАТИЧЕСКИЕ МОСТЫ И КОМПЕНСАТОРЫ

Автоматические мосты и компенсаторы (АМК) служат для измерения с высокой точностью и записи электрических и неэлектрических величин, преобразованных в электрические, а также для контроля производственных процессов, проведения научно-исследовательских работ и т. д. В АМК измеряемая величина уравновешивается (компенсируется) некоторой известной однородной ей величи-

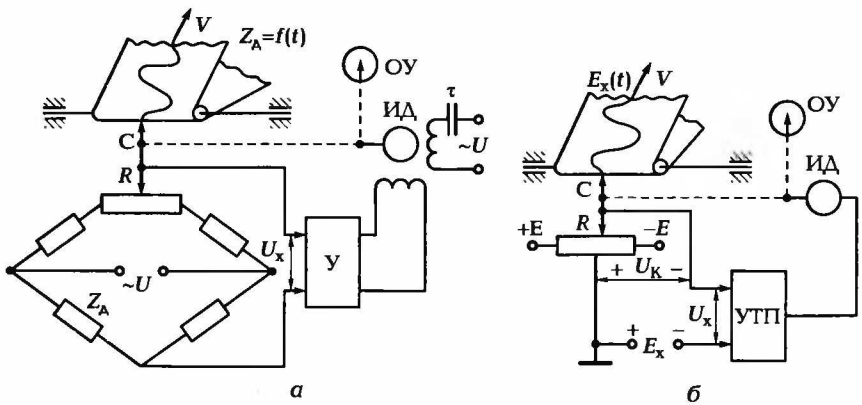


Рис. 5.6. Схема предупредительной сигнализации рольганговой печи

ной, которая отсчитывается на аналоговых или цифровых указателях.

По своим структурным схемам и принципам действия мосты и компенсаторы имеют много общего и в основном отличаются тем, что в компенсаторах уравновешивающими параметрами являются активные элементы — токи и напряжения, а в мостах — пассивные элементы — сопротивления. По роду измеряемых величин компенсаторы большей частью служат для измерения напряжений и токов, а мосты для измерения сопротивлений. АМК могут выполняться на постоянном и переменном токах. По характеру выдаваемой информации АМК могут выполняться аналоговыми, цифровыми и комбинированными. На рис. 5.6, *а* показана упрощенная схема *автоматического моста*. Измеряемое сопротивление $Z_д$, являющееся выходной величиной параметрического датчика (например, тензодатчика, емкостного датчика и т. д.), включается в плечо моста, который автоматически балансируется. При увеличении сопротивления $Z_д$ возникающее напряжение разбаланса U_x усиливается усилителем (У) и подается на обмотку исполнительного двухфазного электродвигателя (ИД).

Двигатель перемещает движок потенциометра R, перо самописца (С) и указатель отсчетного устройства (ОУ) в одну сторону до тех пор, пока не восстановится баланс моста. При уменьшении $Z_д$ происходит обратный разбаланс моста, фаза U_x изменяется на 180°, что вызывает вращение исполнительного двигателя в обратную сторону.

Движок потенциометра и перо самописца перемещаются до тех пор, пока не наступит баланс моста. Таким образом перо самописца и указатель отсчетного устройства следят за изменением сопротивления датчика $Z_д$. На бумажной ленте, перемещающейся со скоростью v фиксируется график $Z_д = f(t)$.

Упрощенная схема *автоматического компенсатора* (потенциометра), осуществляющего измерение и запись значения ЭДС E_x, показана на рис. 5.6, *б*. В соответствии с законом Кирхгофа $U_x = E_x - U_к$. Если $U_к \neq E_x$, то на вход усилителя УПТ подается напряжение U_x, которое усиливается и подается на ИД. Вал двигателя перемещает движок потенциометра R, запитываемого от источника E, и связанные с ним перо самописца и указатель ОУ. При перемещении движка потенциометра меняется компенсирующее напряжение $U_к$. Двигатель остановится, когда $U_к = E_x$. При этом в случае $U_к > E_x$ двигатель перемещает движок в одну сторону, а в случае $U_к < E_x$ — в другую. Автоматические компенсаторы часто применяют для записи ЭДС на выходе термопар.

Следует отметить, что автоматические мосты и компенсаторы не являются узко специализированными приборами по роду измеряемой величины и широко применяются в измерительных цепях устройств автоматики при работе с различными датчиками. Отечественная промышленность выпускает автоматические мосты типов КСМ1, КСМ2 и автоматические компенсаторы типов КСП1, КСП2, различающиеся погрешностью, скоростью перемещения ленты, числом измеряемых параметров, циклом печати и т. д.

В современных АМК показания воспроизводятся в цифровой форме. Цифровые компенсаторы создаются главным образом в виде цифровых вольтметров постоянного тока. Цифровые мосты выпускаются в двух модификациях: с широким диапазоном измерений для абсолютных измерений и с узким диапазоном измерений, предназначенные для определения относительно небольших отклонений измеряемого сопротивления от номинального значения. Ряд цифровых мостов и компенсаторов имеют выход на внешнее цифропечатающее устройство.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назначение систем автоматического контроля и их виды.
2. Какая система носит название системы контроля с цифровым отсчетом?
3. Что такое квантование?
4. Перечислите виды цифровых индикаторов.
5. Какое назначение имеет система централизованного контроля?
6. Охарактеризуйте назначение и характеристику систем централизованного контроля, выпускаемых промышленностью.
7. Укажите виды и средства систем автоматической сигнализации.

Глава 6

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

6.1. НАЗНАЧЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Управление, сопровождающееся непрерывным контролем, называется регулированием, а параметр, которым необходимо управлять, т. е. регулировать, — *регулируемой величиной*. Например, если уровень жидкости в закалочном баке снижается, то необходимо увеличивать подачу воды в бак до тех пор, пока уровень не достигнет заданного значения. В данном примере уровень жидкости является регулируемой величиной, а закалочный бак, в котором регулируется уровень, — объектом регулирования. Следовательно, операция поддержания равенства регулируемой величины ее заданному значению является регулированием. Регулирование может осуществляться вручную и автоматически.

Рассмотрим принцип работы лабораторной нагревательной печи, подключенной к электросети через автотрансформатор. Пусть для измерения температуры в печи установлен термоэлектрический преобразователь (термопара), подключенный к милливольтметру. Лаборант, наблюдая за показаниями милливольтметра, регулирует напряжение на нагревательных элементах печи. Если температура в печи оказывается ниже заданной, он увеличивает напряжение на нагревательных элементах, отчего температура повышается; и наоборот, если температура повышается, то лаборант уменьшает напряжение на нагревательных элементах. Таким образом, лаборант, изменяя напряжение на нагревательных элементах, регулирует температуру. Такое регулирование называется *ручным регулированием.*

Для автоматизации процесса регулирования необходимо, чтобы какое-либо устройство непрерывно или периодически измеряло значение регулируемой величины, сравнивало с заданным значени-

ем и в случае несоответствия с помощью регулирующего органа корректировало технологический процесс, поддерживая заданное значение регулируемой величины. Такое регулирование, при котором управление осуществляется различными устройствами без вмешательства человека, называют *автоматическим регулированием*, а совокупность устройств, состоящих из измерительного элемента (первичного преобразователя), исполнительного механизма и регулирующего органа, называют *автоматическим регулятором*.

Система автоматического регулирования представляет собой совокупность отдельных элементов, направленно воздействующих друг на друга. В сравнивающем устройстве происходит сравнение текущего значения регулируемой величины X, которое поступает по главной обратной связи, с ее заданным значением X_0.

В цепи главной обратной связи имеется инвертор, изменяющий знак сигнала X. В случае неравенства величин, поступающих на сравнивающее устройство, т. е. в случае рассогласования, на выходе задающего устройства появляется сигнал $\Delta X = X_0 - X$, пропорциональный рассогласованию. Этот сигнал подается на вход регулятора. В регуляторе сигнал ΔX преобразуется и усиливается по мощности до уровня, необходимого для управления исполнительным устройством. Исполнительное устройство, в свою очередь, воздействует на объект регулирования. При этом регулируемая величина X в результате регулирующего воздействия Y изменяется в сторону уменьшения отклонения ΔX.

Рассмотрим несколько подробнее основные элементы системы автоматического регулирования (рис. 6.1).

Для установления текущего значения регулируемой величины X в системе имеются специальные элементы получения информации, которые называются *измерительными элементами*. Основная функция измерительного элемента — измерение регулируемой величины (температуры, давления, запыленности и т. п.) и ее преобразование в электрический, пневматический или гидравлический сигналы, удобные для подачи последующим элементам системы. Измерительными элементами, как правило, являются первичные преобразователи аналогового или дискретного действия.

Сигналы *задающих органов* (органов настройки), как и выходные величины измерительных элементов, могут иметь различную физическую природу. В связи с этим задающие органы могут быть электрическими, механическими, пневматическими и т. д. В электрических регуляторах, где выходным является электрический сигнал, задающие органы выполняются в виде резисторов, реостатов или потенциометров. В механических, гидравлических и пневматических



Рис. 6.1. Блок-схема САР

регуляторах задающие органы выполняются в виде винтов, пружин или неподвижных опор.

Элементы сравнения могут иметь различные схемы, определяемые природой сравниваемых сигналов. Например, при сравнении электрических сигналов используются такие элементы, как резисторы, конденсаторы и другие элементы, а при сравнении механических величин — рычажные устройства. Заметим, что сигнал рассогласования характеризуется не только величиной, но и знаком.

В большинстве регуляторов сигнал рассогласования обладает небольшой мощностью, и поэтому его усиливают до значения, позволяющего управлять или приводить в действие исполнительный механизм.

Усиление сигнала, осуществляемое *в усилительных элементах*, достигается изменением потока вспомогательной энергии, поступающей от усилителя к исполнительному механизму в соответствии со знаком и значением рассогласования.

Элементы автоматических устройств, использующие информацию о сигнале рассогласования, — *исполнительные элементы* — предназначены для оказания регулирующего воздействия на объект регулирования с целью уменьшить рассогласования между текущими и заданными значениями регулируемой величины.

В одних случаях это приводит к изменению потока энергии или топлива к регулируемому объекту (печи), в других — к изменению потока жидкости (закалочные баки), пара, воздуха, газа т. д. Исполнительные элементы состоят из исполнительных механизмов и регулирующих органов.

Для улучшения характера переходных процессов системы автоматического регулирования (САР) и повышения качества регулирования в систему регулирования могут вводиться *стабилизирующие элементы* (дополнительная обратная связь). Введение этих элементов обусловлено тем, что регулируемая величина обычно не сразу достигает заданного значения, и, если не принимать специальных мер, регулирование затягивается, сопровождаясь колебаниями регулируемой величины относительно заданного значения. В отличие от главной обратной связи, которая связывает регулируемую вели-

чину с задающим устройством, дополнительные обратные связи передают воздействия с выхода какого-либо звена системы автоматического регулирования на вход любого предыдущего звена. Сигнал дополнительной обратной связи, подаваемый на вход, может либо складываться с входным сигналом (положительная дополнительная обратная связь), либо вычитаться из входного сигнала (отрицательная дополнительная обратная связь). В системах автоматического регулирования чаще всего используют отрицательную дополнительную связь.

В зависимости от характера воздействия дополнительная обратная связь подразделяется на жесткую и гибкую.

Жесткая дополнительная обратная связь характеризуется передачей по ней на вход части полной выходной величины на протяжении всего времени регулирования.

Гибкая (упругая) дополнительная обратная связь (изодром) характеризуется передачей по ней на вход первой или второй производной от измерения выходной величины по времени. У гибкой дополнительной обратной связи сигнал на выходе существует только тогда, когда сигнал изменяется во времени. Таким образом, гибкая дополнительная обратная связь позволяет осуществлять регулирование входной величины по скорости и ускорению и тем самым значительно ускоряет процесс регулирования и улучшает его качество. Гибкая обратная связь начинает действовать только при изменении выходной величины, и ее действие прекращается после возвращения системы к установившемуся состоянию. В связи с этим иногда ее называют *«исчезающей»* обратной связью.

6.2. ПРИНЦИП РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ОТКЛОНЕНИЮ И ВОЗМУЩЕНИЮ

Системы автоматического регулирования могут основываться на трех принципах: регулирования по отклонению, регулирования по возмущению и комбинированном принципе регулирования, когда совмещаются принципы регулирования по отклонению и возмущению.

Принцип *регулирования по отклонению* заключается в том, что процесс регулирования осуществляется по значению регулируемой величины, которое сравнивается с заданным ее значением. При наличии сигнала рассогласования регулятор воздействует на объект, чтобы привести к равновесию регулируемую и заданные величины.

Принцип *регулирования по возмущению* состоит в том, что из нескольких возмущений, воздействующих на объект, выбирается одно и определяется его влияние на регулируемую величину. Возмущение воздействует с помощью управляющего устройства на регулирующий орган объекта управления. В системах регулирования по возмущению вместо измерения рассогласования в измерительном элементе регулятора измеряется возмущение. Недостатком подобной системы является то, что она компенсирует влияние только одного основного возмущения и не может предотвратить влияние на регулируемую величину других возмущающих воздействий, чаще всего неконтролируемых.

Комбинированные системы сочетают в себе оба рассмотренных принципа.

Системы автоматического регулирования классифицируются по разным признакам.

По виду применяемой энергии — электрические, пневматические, гидравлические и механические.

По виду структуры — обыкновенные и самонастраивающиеся.

По виду функциональной связи между входными и выходными величинами элементов, входящих в системы автоматического регулирования, последние делят на системы непрерывного и прерывистого действия. В системах непрерывного действия непрерывному изменению входных величин всех элементов соответствует непрерывное изменение выходных величин этих элементов.

Системы автоматического регулирования относятся к системам прерывистого (дискретного) действия, если непрерывному изменению входной величины хотя бы одного элемента, входящего в состав системы, соответствует прерывистое изменение выходной величины этого элемента.

6.3. ОБЫКНОВЕННЫЕ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Обыкновенными системами регулирования являются стабилизирующие, программные и следящие САР.

Стабилизирующие автоматические системы предназначены для поддержания постоянного значения регулируемой величины в некоторых пределах с заданной точностью. Такие системы широко используются для стабилизации температуры, уровня жидкости, разрежения в вакуумных печах и т. д.

Любая система регулирования характеризуется зависимостью между регулируемой величиной и внешним воздействием на объект регулирования. По виду таких зависимостей, называемых *регулировочными характеристиками*, различают стабилизирующие системы статического и астатического регулирования.

Регулирование, когда после окончания переходного процесса регулируемая величина принимает различные постоянные значения, называется *статическим регулированием*. Рассмотрим две схемы стабилизирующих регуляторов (рис. 6.2).

В первой схеме (рис. 6.2, *а*) поплавок *1* механически связан с задвижкой *2* (регулирующим органом). При увеличении расхода воды из бака уровень воды понижается, и опускающийся поплавок изменяет положение задвижки, увеличивая пропускное сечение питающей трубы и, как следствие этого, количество поступающей в бак воды. Это приведет к тому, что уровень жидкости начнет повышаться, и поднимающийся поплавок переместит задвижку. Равновесие наступит, когда приток воды будет равен расходу. Чем больше будет расход воды, тем больше будет открыта задвижка. С возрастанием расхода воды значение регулируемой величины H будет уменьшаться.

Во второй схеме (рис. 6.2, *б*) поплавок *1* механически связан с ползуном реостата *4*, управляющего двигателем постоянного тока *3*. При смещении ползуна реостата вверх или вниз от среднего значения двигатель перемещает задвижку *2* до тех пор, пока не восстановится заданный уровень воды H в баке, т. е. пока напряжение, подаваемое на двигатель, не станет равным нулю.

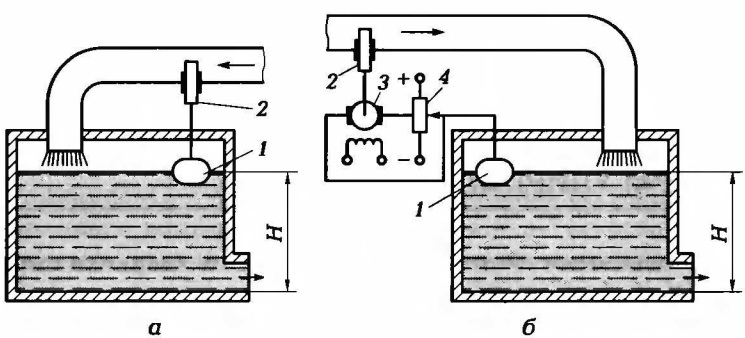


Рис. 6.2. Схемы стабилизирующих регуляторов:

а — статического; *б* — астатического; *1* — поплавок; *2* — задвижка; *3* — управляющий двигатель постоянного тока; *4* — реостат

Следовательно, под *астатическим регулированием* понимается такое регулирование, которое поддерживает постоянное значение регулируемой величины при различных внешних возмущениях.

Программная система автоматического регулирования практически представляет собой стабилизирующую систему, в которой непрерывно изменяется задающее воздействие. Для получения определенной программы в таких системах предусмотрено специальное устройство, изменяющее заданное значение регулируемой величины в определенном направлении. В качестве примера таких систем можно назвать систему программного регулирования температуры в термических печах при ступенчатом отжиге и т. п.

Следящая система автоматического регулирования предназначена для изменения регулируемой величины по закону заранее неизвестной функции времени. В таких системах применяется следующая терминология: вместо термина *«регулирование»* используется термин *«слежение»*, входная величина — ведущая величина, выходная величина — ведомая величина.

В литейных и термических цехах следящие системы автоматического регулирования встречаются наиболее часто при регулировании соотношения расхода газа и воздуха в топливных печах. В таких системах при изменении расхода газа (ведущая величина) необходимо пропорционально изменять расход воздуха (ведомая величина), чтобы отношение газ—воздух сохранялось постоянным. Такая система обеспечивает экономичность сжигания топлива и позволяет получить в рабочем пространстве печи атмосферу заданного состава.

6.4. САМОНАСТРАИВАЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

К группе самонастраивающихся систем относятся системы экстремального регулирования, системы с самонастройкой параметров и самонастройкой структуры.

Задачей систем *экстремального регулирования* является поддержание одного или нескольких показателей процесса на наиболее высоком или наиболее низком уровне при непрерывном изменении различных возмущающих воздействий, влияющих на условия работы системы. Таким образом, задача экстремального регулирования возникает, когда характеристика установившегося состояния объекта регулирования имеет экстремум, который отвечает наиболее желательному режиму работы системы. Более того, применение



Рис. 6.3. Схема системы экстремального регулирования

экстремального регулирования имеет смысл только в том случае, если внешние и внутренние возмущения вызывают перемещение экстремальной точки.

Следовательно, в системе экстремального регулирования должно быть дополнительное устройство (автоматического поиска экстремума), которое бы непрерывно изменяло установку регулятора с таким расчетом, чтобы поддерживать регулируемую величину или другой показатель на наивысшем или наинизшем уровне в условиях непрерывного изменения возмущающих воздействий.

В экстремальной системе (рис. 6.3) имеются два замкнутых контура: один состоит из главной обратной связи, с помощью которой процесс регулирования осуществляется обычным способом; второй обеспечивает самонастройку системы, т. е. автоматический поиск оптимальной точки.

Примером такой системы является реализация задачи минимизации расхода топлива в двигателях самолета при полете на большие расстояния. Здесь минимум определяется в зависимости от расхода топлива на единицу пути и от скорости полета, причем положение этого минимума зависит от массы самолета, высоты полета, направления и скорости ветра и др.

В *системах с самонастройкой параметров* при изменениях возмущающих воздействий или характеристик отдельных элементов автоматически корректируются те или иные параметры регулятора, например изменяются коэффициенты усиления, вводятся производная и интеграл в закон регулирования. В состав таких систем, как правило, входит вычислительное устройство, определяющее отклонение того или иного показателя работы системы от его оптимального значения, и настраивающее устройство, воздействующее на настройку параметров системы.

В качестве вычислительных устройств используют как аналоговые, так и цифровые ЭВМ.

Системы с самонастройкой структуры называются также *самоорганизующимися системами.* Они изменяют структурную схему основного управляющего устройства. Поэтому самонастраивающиеся системы этого вида относят к системам с переменной структурой.

Осуществляя автоматический поиск в соответствии с заданным критерием работы, система, самостоятельно используя вычислительные и логические устройства, выбирает из ряда заранее подготовленных структур наилучшую, оптимально отвечающую заданным условиям работы. Возможность изменения структуры расширяет область применения данных систем. Рассмотренный принцип используется в системах управления работами.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой процесс в автоматике называют автоматическим регулированием?
2. Нарисуйте и объясните блок-схему замкнутой системы автоматического регулирования.
3. Перечислите основные функции измерительного элемента САР.
4. Объясните назначение элемента сравнения в САР.
5. Поясните отличие жесткой и гибкой обратной связи в САР.
6. Рассказать о принципе регулирования по отклонению и возмущению, объясните разницу между ними.
7. Поясните принцип работы и отличие программной и следящей САР.
8. Расскажите о самонастраивающихся системах автоматического регулирования.

Глава 7

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

7.1. ВИДЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Технологические процессы в цехах (заводах) характеризуются различными физическими величинами, на которые накладываются определенные ограничения. Во время работы оборудования эти величины должны поддерживаться на определенном уровне или изменяться по заданной программе. Правильное проведение технологического процесса на какой-либо установке возможно при выполнении определенных правил, называемых *алгоритмом* (законом) функционирования, а установку (или машину)для выполнения алгоритма функционирования, называют *объектом управления.*

Управлением называют целесообразное воздействие на объект управления для проведения технологического процесса. Если управление осуществляется без участия человека, то оно называется *автоматическим*, а если с участием человека — *ручным*.

Все виды оборудования являются объектами управления. Объектом управления может быть и сам технологический процесс. Каждый объект имеет управляющее устройство для поддержания установленных значений физических величин или их изменения в заданном направлении. Через управляющий орган в объект поступают воздействия, которые позволяют выполнять заданный алгоритм функционирования. Для управления объектом извне с целью выполнения заданного алгоритма функционирования необходима совокупность предписаний (правил), называемых *алгоритмом управления.*

Любое техническое устройство, воздействующее на объект управления в соответствии с алгоритмом управления, называется *автоматическим управляющим устройством.*

Совокупность автоматического управляющего устройства и объекта управления, связанных и взаимодействующих между собой в

соответствии с алгоритмом управления, называется *системой автоматического управления* (САУ). В процессе работы система автоматического управления испытывает на себе различные внутренние и внешние воздействия. Внутренние воздействия — это такие, которые передаются от одной части автоматической системы к другой, образуя последовательную цепь воздействий, обеспечивающих нормальное протекание технологического процесса. Их называют *управляющими воздействиями.* Внешние воздействия подразделяются на два вида. Первые, необходимые для нормального протекания технологического процесса, подаются на вход системы в соответствии с алгоритмом функционирования. Их называют *задающими воздействиями.* Вторые поступают в систему (объект управления) из внешней среды. Они не планируются в работе системы, носят случайный характер и затрудняют управление. Поэтому их называют *возмущающими воздействиями.*

Значение управляемой величины, которое следует поддерживать в данный момент времени для правильного протекания технологического процесса, называют *предписанным* (*заданным*) значением, а фактическое, т. е. измеряемое значение, — *действительным* (*текущим*). Разницу между заданным и действительным значениями регулируемой величины называют *рассогласованием.*

Все виды оборудования должны работать в стационарном (установившемся) режиме. Однако в реальных эксплуатационных условиях установившийся режим постоянно нарушается в результате различных внешних возмущений, что приводит к изменению различных параметров технологического процесса. Поэтому необходимо управлять оборудованием (объектом управления), т. е. вырабатывать управляющее воздействие с таким расчетом, чтобы управляемая величина изменялась бы в соответствии с заданным законом (программой) независимо от влияния на объект возмущающего воздействия. Для плавильных и термических печей управляемая величина — температура, управляющее воздействие — напряжение на электродах или нагревательных элементах, а основным возмущающим воздействием является изменение тепловых потерь.

7.2. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Классифицировать системы автоматического управления можно по методу управления и функциональному признаку (рис. 7.1).

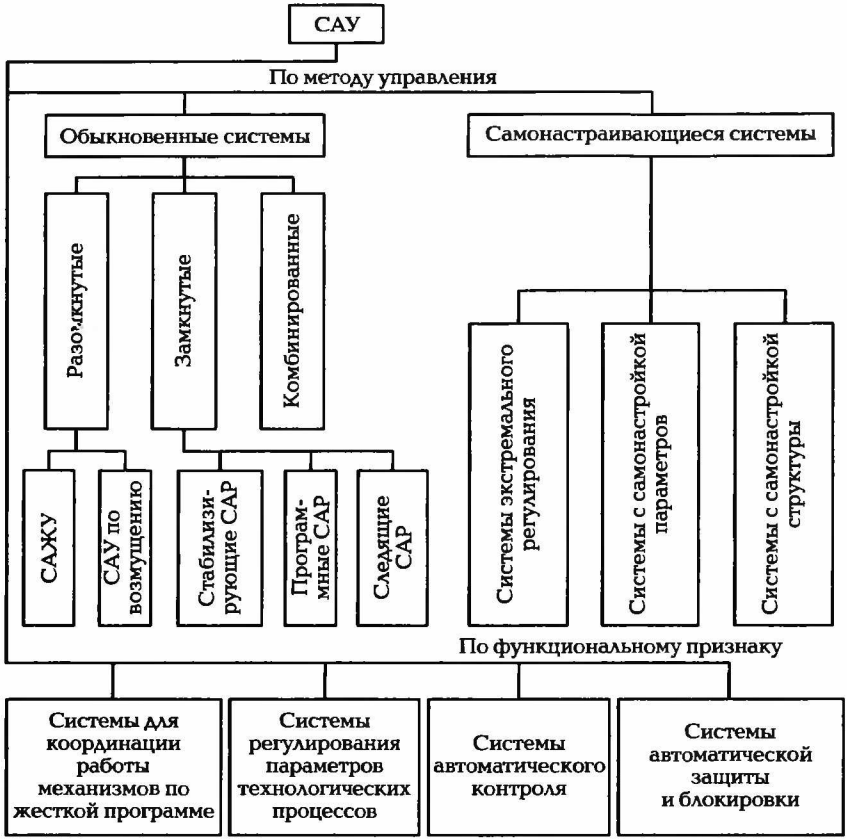


Рис. 7.1. Классификация систем автоматического управления (САУ)

По методу управления все системы подразделяются на два больших класса: обыкновенные (несамонастраивающиеся) и самонастраивающиеся (адаптивные). Обыкновенные системы, относящиеся к категории простых, не изменяют своей структуры в процессе управления. Они наиболее разработаны и широко применяются. Обыкновенные САУ подразделяют на три подкласса: разомкнутые, замкнутые и комбинированные системы управления.

Разомкнутые САУ в свою очередь подразделяют на системы автоматического жесткого управления (САЖУ) и системы управления по возмущению.

У первых систем регулятор Р (рис. 7.2, *а*) воздействует на объект управления ОУ независимо от полученного результата, т. е. значения регулируемой величины $X(t)$ и внешнего возмущения $Z(t)$. Системы

управления по возмущению (рис. 7.2, *б*) работают по принципу, когда управляющее воздействие $Y(t)$ вырабатывается в зависимости от внешнего возмущения $Z(t)$, оказывающего влияние на объект управления. В качестве примера можно рассмотреть систему отопления литейного или термического цеха. В этом случае расход горячей воды в теплотрассе цеха зависит от внешних погодных условий. Чем холоднее на улице, тем больше подается горячей воды в батареи отопления, и наоборот.

Замкнутые системы автоматического управления, работающие по принципу отклонения, называют также *системами автоматического регулирования* (САР). Их отличительной особенностью являет-

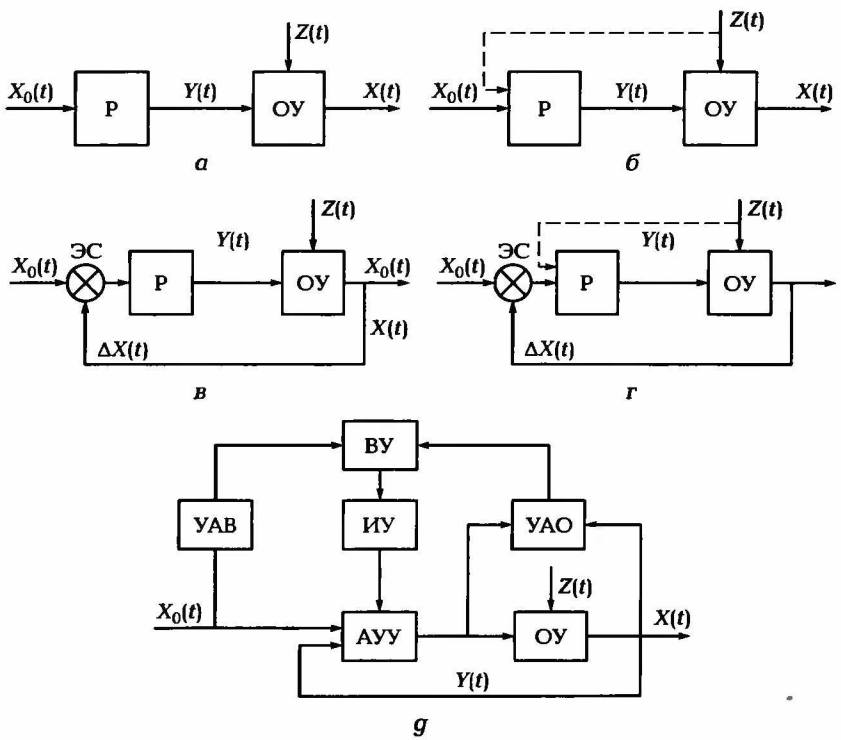


Рис. 7.2. Схемы управления:

а — разомкнутая схема управления; *б* — разомкнутая схема управления по отклонению; *в* — замкнутая система управления; *г* — комбинированная система управления; *д* — самонастраивающаяся система управления; Р — регулятор; ОУ — объект управления; ЭС — элемент сравнения; УАВ — устройство анализв задающего воздействия; ВУ — вычислительное устройство; ИУ — исполнительное устройство; АУУ — автоматическое управляющее устройство; УАО — устройство анализа объекта упревления

ся наличие замкнутого контура прохождения сигналов, т. е. наличие обратного канала, по которому информация о состоянии регулируемой величины $X(t)$ передается на вход элемента сравнения ЭС (рис. 7.2, *в*).

Системы автоматического регулирования предназначены для решения трех задач: стабилизации регулируемой величины (стабилизирующая САР), изменения регулируемой величины по известной (программная САР) или неизвестной (следящая САР) программам.

В *стабилизирующих системах* заданное значение регулируемой величины постоянно. Примером такой системы может служить система регулирования температуры в рабочем пространстве термической печи. В *программных системах* значение регулируемой величины изменяется во времени по заранее разработанной (известной) программе. В *следящих системах* заданное значение регулируемой величины изменяется во времени по заранее неизвестной программе. Следящие и программные САР отличаются от стабилизирующих принципом обработки задающего сигнала. Наиболее типичным примером следящего регулирования является автоматическое поддержание заданного соотношения между расходами топлива и воздуха при регулировании процесса горения в топливных плавильных и нагревательных печах.

Комбинированные системы (рис. 7.2, *г*) сочетают в себе достоинства систем управления по отклонению и по возмущению, что повышает точность управления. Действие неучтенных возмущений в комбинированных системах компенсируется или ослабляется управлением по отклонению.

Самонастраивающиеся (адаптивные) системы (рис. 7.2, *д*) можно подразделить на три подкласса: экстремальные системы, системы с самонастройкой параметров и системы с самонастройкой структуры.

Экстремальными системами регулирования называются системы стабилизирующего, следящего или программного управления, у которых настройка, программа или закон воспроизведения автоматически изменяются в зависимости от изменения внешних условий или внутреннего состояния системы с целью создания наивыгоднейшего (оптимального) режима работы объекта управления. В таких системах вместо постоянной настройки или программы устанавливается устройство автоматического поиска, которое проводит анализ какой-либо характеристики объекта (коэффициента полезного действия, производительности, экономичности и т. д.) и в зависимости от полученного результата подает в управляющее устройство требуемое значение регулируемой величины так, чтобы данная харак-

теристика получила экстремальное значение при непрерывном изменении различных возмущающих воздействий, оказывающих влияние на условия работы системы.

В системах *с самонастройкой параметров* при изменении внешних условий или характеристик объекта регулирования происходит автоматическое (не по заранее заданной программе) изменение варьируемых параметров управляющего устройства с целью обеспечения устойчивой работы системы и поддержания регулируемой величины на заданном или оптимальном уровне.

В системах *с самонастройкой структуры* при изменении внешних условий и характеристик объекта управления происходит переключение элементов в схеме соединений или введение в нее новых элементов. Целью таких изменений (отбора) структуры является достижение лучшего решения задачи управления. Отбор структуры осуществляется путем автоматического поиска с применением вычислительных и логических операций. Такие системы должны не только приспосабливаться ко всем изменениям внешних условий и характеристик объекта, но и функционировать нормально даже при наличии неполадок или отказов отдельных элементов, создавая новые цепи взамен нарушенных. Системы с самонастройкой структуры можно заставить самосовершенствоваться, «приобретать опыт» путем быстрого опробования нескольких вариантов, отбора и «запоминания» лучшего из них.

Согласно классификации по функциональному признаку все автоматические системы управления подразделяются на четыре класса: системы для координации работы механизмов; системы регулирования параметров технологических процессов; системы автоматического контроля; системы автоматической защиты и блокировки.

Системы, предназначенные для координации работы отдельных механизмов установки или установки в целом, являются системами автоматического жесткого управления (САЖУ). Системы автоматического регулирования (САР) технологических процессов обеспечивают поддержание регулируемой величины на заданном уровне или изменение ее по заданной программе. Системы автоматического контроля (САК) содержат средства и методы для получения информации о текущих значениях параметров технологических процессов (температуры, давления, запыленности или загазованности воздуха и др.) без непосредственного участия человека. Системы автоматической защиты (САЗ) и блокировки (САБ) предотвращают возникновение аварийных ситуаций в работе оборудования при установившемся режиме.

7.3. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ НА БАЗЕ МИКРО-ЭВМ И МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ТЕХНИКИ

Современная научно-техническая революция началась с появлением микроэлектроники и электронных вычислительных машин, использование которых в системах автоматического управления обеспечивает качественные изменения их возможностей и свойств. Это связано не только с повышением точностных характеристик, повышением надежности и безотказности. Безотказность — свойство объекта сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или некоторой наработки, обеспечением стабильности функционирования, но и с приданием системам автоматического управления принципиально новых свойств, таких, как гибкость и перестраиваемость структуры, адаптивность, способность решать вычислительные и логические задачи, самоконтроль и др.

Особо эффективным оказывается использование в автоматических системах микропроцессоров и построенных на их основе цифровых устройств. Решение проблемы автоматизации производства и исследование объектов регулирования немыслимы без микропроцессорных автоматизированных систем управления.

Назначение таких автоматических систем управления определяет их сложную иерархическую структуру, включающую целый комплекс измерительных, обрабатывающих и управляющих систем. Автоматические системы управления представляют специфический класс человекомашинных систем с неполной функцией автоматизации, которая возникает вследствие сложности объектов регулирования, необходимости принятия нестандартных решений. Все это делает решение проблемы создания автоматических систем управления чрезвычайно сложным и дорогостоящим.

Увеличение сложности объектов контроля и управления и неуклонное совершенствование производственных процессов привели к тому, что современные комплексы измерения и управления должны производиться в режиме реального времени, а возросшие требования к производительности комплексов обусловили необходимость высокой степени автоматизации. Технические средства для реализации автоматизированных комплексов должны строиться на цифровых методах сбора и обработки информации.

Управление реальным объектом накладывает определенные требования на вычислительные средства. Основным таким требовани-

ем является необходимость строгой временно́й согласованности работы ЭВМ с функционированием объекта. Объект задает режим работы вычислительных средств. Именно поэтому вычислительные системы, обслуживающие работу реального объекта в процессе управления, и называют *вычислительными системами реального времени.*

В первом случае, собрав информацию о состоянии технологического объекта, внешней среде и располагая моделью объекта ЭВМ может вычислить функцию управления. Однако для этого ей нужно определить цель, т. е. указать, каким должен быть технологический процесс. Такой целью является выполнение заданных требований к готовой продукции. Этих целей может быть много, так как каждая из них накладывает ограничения на разные свойства управляемого процесса.

В этих системах управления ЭВМ может работать в режиме советчика и исполнителя. Работая в режиме советчика, ЭВМ, рассчитав с помощью модели отдельные значения параметров процесса, предлагает их реализовать в объекте, это предложение поступает в виде текста на экран монитора. Оператор должен ознакомиться с этой информацией и принять решение: согласиться с предложенным управлением или искать собственное.

Второй случай связан с тем, что решение ЭВМ не учитывает какие-то обстоятельства, известные человеку, и ему приходится корректировать решение ЭВМ. И вины машины в этом нет, так как была плохая система сбора информации об объекте регулирования, его среде или плохая модель объекта.

Очень часто ЭВМ перерабатывает столь большой объем информации по столь сложной программе, что оценить качество ее совета человек уже не может. В этом случае оператор безропотно следует советам ЭВМ. Однако такой режим можно использовать в очень медленных и неответственных системах управления. Человек исполняет команды машины медленно, неточно и неохотно В сложных условиях управление самолетом доверяют автопилоту. Но при взлете и посадке, при полете в «болтанке» летчик управляет сам. По этой причине в этих системах желательно заменить человека автоматом.

В результате возникает замкнутая система управления: от состояния процесса через ЭВМ к управляемым параметрам объекта. Эта замкнутая система должна функционировать в очень жестком режиме. Малейшее изменение среды и свойств процесса должно немедленно отрабатываться системой управления и соответствующим образом изменять управляемые параметры процесса, с тем

чтобы не нарушать выполнение процессом заданных целевых требований. Управляемый технологический процесс не может ждать, когда ЭВМ сможет найти функцию управления — она должна быть тогда, когда нужно процессу. От ЭВМ, работающей в режиме реального времени, в системе управления требуются: большое быстродействие при выполнении логических операций, большая надежность, чрезвычайная оперативность при принятии решений.

Рассмотрим пример — использование ЭВМ в процессах лечения больных, находящихся в тяжелом состоянии. Сложность ситуации заключается в том, что такое состояние может длиться долго, что затрудняет постоянное врачебное наблюдение. Это и заставляет создавать так называемые *мониторинговые системы*, предназначенные для непрерывного слежения за состоянием больного и для выдачи сигнала тревоги, когда состояние становится опасным.

Монитор подключается к больному с помощью системы датчиков, измеряющих характеристики (электрокардиограмму, энцефалограмму) и параметры его состояния (пульс, ритм дыхания, температуру). Эти данные непрерывно вводятся в ЭВМ, задача ЭВМ проста — сравнивать параметры больного с критическими и вызывать врача, когда хотя бы один из этих параметров превысит критический порог.

Такими системами снабжены все палаты интенсивной терапии. В этой ситуации ЭВМ выступает в роли советчика. Лечение осуществляет врач. Критические ситуации возникают каждый раз, когда происходит отклонение любого параметра. Однако в некоторых критических ситуациях можно обойтись без врача. Например, при повышении сахара в крови необходимо ввести инсулин, а при возбуждении по энцефалограмме — успокаивающие средства.

В таких штатных ситуациях врач не нужен, медсестра может самостоятельно принимать решение. Лишь в нештатных ситуациях, когда выбор лекарств должен быть сделан нестандартным образом, с учетом других обстоятельств состояния больного, следует вызывать врача. Отсюда следует, что действия медсестры можно возложить на систему управления, особенно тогда, когда лекарства следует принимать быстро (мгновенно).

Именно эти ситуации записываются в память ЭВМ. Как только она распознает одну из таких ситуаций, она принимает решение самостоятельно. Эта система выполняет свои функции более оперативно и точнее, чем это делает медсестра.

Другой пример — управление экспериментом. В эксперименте воссоздается ситуация, которую естественным образом наблюдать или трудно, или вообще нельзя. Эксперимент позволяет выделить изучаемое явление из массы других, взаимодействующих с ним, и

получить необходимую информацию. Эта информация собирается системой датчиков. А поскольку эксперимент связан с получением максимального количества информации, то на объект регулирования устанавливают максимальное число датчиков. При этом в процессе эксперимента появляется огромное количество информации. Показания датчиков записывают в память ЭВМ. Поток этой информации может быть настолько большим, что разобраться в нем очень трудно.

Этот поток информации надо обрабатывать, чтобы контролировать состояние объекта. Так возникла проблема обработки экспериментальной информации во время ее поступления, т. е. в реальном масштабе времени. Для этого следует воспользоваться вычислительной системой, которая справлялась бы с потоком информации и вместе с тем, была достаточно надежной в работе. Сбой в работе этой системы может привести к потере информации, которую восстановить уже нельзя.

Это одна сторона проблемы получения экспериментальной информации, другая связана со спецификой эксперимента. Ценность экспериментальной информации прямо зависит от ее неожиданности. Если показания датчиков предсказуемы, то ценность информации невелика. Ценно то, что не укладывается в рамки имеющихся предсказаний, что неожиданно.

В результате складывается противоречивая ситуация: исследователь ставит эксперимент, ориентируясь на получение каких-то определенных результатов, а ценными для него будут неожиданные результаты. Поскольку неожиданные результаты предсказать нельзя, он, естественно, не настраивает свой эксперимент на это. Для преодоления этого парадокса нужно иметь возможность управлять экспериментом во время его проведения в зависимости от полученных результатов.

В этой ситуации необходима ЭВМ. Она обеспечивает не только обработку потока информации, но и изменения условий проведения эксперимента. Эту возможность можно осуществить в системах реального времени. Такая система, фиксируя результаты эксперимента и обрабатывая их, изменяет параметры установки так, чтобы получить именно тот результат, который запрограммирован исследователем. В таком режиме работают вычислительные системы, связанные с ускорителями частиц и с другими физическими экспериментами.

Следующий пример — космические исследования Земли. Вычислительные системы реального времени используются в аэрокосмических исследованиях Земли с помощью искусственных спутни-

ков. На борту спутника, в частности «Метеор — Природа», были установлены специальные приборы, которые контролировали поверхность Земли в видимом спектре излучения 0,5 ... 0,6; 0,61; 0,7; 0,7 ... 0,8; 0,8 ... 1,2 мкм с разными разрешениями:

- малое разрешение — полоса захвата на поверхности Земли равна 1800 км с разрешением 1 км;
- среднее разрешение — полоса захвата равна 1300 км с разрешением 250 м;
- высокое разрешение — полоса захвата равна 45 км с разрешением 50 м.

Период обращения спутника вокруг Земли составляет 97 мин. Условное смещение орбиты равно 24,3°. По этим данным можно рассчитать общий объем информации, который поступает со спутника на наземные станции. В наземных станциях информация записывается, и до прихода следующего сеанса связи со спутником она должна быть обработана и выдана потребителю. В течение 97 мин общий объем информации $5 \cdot 10^{10}$ бит должен быть обработан по сложному алгоритму. Эта цифра объема информации вынуждает создавать мощные вычислительные системы с большой производительностью. С помощью спутниковой информации решаются такие важные вопросы, как определение мест возможного весеннего затопления, возникновения пожаров в лесных массивах, контроль за созреванием полезных культур, загрязнение городов и т. д.

Многообразие технологических процессов, их физическая специфика, особенности методов управления и контроля породили множество вариантов технологических схем и систем управления этими процессами. Необходимость создания систем управления технологическими процессами заставляет искать общие закономерности в управлении различными процессами и на основе этих закономерностей разрабатывать единые подходы к проблеме построения автоматических систем управления. Проблема поиска и использования единых подходов в построении автоматических систем управления для различных по своей природе технологических процессов становится особенно актуальной в настоящее время. Развитие технических средств вычислительной техники, появление компактных (малогабаритных) и надежных устройств качественно изменили подход к проблеме управления.

Автоматические системы управления в настоящее время представляют собой сложные технические средства, которые в наиболее общем случае осуществляют управление состоянием контролируемого объекта, изменение совокупности его первичных параметров,

обработку измерительной информации и регистрацию результатов измерений.

Целью измерений является получение достоверной информации о состоянии или качестве объекта регулирования. Истинное качество или состояние объекта определяется совокупностью контролируемых параметров. Практически в ряде комплексных измерений ограничиваются не полной оценкой всех свойств объекта, а только тех его свойств, которые наиболее важны для планирования поведения.

По этой причине при определении структуры автоматических систем управления нет необходимости знать их основные задачи, а рассматривать только общие детали всех комплексов, поэтому приведем самую общую структуру автоматической системы управления, которая состоит из двух блоков (рис. 7.3, *а*).

Управление исследуемым объектом регулирования осуществляется от автоматизированной системы по сигналам датчиков. На исследуемый объект действует непредсказуемое внешнее воздействие. Задачи автоматической системы управления заключаются в стабилизации состояния исследуемого объекта. Состояние объекта контролирует оператор по монитору, отображая наиболее характерные параметры объекта. Эта структурная схема применяется для управления несложными объектами с небольшим числом датчиков.

С увеличением сложности объекта необходимо увеличивать число информационных датчиков и увеличивать число каналов управления объектом. Эти усложнения требуют использования автономных систем обработки информации от датчиков (рис. 7.3, *б*). Слож-

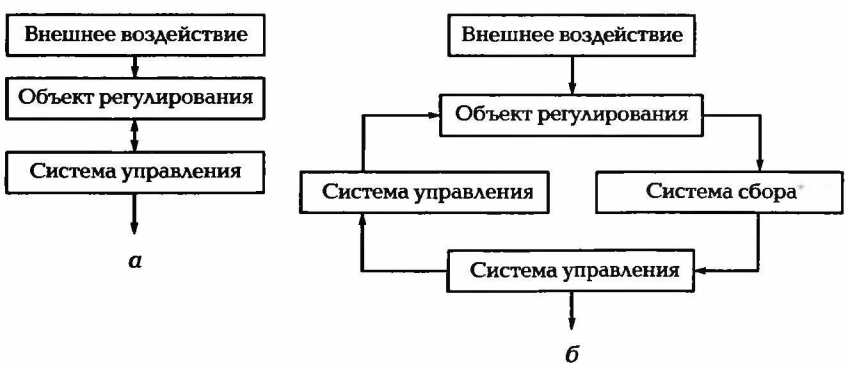


Рис. 7.3. Структурные схемы систем управления:

а — упрощенная структурная схема управления на базе ЭВМ; *б* — детализация структурной схемы управления

ность исследуемого объекта определяет аппаратно-технические характеристики автоматической системы управления. Сложность технических средств значительно увеличивается, когда требуется получить документированное подтверждение поведения исследуемого объекта. Регистрационная аппаратура в этом случае должна работать в режиме реального времени.

Наращивание средств вычислительной техники приводит к большой степени автоматизации решения отдельных функциональных задач автоматической системой управления.

Развитие вычислительных средств и средств передачи информации превращают автоматическую систему управления в сложную сеть, состоящую из нескольких иерархических уровней.

На нижнем уровне этой сети находятся датчики, контролирущие состояние объекта, преобразователи сигналов, системы микропроцессоров и мини-ЭВМ, непосредственно управляющие отдельными фазами технологического процесса. Далее следует уровень человекомашинной системы, которая работает в интерактивном режиме.

В процессе своей работы каждый уровень вычислительной сети обрабатывает информацию, необходимую для обеспечения оптимального функционирования всех устройств.

Процесс управления объектом на любом уровне иерархии можно разделить на три основных этапа:

- получение информации об объекте регулирования;
- обработка информации;
- формирование и реализация управляющих воздействий.

Эти три этапа практически всегда выполняются последовательно во времени независимо от того, что является объектом регулирования. Так, при реализации процесса управления с помощью регулирующих систем, построенных по известным принципам теории автоматического управления, получение информации о состоянии объекта осуществляется системой датчиков, определяющих положение, скорость, давление, температуру, концентрацию вещества и другие параметры технологического процесса. Полученные параметры преобразуются в сигналы той природы, которые воспринимаются регулятором. Регулятор по заданному закону (П, И, Д, ПИД) вырабатывает управляющее воздействие.

Суть процесса управления в этом случае — компенсация отклонений от выбранной модели процесса. На компенсацию этих отклонений регулятор затрачивает определенное время. Нарушение временного баланса управления приводит к потери качества регулирования, устойчивости и соответственно управляемости процесса.

Поэтому при реализации любой системы управления заданное управляющее воздействие необходимо сформировать за такое время, в течение которого не теряются качественные и количественные показатели управляемого процесса.

Необходимость автоматизации все более сложных процессов приводит к необходимости конструировать все более сложные управляющие системы со сложной иерархией. В этих системах управления начинают циркулировать большие потоки информации, возникают сложные взаимодействия отдельных устройств между собой. Всем этим процессом следует синхронно управлять и выдавать результаты обработки информации исполнительным механизмам.

При управлении большими потоками информации в управляющей системе возникает масса проблем. Для решения этих проблем необходимы единые методы и единые подходы к анализу функционирования различных по уровням и функциям систем в единой сети автоматического управления. Такой единый подход может быть разработан на основе анализа временных ситуаций, возникающих в сети системы автоматического управления при реализации процесса управления. Для анализа используется обобщенная схема автоматической системы управления, начав с самого нижнего уровня иерархии — с датчиков, расположенных в местах, обеспечивающих получение необходимой информации об объекте.

Прежде чем детально рассматривать аппаратные средства сбора информации, необходимо сформировать основные физические свойства исследуемых объектов исходя из общих позиций. Иначе говоря, необходимо рассматривать модель исследуемых объектов, которая позволила бы решить наибольший круг вопросов для перечисленных ранее автоматических систем управления.

7.4. СИСТЕМА СБОРА ИНФОРМАЦИИ

Информационные системы сбора являются связующим между исследуемым объектом и системой обработки информации. Эти системы могут иметь различную функциональную организацию, зависящую от особенностей подключения комплекса обработки к объекту, от потоков измерительной информации и от других факторов.

Основные проблемы информационных систем связаны со сбором и передачей информации. Информация в том смысле, в котором здесь используется этот термин, представляет собой неопределенность при измерении величины параметра. При этом подразумева-

ется, что измерение проводится в определенное время и с определенной точностью.

Точность измерения оказывает влияние на количество информации. Измерение, проводимое с более высокой точностью, содержит большее количество информации. На количество информации влияет также частота измерений. Если из-за неопределенности изменения величины параметра его необходимо измерять более часто, то по каналам приходится передавать большое число данных.

На общее количество информации, подлежащей передаче с помощью информационной системы, оказывает влияние число одновременно измеряемых параметров. В тех случаях, когда желательно измерять величину переменного параметра непрерывно, всегда имеем дело с определенной скоростью изменения параметра. Эта скорость может быть представлена частотой дискретных измерений.

Дискретные измерения (выборки данных) теоретически могут производиться с такой частотой, которая достаточна для воспроизведения любого физического процесса с требуемой точностью. Аналоговый сигнал не может передавать информацию о процессах, происходящих со скоростью, которая лежит за пределами ширины полосы частот пропускания информационной системы.

Таким образом, пропускную способность дискретного или непрерывного канала можно оценить благодаря точности и частоте опроса.

В зависимости от свойств исследуемого объекта информационные системы могут строиться по двум структурным схемам: с циклическим опросом и с произвольной выборкой. Комплекс с циклическим опросом проще в изготовлении. В целях экономии аппаратуры рационально измерять все параметры поочередно (или программно, по заданному алгоритму) с помощью одного и того же измерительного преобразователя— аналого-цифрового преобразователя (АЦП).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение понятия «автоматическое управление».
2. Что подразумевают под понятиями «задающее» и «возмущающее» воздействия? В чем их отличие?
3. Расскажите о методах классификации САУ; поясните на блок-схемах различные САУ.
4. Расскажите о принципе управления электрическим и электромеханическим оборудованием на базе ЭВМ.
5. Поясните на структурной схеме принцип управления на ЭВМ.

Глава 8

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

8.1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ

Теория автоматического регулирования изучает общие для всех замкнутых автоматических систем принципы построения и методы исследования их статических и динамических свойств.

Основными проблемами теории автоматического регулирования являются: точность работы, устойчивость и качество переходных процессов системы автоматического регулирования. Все это в настоящее время решается теоретически благодаря совершенному математическому аппарату. На основе дифференциальных уравнений, устанавливающих количественные и логические зависимости между отдельными элементами системы, а также между системой и объектом управления, строят необходимую схему системы автоматического регулирования.

Разработанная система должна удовлетворять определенным технологическим и энергетическим требованиям (максимальная и минимальная скорости процесса, диапазон регулирования, мощность, коэффициент усиления, от которого зависит статическая точность), требованиям надежности и т.д. Выбранную систему необходимо исследовать по двум режимам: установившемуся (когда величины, характеризующие работу системы, можно рассматривать как независимые от времени) и динамическому (когда величины зависят от времени и в связи с этим при переходе из одного состояния в другое имеют место нестационарные процессы).

Анализ динамического режима позволяет получить данные об устойчивости замкнутой системы и ее быстродействии, так как устойчивость определяет ее работоспособность, а быстродействие влияет на динамическую точность и производительность технологического оборудования.

Система, устойчивая в установившемся режиме, часто оказывается неустойчивой в динамическом режиме. Неустойчивой считается система, если при снятии входного управляющего сигнала на выходе ее имеют место незатухающие колебания. Такая система непригодна к работе.

Система автоматического регулирования состоит из ряда элементов, каждый из которых выполняет определенные функции. Эти элементы при разработке математической модели заменяют простейшими типовыми элементами, которые называют *звеньями* и для которых известны дифференциальные уравнения и необходимые характеристики.

8.2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Исследование динамического режима работы систем автоматического регулирования целесообразно осуществлять в два этапа: теоретически на математической модели и экспериментально на действующем макетном образце. Для составления математической модели систему разбивают на звенья (элементы) и для каждого звена составляют соответствующие уравнения на основе физического закона, который определяет процессы, протекающие в данном элементе.

В теории автоматического регулирования для описания поведения автоматических систем используют дифференциальные уравнения, устанавливающие связь управляющих, возмущающих и выходных воздействий системы и их зависимость от времени. При решении анализа и синтеза автоматическая система разбивается на отдельные части, математическая зависимость между входными и выходными величинами которых и временем описывается дифференциальным уравнением не выше второго порядка. Такие, искусственно выделенные, части автоматической системы называются *элементарными динамическими звеньями*. В отличие от элемента динамическое звено не обязательно является конструктивно или схемно-законченной частью системы. Одному элементу (например, исполнительному двигателю) может соответствовать несколько динамических звеньев. Элементы самой различной физической природы могут быть представлены в виде одинаковых динамических звеньев, если их динамические свойства описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями.

В общем виде дифференциальные уравнения элементарного динамического звена можно записать так:

$$a_0\frac{d^2y(t)}{dt^2}+a_1\frac{dy(t)}{dt}+a_2y(t)=b_0\frac{d^2x(t)}{dt^2}+b_1\frac{dx(t)}{dt}+b_2x(t),$$

где $x(t)$ — входное воздействие звена; $y(t)$ — выходное воздействие; a_i и b_i — постоянные коэффициенты (для линейных звеньев).

Для упрощения записи дифференциальных уравнений в теории регулирования используют операторную форму. В ней заменяют условно знак дифференцирования d/dt оператором дифференцирования p. Тогда дифференциальное уравнение запишется в виде алгебраического уравнения

$$a_0p^2y(t) + a_1py(t)+ a_2y(t) = b_0p^2x(t) + b_1px(t) + b_2x(t),$$

где $y(t)=\dfrac{b_0p^2+b_1p+b_2}{a_0p^2+a_1p+a_2}x(t)$.

Отношение

$$\frac{b_0p^2+b_1p+b_2}{a_0p^2+a_1p+a_2}$$

называется *передаточной функцией* элементарного динамического звена в *операторной форме* $W(p)$. Тогда можно записать

$$y(t)= W(p)\ x(t).$$

Если на вход звена подать синусоидальное воздействие с частотой Ω и амплитудой x_m: $x(t) = x_m\sin\omega t$, то на выходе звена получим также синусоидальное воздействие той же частоты (так как звено линейное), но с измененной амплитудой y_m и сдвинутое по фазе на угол φ: $y(t) = y_m\sin(\omega t + \varphi)$.

Комплексное выражение для входного и выходного воздействий в показательной форме: $x(j\omega) = x_m\mathbf{e}^{j0}$; $y(j\omega)=y_m\mathbf{e}^{i\varphi}$.

Найдем отношение этих выражений:

$$\frac{y(j\omega)}{x(j\omega)}=\frac{y_m}{x_m}\mathbf{e}^{j_{(\varphi<0)}}=k\mathbf{e}^{j\varphi},$$

где $\mathbf{e}^{j(\varphi-0)}=k\mathbf{e}^{j\varphi}$ (k — коэффициент передач звена на частоте ω).

Теперь, не изменяя амплитуды входного воздействия, будем изменять его частоту ω. Это приведет к изменению амплитуды и угла φ выходного воздействия: $y_m = y_m(\omega)$; $\varphi = \varphi(\omega)$.

Тогда можно записать

$$\frac{y(j\omega)}{x(j\omega)} = \frac{y_m(\omega)}{x_m(\omega)} e^{j\varphi(\omega)} = k(\omega)e^{j\varphi(\omega)} = W(j\omega),$$

где $W(j\omega)$ — *частотная передаточная функция* динамического звена.

Передаточные функции полностью характеризуют поведение звена в статическом и динамическом режимах. Модуль этой функции представляет собой зависимость коэффициента передачи $k(\omega)$ от частоты, т. е. является *амплитудно-частотной характеристикой* звена (АЧХ); $\varphi(\omega)$ — зависимость угла сдвига фаз между выходными и входными воздействиями от частоты, она является *фазочастотной характеристикой* звена.

На комплексной плоскости для какой-либо частоты передаточную функцию можно представить в виде вектора длиной $k(\omega_i)$, повернутого относительно положительной оси на угол $\varphi(\omega_i)$. При изменении частоты этот вектор опишет на плоскости кривую — *годограф*.

8.3. ТИПОВЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗВЕНЬЯ САР

Звенья, входящие в САР, могут иметь различные конструктивные формы, различные схемы и различные физические принципы действия. Но с точки зрения анализа устойчивости и расчета переходных процессов имеют значение лишь зависимости, связывающие входные и выходные величины каждого из звеньев.

Динамические характеристики звеньев могут быть полностью описаны их дифференциальными уравнениями. Частотный метод анализа предполагает, что величина на входе звена изменяется по синусоидальному закону с амплитудой $A_{вх}$ и частотой ω. Если звено является линейным, то на его выходе будут иметь место также синусоидальные колебания с частотой ω, но с амплитудой $A_{вых}$, отличающиеся по фазе от входных колебаний на угол фазового сдвига φ.

Передаточный коэффициент $\bar{K} = A_{вых}/A_{вх}$ — это отношение вектора выходного колебания к вектору входного колебания:

$$A_{вх} = A_{вх}e^{j\omega t};\ A_{вых} = A_{вых}e^{j(\omega t+\varphi)}.$$

Комплексный передаточный коэффициент может быть представлен графически в виде отрезка, наклоненного к горизонтальной оси под углом φ.

Наглядную картину изменения передаточного коэффициента при изменении частоты колебаний дает годограф, т. е. кривая, являю-

щаяся геометрическим местом точек концов отрезка K, соответствующих различным значениям частоты от 0 до ∞.

Звенья могут быть следующих типов:

- безынерционные — выходная величина пропорциональна входной. Передаточный коэффициент не зависит от частоты;
- инерционные — описываются дифференциальными уравнениями первой степени. При подаче на вход инерционного звена скачкообразного сигнала его выходная величина запаздывает относительно входной и изменяется по экспоненциальной кривой с постоянной времени T. Инерционные звенья пропускают низкие частоты и «срезают» высокие. Используются в качестве фильтров;
- интегрирующие — выходная величина является интегралом от входной. При подаче на вход скачкообразного сигнала выходная величина безгранично растет по линейному закону. Амплитудно-фазовая характеристика представляет гиперболу;
- дифференцирующие — выходная величина является производной от входной;
- колебательные — описываются дифференциальным уравнением второй степени.

8.4. ПЕРЕДАТОЧНЫЕ И ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ

Рассмотрим подробнее основные виды динамических звеньев.

Пропорциональное (*безынерционное*), *звено* характеризуется пропорциональной зависимостью между выходным и входным воздействиями: $y(t) = kx(t)$, тогда для передаточной функции в операторной форме получим $W(p) = K$, а для частотной передаточной функции $W(j\omega) = y(j\omega)/x(j\omega) = K$.

Таким образом, передаточная функция безинерционного звена есть постоянная величина, численно равная статическому коэффициенту передачи звена. Это означает, что независимо от частоты входного воздействия амплитуда выходного воздействия звена изменится в K раз, а сдвига по фазе не произойдет. Следовательно, форма выходного воздействия точно совпадает с формой входного.

Запишем выражения для частотных характеристик звена: $k(\omega) = K$; $\varphi(\omega) = 0$.

Амплитудно-фазовая характеристика безынерционного звена вырождается в точку с координатами $(K, j0)$.

В виде безынерционных звеньев можно представить большое число самых разнообразных элементов автоматических систем (делители напряжения и электронные усилители, потенциометрические датчики и трансформаторы напряжения). Все характеристики звеньев приведены далее в табл. 8.1.

Интегрирующим называется звено, выходное воздействие которого пропорционально интегралу от входного воздействия:

$$y(t) = K\int_0^t x(t)\mathrm{d}t.$$

Заменив знак интеграла оператором $1/p$, получим $y(t_0) = (K/p)x(t)$. Отсюда передаточная функция интегрирующего звена в операторной форме

$$W(p) = K/p. \qquad (8.1)$$

Если входное и выходное воздействия являются величинами одинаковой размерности, то размерность статического коэффициента передачи K равна c^{-1}. Поэтому вместо него удобнее использовать постоянную времени интегрирующего звена $T = 1/K$. Тогда выражение (8.1) запишется в виде

$$W(p) = 1/(pT). \qquad (8.2)$$

Перейдем к частотной форме передаточной функции, заменив p на $j\omega$:

$$W(j\omega) = 1/(j\omega T) = -\mathrm{j}/(\omega T). \qquad (8.3)$$

Как видим, частотная передаточная функция интегрирующего звена является чисто мнимой величиной.

Рассмотрим частотные характеристики звена. Выражение для АХЧ запишется в виде

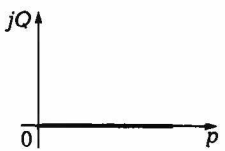
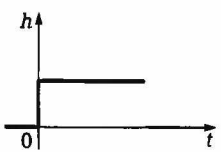
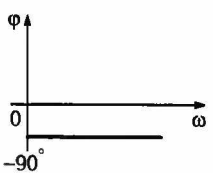
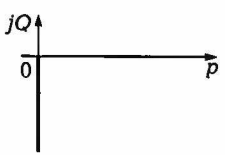
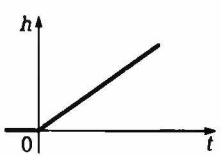
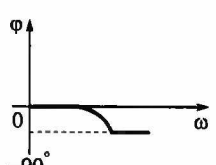
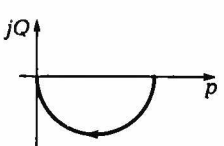
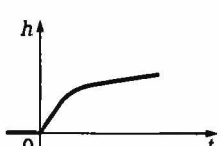
$$k(\omega) = \sqrt{0 + \frac{1}{\omega^2 T^2}} = 1/(\omega T).$$

Выражение для ФЧХ

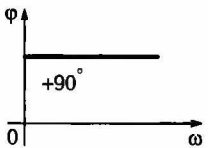
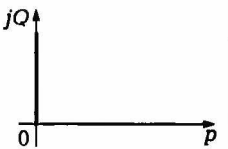
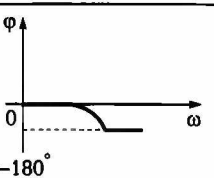
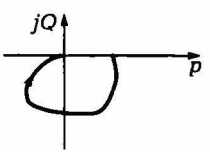
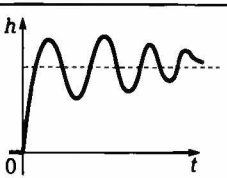
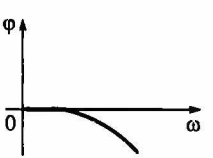
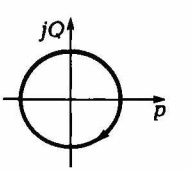
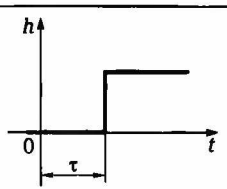
$$\varphi(\omega) = \mathrm{arctg}\frac{-1/(\omega T)}{0} = 90°.$$

Таким образом, при изменении частоты входного воздействия от 0 до ∞ коэффициент передачи интегрирующего звена увеличивается от 0 до ∞, а выходное воздействие, независимо от частоты входного воздействия, отстает от него на четверть периода. Графики АФЧ и ФЧХ интегрирующего звена приведены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Вид и уравнение звена	Передаточная функция	Частотные характеристики		Переходная характеристика
		Фазовая	Амплитудно-фазовая	
Пропорциональное $y(t) = Kx(t)$	K			
Интегрирующее $y(t) = K\int_0^t x(t)\mathrm{d}t$	$\frac{K}{p}$			
Апериодическое $T\frac{\mathrm{d}y(t)}{\mathrm{d}t} + y(t) = Kx(t)$	$\frac{K}{1+pT}$			

Окончание табл.

Вид и уравнение звена	Передаточная функция	Частотные характеристики		Переходная характеристика
		Фазовая	Амплитудно-фазовая	
Дифференцирующее $y(t) = K\dfrac{dx(t)}{dt}$	K_p			
Колебательное $T^2\dfrac{d^2y(t)}{dt} + 2T\xi\dfrac{dy(t)}{dt} + y(t) = Kx(t)$	$\dfrac{K}{T^2p^2 + 2\xi Tp + 1}$			
Запаздывающее $y(t) = Kx(t-\tau)$	$Ke^{-\tau p}$			

В качестве примера интегрирующего звена можно привести конденсатор, если входным сигналом является ток, а выходным — напряжение на конденсаторе. Интегрирующее звено является элементом памяти, запоминающим поданное на его вход воздействие. Например, конденсатор, зарядившись входным током, хранит свой заряд.

Апериодическое (*инерционное*) звено описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$T\frac{dy(t)}{dt}+y(t)=Kx(t).$$

Перейдя к операторной форме записи и вынеся $y(t)$ за скобки, получим

$$(Tp+1)y(t)=Kx(t).$$

Отсюда передаточная функция апериодического звена в операторной форме

$$y(t)=\frac{K}{Tp+1}x(t)=W(p)x(t). \qquad (8.4)$$

Заменив оператор дифференцирования p на $j\omega$, получим выражение для частотной передаточной функции:

$$W(j\omega)=\frac{K}{Tj\omega+1}. \qquad (8.5)$$

Для получения частотных характеристик умножим числитель и знаменатель на комплексно-сопряженное выражение $j\omega T-1$:

$$W(j\omega)=\frac{K(j\omega T-1)}{(j\omega T+1)(j\omega T-1)}=\frac{K}{1+\omega^2T^2}-j\frac{K\omega T}{1+\omega^2T^2}. \qquad (8.6)$$

Как и любую комплексную величину, $W(j\omega)$ можно представить в алгебраической форме в виде суммы вещественной и мнимой частей:

$$W(j\omega)=p(\omega)+jQ(\omega). \qquad (8.7)$$

В прямоугольных координатах $p(\omega)$ и $Q(\omega)$ являются проекциями вектора $W(j\omega)$ соответственно на вещественную и мнимую оси. Модуль $k(\omega)$ и аргумент $\varphi(\omega)$ передаточной функции можно выразить через проекции $p(\omega)$ и $Q(\omega)$ следующим образом:

$$k(\omega)=\sqrt{P^2(\omega)+Q^2(\omega)}; \qquad (8.8)$$

$$\varphi(\omega)=\operatorname{arctg}\frac{Q(\omega)}{P(\omega)} \qquad (8.9)$$

Из формулы (8.6) с помощью формул (8.8) и (8.9) можно найти выражение для АХЧ и ФЧХ апериодического звена:

$$k(\omega)=\sqrt{\frac{K^2+K^2\omega^2T^2}{(1+\omega^2T^2)^2}}; \tag{8.10}$$

$$\varphi(\omega)=\operatorname{arctg}(-\omega T)=-\operatorname{arctg}(\omega T). \tag{8.11}$$

Из выражений (8.10) и (8.11) видно, что при увеличении частоты от 0 до ∞ коэффициент передачи апериодического звена уменьшается от K до 0, а угол сдвига фаз изменяется от 0 до –90°. Отсюда следует, что апериодическое звено является фильтром нижних частот, хорошо передающим низкочастотные воздействия и задерживающим высокочастотные. Переходная характеристика апериодического звена приведена в табл. 8.1.

Примером апериодического звена являются электронный усилитель с индуктивной нагрузкой, магнитный усилитель, термодатчик.

Дифференцирующим звеном является звено, у которого выходное воздействие пропорционально производной от входного воздействия:

$$y(t)=K\frac{\mathrm{d}x(t)}{\mathrm{d}t}.$$

Отсюда выражения для передаточной функции звена в операторной и частотной формах соответственно: $W(p)=Kp$; $W(j\omega)=K(j\omega)$.

Если входное и выходное воздействия имеют одинаковую размерность, то коэффициент K имеет размерность времени и вместо него используют постоянную времени T. Согласно формулам (8.8) и (8.9) получим выражения для частотных характеристик звена: $K(\omega)=\omega T$; $\varphi(\omega)=90°$.

Примером реальных дифференцирующих звеньев являются RC-цепочка и тахогенератор (рис. 8.1).

Колебательное звено описывается следующим дифференциальным уравнением:

$$a_2\frac{\mathrm{d}^2y(t)}{\mathrm{d}t^2}+a_1\mathrm{d}t\frac{\mathrm{d}y(t)}{\mathrm{d}t}+a_0y(t)=b_0x(t).$$

Перейдя к операторной форме записи, получим

$$(a_2p^2+a_1p+a_0)y(t)=b_0x(t).$$

Разделим это уравнение на a_0 и найдем операторную передаточную функцию колебательного звена

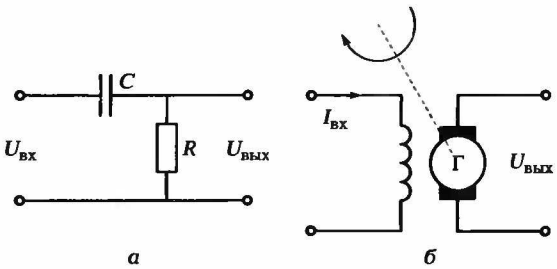


Рис. 8.1. Примеры дифференцирующих звеньев

$$W(p)=\frac{K}{T^2p^2+2\xi Tp+1},$$

где $K=b_0/a_0$ — статический коэффициент; $T=\sqrt{a_2/a_0}$ — постоянная времени; $\xi=a_1/(2a_0T)$ — коэффициент затухания.

Анализ частотных характеристик колебательного звена (см. табл. 8.1) показывает, что АЧХ звена, уменьшаясь от K до 0, имеет максимум при $\omega=\omega_0=1/T$, который возрастает при $\xi\to 0$. Фазовый сдвиг, изменяясь от 0 до 180°, при $\omega=\omega_0$ равен 90°.

Переходная характеристика звена является колебательной (если $\xi=0$, то колебания не затухают).

При $\xi>1$ колебательное звено можно представить в виде двух апериодических звеньев с соответствующей переходной характеристикой.

Примерами колебательных звеньев являются колебательные цепи (электрический LC-контур, механический маятник), в которых энергия может переходить из одной формы в другую и обратно.

8.5. КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ САР И ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ПРОЦЕССА РЕГУЛИРОВАНИЯ

Качество процесса регулирования. Качество работы систем автоматического регулирования характеризуют следующие показатели качества:

- запас устойчивости;
- точность;
- длительность переходного процесса;
- коэффициент перерегулирования.

Запас устойчивости системы характеризует положение зоны устойчивого регулирования от зоны неустойчивого состояния. Это положение выбирается с учетом возможного случайного изменения коэффициента усиления или фазового сдвига. Сам запас устойчивости характеризуется запасом устойчивости по амплитуде (по модулю частотной функции) и по фазе.

Запасом устойчивости по амплитуде будет некий сигнал усиления, который надо ввести в систему, чтобы она стала неустойчивой. А *запас устойчивости по фазе* — это фазовый угол, который при введении в систему делает ее также неустойчивой.

Точность работы систем автоматического регулирования характеризуется ошибкой: чем меньше ошибка, тем точнее работает система. Когда сигнал ошибки равен нулю, то в идеальной системе регулируемая величина достигает заданного значения.

Длительностью переходного процесса называют время, в течение которого он совершается. Обычно окончанием переходного процесса считается момент, когда регулируемая величина отличается на 5 % от нового установившегося значения. Время переходного процесса (время регулирования) характеризует быстродействие системы: чем меньше это время, тем выше быстродействие системы.

Под перерегулированием понимается величина

$$\sigma = \frac{y_{max} - y_0}{y_0} 100,$$

где y_{max} — максимальное значение регулируемой величины во время переходного процесса; y_0 — новое установившееся значение регулируемой величины.

При большом перерегулировании возникают перенапряжения в электрических элементах системы и значительные динамические усилия в механических частях системы, поэтому перерегулирование ограничивают до значения 20 ... 50 %.

Объекты регулирования и исполнительные элементы систем автоматического регулирования имеют определенную инерционность, что при большом коэффициенте усиления приводит к колебательному переходному процессу в системе. Большой коэффициент усиления требуется для повышения точности работы систем автоматического регулирования, поэтому обычно в системах автоматического регулирования переходный процесс колебательный.

Устойчивость систем автоматического регулирования. Воздействие внешних возмущающих факторов на объект регулирования вызывает определенное отклонение систем автоматического регулирования от устойчивого режима.

Для определения устойчивости систем автоматического регулирования разработаны специальные правила, называемые *критериями (условиями) устойчивости*. Эти критерии можно подразделить на несколько групп.

Алгебраические критерии устойчивости используются в тех случаях, когда имеется дифференциальное уравнение системы. Эти критерии (Вышнеградского, Рауса, Гурвица) позволяют определить, устойчива система или нет, путем сравнительно простого анализа коэффициентов уравнения системы.

Частотные критерии устойчивости основаны на анализе частотных характеристик системы. Частотные характеристики могут быть построены аналитически по уравнению системы, но могут быть сняты и экспериментально на специальных моделирующих установках.

Для замкнутых систем применяется критерий устойчивости Найквиста. При этом должна быть известна частотная характеристика разомкнутой системы

$$K_{\text{р}}(j\omega)=\frac{j\omega K_{\text{р}}}{1+2\xi j\omega/\omega_0+(j\omega/\omega_0)^2}.$$

На основании этой характеристики строят амплитудно-фазовую характеристику и определяют коэффициент передачи $K_{\text{р}}$ при $\omega = 0$, $\omega = \infty$, $\omega = \omega_0$:

$$K_{\text{р}}(j0)=-j0=0;\ K_{\text{р}}(j\infty)=+j0=0;\ K_{\text{р}}(j\omega_0)=\frac{\omega_{\text{р}}K_{\text{р}}}{2\xi}=-\frac{K_{\text{р}}}{K_{\text{кр}}}.$$

Точку C с координатами $(-1, j0)$ называют критической точкой (рис. 8.2).

При $K_{\text{р}}=K_{\text{кр}}$ имеем $K_{\text{р}}(j\omega_0)=-1$, и характеристика переходит через критическую точку C. При $K_{\text{р}}<K_{\text{кр}}$ — характеристика не охватывает точку C, а при $K_{\text{р}}>K_{\text{кр}}$ — характеристика охватывает точку C.

Таким образом, если амплитудно-фазовая характеристика разомкнутой системы не охватывает критическую точку C, то система в замкнутом состоянии устойчива, если охватывает или пересекает — то неустойчива.

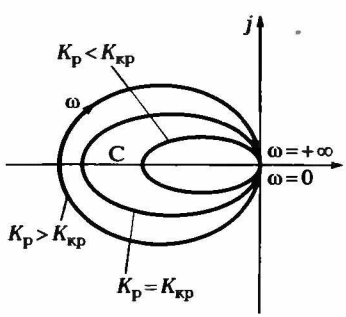


Рис. 8.2. Критерий устойчивости Найквиста

8.6. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ И КАЧЕСТВА САР

Для обеспечения устойчивости систем автоматического регулирования, а также для улучшения характера переходных процессов часто применяются различные стабилизирующие устройства в виде так называемых *стабилизирующих звеньев* и *обратных связей*. Стабилизирующее звенья обычно включаются последовательно в контур системы регулирования таким образом, чтобы деформировать годограф передаточного коэффициента K в нужную сторону, отодвигая его от точки $(1, j0)$.

Обратной связью называется устройство, передающее сигнал с выхода какого-либо из звеньев системы на выход одного из предыдущих звеньев.

Назначение обратных связей, как и стабилизирующих звеньев, состоит в обеспечении устойчивости и улучшении переходных процессов. В зависимости от характера воздействия по цепи обратной связи последняя носит название жесткой или гибкой. Жесткая обратная связь передает саму величину, существующую на выходе звена, а гибкая обратная связь — производные этой величины по времени.

Рассмотренные ранее способы коррекции осуществлялись в цепи передачи управляющего воздействия. Но повышать качество переходных процессов можно также путем коррекции в цепи передачи задающего воздействия, а в комбинированных системах, сочетающих принципы управления по отклонению и возмущению, и в цепи передачи возмущающего воздействия. На рис. 8.3 звено с передаточной функцией $W_q(p)$ осуществляет коррекцию по задающему, а звено $W_f(p)$ — по возмущающему воздействию. В качестве корректирующих чаще всего используют различные форсирующие звенья.

Принципиальное отличие от коррекции по управляющему воздействию заключается в том, что коррекция по внешним воздействиям влияет на качество переходного процесса, вызванного только тем воздействием, в цепи которого она осуществлена. Качество переходных процессов, вызванных всеми другими воздействиями, при этом остается прежним.

В теории регулирования разработаны методы расчета корректирующих цепей по возмущающим воздействиям, позволяющие добиться полной независимости выходной величины объекта управления $y(t)$ от данного возмущающего воздействия $f(t)$.

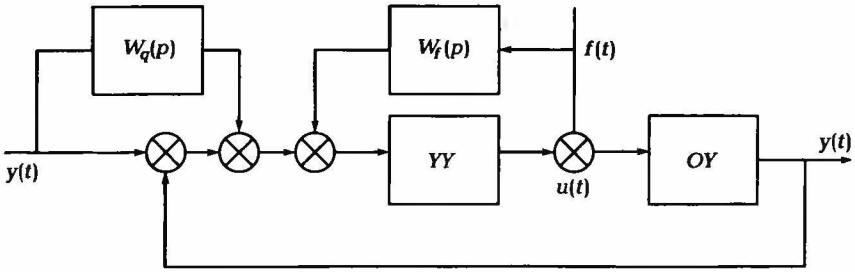


Рис. 8.3. Коррекция по задающему и возмущающему воздействиям

акие системы называются *инвариантными* по отношению к данному воздействию.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните, с какой целью проводят исследования свойств систем автоматики?
2. Какова методика исследования динамического режима систем автоматики?
3. Что такое элементарные динамические звенья? В чем их назначение?
4. Что обозначает понятие «передаточная функция» динамического звена?
5. Объясните понятие «частотная передаточная функция», назовите ее составляющие.
6. Перечислите типовые динамические звенья систем автоматического регулирования.
7. Приведите примеры типовых динамических звеньев: их уравнения, передаточные функции, частотные характеристики.
8. Перечислите показатели качества систем автоматического регулирования, дайте определение понятий «запас устойчивости», «точность», «длительность переходного процесса», «коэффициент перерегулирования».
9. Охарактеризуйте критерии устойчивости систем автоматического регулирования.
10. Расскажите о методах повышения устойчивости и качества систем автоматического регулирования.

Глава 9

СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ

9.1. ОБЩИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМ ТЕЛЕМЕХАНИКИ. МЕТОДЫ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ

Отличительной особенностью *телемеханических систем* является наличие в них устройств для передачи информации на значительные расстояния с целью управления удаленными объектами или их контроля. Для правильного функционирования автоматических систем необходимо, чтобы информация в процессе передачи претерпевала наименьшие искажения. В условиях территориальной разобщенности частей системы и действия помех возникают затруднения в удовлетворении этого требования. Для решения задачи передачи информации сформировалась особая область науки и техники — *телемеханика*, предметом которой является разработка методов и технических средств передачи и приема информации с целью управления и контроля.

Телемеханические системы получили большое распространение при централизованном управлении территориально разобщенными устройствами в энергетике, на железнодорожном транспорте, газо- и нефтепроводах и т. д. Только используя средства телемеханики, можно создать автоматизированные системы управления производственными процессами.

9.2. КЛАССИФИКАЦИЯ И СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

По выполняемым функциям и виду передаваемой информации телемеханические системы подразделяются следующим образом:

- системы телеуправления, обеспечивающие управление на расстоянии отдельными объектами, оборудованием или целыми производственными комплексами;
- системы телесигнализации, осуществляющие контроль на расстоянии за состоянием или положением управляемых или контролируемых объектов;
- системы телеизмерения, предназначенные для измерения на расстоянии различных физических величин (тока, напряжения, давления, скорости и т. д.);
- системы передачи данных, обеспечивающие передачу на расстояние цифровой и другой информации о работе производственных объектов для использования ее в вычислительных управляющих машинах;
- комбинированные системы, объединяющие некоторые из перечисленных выше систем.

Телемеханические системы включают *системы передачи информации* (СПИ) совокупность технических средств, которая обеспечивает передачу информации от источника к исполнительному устройству. Система передачи информации (рис. 9.1) состоит из источника сообщения (ИС), кодирующего устройства (КУ), которое формирует из сообщения А сигнал; модулятора (М), преобразующего сигнал в вид, удобный для передачи по линии связи (ЛС) — физической среды, по которой передаются сигналы; демодулятора (Д), преобразующего сигнал в первоначальный вид; декодирующего устройства (ДУ), формирующего из сигнала сообщение Б. По принятому сообщению должен быть сформирован сигнал реализации (исполнения). Эту задачу решает отдельное устройство — формирователь сигнала реализации (ФСР), воздействующий на исполнительное устройство (ИУ). Назначение системы — передать сообщение от источника к получателю, причем, сообщение Б, принятое получателем, должно соответствовать переданному сообщению А.

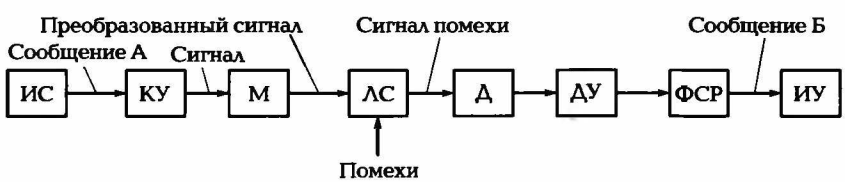


Рис. 9.1. Функциональная схема одноканальной системы передачи информации

9.3. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В отличие от дистанционной системы передачи информации устройства телемеханики благодаря применению специальных технических средств селективного (избирательного) включения обеспечивают сокращение числа линий связи между органами и объектами управления.

Любое телемеханическое устройство состоит из двух полукомплектов аппаратуры — передающего, устанавливаемого на диспетчерском пункте (пункт управления — ПУ), приемного, устанавливаемого на исполнительном пункте (ИП). Оба эти полукомплекта соединяются между собой каналом связи. Каждый из полукомплектов состоит из двух частей — общей и индивидуальной. Общая часть служит для преобразования передаваемых сигналов в определенные коды (система условных импульсов или сигналов), на передающем полукомплекте и для обратного декодирования (расшифровки) их и проверки правильности приема на приемном полукомплекте. Индивидуальная часть обычно состоит из элементов управления (кнопки, ключи), сигнализации (лампы, звонки), различных промежуточных реле или заменяющих их бесконтактных элементов, которые выполняют функции управления, контроля и сигнализации для конкретных объектов.

9.4. КАНАЛ СВЯЗИ. ПОМЕХИ. СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КАНАЛОВ СВЯЗИ

Выбор телемеханических устройств зависит от объема передаваемой информации, количества и взаимного расположения объектов; необходимого быстродействия; вида канала связи и других факторов. Наиболее важным фактором являются каналы связи, которые могут быть гидравлическими, пневматическими, акустическими, оптическими и электрическими. В настоящее время наибольшее практическое применение находят электрические каналы связи с использованием проводных или радиолиний. Для каналов связи могут быть использованы как специальные линии, так и линии, выполняющие другие функции, например линии электропередачи, телефонные кабели.

Различают каналы связи многопроводные и малопроводные. Число проводов в многопроводных системах определяется числом

объектов управления и количеством передаваемых сигналов. Малопроводные системы характерны тем, что число проводов не зависит от количества передаваемых команд и сигналов. Возможность передачи большого числа сигналов по одному каналу создается с помощью специальных устройств, обеспечивающих разделение передаваемых импульсов (импульсный признак) путем изменения частоты повторения или сдвига их по времени. Например, по линиям электропередачи высокого напряжения в энергосистемах, имеющих протяженность сотни километров, организуются каналы телемеханики высокочастотной связи в диапазоне частот от 30 до 300 кГц.

Для выделения необходимых сигналов из общего канала связи служат специальные электрические фильтры, свободно пропускающие токи той полосы частот, на которую они настроены. Фильтры образуются соответствующим подбором емкостей и индуктивностей.

Существуют и другие способы разделения сигналов, используемые в устройствах телемеханики: полярный, амплитудный и фазовый.

Полярный способ, при котором импульсным признаком служит направление постоянного тока или выпрямленных полуволн переменного тока. При этом направление тока (полярность) фиксируется на приемной стороне с помощью поляризованных реле, включенных через выпрямители.

Амплитудный способ, при котором различие в сигналах осуществляется изменением величины тока, посылаемого по линиям связи. Чтение (расшифровка) этих импульсов производится реле с различной чувствительностью. Для надежной работы таких устройств импульсы тока должны отличаться по амплитуде в 2—3 раза.

Способ предусматривает использование различных по фазе импульсов переменного тока, причем реагируют на сдвиг фаз между токами (например, на 180°) специальные реле, устанавливаемые на приемной стороне; применяется редко.

Команды или сигналы могут передаваться одним или несколькими импульсами. Соответственно различают передачи одноимпульсным или многоимпульсным кодом. В телеуправлении чаще применяют многоимпульсные коды, для которых используют числовые коды.

В зависимости от принятой системы кодирования различают следующие методы избирательности сигналов:

- качественный — передача сигналов о состоянии объекта осуществляется посылкой только одного импульса с известным импульсным признаком по определенному про-

воду, относящемуся к данному объекту. Такие системы применяют только для коротких расстояний и называют системами ближнего действия;

- распределительный — один и тот же канал связи используется многократно путем передачи импульсов тока с определенными признаками, но со сдвигом по времени;
- комбинационный — каждый из проводов или ключ принадлежит какому-либо объекту и используется в определенной комбинации для передачи обусловленного сигнала. Развитием комбинационного избирания является кодовое, при котором используются многоимпульсные коды, различающиеся комбинациями импульсов и пауз, передаваемых последовательно по одному каналу.

9.5. СИСТЕМЫ ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

Все телеизмерительные устройства подразделяются по характеру величин, передаваемых по каналу связи, на две группы: интенсивные, импульсные и частотные. В свою очередь каждая из групп подразделяется на свои составные части, представленные на рис. 9.2.

Интенсивные системы обеспечивают измерение и напряжения, а также передачу информации на небольшие расстояния в связи с потерями в каналах связи.

Можно осуществлять телеизмерение как постоянного, так и переменного токов. Однако информация передается преимущественно на постоянном токе, что исключает индуктивное сопротивление и емкостные проводимости каналов связи. Обычное измерение тока с помощью трансформатора Тр (рис. 9.3, *а*) — задача простая и методы ее решения позволяют передавать информацию на расстояние

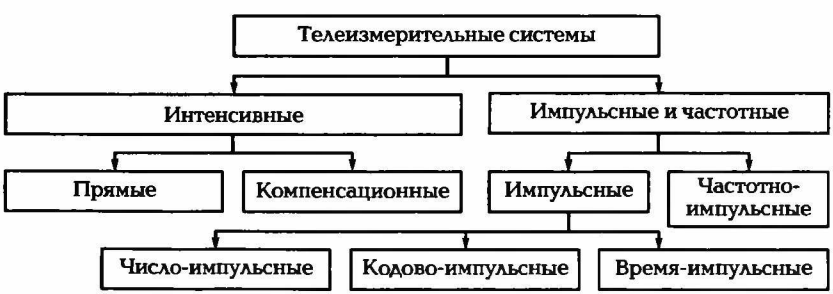


Рис. 9.2. Схема классификации устройств телеизмерения

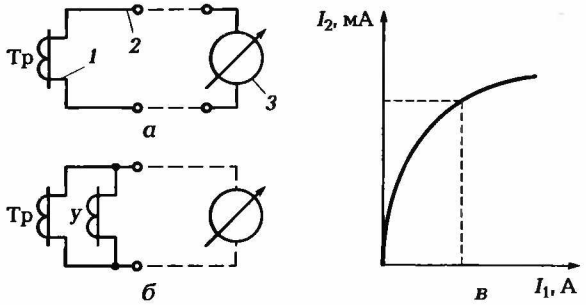


Рис. 9.3. Схемы телеизмерения тока:

а — прямая: *1* — трансформатор тока; *2* — канал связи; *3* — измерительное устройство; *б* — с промежуточным насыщающим трансформатором; *в* — график работы

в несколько десятков метров (расстояние определяется параметрами канала связи). При разработке схемы телеизмерения тока следует учитывать возможность значительного увеличения измеряемого тока. С целью предотвращения возможности увеличения тока и повышения напряжения в канале связи применяют промежуточный насыщающийся трансформатор (ПНТ) (рис. 9.3, *б*).

При нормальных (расчетных) токах трансформатор работает в ненасыщенном режиме (прямолинейный отрезок кривой намагничивания на рис. 9.3, *в*, а при токах перегрузки — переходит в режим насыщения и вследствие этого существенно ограничивает рост вторичного тока и напряжения. В этом случае дальность действия системы также значительно увеличивается.

К интенсивным системам относятся также телеизмерения неэлектрических величин, осуществляемые с помощью реостатных датчиков. Устройства, измеряющие неэлектрические величины (уровнемеры, манометры, динамометры и т. д.), механически соединяют с реостатным датчиком (рис. 9.4.)

Полное сопротивление реостатного датчика R при изменении положения измерителя неэлектрической величины на угол α также

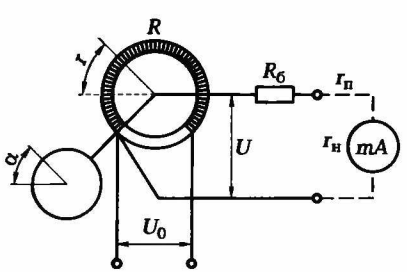


Рис. 9.4. Схема телеизмерения неэлектрических величин

изменяется на пропорциональную величину r, что вызывает соответственно изменение напряжения U, подаваемого в канал связи:

$$r = K\alpha;\ U = U_0 rR = U_0 K\alpha / R.$$

Ток, идущий в линию связи и в устройство измерения (например, в миллиамперметр):

$$i = U/(r_б + r_л + r_и) = U_0 K / (r_б + r_л + r_и)R\alpha,$$

где $r_б$ — балластное сопротивление; $r_л$ — сопротивление канала связи; $r_и$ — сопротивление устройства измерения.

Если напряжение U_0 = const, то ток в устройстве измерения зависит только от угла α и, следовательно, устройство измерения может быть проградуировано на значение величины, измеряемой первичным измерителем. Однако принятое соотношение $U = Ur/R$ справедливо только при отсутствии тока. Появление тока изменяет это соотношение и вносит искажение в измерение. Уменьшить искажение можно только за счет увеличения $r_б$. Балластное сопротивление уменьшает также погрешность от измерения $r_л$ — сопротивления канала связи.

Компенсационные (*балансные*), *телеизмерительные системы напряжения* строятся по принципу преобразования измеряемой величины в напряжение, которое подается в канал связи и измеряется на приемной стороне путем встречного включения балансирующего напряжения, равное измеряемому. Вследствие полной компенсации напряжений ток в линии связи исчезает, благодаря чему ликвидируется источник погрешности. Наиболее совершенными устройствами, автоматически компенсирующими измеряемое напряжение, являются электронные автопотенциометры. Эти потенциометры могут осуществлять точные измерения с одновременной регистрацией данных измерений, так как энергия для передвижения движка потенциометра, а следовательно, и для измерения *напряжения* не потребляется от контролируемого источника напряжения, а берется на месте измерения от сети (рис. 9.5).

Структурная схема автопотенциометра состоит из нулевого органа Н, где происходит сравнение измеряемого и компенсирующего напряжений; усилителя У, усиливающего разность напряжений; двигателя Д, перемещающего реохорду потенциометра и Ш — Р до момента равенства измеряемого и компенсирующего напряжений. Положение датчика при этом указывает на шкале значение измеренного напряжения.

Компенсационные (*балансные*) *телеизмерительные системы тока* представляют собой устройства, где производится сопостав-

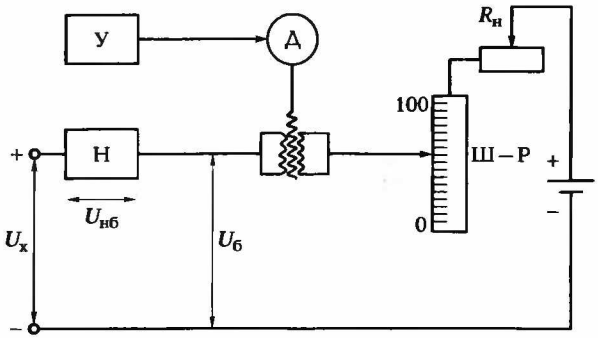


Рис. 9.5. Структурная схема автопотенциометра:

$U_х$ — измеряемое напряжение; $U_б$ — компенсирующее напряжение; $U_{нб}$ — напряжение небаланса; $R_н$ — настроечный потенциометр; Ш—Р — шкала — реохорд

ление двух параметров — измеряемого и компенсирующего (рис. 9.6).

Например, вращающий момент, создаваемый измерительным прибором пропорционально измеряемой величине, уравновешивается моментом, создаваемым рамкой с током в постоянном магнитном поле.

Основным элементом балансной системы тока является регулятор тока, автоматически изменяющий ток при изменении вращающего момента первичного измерителя (ПИ). При повороте стрелки первичного измерителя на угол α закручивается спиральная пружина П, создающая на оси вращения рамки с током момент M, поворачи-

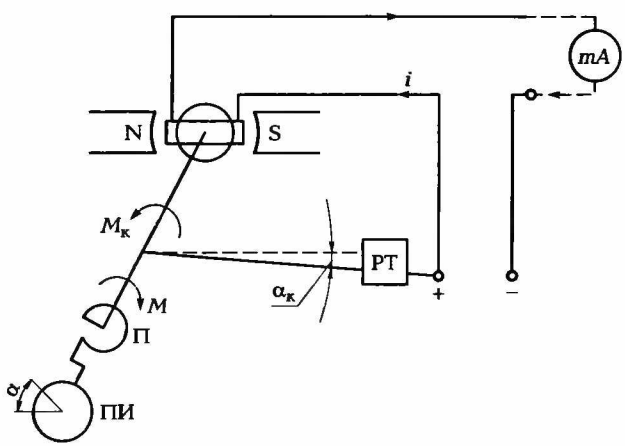


Рис. 9.6. Принцип действия компенсационной телеизмерительной системы тока

вающий эту ось на угол $\alpha_к$. Соединенный с осью регулятор тока РТ усиливает ток, идущий в рамку, и создает противодействующий момент $M_к$.

Так как момент M пропорционален углу закручивания пружины $M = K_1(\alpha - \alpha_к)$, а противодействующий момент рамки пропорционален току $M_к = K_2 i$, то при равновесии выполняются соотношения:

$$M = M_к;\ K_1(\alpha - \alpha_к) = K_2 i.$$

Регулятор тока конструируется таким образом, что при малых значениях угла $\alpha_к$ сила тока увеличивается до $I_п$. Вследствие этого можно записать

$$I = (K_1/K_2)\,\alpha = K\alpha,$$

т. е. при равновесии сила тока в рамке, а следовательно, и на приемном приборе зависит только от угла поворота первичного измерителя.

Число-импульсные телеизмерительные системы основаны на преобразовании измеряемой величины в пропорциональное ей число импульсов, которое передается в канал связи или периодически, через определенные промежутки времени, или же при изменении измеряемой величины. На рис. 9.7. представлена в качестве примера схема телеизмерения уровня по число-импульсной системе.

При изменении уровня поплавковый датчик включает правые (ПК) или левые (ЛК) контакты. При этом в канал связи посылаются положительные либо отрицательные импульсы, соответствующие изменению уровня на вполне определенную величину. На приемной стороне установлено трехпозиционное поляризованное реле (ПР),

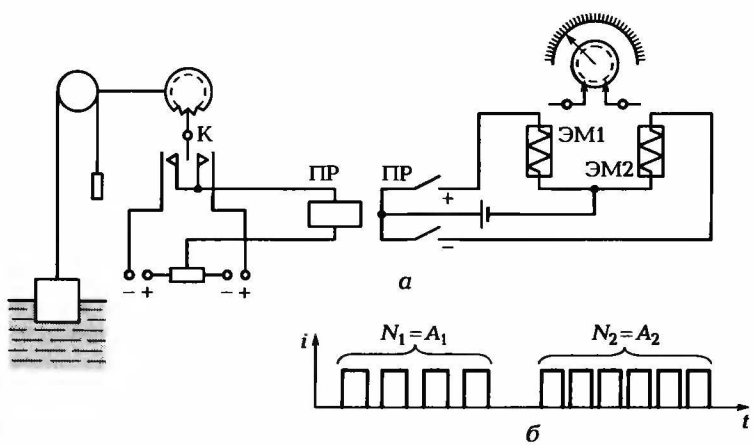


Рис. 9.7. Число-импульсное измерение уровня (*а*) и его график (*б*)

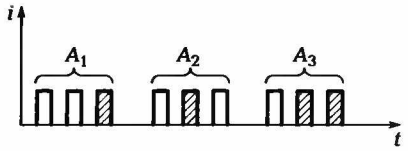


Рис. 9.8. График кодово-импульсного телеизмерения

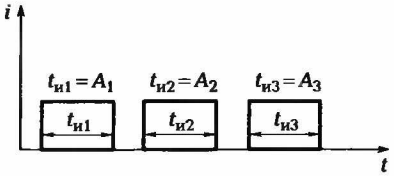


Рис. 9.9. График время-импульсного телеизмерения

которое в зависимости от полярности импульса замыкает то один, то другой контакт. При этом замыкается цепь одного из двух электромагнитов (ЭМ), которые поворачивают стрелку показывающего прибора в одну или другую сторону. В число-импульсном методе каждый импульс соответствует определенному значению измеряемой величины, которое выражается как цена импульса:

$$b = A_н / N_н,$$

где $A_н$ —номинальное значение измеряемой величины; $N_н$ — соответствующее этому значению число импульсов.

Кодово-импульсные телеизмерительные системы основаны на передаче значений измеряемой величины определенными комбинациями импульсов с различными качественными признаками. Наиболее часто применяются два качественных импульсных признака, с помощью которых создаются два вида импульсов, отличающихся друг от друга. Отличие может производиться изменением времени (длительности) импульса (паузы), изменением полярности импульса или его амплитуды. Отличие может быть произведено и просто передачей паузы, т. е. импульсом с амплитудой, равной нулю. На рис. 9.8 импульсы, отличающиеся от обычных, заштрихованы независимо от их качественного признака.

Время-импульсные телеизмерительные системы основаны на преобразовании измеряемой величины в импульсы, продолжительность которых пропорциональна измеряемой величине $t_и \sim A$ (рис. 9.9). Время между началом соседних импульсов обычно не измеряется.

Частотно-импульсные телеизмерительные системы основаны на преобразовании измеряемой величины в ряд импульсов, частота

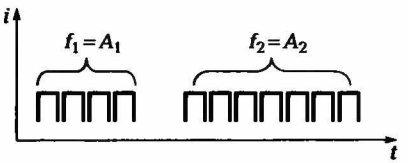


Рис. 9.10. График частотно-импульсного телеизмерения

следования которых пропорциональна измеряемой величине $f \sim A$ (рис. 9.10). Время импульса и время паузы обычно равны между собой. На приемной стороне частота импульса преобразуется в пропорциональную величину тока, который и измеряется показывающим прибором.

9.6. ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ И ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИЯ

При телеуправлении обычно исключается возможность непосредственного наблюдения за результатами посылаемых приказов, поэтому телеуправление всегда сопровождается телесигнализацией и обозначается ТУ—ТС.

Задачей техники ТУ—ТС является уплотнение линии связи для передачи по ней как приказов управления, так и приказов контроля (сигнализации), а также команд приказов с отличительными признаками и их избирание. В технике ТУ—ТС имеется четыре основных метода избирания: качественный, качественно-комбинационный, распределительный и распределительно-комбинационный.

Качественное избирание (рис. 9.11) имеет пять отличительных признаков: амплитудный (*а*), полярный (*б*), временной (*в*), фазовый (*г*) и частотный (*д*).

Амплитудный метод построен на принципе различных по величине амплитуд импульсов. Для четкого избирания импульсов их амплитуды должны отличаться по величине не менее чем в два раза. На практике получили распространение устройства с токами двух разных величин. На рис. 9.12 представлена схема (ТУ—ТС с качественным избиранием по амплитудному признаку (*1* — передающая часть; *2* — приемная часть).

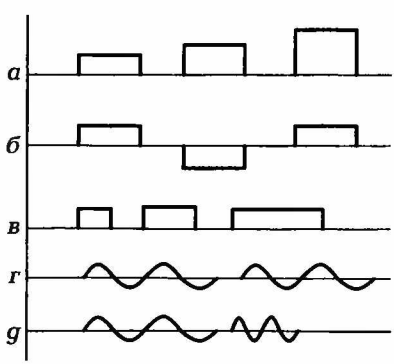


Рис. 9.11. Качественные методы избирания:

а — амплитудный; *б* — полярный; *в* — временной; *г* — фазовый; *д* — частотный

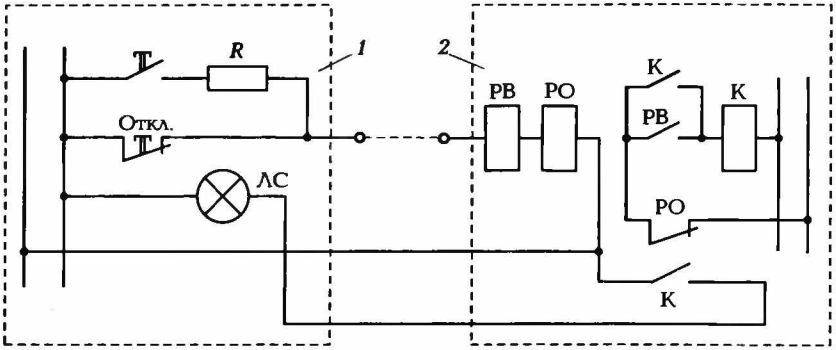


Рис. 9.12. Схема ТУ-ТС с качественным избиранием по амплитудному признаку:

1 — передающая часть; *2* — приемная часть

Приемные аппараты (реле управления) выбираются на разные токи срабатывания и соединяются последовательно. Тогда, при посылке команды «Вкл.», контактор К включается при включении реле РВ. Реле отключения РО при этом токе не срабатывает. Оно сработает лишь при нажатии кнопки Откл., т. е. при большей величине силы тока. Одновременно с телеуправлением срабатывает и телесигнализация (лампа ЛС засвечивается при включении контактора К и гаснет).

Полярный признак используется в системах постоянного тока и имеет отличительные признаки в виде положительного и отрицательного направлений тока. На рис. 9.13 представлена схема на полярном признаке.

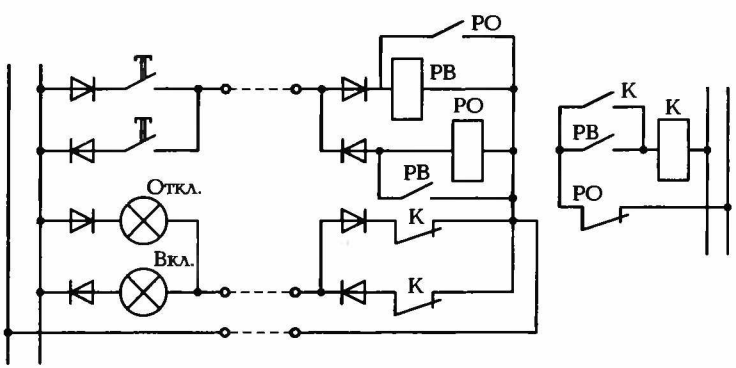


Рис. 9.13. Схема ТУ—ТС с качественным избиранием на полярном признаке

Временной, фазовый и частотный методы избирания решаются аналогичным образом, только в качестве отличительных признаков подаваемых команд используются различные по времени, фазе и частоте импульсы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните, в чем заключается отличие телемеханики от автоматики.
2. Назовите классификацию телемеханических систем по выполняемым функциям.
3. Дайте определение систем телеуправления, телесигнализации, телеизмерения, передачи данных, систем передачи информации.
4. Нарисуйте функциональную схему одноканальной системы передачи информации.
5. Перечислите составляющие телемеханического устройства и их назначение.
6. Что такое канал связи? Перечислите виды каналов связи.
7. Дайте характеристику амплитудного, полярного и фазового способов разделения сигналов.
8. Дайте характеристику методов избирательности сигналов.
9. Расскажите подробно о системах телеизмерения, телеуправления и телесигнализации.

Глава 10

ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

10.1. НАЗНАЧЕНИЕ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Применение значительного количества разнообразного и достаточно сложного инженерного оборудования в зданиях и сооружениях различного назначения и зависимость нормального функционирования зданий и сооружений от работоспособности оборудования вызвали необходимость организации постоянного наблюдения за работой наиболее ответственных установок. К таким установкам относятся: лифты, котельные, системы центрального отопления и горячего водоснабжения; противопожарные устройства, вентиляционные устройства, освещение мест общего пользования. Кроме того, должен осуществляться постоянный контроль за положением дверей помещений, где установлено инженерное оборудование.

Для эффективного контроля за работой инженерного оборудования, а также быстрой ликвидации аварий и проведения ремонтных работ в крупных городах созданы различные диспетчерские службы. Сложилась и определенная структура диспетчерского контроля: микрорайон, район, город.

Организация диспетчерской службы позволяет высвободить большое количество персонала при значительном упрощении эксплуатации и повышении надежности работы оборудования. Так, введение диспетчеризации пассажирских лифтов в жилых домах позволило отказаться от лифтеров.

Основными задачами диспетчерской службы являются:

1) постоянный контроль за работой инженерного оборудования; автоматическая запись эксплуатационного состояния оборудования; организация и контроль за проведением планово-предупредительного ремонта оборудования; контроль за своевременной комплектацией запасными частями;

2) получение информации об аварийном режиме и ее автоматическая запись; организация ремонтных работ и регистрация времени их начала и окончания;

3) контроль за выполнением текущих работ по эксплуатации зданий, сооружений, инженерного оборудования, территорий.

10.2. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ СИСТЕМЫ

Электрооборудование диспетчерской службы состоит из двух комплектов: оборудование собственно диспетчерской и оборудование, устанавливаемое в контролируемых пунктах.

Электрооборудование диспетчерской включает в себя: мнемоническую схему контролируемого района и диспетчерский пульт.

На мнемосхеме, расположенной на стене перед пультом диспетчера, обозначены жилые корпуса с сигнальными лампами разного цвета, которые загораются при поступлении соответствующих сигналов. Сюда поступают общие сигналы о неисправности лифтов, о нарушении режима освещения лестничных клеток, неисправностях инженерного оборудования и вызовы от переговорных устройств.

На пульте диспетчера размещается набор сигнальных табло с переключателями. Каждое табло соответствует одному из поступающих сигналов и квинтируется соответствующим переключателем, находящимся рядом с данным табло. (Квинтирование — установка переключателя в положение, соответствующее полученному сигналу). Так, например, при поступлении сигнала о неисправности лифта загорается лампа на мнемосхеме, табло на пульте, относящееся к данному лифту, и подается звуковой сигнал. При квинтировании звуковой сигнал снимается, лампа на мнемосхеме и табло на пульте гаснут, а переключатель остается в новом положении, отличающемся от положения всех переключателей на пульте. После устранения ремонтным персоналом неисправности подается новый сигнал, обязывающий диспетчера вернуть переключатель в исходное положение. Благодаря такому принципу построения схемы диспетчер имеет возможность в любое время осуществлять контроль состояния инженерного оборудования.

Кроме того, на пульт диспетчера поступают сигналы о затоплении канализационных колодцев, о затоплении или загазованности подвалов, технических подпольев, коллекторов, об открытии служебных

дверей в зданиях (двери, ведущие на чердак, в техническое подполье, машинные помещения лифтовых установок и т. д.), о возникновении пожара и некоторые другие.

С диспетчерского пункта может осуществляться управление освещением лестничных клеток всех жилых домов. Диспетчер может быть вызван любым жильцом дома по переговорному устройству, которое устанавливают на первом этаже каждого подъезда для подачи заявки на срочный ремонт оборудования общедомового и внутриквартирного.

Аналогичные переговорники имеются в кабинах лифтов, в тепловых пунктах, машинных помещениях лифтов у главного инженера и техника-смотрителя и других служебных помещениях. При диспетчерском пункте помещаются мастерские и дежурный ремонтный персонал, который по указанию диспетчера направляется для устранения неисправностей инженерного оборудования в зданиях.

Диспетчерский пульт (рис. 10.1) оборудован устройством двухсторонней громкоговорящей связи *17*, магнитофоном *15*, осуществляющим автоматическую запись поступающей информации; усилителями *10*; приборами для измерения температуры теплоносителя *8*; сигнальными лампами *5*; ключами управления *7* и т. д. Цвета сиг-

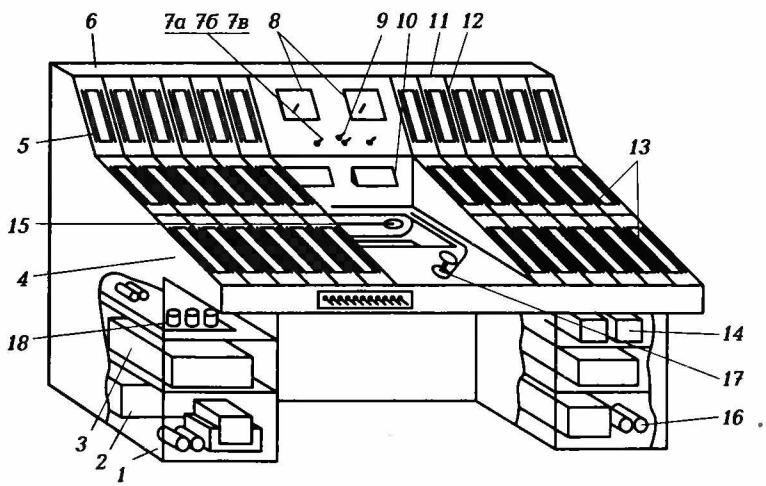


Рис. 10.1. Диспетчерский пульт:

1 — блок фильтра; *2* — автомат защиты; *3* — выпрямители; *4*— генератор импульсов; *5* — сигнальные лампы; *6* — корпус; *7* — ключи: *7а* — микрофона; *7б* — снятия сигнала; *7в* — измерения температуры; *8* — приборы измерения температуры; *9* — лампа, сигнализирующая о наличии напряжения; *10* — усилители; *11* — унифицированные блоки; *12* — ключи расшифровки сигнала; *13* — шильдики-адресаты; *14* — стабилизаторы; *15* — магнитофон; *16* — блок питания микрофонов; *17* — микрофон; *18* — тумблеры принудительного включения освещения

нальных ламп условно разделены по видам контролируемого инженерного оборудования: красный — лифты; зеленый — горячее водоснабжение, теплоснабжение, затопляемость; синий — загазованность; белый — освещение; желтый — абонент связи. Коммутация отдельных блоков пульта с общей схемой осуществляется с помощью разъемных соединений.

На задней стороне пульта расположен клеммный кросс, к которому подводятся все кабельные связи с контролируемыми пунктами.

Мнемоническая схема предназначена для быстрой ориентации оператора-диспетчера и работников диспетчерской службы о состоянии инженерного оборудования по поступающим сигналам. На мнемосхеме в соответствии с ситуационным планом указаны названия улиц, номера домов, а строения изображены в виде символических выпуклых очертаний. На символах домов вмонтированы разноцветные лампы, по которым диспетчер определяет конкретное инженерное оборудование, отказавшее в работе, или вызов переговорной связи.

Электрооборудование, установленное в контролируемых пунктах, компонуется на типовых унифицированных щитах с заполнением в зависимости от назначения. Так, например, существует щиток ЩС-1, предназначенный для двухсторонней связи подъезда, кабины лифта и других пунктов с диспетчерской; щиток АВР (автоматического включения резерва); щиток ЩС-2, обеспечивающий постоянный контроль за работой лифтов с распашными дверями шахты и кабины; щиток ЩС-3, предназначенный для контроля параметров центрального отопления, горячего и холодного водоснабжения, состояния дверей контролируемых помещений.

Рассмотрим состав оборудования и принципиальные электрические схемы щитков, используемых в диспетчерской службе. Щиток ЩС-1 имеет электрическую схему, состоящую из двух частей: кон-

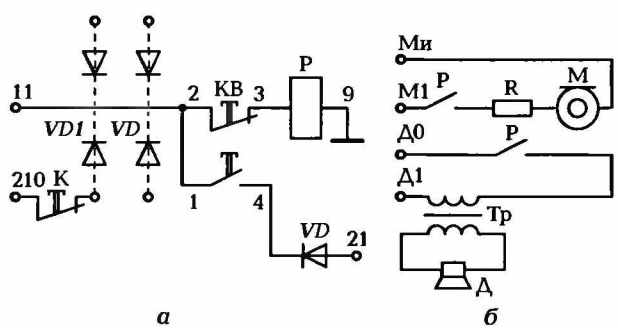


Рис. 10.2. Электрическая схема щитка ЩС-1

троля и сигнализации (рис. 10.2, *а*), связи (рис. 10.2, *б*). Электрическая схема контроля и сигнализации образует: цепь вызова диспетчера (21—Д—$КВ_{1-4}$—*11*) и цепь включения связи (11—$КВ_{2-3}$—Р—9). Электрическая схема связи образует: цепь микрофона (М1 — контакт Р—1 — М—М0S) и цепь динамика (Д1 — Тр—контакт Р—Д0).

В случае необходимости подключения к схеме дополнительных внешних устройств (датчиков контроля дверей, затопляемости и т. д.) создают дополнительные цепи сигнализации (на схеме эти цепи показаны пунктиром).

Принцип работы электрической схемы щитка заключается в следующем: при нажатии кнопки вызова КВ диспетчер получает сигнал в виде загорающейся лампы, включает соответствующий ключ, образующий по входу 11 включение реле Р, которое, в свою очередь, включает цепи микрофона и динамика, обеспечивая возможность двухсторонней связи. Закончив переговоры, диспетчер возвращает ключ в исходное положение и тем самым снимает питание с реле Р.

Щиток АВР предназначен для контроля работы двигателей насосов центрального отопления. Он обеспечивает: автоматический ввод в работу резервного двигателя насоса при остановке рабочего, а также при падении давления в системе водоснабжения ниже установленного значения; формирование и автоматическую передачу сигналов на диспетчерский пульт о включении резервного двигателя и об отсутствии электропитания двигателей.

Электрическая схема щитка АВР (рис. 10.3) образует цепи: подачи аварийного сигнала на диспетчерский пульт $\left(\begin{array}{c} 21\text{—контакты переключателя} \\ \text{ЗППН-45—12—}\boxed{\begin{array}{l}\text{3—контакт реле Р1}\\ \text{Р—контакт реле Р2}\end{array}}\text{—11} \end{array}\right)$, пуск двигателей 1 и 2 в режиме «Ревизия» (ЛЗ — кнопка Пуск — контакт кнопки Стоп — ПМО), включения местной сигнальной лампы (ЛЗ—ЗППН = 45—2—контакт Р—контакт Р2—*R*—лампа), цепь сигнализации отсутствия силового напряжения (ЛЗ—2—контакт ЗППН-45—Р1—9), цепь автоматического включения резервного двигателя 2 (ЛЗ—4—контакт ЗППН-45—1—*5*—контакт ЗППН-45—5—контакт ЗППН-45—8—Р—контакт $Р_{2-3}$—кнопка Стоп—ПМО), цепь включения резервного двигателя 1 (идентичные цепи электродвигателя 2).

Работа электрической схемы щитка осуществляется следующим образом. В режиме «Ревизия» установкой переключателя ЗППН-45 в среднее положение щиток отключается от диспетчерского контроля и автоматического управления и управление двигателями 1 и 2 осуществляется кнопками Пуск и Стоп местного управления.

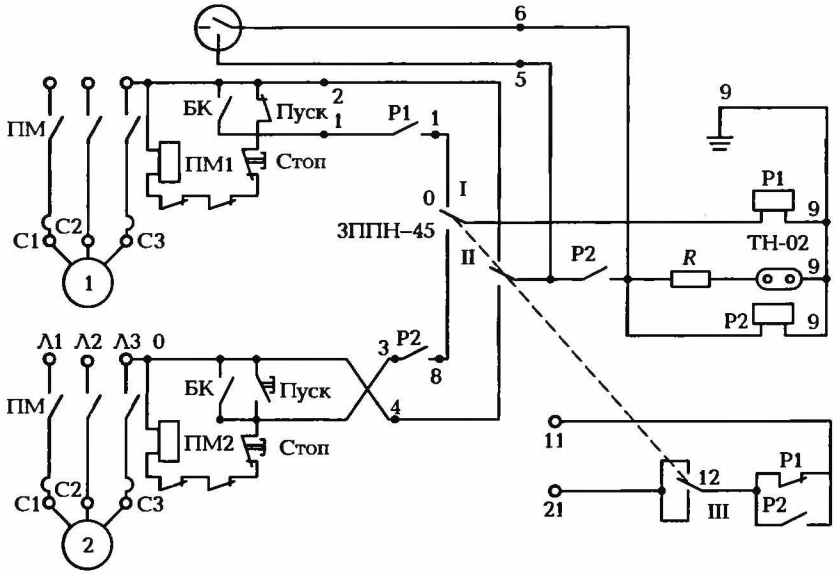


Рис. 10.3. Электрическая схема щитка АВР

В режиме работы электродвигателя 2 в качестве «резервного» переключатель ЗППН-45 устанавливают в положение П, а в режиме работы электродвигателя 1 в качестве «резервного» переключатель ЗППН-45 устанавливают в положение 1.

. В рабочем режиме двигателей 1 или 2 при снижении давления в системе водоснабжения контакты манометра замыкаются, катушка реле Р2 получает питание и контакты реле Р2 шунтируют кнопку Пуск двигателя 2 (когда двигатель 2 в резерве) и включают его в работу.

Одновременно на пульт поступает сигнал «Авария» (загорается сигнальная лампа). Аналогично осуществляется пуск двигателя 1 (когда двигатель 1 в резерве). Щиток ЩС-3 предназначен для осуществления дистанционного контроля за работой лифтов с распашными дверями шахты и кабины.

Электрическая схема щитка (рис. 10.4) обеспечивает контроль наличия напряжения на силовом вводе лифта, контроль состояния электрической схемы лифта, двустороннюю громкоговорящую связь кабины лифта с диспетчерской.

Контроль наличия напряжения на силовом вводе осуществляется фазовым реле Р4, подключенным к вводному устройству лифта и находящемся при наличии силового напряжения во включенном состоянии.

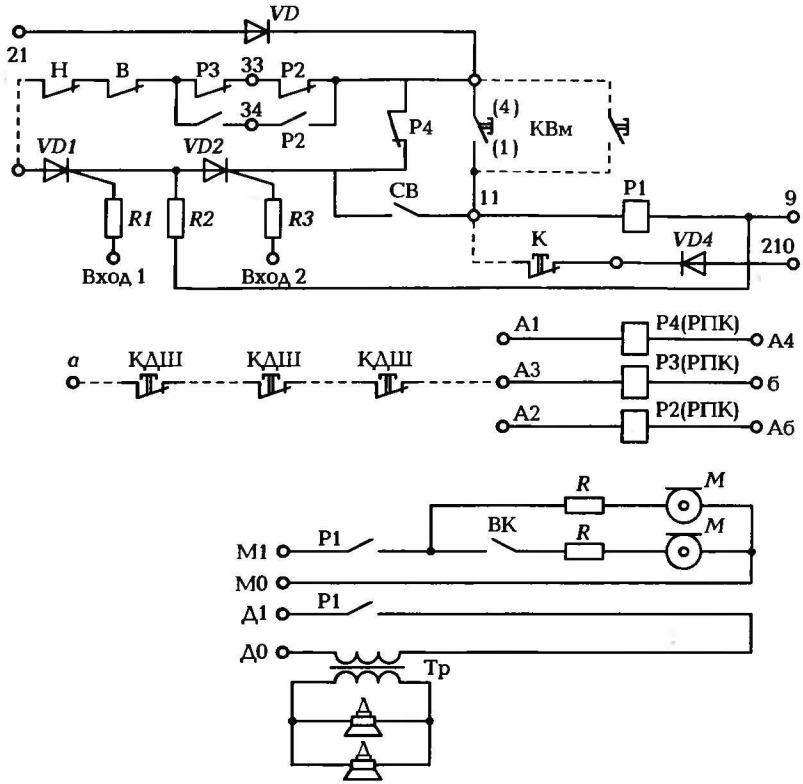


Рис. 10.4. Электрическая схема щитка ЩС-3

При отсутствии силового напряжения реле Р4 размыкается и его замыкающие контакты включают сигнализацию на пульте диспетчерской службы (цепь: 21 — диод *VD*—контакты Р4 — СВ—11).

Контроль состояния электрической схемы предусматривает формирование и передачу на диспетчерский пульт двух сигналов «Дверь шахты открыта» (когда дверь открыта свыше 4 мин) и «Пассажир в кабине» (в случае, когда пассажир находится в неподвижной кабине с закрытыми дверями свыше 4 мин).

Эти сигналы образует замкнутая цепь питания тиристоров счетной ячейки (21 — *VD*—контакты Р2 — контакты Р3 — 13 — Н— тиристоры *VD1* — *VD2* — СВ — *11* — катушка Р1 — 9 — контакты Р2 — контакты Р3 — В—Н — тиристоры *VD1* — *VD4* — СВ — 11 — реле Р1 — 9), тиристоры *VD1* и *VD2* закрыты. С пульта диспетчерской службы через *R1* и *R2* поступают постоянно тактовые импульсы. Если через 4 с на пульт диспетчерской службы не поступает сигнал, прекращающий поступление тактовых импульсов, то тиристоры откро-

ются и замкнется цепь сигнализации. Тиристоры закрываются тогда, когда устраняется причина сбоя в схеме лифта, что приводит к снятию сигнала «Авария».

Вызов на двухстороннюю громкоговорящую связь диспетчера может быть как из машинного помещения (кнопка КВм), так и из кабины (кнопка КВк).

При вызове диспетчера из машинного помещения диспетчер получает сигнал (цепь: 21 — диод *VD1* — контакт кнопки КВм (4, 1)—11) и включает ключ, соответствующий номеру сигнала. При этом включается реле Р1 (цепь: 11 — катушка Р1 — 9), замыкающее своими контактами цепи динамика и микрофона.

Помимо рассмотренных щитков существуют и другие типы, позволяющие осуществлять постоянный контроль за работой практически всего оборудования, а также сигнализирующие о затоплении колодцев, каналов; загазованности подвалов, коллекторов; о возникновении пожара и т. д.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое диспетчеризация оборудования?
2. Какие виды инженерного оборудования контролируются диспетчерскими службами?
3. Перечислите основные задачи диспетчерской службы.
4. Что такое квинтирование и для чего оно проводится?
5. Объясните назначение диспетчерского пульта, его основные составляющие.
6. Что представляет собой мнемоническая схема?
7. Объясните назначение щитка ЩС-1; щитка АВР.
8. Расскажите о работе любой из схем диспетчеризации.

Глава 11

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

11.1. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

Электропечи и электронагревательные установки подразделяют следующим образом:

- печи сопротивления;
- дуговые печи;
- печи и установки индукционного нагрева;
- печи и установки диэлектрического нагрева.

Электропечи сопротивления подразделяются на электропечи косвенного действия и электропечи прямого нагрева. В печах косвенного действия электроэнергия преобразуется в тепловую в специальных нагревательных элементах. В печах прямого нагрева ток непосредственно пропускается через нагреваемое тело, которое может быть как твердым, так и жидким. Установки прямого нагрева в отличие от электропечей косвенного действия не имеют кладки и применяются для быстрого нагрева до требуемой температуры заготовок под ковку или горячую штамповку.

В *дуговых электропечах* электрическая энергия преобразуется в тепловую за счет электрической дуги. Различают дуговые электропечи прямого и косвенного действия. В печах прямого действия дуга образуется между электродом и нагреваемым материалом; к таким печам относятся трехфазные сталеплавильные печи и вакуумные дуговые печи. В дуговых печах косвенного действия дуга образуется между двумя электродами, и тепло передается нагреваемому материалу. Рудно-термические печи, например, для выплавки ферросплавов, карбида кальция, чугуна представляют собой комбинацию дуговых печей прямого действия и печей сопротивления прямого нагрева.

Индукционная печь состоит из индуктора — первичной обмотки, подключаемой к источнику переменного тока и нагреваемого тела, являющегося вторичной обмоткой. Различают индукционные печи и установки со стальным сердечником и без него. Печи с сердечником питаются током промышленной частоты, печи без сердечника — током повышенной частоты.

В *электропечах диэлектрического нагрева* тепло выделяется за счет диэлектрических потерь в диэлектрике или полупроводнике, помещенном в переменное электрическое поле.

Электропечи сопротивления. Эти печи бывают плавильными и термическими. *Плавильные печи* применяются для плавки цветных металлов и сплавов; *термические печи* — для различных видов термической обработки черных и цветных металлов, термообработки керамики и стекол, сушки изделий, нагрева заготовок под ковку и штамповку.

Основными материалами для нагревателей промышленных электропечей сопротивления с рабочей температурой до 1200... 1250 °С являются хромоникелевые (нихромы) и хромоалюминиевые (фехрали, хромали). В качестве нагревателей применяются тугоплавкие металлы — тантал, ниобий, молибден, вольфрам и др. Применяются также неметаллические нагреватели: карборундовые (силит, глобар), угольные, графитовые. Металлические нагреватели выполняются в виде лент и проволок (спиралей, зигзагов), а неметаллические — в виде полых или сплошных стержней и пластин.

К электрическим печам сопротивления *периодического действия* относятся камерные, шахтные и толкательные печи.

К электропечам сопротивления *непрерывного действия* относятся конвейерные, толкательные, барабанные и карусельные печи. Эти печи применяются в массовом поточном производстве для термообработки черных, цветных металлов, нагрева их под ковку и штамповку, термообработки стекла и керамики, сушки различных материалов. Данные печи обычно имеют три зоны нагрева и могут включаться на напряжение 220 и 380/220 В.

В электропечах сопротивления применяется автоматическое регулирование температуры.

В печах сопротивления прямого нагрева электрический ток пропускают непосредственно через нагреваемое тело (изделие), при этом выделяется тепло, пропорциональное времени и сопротивлению нагреваемых изделий.

Величина тока изменяется в процессе нагрева заготовок до заданной температуры под влиянием изменения активного и индуктивного сопротивления материала, поэтому необходимо регулиро-

вать мощность, поступающую в электрическую в электрическую печь сопротивления.

Изменять подводимую к термической установке мощность можно следующим образом:

- включением в цепь нагревателей дополнительных сопротивлений в виде дросселей насыщения, реостатов, автотрансформаторов;
- применением регулировочных трансформаторов с переключением ступеней;
- переключением нагревателей с треугольника на звезду или с последовательного на параллельное соединение;
- периодическим включением и отключением нагревателей печи (двухпозиционное и трехпозиционное регулирование). В представленной схеме управления электропечью сопротивления при двухпозиционном регулировании включение и отключение нагревательных элементов (НЭ) печи производится терморегулятором (ТР), контакты которого в зависимости от температуры в печи замыкают или размыкают цепь катушки контактора Л непосредственно или через промежуточное реле (РП). Датчиком терморегулятора (Т) могут быть термопара, термометр сопротивления, фотоэлемент и др. Переключатель (П) и выключатель (В) служат для ручного управления печью (рис. 11.1).

В качестве электронных регуляторов для автоматического регулирования температуры в электрических печах используются милливольтметры (рис. 11.2).

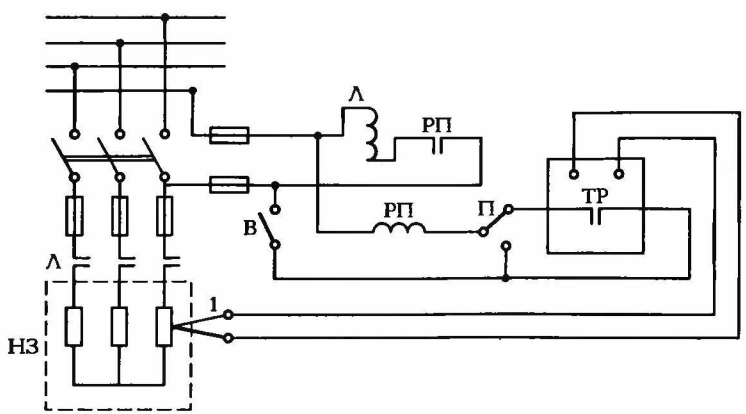


Рис. 11.1. Схема управления электропечью сопротивления

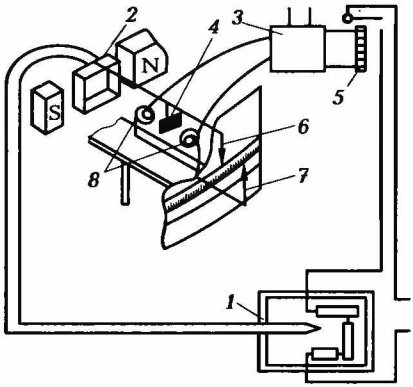


Рис. 11.2. Схема милливольтметра:
1 — термопара; *2* — подвижная рамка; *3* — ламповый генератор; *4* — экран; *5* — реле; *6* — стрелка; *7* — рычаг температуры; *8* — катушка

Изменения термоэлектродвижущей силы термопары *1* при колебании температуры электрической печи воспринимаются подвижной рамкой милливольтметра *2*. К рамке прикреплена стрелка *6* с экраном *4*, представляющим собой пластину дюралюминиевой фольги. В зависимости от получаемого милливольтметром импульса от термопары экран перемещается в зазоре между секциями катушки *8*, установленной в сеточном контуре лампового генератора *3*.

Катушка укреплена на рычаге установки необходимой температуры *7*. При перемещении между секциями катушки экрана изменяется их индуктивность, в результате чего генератор теряет возбуждение, и ток в цепи анода резко падает. Реле *5* размыкает свои контакты в цепи управления линейным контактором печи и цепь отключается.

Дуговые электропечи питаются от специальных электропечных трансформаторов с напряжением 6 ... 10 кВ на первичной стороне и с регулированием вторичного напряжения.

Дуговая сталеплавильная печь обычно имеет специальную электропечную подстанцию, а также комплект пускорегулирующей аппаратуры для управления приводами механизмов печи.

На всех механизмах печи, за исключением механизмов перемещения электродов, устанавливаются трехфазные асинхронные электродвигатели с фазным или короткозамкнутым ротором. Электродвигатели перемещения электродов постоянного тока работают в повторно-кратковременном режиме. Двигатели, обслуживающие механизмы электропечей, работают в тяжелых условиях, поэтому применяются двигатели закрытого типа с теплостойкой изоляцией (крановые электродвигатели).

Трубчатые электронагреватели (ТЭН) находят все большее применение в различных устройствах и установках, в том числе и в

электротермических (например, в электронагревательных установках для плавления легкоплавких металлов и сплавов, низкотемпературных электрических печах, электропечах сопротивления, электросушильных шкафах).

Трубчатый нагревательный элемент представляет собой металлическую трубку, внутри которой помещена спираль из нихромовой проволоки, запрессованная в наполнитель. Наполнитель — плавленый оксид магния (периклаз) или кварцевый песок — выполняет функции электрического изолятора (спирали от металлической трубки), а также проводника тепла.

Электронагреватели изготовляют из стали, латуни, красной меди и других металлов диаметром 7, 4, 19 мм и длиной 5, 4, 6 м.

Трубчатому электронагревательному элементу можно придать любую форму в холодном состоянии после отжига трубки.

Индукционные электропечи. Однофазная индукционная электропечь со стальным сердечником состоит из кожуха, футеровки, ванны с каналом, печного трансформатора с индуктором. В результате взаимодействия тока в металле с магнитным полем индуктора возникают электродинамические силы, которые производят перемешивание металла. Для индуктора изменяется медный провод прямоугольного сечения или медная трубка, охлаждаемая проходящей внутри нее водой. Индуктор и футеровка канала печи охлаждаются воздухом, который подается от центробежных вентиляторов с электроприводом.

Индукционные печи со стальным сердечником питаются от силовой сети напряжением 220 и 380 В через автотрансформатор или от специального силового трансформатора мощностью от 75 до 1000 кВ·А, имеющего несколько ступеней напряжения.

11.2. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ХОЛОДИЛЬНЫМИ УСТАНОВКАМИ

Физической основой производства холода является кипение некоторых летучих жидкостей, обладающих низкими температурами перехода в газообразное состояние. Низкая температура кипения холодильного агента достигается поддержанием соответствующего давления в зависимости от физических свойств агента. Необходимая для процесса кипения теплота парообразования извлекается от охлаждаемого тела, вследствие чего и происходит понижение его температуры. Таким образом, при машинном охлаждении образуются пары с низкой температурой в результате кипения холодиль-

ного агента; эти пары необходимо затем в круговом процессе холодильной машины снова обратить в жидкое состояние, т. е. произвести конденсацию их. При этом условии отсутствует расход холодильного агента и не требуется добавления его в систему холодильной машины.

Затрачиваемая при работе холодильной машины механическая или тепловая энергия необходима для повышения давления и температуры паров холодильного агента в той части машины, в которой должна отводиться теплота в окружающую среду путем естественной теплопередачи. Следовательно, в холодильной машине происходит одновременно кипение жидкого холодильного агента при низких температурах и низком давлении и конденсация его паров при относительно высоких температурах и высоком давлении. Это становится возможным вследствие затраты механической или тепловой энергии, повышающей тепловое состояние паров хладагента до такой степени, что переход теплоты от них к окружающей среде протекает естественным путем.

Холодильники могут быть двух типов:

- абсорбционные;
- компрессионные.

Для получения холода в абсорбционных холодильниках установлен холодильный аппарат абсорбционно-диффузионного действия, в компрессионных холодильниках — холодильные агрегаты компрессионного типа. В том и другом случае применен машинный способ производства холода.

Холодильная машина представляет собой замкнутую систему, в которой происходит циркуляция холодильного агента, агрегатное состояние которого меняется в соответствующих частях машины. Производство холода машиной обусловлено затратой энергии — механической или тепловой.

Холодильный аппарат абсорбционного типа. Свое название абсорбционные холодильники получили от процесса абсорбции, т. е. поглощения жидким или твердым поглотителем паров холодильного агента (хладагента), образующихся в испарителе. Хладагентом в абсорбционных холодильниках служит аммиак. Пары аммиака поглощаются водой с образованием при этом водоаммиачного раствора. Холод получается за счет кипения холодильного агента.

Чтобы понять способ получения холода в абсорбционном холодильнике, рассмотрим простейшую схему абсорбционной машины периодического действия.

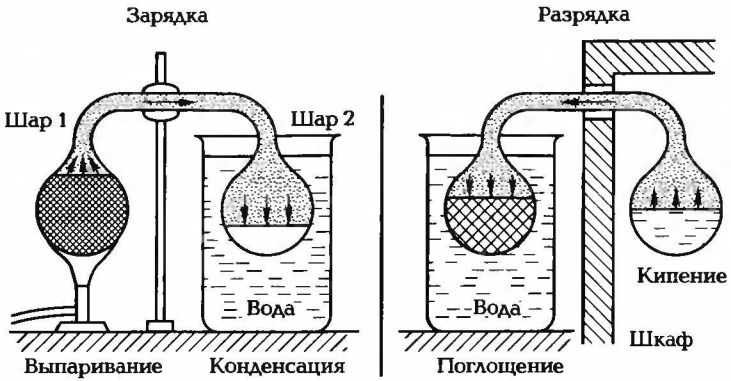


Рис. 11.3. Схема простейшей абсорбционной машины периодического действия

На рис. 11.3 изображены два металлических шара, соединенные между собой трубкой. В шар 1 налит крепкий водоаммиачный раствор, а шар 2 помещен в сосуд с холодной водой. При помощи горелки нагреваем шар 1 с водоаммиачным раствором. При нагревании пары аммиака направляются из шара 1 в шар 2, где вследствие охлаждения конденсируются и на дне шара образуется жидкий аммиак. Этот процесс показан в левой части рисунка.

Рассмотрим теперь правую часть рисунка. Здесь шар 1 опущен в сосуд с холодной водой, а шар 2 помещен в холодильную камеру холодильника. В первом случае, когда мы нагревали шар 1, после выпаривания аммиака водоаммиачный раствор в шаре стал слабым, т. е. с малым насыщением аммиака. Во втором случае, после того как мы начали охлаждать шар 1 в воде, водоаммиачный раствор вновь приобрел способность поглощать пары аммиака из второго шара. При кипении жидкого аммиака в шаре 2 последний будет сильно охлаждаться и своей поверхностью отнимать теплоту из холодильной камеры. Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока жидкий аммиак полностью испарится из шара 2, а в шаре 1 водоаммиачный раствор снова станет крепким. Мы рассмотрели два процесса работы простейшей холодильной машины абсорбционного действия. Первый процесс — зарядка, второй — разрядка. По времени первый процесс проходит в 8—10 раз быстрее, чем второй. По окончании этих двух процессов требуется их повторение.

Принцип действия холодильного аппарата заключается в следующем (рис. 11.4). Нагреватель *6—10* нагревает генератор *9* и термосифон *8*. Под действием теплоты из водоаммиачного раствора испаряется аммиак, который по пароотводящей трубе *7* попадает в

конденсатор *6*. Проходя через конденсатор, пары аммиака охлаждаются. Аммиак из газообразного состояния переходит в жидкое. Жидкий аммиак поступает в испаритель *5*. Так как давление паров аммиака в нем ниже, чем в конденсаторе, поступающий в испаритель жидкий аммиак испаряется, отбирая теплоту из камеры через стенки испарителя. Пары аммиака отводятся из испарителя потоком водорода, идущего из водородного бачка *11*.

Водород, насыщенный парами аммиака, проходит по наружной трубке газового теплообменника *4* и снизу поступает в змеевик *2* абсорбера. По змеевику абсорбера стекает обедненный в генераторе *9* водоаммиачный раствор, который поглощает пары аммиака, отведенные водородом, и в виде крепкого раствора стекает в бачок *1* абсорбера. Водород, очищенный таким образом от паров аммиака, по внутренней трубке *3* газового теплообменника возвращается в испаритель.

Холодильный агрегат компрессионного типа. Холодильный агрегат включают поворотом ручки терморегулятора по часовой стрелке. Ручку устанавливают в положение, соответствующее необходимому режиму работы холодильного агрегата. При этом замыкается цепь рабочей обмотки электродвигателя, срабатывает пусковое реле, ротор электродвигателя начинает вращаться, а вместе с ним и вал компрессора.

Герметичная система холодильного агрегата заполнена хладагентом — фреоном-12. Смазка компрессора осуществляется фреоновым маслом. Под действием компрессора пары фреона поступают из испарителя по всасывающей трубке в кожух мотор-компрессора, а затем в цилиндр. Сжатые пары фреона из цилиндра компрессора поступают в нагнетательный трубопровод и далее в конденсатор. Давление паров фреона равно 6 ... 11 атм.

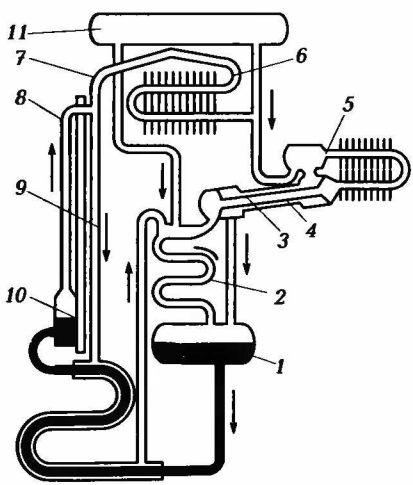


Рис. 11.4. Устройство холодильного аппарата абсорбционного типа:

1 — бачок абсорбера; *2* — змеевик абсорбера; *3* — внутренняя трубка газового теплообменника; *4* — наружная трубка газового теплообменника; *5* — испаритель; *6* — конденсатор; *7* — пароотводящая труба; *8* — термосифон; *9* — генератор; *10* — электронагреватель; *11* — водородный бачок

В конденсаторе фреон, проходя по змеевику и отдав теплоту, конденсируется и превращается в жидкое состояние, при этом температура его на 10 ... 15 °С выше температуры окружающего воздуха. Пройдя через фильтросушительный патрон, жидкий хладагент поступает в капиллярную трубку и по мере продвижения в ней переохлаждается в теплообменнике, т. е. в месте соприкосновения капиллярной и всасывающей трубок. Одновременно с переохлаждением хладагента в результате сопротивления движению потока происходит понижение его давления, которое равно в испарителе 0 ... 1 атм. При определенных значениях температуры и давления хладагента наступает образование пузырьков пара, температура и давление падают одновременно в условиях насыщения, а объем пара увеличивается при движении парожидкостной смеси к испарителю. Таким образом, капиллярная трубка создает необходимый перепад давления между конденсатором и испарителем. Поступая из капиллярной трубки в испаритель, жидкий фреон мгновенно испаряется, отнимая теплоту от стенок испарителя и окружающего его воздуха. Из испарителя газообразный фреон проходит всасывающую трубку, сжимается в компрессоре и через капиллярную трубку вновь поступает в испаритель. Таким образом цикл работы повторяется. Для поддержания требуемого теплового режима внутри холодильной камеры агрегат работает периодически, включаясь и выключаясь при помощи автоматически действующего терморегулятора, который реагирует на изменение температуры стенки испарителя.

Электродвигатель мотор-компрессора однофазный с короткозамкнутым ротором, с пусковой обмоткой.

Автоматические регуляторы температуры служат для поддержания заданной температуры в холодильной камере. Для запуска электродвигателя и защиты его обмоток от перегрузок применяют пускозащитные реле.

11.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ И ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Автоматизация электроснабжения. Автоматизация в системах электроснабжения потребителей призвана обеспечивать защиту оборудования и исключать аварийные режимы его работы, осуществлять постоянный контроль за параметрами сети и оборудования, переключать питание при необходимости с одной линии на другую. Благодаря автоматизации повышается надежность работы электрических установок, сокращается количество обслуживающего персо-

нала, что уменьшает эксплуатационные расходы и способствует сокращению числа аварий по вине персонала.

Как известно из «Правил устройства электроустановок», все электроприемники потребителей электроэнергии подразделяют на три категории в отношении надежности электроснабжения.

К первой категории относятся электроприемники, перерыв в электроснабжении которых представляет опасность для жизни людей, может нанести значительный ущерб народному хозяйству, привести к массовому браку продукции, расстройству сложного технологического процесса, нарушить особо важные элементы городского хозяйства.

Ко второй категории относятся электроприемники, перерыв в электроснабжении которых связан с простоем рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушением нормальной деятельности значительного количества городских жителей.

К третьей категории относятся все остальные токоприемники, не вошедшие в определение первой и второй категорий.

В условиях городского хозяйства к первой категории относятся ответственные электроприемники различных сооружений с массовым скоплением людей (метро, городской электрический транспорт, театры, кино, крупные стадионы, универмаги и т. д.); операционные лечебных учреждений и родильных домов; технические и силовые установки, определяющие работоспособность радиосвязи, телефона, противопожарных, водопроводных, канализационных установок и т. д. Сюда относятся также силовое оборудование высотных зданий (пожарные насосы, лифты); аварийное освещение. Ко второй категории относят электроприемники всех зданий высотой более пяти этажей, административно-общественных зданий, лечебных и детских учреждений, школ и учебных заведений, центральных тепловых пунктов, квартальных котельных и т. д. К третьей категории относят электроприемники небольших поселков, производственных предприятий, не вошедшие в первые две категории, и т. д.

Потребители первой категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых фидеров, а в ряде случаев иметь свои автономные (аварийные) источники питания. Перерыв в подаче электроэнергии допустим лишь на время автоматического включения резервного питания.

Для приемников второй категории допустим перерыв электроснабжения на время, необходимое для включения резерва вручную обслуживающим персоналом. Однако для рационального построения городских электросетей автоматизируют в ряде случаев резервное питание и для приемников второй категории.

Средства автоматики получили широкое распространение как в системах электроснабжения промышленных предприятий, так и в городских электрических сетях. Из различных устройств автоматизации рассмотрим наиболее ответственные и часто встречающиеся: автоматическое повторное включение (АПВ) и автоматическое включение резерва (АВР).

Автоматическое повторное включение предназначено для быстрого автоматического восстановления питания потребителей после самоликвидации кратковременных коротких замыканий.

Как показывает опыт эксплуатации, при кратковременных коротких замыканиях изоляция поврежденного места быстро восстанавливается и отключившаяся линия при повторном включении остается в работе. Эффективность АПВ тем выше, чем быстрее следует оно за аварийным отключением выключателя, т. е. чем меньше время перерыва питания потребителей.

Цикл АПВ — время от момента подачи сигнала на отключение выключателя до его повторного включения выбирается таким образом:

а) чтобы за время бестоковой паузы успело произойти восстановление изоляции в месте ее нарушения;

б) выключатель был готов к повторному включению;

в) после включения выключатель мог отключить поврежденную цепь в случае ее невосстановления.

В электрических системах применяют устройства АПВ: однократные — с одним циклом, двухкратные — с двумя последовательными циклами и трехкратные — с тремя последовательными циклами.

Наиболее распространены устройства АПВ однократные, как наиболее простые, обеспечивающие 70 ... 90 % успешных включений. Двукратные АПВ при неуспешном первом цикле дают во втором цикле 10 ... 15 % успешных включений. Эти устройства применяются на необслуживаемых подстанциях, на подстанциях без выключателей на стороне питания и на одиночных линиях тупиковых подстанций. Трехкратные АПВ применяются редко и дают всего 2 ... 3 % успешных включений.

Рассмотрим схему АПВ (рис. 11.5), снабженную выключателем с электромагнитным приводом. В схеме применено типовое устройство АПВ с управлением на постоянном токе напряжением 110 В (очерчено штриховой линией) типа РПВ-58, состоящее из реле 1ЭВ, 2ЭВ, конденсатора *С*, трех резисторов. В исходном состоянии схемы выключатель В включен, переключатель автоматики ПА установлен в положение *А*, ключ КУ — в положение 0, конденсатор *С* — заряжен.

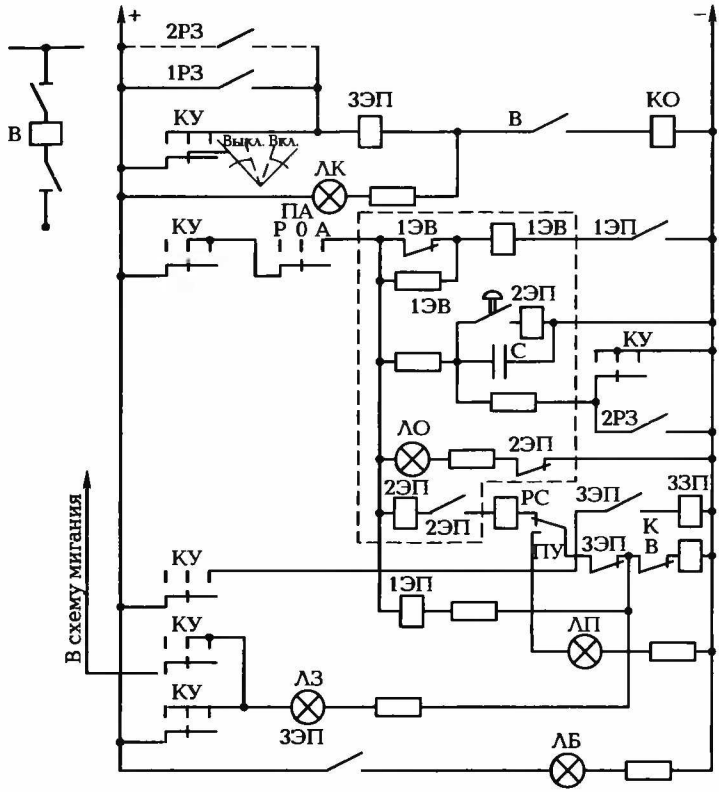


Рис. 11.5. Схема автоматического повторного включения

При срабатывании релейной защиты, в случае короткого замыкания, замыкается контакт 1РЗ, включается катушка привода выключателя КО и выключатель В отключается (в схему могут быть введены контакты реле защиты 2РЗ, запрещающие АПВ). Пуск схемы АПВ происходит при положении ключа КУ «Вкл.» и включенного контакта реле положения 1ЭП. Реле времени 1ЭВ замыкает с выдержкой свой контакт в цепи реле 2ЭП, которое срабатывает от конденсатора *С*. Реле 2ЭП замыкает контакт в цепи контактора К, который включает катушку включения привода выключателя В, и происходит включение выключателя. Это сигнализируется лампами ЛК, ЛЗ, ЛС.

Однократность действия обеспечивается следующим образом:

- при отключении выключателя В защитой реле 2ЭП он не может сработать вторично, так как конденсатор *С* разрядился при первом срабатывании;

- отключении выключателя В ключом управления реле 2ЭП не включится, так как конденсатор *С* разряжен замкнутыми контактами КУ через резистор;
- срабатывании защиты, после которой АПВ не должно срабатывать, замыкаются контакты 2РЗ и разряжают конденсатор *С*, что исключает действие АПВ.

В схеме предусмотрена блокировка АПВ с помощью реле ЗЭП, действующая при неудачном АПВ.

Автоматическое включение резерва. Одним из наиболее эффективных способов обеспечения потребителей электроэнергией является наличие двух электрических соединений с источником питания или наличие двух источников питания и соединение каждого со своей группой нагрузки.

В первом случае нарушение электроснабжения восстанавливается автоматически включением резервной линии секционным выключателем. Питание потребителей при этом переводится на одну линию или на один трансформатор.

Во втором случае включается резервный источник питания после отключения рабочего источника.

Пуск в действие АВР может осуществляться реле минимального напряжения, контролирующим напряжением на отдельных секциях шин. Эффективное действие АВР обеспечивается при достаточной мощности резервного источника питания или (при необходимости) автоматической разгрузкой по току (отключение потребителей).

Рассмотрим типовую схему АВР, выполненную на секционном выключателе с пружинным приводом (рис. 11.6). В состав схемы входит: двигатель привода Д, отключаемый конечным выключателем ВК; выпрямитель, питающий реле блокировки РБ; выключатели 1В и 2В, включенные при отключенном выключателе В; лампа ЛГ, сигнализирующая о готовности АВР к работе; избиратель управления, установленный в положение АВР; реле минимального напряжения 1РН...4РН и реле блокировки РБ (включены в исходном состоянии); контакт пружинного привода Впр, (замкнут).

Схема АВР работает следующим образом. При исчезновении напряжения на первой секции срабатывают реле напряжения 1РН и 2РН и включается реле 1РВ от трансформатора напряжения 1ТН. Реле 1РВ с выдержкой времени через промежуточное реле 1РП отключает выключатель 1В, и его блок-контакт 1В включает электромагнит включения выключателя Ввкл. При этом освобождается пружина привода выключателя В, который, включаясь, восстанавливает питание первой секции. Одновременно заводится двигатель Д для по-

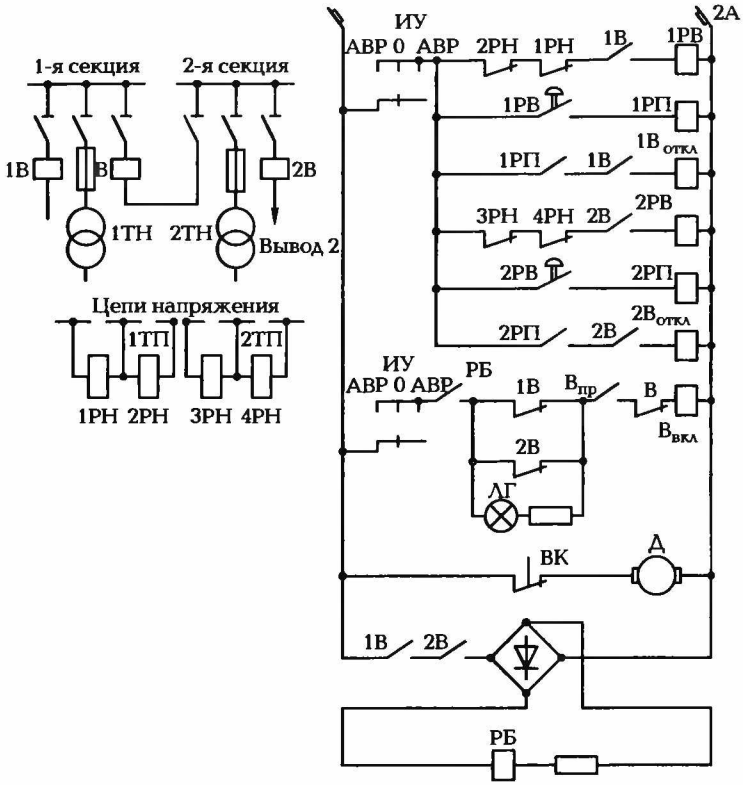


Рис. 11.6. Схема автоматического включения резерва

следующих операций включения. При исчезновении напряжения на второй секции схема работает аналогично. Реле блокировки РБ обеспечивает однократность действия АВР, так как при отключении выключателей вводов 1В и 2В реле РБ размыкает с выдержкой времени цепь включающего электромагнита Ввкл.

Автоматизация систем отопления. Отопление зданий в зависимости от их назначения осуществляется с помощью потока нагретого воздуха, совмещаемого с приточной вентиляцией, либо с помощью горячей воды (пара). Оба метода чаще всего осуществляются централизованно, поэтому и получили наименование центрального отопления.

Воздушное отопление нашло широкое применение в зданиях общественного назначения (торговых центрах, зрелищных, спортивных и т. д.). Водяное отопление применяется в лечебных учреждениях, в жилых, административных и т. п. зданиях и позволяет создавать общую для всего здания и индивидуальную для каждого

помещения систему автоматического регулирования температуры. В первом случае датчики контроля температуры устанавливаются в трех характерных помещениях здания и воздействуют на общий ввод теплосети, изменяя отпуск теплоты. Во втором случае датчики устанавливаются в каждом помещении, осуществляя контроль температуры и регулируя индивидуальную теплоподачу. И та, и другая системы имеют практическое применение, а их использование зависит от назначения здания.

Из практики известно, что ни нагреть, ни охладить помещение, образованное массивными стенами, быстро нельзя. Требуется обычно продолжительное время для существенного изменения температуры.

Это позволяет сделать следующие выводы:

- система автоматического регулирования центральным отоплением инерционна;
- более эффективна система автоматического регулирования индивидуальная для каждого помещения;
- для реализации индивидуальной системы целесообразно использовать простейшие датчики контроля, имеющие два регулируемых положения — ниже нормы и выше нормы.

В эксплуатации находится целый ряд типов индивидуальных терморегуляторов. Рассмотрим некоторые конструктивные решения электрических индивидуальных терморегуляторов (рис. 11.7), разработанные специализированными организациями.

Терморегулятор (см. рис. 11.7) состоит из источника питания, выпрямителя, датчика контроля температуры, соленоидного исполнительного механизма, на сердечнике которого укреплен полушаровой золотник, и корпуса с крышкой.

При повышении температуры в помещении сверх установленной на задатчике, датчик замыкает электрическую цепь, сердечник втягивается внутрь электромагнитной катуш-

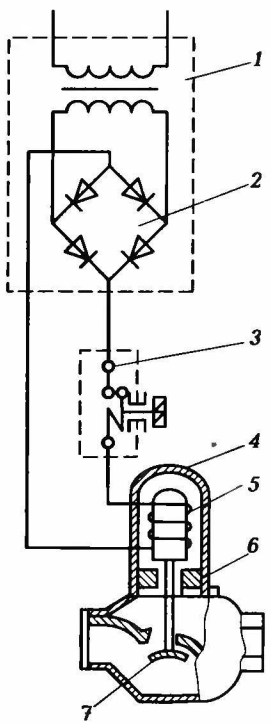


Рис. 11.7. Электрическая схема терморегуляторов:

1 — источник питания; *2* — выпрямитель; *3* — датчик контроля температуры; *4* — крышка; *5* — электромагнит; *6* — корпус; *7* — золотник

ки, полушаровой золотник прижимается к седлу клапана и проход для теплоносителя закрывается. При понижении температуры выключается ток, сердечник под действием собственной массы падает и открывает проход для теплоносителя.

Автоматизация систем вентиляции. Вентиляционные системы по своему назначению классифицируются на приточные и вытяжные. Приточные системы предназначены для подачи в помещение свежего воздуха, компенсации тепло- и влаговыделений и обеспечения необходимой кратности обмена воздуха. Вытяжные системы служат для удаления из помещений загрязненного воздуха и создания необходимого воздушного баланса.

Следует иметь в виду, что выбор системы автоматики вентиляционных установок зависит от характера регулируемого параметра (количества воздуха, его температуры) или нескольких параметров (температуры воды и количества воздуха). Та или иная температура воздуха создается при пропускании его через калорифер, по которому, в свою очередь, протекает вода заданной температуры.

Рассмотрим одну из возможных функциональных схем автоматического регулирования изменением количества подаваемого и извлекаемого воздуха в помещении, обслуживаемом одной приточной установкой и одной вытяжной (рис. 11.8).

Приточный воздух подается механическим путем за счет давления, создаваемого вентилятором В, а загрязненный воздух извлекается за счет «выдавливания», т. е. путем большего или меньшего открытия клапана Кл на вытяжной шахте ВШ.

Для автоматического количественного регулирования предусматривается поддержание постоянства температуры приточного воздуха, а при изменениях теплопоступлений внутри помещений — изменение количества приточного воздуха. Отклонение температуры воспринимает термосопротивление $ЧЭ_1$, преобразующее тепловой сигнал в электрический. После усиления этот сигнал (усилитель $ДТ_1$) поступает на катушку выходного реле регулятора $Р_1$. Реле срабатывает, включает свои замыкающие контакты и замыкает цепь питания электромуфты, которая приводит в действие исполнительный, механизм. Последний, воздействуя на значение тока в обмотке возбуждения, меняет крутящий момент и тем самым частоту вращения в двигателе вентилятора ЭП1. Исполнительный механизм электромуфты при срабатывании вырабатывает также сигнал, воздействующий на электрический привод клапана Кл, установленный на вытяжке, и изменяет ее положение.

Изменение количества приточного воздуха приводит к нарушению равновесия между теплоотдачей калорифера К и температурой

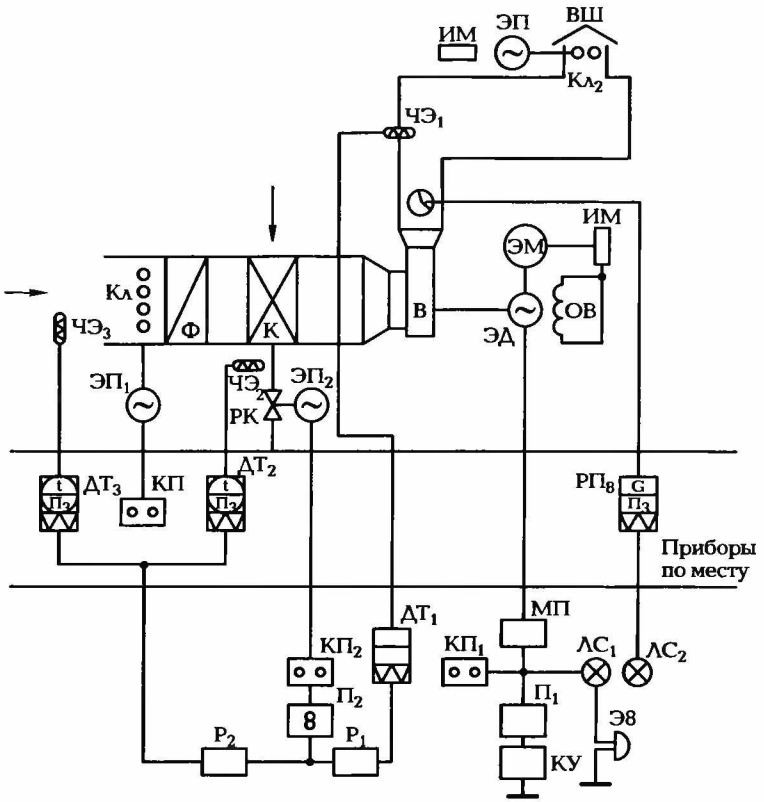


Рис. 11.8. Функциональная схема автоматизации вентиляционной установки

наружного воздуха. Температура приточного воздуха изменяется и срабатывает регулятор, установленный после вентилятора. Здесь уже наблюдается зависимость работы одного регулятора от другого, оказывающих взаимное влияние на характеристики обеих систем регулирования.

Дистанционное управление электродвигателем ЭД вентилятора В осуществляется с помощью ключа управления КУ, установленного на щите управления, и магнитного пускателя МП, который находится на щите местного управления. С электродвигателем вентилятора сблокирован исполнительный механизм клапана Кл, который открывается одновременно с пуском вентилятора В и закрывается при его остановке. Для местного управления системой служит двухштифтовая кнопка КП и переключатель П, предназначенный для перевода управления с дистанционного на местное.

Щит местного управления располагается непосредственно вблизи двигателя, щит дистанционного управления может размещаться на значительном удалении.

Температура приточного воздуха поддерживается постоянной путем изменения количества горячей воды, проходящей через калорифер, т. е. путем изменения теплопроизводительности калорифера.

Для этого датчик температуры (ДТ), чувствительный элемент $ЧЭ_1$ которого установлен в воздуховоде за вентилятором, воздействует на регулятор Р и далее на электропривод $ЭП_2$ регулирующего клапана (РК). Последний изменяет соответственно количество горячей воды, проходящей через калорифер К. Кнопка $КП_2$ и переключатель $П_2$ служат для перевода управления клапаном с автоматического на ручное.

Для защиты калорифера от замораживания датчик температуры $ДТ_2$, чувствительный элемент которого $ЧЭ_2$ помещается в трубопровод горячей воды после калорифера, воздействует на второй регулятор $Р_2$ и через него на регулирующий клапан РК с другим временем импульса.

При снижении температуры обратной воды (после калорифера) ниже заданного значения подается импульс на открытие клапана. Если, несмотря на это, температура обратной воды не поднимается до заданного значения, то с выдержкой времени автоматически подается команда на отключение вентилятора и закрытие входного клапана.

Датчик узла защиты калорифера от замораживания своим вторым контактом при выключенном вентиляторе, т. е. когда система не работает, подает импульс на прикрытие клапана РК, чтобы ограничить температуру обратной воды. Такое ограничение температуры необходимо, чтобы использовать в достаточной мере энергию теплоносителя. Датчик $ДТ_3$ с чувствительным элементом $ЧЭ_3$ предназначен для отключения цепи датчика $ДТ_2$ системы защиты калорифера от замораживания при температуре наружного воздуха выше 5 °С, так как при этом замораживание калорифера исключено.

Рассмотренная система является примером астатического регулирования. Контроль за работой системы осуществляется с помощью датчиков температуры и реле потока воздуха, включающего. сигнальную лампу $ЛС_1$. Лампа $ЛС_2$ и звонок служат для подачи аварийного сигнала диспетчеру при недопустимо низкой температуре теплоносителя, исчезновении напряжения в схеме регулирования или цепях управления.

Вентиляция получила также широкое применение в зданиях общественного назначения для организации воздушного отопления,

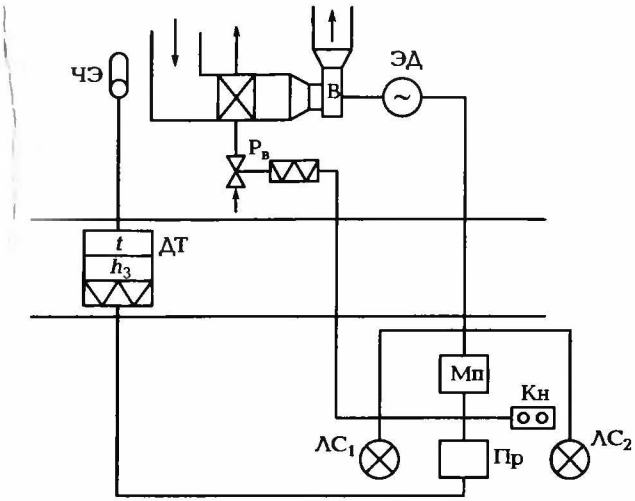


Рис. 11.9. Функциональная схема тепловой воздушной завесы

действующего в зоне входных дверей. Воздушная завеса преграждает доступ холодного воздуха в помещение и обогревает вестибюль здания.

На рис. 11.9 представлена функциональная схема тепловой воздушной завесы, работающей в режиме рециркуляции, т. е. с забором воздуха из помещения.

При снижении температуры воздуха в тамбуре или вестибюле до заданного значения датчик температуры ДТ подает сигнал на включение электродвигателя ЭД вентилятора В и на открывание вентиля с электромагнитным приводом $P_в$ на линии горячей воды к калориферу К. При этом в вестибюль или тамбур начинает поступать теплый воздух.

Подача теплого воздуха обычно производится вблизи дверей, чем обеспечивается воздушная завеса для поступления наружного воздуха при открывании дверей. Управление электроприводом вентилятора может осуществляться вручную с помощью кнопки Кн. Перевод управления с автоматического на ручное производится переключателем Пр. Рабочий и аварийный режимы системы сигнализируются соответственно зеленой $ЛС_1$ и красной $ЛС_2$ сигнальными лампами.

Элементы защиты и блокировки. Под блокировкой подразумевается взаимосвязь элементов схемы управления, которая обеспечивает требования последовательного включения рабочих органов механизмов или безопасность обслуживающего персонала.

По функциональному признаку, т. е. по назначению, различают три вида блокировки: исключающую, разрешающую и блокировку памяти.

Исключающая блокировка — это такой вид блокировки, при которой включение одного элемента схемы исключает возможность включения другого, сблокированного элемента схемы. Исключающая блокировка осуществляется с помощью логического элемента НЕ. Например $f(x) = a$, т. е. если на вход какого-либо устройства подается сигнал a, то сигнал x отсутствует.

Исключающая блокировка находит широкое применение в схемах управления. На рис. 11.10. показаны две схемы управления реверсивным электродвигателем с помощью пусковых и стоповых кнопок.

Первая схема (рис. 11.10, *а*) не содержит исключающей блокировки, а во второй схеме (рис. 11.10, *б*) она предусмотрена При управлении электродвигателем с помощью первой схемы возможна аварийная ситуация. Если после пуска двигателя кнопкой *SB1* нажать на пусковую кнопку *SB3* или наоборот, то это приведет к срабатыванию магнитного пускателя *KM2* и, как следствие этого, к короткому замыканию в силовой цепи. Этого недостатка лишена вторая схема, так как в ней предусматривается исключающая блокировка. При нажатии на пусковую кнопку *SB1* (см. рис. 11.10, *б*) возбуждается катушка магнитного пускателя *KM1* и, следовательно, размыкается блокировочный контакт *KM1.2.* Если теперь нажать на пусковую кнопку *SB3*, короткого замыкания в силовой цепи не произойдет, так как катушка магнитного пускателя *KM2* не возбудится. Цепь будет разорвана контактом *KM1.2.*

Исключающая блокировка обязательно применяется для защиты генератора высокой частоты, если от него питаются несколько индукторов, суммарная мощность которых больше установочной мощности генератора, а также в ряде других схем.

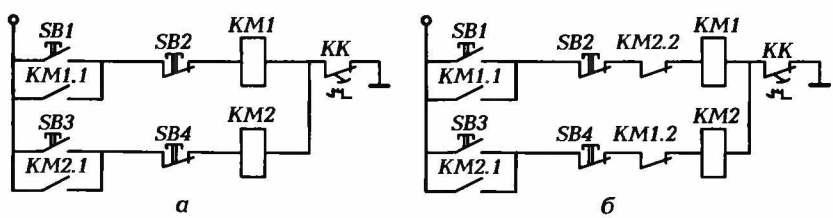


Рис. 11.10. Схемы управления реверсивным электродвигателем:
а — без исключающей блокировки; *б* — с исключающей блокировкой

Разрешающая блокировка — это такой вид блокировки, при котором включение одного элемента схемы управления разрешается только при выполнении определенного порядка. Разрешающая блокировка реализуется с помощью логических элементов И либо ИЛИ. Если $f(x) = ab$, то сигнал x появляется только тогда, когда имеются и сигнал a, и сигнал b. Если же $f(x) = a + b$, то сигнал x появляется, когда имеется хотя бы один из сигналов (a или b).

Разрешающая блокировка находит широкое распространение в схемах управления бытовых устройств и промышленных установок. Например, нельзя включить телевизор, если не закрыта задняя крышка. Лифт не пойдет, если не закрыта его дверь. В нагревательных электрических печах нельзя включить нагревательные элементы, если не закрыть дверки печей, и т. д.

Блокировка памяти — это такой вид блокировки, при которой кратковременное включение одного элемента схемы управления вызывает длительное включение другого элемента.

Блокировка памяти находит применение в схемах управления, когда пуск какой-либо установки осуществляется пусковой кнопкой с самовозвратом (пусковой контакт кратковременного действия). На схемах, изображенных на рис. 11.10, контакты *КМ1.1.* и *КМ2.1* являются блокировочными контактами.

Элементы автоматической защиты. *Системой автоматической защиты* называется совокупность элементов схемы управления, с помощью которой осуществляется контроль процессов в объекте управления, формирование сигналов в различных критических ситуациях и использование этих сигналов для предотвращения аварий путем остановки оборудования или переключения режима его работы, а также вызова обслуживающего персонала для выдачи ему информации о причинах возникновения и вида отклонений от нормальной работы.

Кроме отмеченных функций, вводимые в систему управления устройства защиты могут выполнять также функции защиты обслуживающего персонала от травматизма. По назначению все системы автоматической защиты подразделяются на четыре группы: предупредительной сигнализации; аварийного отключения и переключения оборудования; защиты обслуживающего персонала от травм; противопожарной защиты.

По физической природе входного сигнала устройства защиты подразделяются на электрические, гидравлические, механические, тепловые и др.

По числу контролируемых параметров различают системы защиты единичного и множественного контроля.

По числу выполняемых функций системы защиты подразделяются на однофункциональные и многофункциональные. Первые выполняют только одно действие (например, выключают электродвигатель при перегрузке). Многофункциональное устройство может кроме остановки электродвигателя включить сигнализацию или дополнительно выполнить какие-либо другие действия.

Системы автоматической защиты в большинстве случаев представляют собой разомкнутые системы, в состав которых входят следующие основные элементы: индикаторы аварийных ситуаций; усилительно-преобразующие устройства и элементы; исполнительные механизмы.

В индикаторе аварийных ситуаций текущее значение контролируемого параметра воспринимается первичным преобразователем (датчиком) и сравнивается с заданным значением. Именно в схеме сравнения происходят обнаружение признаков аварийной ситуации и формирование сигнала об этом событии.

Как правило, сигнал, полученный на выходе индикатора аварийных ситуаций, обладает малой мощностью и не может непосредственно воздействовать на исполнительный механизм. В этих случаях сигнал предварительно подается на усилительно-преобразующее устройство, где он может усиливаться, преобразовываться, а также стабилизироваться.

Сигналы индикатора аварийных ситуаций после усиления и преобразования приводят в действие исполнительные механизмы, которые предотвращают возможность аварии и оповещают обслуживающий персонал о ненормальных режимах работы оборудования.

В системах защиты, применяемых в сложных объектах, могут контролироваться сразу несколько параметров. В этом случае контроль осуществляется непрерывно или последовательно. При непрерывном контроле система защиты состоит из нескольких (по числу контролируемых параметров) параллельно включенных индикаторов аварийных ситуаций и усилительно-преобразующих элементов с одним исполнительным органом.

При последовательном контроле в одних и тех же индикаторах и усилительно-преобразующих элементах производится поочередная обработка исходной информации первичных преобразователей, поочередное включение которых осуществляется специальным переключателем.

К основным характеристикам устройств защиты относятся статические и динамические характеристики, чувствительность, инерционность, параметры и точность срабатывания, стабильность работы, способность к перегрузкам и надежность.

Статические характеристики выражают связь между входными и выходными параметрами в установившемся режиме, а *динамические* — в переходном, когда входные и выходные параметры изменяются во времени.

Инерционность определяется временем срабатывания, т. е. интервалом времени между моментами подачи на вход сигнала и выработки управляющего сигнала.

Точность срабатывания — разность между истинным и заданным значениями контролируемого параметра, приводящая к срабатыванию устройства защиты.

Стабильность работы во времени определяется временны́ми, температурными и другими интервалами, в пределах которых устройства могут нормально выполнять свои функции.

Способность к перегрузкам определяется максимальным значением контролируемого параметра и временем его действия, при которых устройства защиты не выходят из строя.

Надежность работы устройства защиты определяется рядом показателей, к числу которых относятся вероятность безотказной работы в течение заданного интервала времени, средняя наработка на отказ и т. д.

Основными элементами индикаторов аварийных ситуаций являются первичные преобразователи, которые по конструкции и своим характеристикам практически не отличаются от первичных преобразователей.

В устройствах защиты применяют стандартные схемы сравнения, усилители, преобразователи и исполнительные органы. Довольно часто в системах защиты используется исполнительный орган общей системы управления.

На практике наибольшее распространение (в схемах управления оборудованием литейных и термических цехов) получили *индикаторы аварийных ситуаций* предельных положений, аварийных перемещений, предельных уровней жидкостей и сыпучих сред, аварийных деформаций и механических напряжений, аварийных сил и давлений, нарушений температурных режимов, погасания пламени топок, аварийной влажности, концентрации пыли и дыма, аварийных значений силы токов и напряжений, замыкания токоведущих шин на землю, систем защиты от травматизма и др.

Индикаторы предельных положений используют конечные (путевые) выключатели. Они устанавливаются таким образом, что срабатывают под действием подвижного элемента защищаемой системы при достижении им соответствующих точек контролируемого пути.

Индикаторы предельных уровней отличаются многообразием конструкций и принципов действия. Выбор типа индикатора зависит от физических свойств среды, уровень которой контролируется. Наибольшее распространение получили поплавковые и кондуктометрические индикаторы.

Индикаторы предельных деформаций и механических напряжений наиболее часто содержат тензометрические чувствительные элементы.

Индикаторы контроля статических и медленно изменяющихся сил обычно основаны на использовании динамометрических преобразователей с упругими элементами в виде пружин и колец. Для преобразования деформации в электрический сигнал применяют электроконтактные, потенциометрические или индуктивные первичные преобразователи.

Индикаторы аварийных давлений обычно имеют чувствительные элементы, подобные чувствительным элементам манометров (мембраны, сильфоны, трубчатые пружины и др.).

Индикаторы нарушений температурных режимов обычно базируются на чувствительных элементах, преобразующих тепловую энергию в электрический сигнал, т. е. различного типа термометры.

Индикаторы погасания пламени в топках контролируют наличие факела в камере сгорания нагревательной и плавильной печей, работающих на жидком или газообразном топливе. Подавая сигнал на отключение подачи топлива, индикаторы позволяют защищать печи от взрывов и других опасных последствий, которые могут возникнуть при погасании пламени. В таких индикаторах используются различные способы контроля наличия пламени: контроль за тепловыделением с помощью термочувствительного элемента; контроль за световым излучением, где используют фотоэлектрические преобразователи (фоторезисторы и фотоэлементы).

Весьма перспективными являются индикаторы в виде электронных датчиков, использующих ионную проводимость пламени. Так, через электроды датчика, введенные в зону факела, может протекать электрический ток 2 ... 1200 мА.

Индикаторы дыма и пыли используются в системах противопожарной защиты, при контроле горения топлива, степени загрязнения окружающей среды и обнаружения недопустимых концентраций пыли в атмосфере цехов и помещений. Наиболее часто контроль осуществляется оптическими или радиоактивными методами по интенсивности излучения, поглощения или рассеивания частицами пыли и дыма.

Наиболее простыми защитными устройствами от перегрузок по току и коротких замыканий являются *плавкие предохранители.*

Система защиты от производственного травматизма, возможного при эксплуатации прессов, циркуляционных пил, механических фуганков и другого оборудования, останавливает машину при приближении человека к опасной зоне. В этих случаях обычно применяют индикаторы на фотореле, которые срабатывают при прерывании светового барьера, ограждающего опасную зону. Кроме того, используют индикаторы генераторного типа с антенной в качестве чувствительного элемента. При приближении человека к антенне в опасной зоне, изменяется частота генератора, появляется сигнал, который можно использовать для остановки оборудования. Генераторный индикатор может срабатывать на расстоянии 1...100 см. Длина антенны может достигать 10 м.

Для оповещения обслуживающего персонала о возникновении опасных ситуаций, а также о причинах и характере аномальных режимов работы применяется специальная сигнализация, которая осуществляется акустическими и визуальными средствами.

Из большого числа различных систем аварийного отключения оборудования наибольшее распространение в литейных и термических цехах получили системы защиты электродвигателей от перегрузок и короткого замыкания, нулевая защита, защита при обрыве троллейных проводов и другие.

Защита в схемах управления электроприводами предназначена для предотвращения повреждения электрооборудования. Устройство защиты устанавливают как в силовых цепях, так и в цепях управления. К основным видам защиты в электроприводе относятся: защита от короткого замыкания; максимальная защита, срабатывающая даже при кратковременном превышении установленного значения силы тока; защита двигателей от перегрузок, если сила тока длительно превышает ее номинальное значение; защита от перенапряжения, возникающего в электрических цепях.

Защита от короткого замыкания обеспечивает немедленное отключение цепи, в которой произошло короткое замыкание или чрезмерное увеличение силы тока. Защита осуществляется с помощью плавких предохранителей (рис. 11.11, *а*), автоматических выключателей с электромагнитными расцепителями (рис. 11.11, *б*) и тепловых реле (рис. 11.11, *в*).

Защита плавкими предохранителями трехфазной силовой цепи двигателя обладает большим недостатком. При перегорании одной из вставок двигатель будет работать на двух фазах, что приведет к его перегреву. Этого недостатка лишена защита автоматическими выключателями. При их срабатывании отключаются все три фазы питающего напряжения.

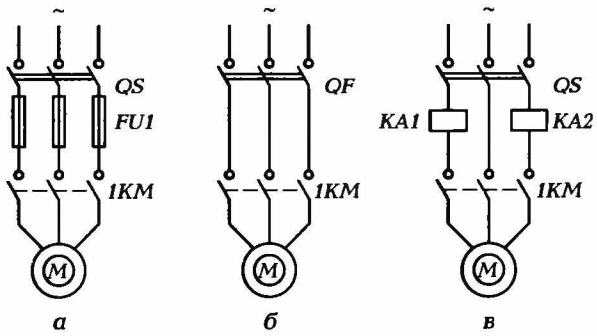


Рис. 11.11. Схемы защиты электродвигателя от коротких замыканий:
а — с помощью плавких предохранителей; *б* — с помощью автоматического выключателя; *в* — с помощью реле максимального тока

Защита двигателя от перегрузки током предназначается для предотвращения перегрева двигателя при продолжительном режиме работы.

Для этого в цепи трехфазного двигателя включаются два однополюсных или одно двухфазное тепловое реле. Тепловые элементы (нагреватели) этих реле включаются в цепи двигателя, как правило, после главных контактов магнитного пускателя или контактора (рис. 11.12).

Защита от длительных перегрузок может также осуществляться и автоматами, и тепловыми расцепителями.

Схема защиты от перенапряжения выполняется на реле максимального напряжения, катушка которого включается в измерительную электрическую цепь. Необходимость такой защиты возникает при питании электроприводов от отдельных генераторов или преобразователей.

Нулевая защита — это такой вид защиты, который исключает возможность самопроизвольного включения электродвигателя после исчезновения напряже-

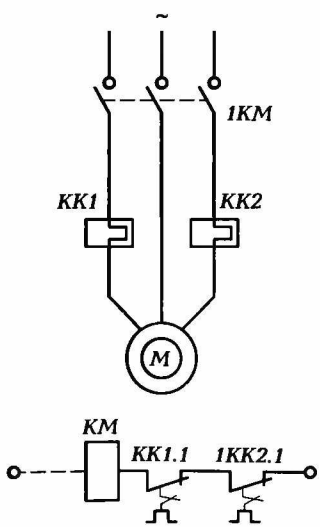


Рис. 11.12. Схемы защиты электродвигателя от длительных нагрузок с помощью тепловых реле

ния или чрезмерного его снижения. При управлении двигателем с помощью кнопок по схемам, приведенным на рис. 11.10, такую защиту осуществляют магнитные пускатели *КМ1* и *КМ2*. В этих схемах после отключения магнитных пускателей, замыкающих контакты *КМ1.1* и *КМ2.1*, включение параллельно пусковых кнопок *SB1* и *SB3* при появлении напряжения на схеме не позволяет включаться магнитным пускателям, так как цепи включения катушек разомкнуты.

Если управление электроприводом осуществляется переключателем с фиксированным положением, то нулевая защита обеспечивается включением реле напряжения *KV* (рис. 11.13), Реле включается в исходном положении переключателем, становится на самопитание и через замыкающий контакт создает цепь питания магнитных пускателей *КМ1* и *КМ2*. При срабатывании защиты для включения *KV* надо переключатель поставить в исходное положение «0». В цепи катушки реле *KV* находятся также контакты теплового реле *КК*.

Система защиты при обрыве троллейных проводов служит для защиты обслуживающего персонала от поражения электрическим током. Троллейные провода предназначаются в цехах для подвода электроэнергии к мостовым кранам, кран-балкам и другим транспортным средствам.

При обрыве одного из троллейных проводов (рис. 11.14) между точками *А* и *В* возникает разность потенциалов и возбуждается промежуточное реле *КА*. Размыкающий контакт реле размыкает цепь

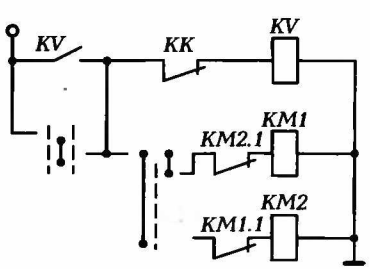


Рис. 11.13. Схема нулевой защиты с реле напряжения

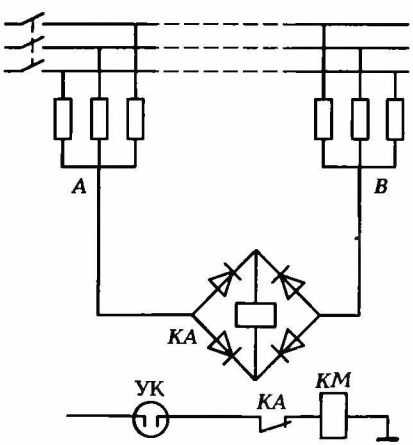


Рис. 11.14. Схема защиты при обрыве троллейных проводов

с управляющими контактами УК управления контактора *КМ*, и троллейные провода обесточиваются прежде, чем оборванный провод долетит до пола цеха. Для повышения чувствительности схемы промежуточное реле включено в диагональ диодного моста.

11.4. АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

Электроприводом называется электромеханическая система, посредством которой приводятся в движение рабочие органы машин. Электрическая часть этого устройства содержит электродвигатели и систему управления ими. Автоматическое управление электроприводом осуществляется без непосредственного участия человека. Человек может дать лишь первый импульс на автоматическое выполнение того или иного режима работы привода и контролировать его. Часто и первый импульс для автоматического управления электроприводом отдельной машины также подается самими автоматическими устройствами. Иначе электрическим приводом называется электромеханическая система, состоящая из электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, предназначенных для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением. Для выполнения этих функций электропривод вырабатывает механическую энергию за счет электрической энергии, получаемой им от источника электрической энергии (сети электроснабжения). Вырабатываемая электроприводом механическая энергии передается различным исполнительным органам рабочих машин и механизмов и при необходимости регулируется в соответствии с технологическими требованиями к режимам работы исполнительного органа.

За счет полученной энергии исполнительный орган совершает требуемое механическое движение, обеспечивая тем самым выполнение производственных и технологических операций; перемещение грузов, обработку деталей, транспортировку жидкости или газа, слежение за небесными телами и т. д.

Основой любого электропривода (рис. 11.15) является электродвигательное устройство (электродвигатель, ЭД), которое обеспечивает преобразование электрической энергии (ЭЭ) в механическую (МЭ). Для согласования движений ЭД и исполнительного органа (ИО) рабочей машины служит механическое передаточное устройство (МПУ), которое обеспечивает изменение параметров вырабатываемой ЭД механической энергии. Движущаяся часть ЭД (ротор), МПУ

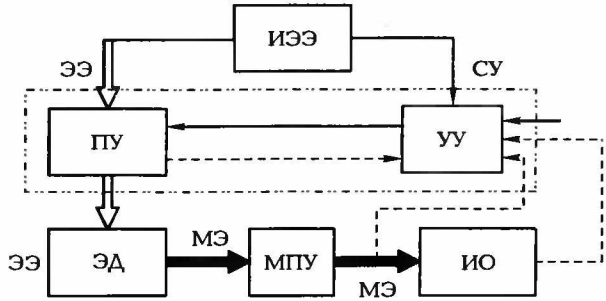


Рис. 11.15. Структурная схема электропривода

и ИО образуют механическую часть электропривода. В ряде случаев МПУ отсутствует и ЭД непосредственно соединяется с ИО.

Механическую энергию ЭД вырабатывает за счет электрической энергии, которая подводится к ЭД от источника электрической энергии ИЭЭ через электрическое преобразовательное устройство ПУ. Назначение ПУ состоит в преобразовании и регулировании параметров электрической энергии, поступающей от ИЭЭ к ЭД для управления механическим движением ИО.

Управление процессом преобразования энергии осуществляется с помощью управляющего устройства УУ, которое вырабатывает управляющий сигнал U_y в функции задающего сигнала $U_з$ (иногда его называют входным или сигналом уставки) и различных дополнительных электрических сигналов, содержащих информацию о процессе преобразования энергии, реальных параметрах механического движения ЭД или ИО и т. д. Использование этих сигналов (на рис 11.15 они показаны штриховыми линиями) позволяет получить требуемые характеристики движения ЭД и ИО, достигнуть оптимального режима работы производственных механизмов, обеспечить защиту и блокировки при работе электропривода. Эти сигналы вырабатываются соответствующими датчиками (на рис. 11.5 не показаны). Преобразовательное и управляющее устройство образуют систему управления (СУ), которая вместе с обмотками составляет электрическую часть электропривода.

Примеры исполнительных органов и элементов электропривода приведены в табл. 11.1.

По виду движения различаются электроприводы вращательного и поступательного однонаправленного и реверсивного движения, как непрерывного, так и дискретного характера.

По принципам регулирования скорости и положения электропривод может быть:

Таблица 11.1. **Примеры исполнительных органов и элементов электропривода**

Исполнительный орган	Шпиндель токарного станка; подвижный стол строгального станка; лента конвейера; ковш экскаватора; тележка механизма передвижения крана; крюк подъемной лебедки; ковш экскаватора; крыльчатка насоса
Электродвигатель	Двигатель постоянного тока с различными видами возбуждения; асинхронный двигатель с фазным или короткозамкнутым ротором; синхронный двигатель; шаговый двигатель; вентильный двигатель; редукторный двигатель
Механическое передаточное устройство	Различные редукторы; кривошипно-шатунная, цепная, реечная передача; передача винт — гайка
Преобразовательное устройство	Управляемый выпрямитель; преобразователи частоты. Напряжения переменного тока; инверторы; импульсные преобразователи напряжения
Управляющее устройство	Кнопка; ключ управления; регулятор; управляющая вычислительная машина; реле; логические элементы; усилитель; фазовый детектор
Источник электрической энергии	Однофазная или трехфазная сеть переменного тока промышленной частоты; сеть постоянного тока; аккумуляторная батарея; солнечная батарея

- нерегулируемый — исполнительный орган приводится в движение с одной постоянной скоростью;
- регулируемый — вследствие воздействия на электропривод скорость движения исполнительного органа изменяется в соответствии с требованиями технологического процесса;

- следящий — с помощью электропривода воспроизводится перемещение исполнительного органа в соответствии с произвольно изменяющимся задающим сигналом;
- программно-управляемый — электропривод обеспечивает перемещение исполнительного органа в соответствии с заданной программой;
- адаптивный — электропривод автоматически обеспечивает оптимальный режим движения исполнительного органа при изменении условий его работы;
- позиционный — электропривод обеспечивает регулирование положения исполнительного органа рабочей машины.

По роду механического передаточного устройства подразделяют на редукторный электропривод, содержащий один из видов передаточного устройства, и безредукторный, в котором электродвигатель непосредственно соединен с исполнительным органом.

По роду электрического преобразовательного устройства различают:

- вентильный электропривод, преобразовательным устройством которого является вентильный преобразователь энергии (ионный, полупроводниковый, тиристорный);
- система генератор — двигатель (Г — Д) и магнитный усилитель — двигатель (МУ — Д) — регулируемый электропривод, преобразовательным устройством которого является соответственно электромашинный преобразовательный агрегат или магнитный усилитель.

По способу передачи механической энергии исполнительному органу электроприводы подразделяются на индивидуальный, взаимосвязанный и групповой.

Индивидуальный электропривод характеризуется тем, что каждый исполнительный орган рабочей машины приводится в движение своим отдельным двигателем.

Взаимосвязанный электропривод содержит два или несколько электрически или механически связанных между собой электроприводов.

Групповой электропривод характеризуется еще и тем, что от одного двигателя приводится в движение несколько исполнительных органов одной или нескольких рабочих машин.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается различие исключающей, разрешающей блокировки и блокировки памяти?
2. Какие требования предъявляются к системам автоматической защиты?
3. Объясните структуру системы автоматической защиты.
4. Дайте определение основных характеристик систем защиты.
5. Что такое индикаторы аварийных ситуаций?
6. Какие виды сигнализации аварийного состояния применяются в настоящее время?
7. Дайте характеристику видов защиты в схемах управления электроприводами.
8. Охарактеризуйте цели и виды нулевой защиты.
9. Опишите действие защиты при обрыве троллейных проводов.

Глава 12

ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

12.1. ПОНЯТИЕ «ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ»

В современной технике часто возникает задача такого управления объектом, которое не может быть обеспечено с помощью обычных систем автоматического регулирования и следящих систем. Эта более сложная задача управления включает в себя не только поддержание и заданное изменение регулируемой величины, но и достижение наивыгоднейшего режима работы. Например, работа нагревательной печи должна сопровождаться минимальным расходом топлива; при прохождении скважины турбобуром желательно достигнуть максимальной скорости проходки, а для радиолокационной станции важно обеспечить максимальную точность слежения за целью.

Режим работы характеризуется некоторым *показателем качества*, содержание которого зависит от конкретных условий. В приведенных примерах этими показателями являлись расход топлива, скорость проходки, погрешность слежения. Показатель качества может быть функцией одной или нескольких величин.

Если характеристики объекта заранее хорошо известны, то наивыгоднейший режим может быть реализован путем соответствующего построения системы. Однако во многих современных технических процессах характеристики объектов известны недостаточно полно и могут изменяться непредвиденным образом. Если эти характеристики непрерывно измерять, то создается возможность обеспечения наилучшего режима. Однако поддерживать наивыгоднейший режим вручную в большинстве случаев невозможно или нецелесообразно. Это может быть сделано автоматически с помощью *экстремальных* и *самонастраивающихся систем управления*. Такие системы должны выполнять следующие функции: изучать характе-

ристики объекта и оказывать такое воздействие на регулятор, чтобы поддерживать наилучший режим.

В экстремальных системах управления автоматически поддерживается экстремальное (минимальное или максимальное) значение регулируемой величины. Это значение автоматически отыскивается на характеристике объекта и задается системе регулирования. Примерами экстремумов являются: минимум расхода топлива, максимум КПД, максимум скорости проходки и т. д.

12.2. ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

В самонастраивающихся системах управления обеспечивается наилучший в том или ином смысле процесс управления. Параметры самой системы регулирования автоматически настраиваются таким образом, чтобы достигнуть наилучшего режима, например минимума среднеквадратичной ошибки, заданного запаса устойчивости и т. д.

Иногда экстремальные системы относят к самонастраивающимся, тогда называют их системами с самонастройкой программы (задаваемой величины). Однако в них отсутствует собственно самонастройка параметров системы регулирования. Обычно в экстремальных и самонастраивающихся системах осуществляется *автоматический поиск* наилучшего режима.

Все сказанное ранее об экстремальных и самонастраивающихся системах может быть проиллюстрировано в самом общем виде с помощью структурных схем, показанных на рис. 12.1.

Представим обычную систему регулирования в виде структурной схемы, состоящей из автоматического регулятора (АР) и объекта регулирования (О) (рис. 12.1, *а*). В этой системе заданная величина x сравнивается с регулируемой величиной y и образуется такое воздействие z на объект, чтобы свести рассогласование между x и y к нулю. Такая система содержит один замкнутый контур.

Экстремальная система управления отличается от описанной тем, что содержит дополнительно устройство поиска экстремума УПЭ (рис. 12.1, *б*), которое изучает характеристику объекта и изменяет задаваемую величину x в таком направлении, чтобы привести регулируемую величину y к экстремальному значению.

Самонастраивающаяся система управления содержит устройство самонастройки (УС) (рис. 12.1, *в*), которое изучает процесс, проте-

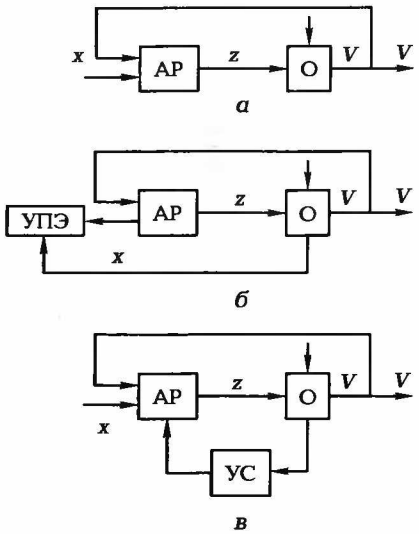


Рис. 12.1. Структурные схемы системы авторегулирования (*а*), экстремальной системы (*б*), самонастраивающейся системы (*в*)

кающий в системе, и воздействует на параметры регулятора АР таким образом, чтобы процесс удовлетворял заданному показателю качества.

Из структурных схем видно, что устройства УПЭ и УС представляют собой как бы надстройки над обычной системой автоматического регулирования, создающие возможность поддержания наивыгоднейшего режима. Введение этих устройств вызывает появление дополнительного замкнутого контура.

Кроме описанных систем, существуют системы, в которых устройство самонастройки анализирует внешнее возмущение u, действующее на объект, или характер изменений входной величины x (включая помехи) и вырабатывает такой сигнал на автоматический регулятор, чтобы показатель качества приближался к наилучшему значению.

Общей задачей устройств поиска экстремума и самонастройки является вычисление показателя качества системы и образование сигнала, характеризующего отклонение этого показателя от наилучшего значения.

Для определения показателя качества и создания настраивающего воздействия необходимо применение вычислительных устройств, выполняющих различные математические и логические операции.

Устройства поиска экстремума и самонастройки и представляют собой по существу вычислительные устройства. Экстремальные и самонастраивающиеся системы управления являются весьма по-

казательными примерами применения вычислительной техники в автоматике.

Экстремальные и самонастраивающиеся системы являются одним из средств оптимизации режима работы установок. Поэтому соответствующие устройства иногда называют *оптимизаторами.*

12.3. КРИТЕРИИ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

При построении экстремальных систем предполагается, что характеристика объекта обладает некоторыми точками, которым соответствует наивыгоднейший режим (точки максимума или минимума). В качестве примера на рис. 12.2 показаны такие характеристики объекта.

Под влиянием некоторого воздействия эти характеристики могут изменяться, образуя семейства, каждая кривая которых имеет максимум или минимум. Задача заключается в поддержании такого значения регулируемой величины, которое соответствует экстремальной точке. При изменении характеристики объекта и перемещении экстремальной точки система самонастройки должна следить за этим перемещением и соответственно изменять значение регулируемой величины.

Принципы построения экстремальных систем различаются в зависимости от принятого метода *автоматического поиска* экстремума. Поэтому рассмотрим в общих чертах методы поиска.

Расположение экстремума на характеристике объекта может быть выявлено путем определения величины и знака производной на различных участках кривой. Для определенности будем считать, что характеристика объекта обладает максимумом в точке с координа-

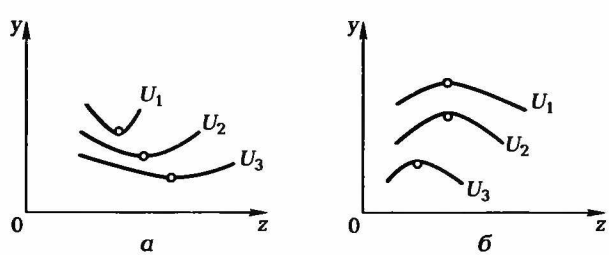


Рис. 12.2. Характеристики объекта с точками экстремума:
а — режим минимума; *б* — режим максимума

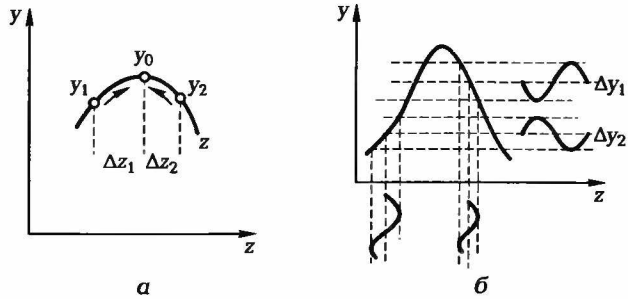


Рис. 12.3. Характеристики (*а*, *б*), обладающие максимумом

тами z_0, y_0 (рис. 12.3, *а*). Слева от максимума производная положительна: $dy/dz > 0$, а справа — отрицательна: $dy/dz < 0$. Здесь мы имеем в виду точное определение производной. Производная может быть также определена приближенно как отношение конечных приращений функций и аргумента. Тогда, рассматривая, например, точки с координатами z_1, y_1 и z_2, y_2, получаем в данном случае:

$$\text{слева от максимума } \frac{dy}{dz} \approx \frac{y_0 - y_1}{z_0 - z_1} = \frac{\Delta y_1}{\Delta z_1} > 0;$$

$$\text{справа от максимума } \frac{dy}{dz} \approx \frac{y_2 - y_0}{z_2 - z_0} = \frac{\Delta y_2}{\Delta z_2} < 0;$$

$$\text{в области максимума } \frac{dy}{dz} \approx \frac{y_2 - y_1}{z_2 - z_1} = \frac{\Delta y_{12}}{\Delta z_{12}} \approx 0.$$

Указанное распределение величины и знаков производной подсказывает путь для нахождения экстремальной точки. Необходимо тем или иным способом варьировать входную величину z, наблюдать изменение выходной величины y и определять знак производной. Если производная положительна, то входную величину z необходимо увеличивать, пока производная не обратится в нуль. Если производная отрицательная, то величину z надо уменьшать до тех пор, пока производная не станет равной нулю. В обоих случаях обеспечивается движение системы к экстремуму, как это обозначено стрелками на рис. 12.3, *а*. В зависимости от того, каким образом изменяется z, для определения знака производной методы автоматического поиска можно разделить на *непрерывные* и *дискретные*. В первом случае входная величина z, непрерывно изменяясь, стремится к экстремуму или совершает вокруг него непрерывные колебания. Во втором случае те же самые изменения происходят дискретно (шагами). При этом определение знака производной может производиться с по-

мощью непрерывного дифференцирования или путем запоминания предшествующих значений выходной величины y и сравнения их с последующими значениями.

12.4. ПРИНЦИПЫ АДАПТАЦИИ (САМОНАСТРОЙКИ) СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

В первую очередь рассмотрим *непрерывный* метод, в котором для отыскания экстремума применяется синусоидальный пробный (поисковый) сигнал Δz. Этот сигнал накладывается на входную величину z объекта. Проходя через объект, этот сигнал вызывает периодические колебания Δy, возникающие на выходе объекта. Легко видеть, что фаза колебаний на выходе объекта зависит от того, по какую сторону от максимума находится рабочая точка (рис. 12.3, *б*)

Если она находится слева от максимума, то Δy совпадает по фазе с Δz, а если справа, то Δy находится в противофазе с Δz. При этом частота основной гармоники Δy совпадает с частотой Δz (пусть эта частота равна ω). Когда рабочая точка совпадает с точкой максимума, то колебания Δy на выходе объекта не содержат гармоники с частотой ω, а лишь с частотой 2ω и выше. Таким образом, фаза колебаний с частотой ω на выходе объекта указывает, в какую сторону надо изменять z, а исчезновение этих колебаний указывает, что достигнута точка максимума. Рассмотрим общую структурную схему системы, построенной по охарактеризованному ранее непрерывному методу (рис. 12.4, *а*). Поисковый сигнал $\Delta z = a\sin\omega t$ подается от генератора Г одновременно на объект О и на фазовый дискриминатор ФД (фазовый дискриминатор служит для образования сигнала, знак которого зависит от фазы Δy по отношению к Δz).

На другой вход дискриминатора поступает сигнал

$$\Delta y = \frac{dy}{dz}\Delta z = \frac{dy}{dz}a\sin\omega t.$$

Через полосовой фильтр Φ_ω выход фазового дискриминатора (например, устройства умножения, образующего произведение Δz Δy) интегрируется и создает рабочее воздействие z. Воздействие z изменяется до тех пор, пока составляющая Δy, имеющая частоту ω, не станет равной нулю. Это значит, что достигнута точка максимума. После этого выходная величина объекта y будет продолжать совершать периодические колебания с частой 2ω возле точки экстремума и кривая ее изменения во времени будет иметь вид, показанный на рис. 12.4, *б*.

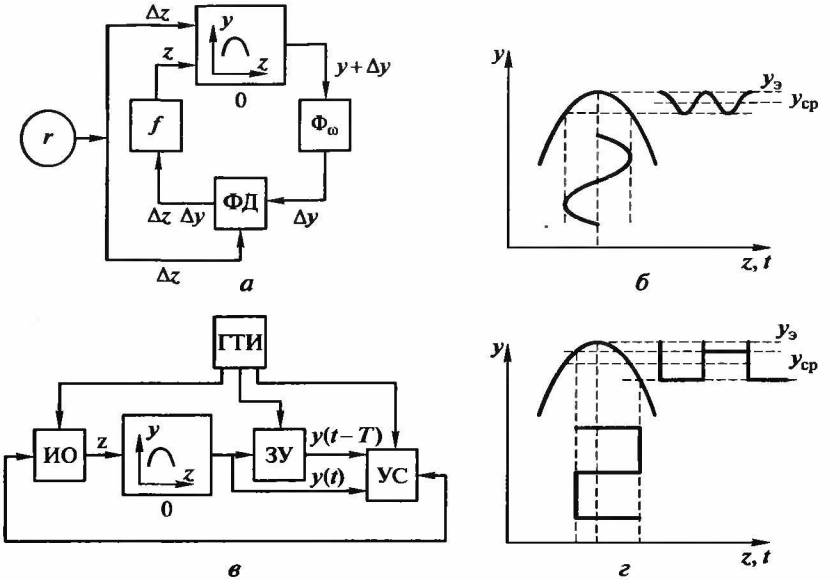


Рис. 12.4. Методы автоматического поиска экстремума:

а, б — структурная схема системы, построенной по непрерывному методу и график ее работы; *в, г* — структурная схема системы, построенной по дискретному методу и график ее работы

Для правильной работы системы необходимо, чтобы поисковые колебания имели достаточную амплитуду, благодаря этому обеспечивается поиск экстремума при изменении характеристик объекта. В то же время наличие этих колебаний вызывает погрешность (потерю на поиск), составляющую $\delta y = y_э - y_{ср}$, поскольку выходная величина не поддерживается равной экстремальному значению $y_э$, а колеблется около среднего значения $y_{ср}$. Для правильной работы описанной системы, как и всякой экстремальной системы, необходимо, чтобы характеристики объекта изменялись сравнительно медленно. Время вывода на экстремум должно быть значительно меньше времени, в течение которого изменяются характеристики, а период поисковых колебаний должен быть во много раз меньше времени настройки на экстремум.

Непрерывный метод автоматического поиска может быть осуществлен так же и иначе, чем описано ранее. Пусть z изменяется в том или ином направлении с постоянной скоростью $dz/dt = \text{const}$. Будем определять знак изменения выходной величины (точнее, знак ее производной по времени dy/dt). Если y растет ($dy/dt > 0$), то выбранное направление изменения z правильно и система приближа-

ется к максимуму (стрелки на рис. 12.3, *а*). Если y уменьшается ($dy/dt < 0$), то текущая точка удаляется от максимума, и для того, чтобы заставить систему двигаться к максимуму, необходимо изменить направление изменения (реверсировать) z и продолжать это движение до тех пор, пока производная не приблизится к нулю. Поиск экстремума может производиться также путем запоминания значения выходной величины в точке максимума y_{max} и сравнения ее с последующими значениями y.

Когда пройден максимум, то последующее значение всегда меньше запомненного в точке максимума ($y < y_{max}$) и в некоторый момент происходит реверсирование, чтобы снова обеспечить движение к максимуму. Момент реверсирования зависит от зоны нечувствительности органа, определяющего знак dy/dt или $(y - y_{max})$. В результате действия системы в ней возникают поисковые автоколебания вокруг точки максимума (эти колебания являются свойством самой системы, а не приложены извне).

Теперь рассмотрим *дискретный метод* автоматического поиска экстремума. Структурная схема системы, построенной по такому методу, показана на рис. 12.4, *в*. Здесь входная величина z объекта О изменяется дискретно (скачкообразно, шагами). Соответственно дискретно изменяется и оптимизируемый параметр y. Система содержит запоминающее устройство (ЗУ), устройство сравнения (УС), исполнительный орган (ИО) и генератор тактовых импульсов (ГТИ). Тактовые импульсы имеют период T и определяют темп работы всей системы. При каждом такте входная величина изменяется на некоторую величину δz. Запоминающее устройство хранит значение выходной величины на предыдущем шаге $y(t - T)$. В устройстве сравнения сопоставляется это значение со значением на последующем шаге $y(t)$. Если последующее значение больше предыдущего $y(t) > y(t - T)$, то устройство УС так воздействует на ИО, что делается шаг в том же направлении, что и раньше. Если последующее значение меньше предыдущего $y(t) < y(t - T)$, то шаг изменения z делается в направлении, противоположном тому, который был сделан раньше. Каждый раз после сравнения запомненное значение, соответствующее предыдущему шагу, сбрасывается, а новое значение, полученное на последующем шаге, запоминается в ЗУ. Устройство управления обладает известной зоной нечувствительности ε. Когда разность между последующим и предыдущим значениями y становится меньше зоны нечувствительности ($[y(t) - y(t - T)] < \varepsilon$), то z делает шаги поочередно то в одном, то в другом направлении. В результате система совершает скачкообразные поисковые колебания в области экстремума. Характер этих колебаний показан на рис. 12.4, *г*. Здесь

так же, как и в ранее описанном методе, имеется потеря на поиск, равная $y_э - y_{ср} = \delta y$.

Для улучшения процесса подхода к экстремуму некоторые дискретные системы автоматического поиска строятся таким образом, что по мере приближения к экстремуму величина шага δz уменьшается, а продолжительность такта T увеличивается (процесс замедляется, и размах колебаний уменьшается).

12.5. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ И СТРУКТУРА АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ СО СТАБИЛИЗАЦИЕЙ И ОПТИМИЗАЦИЕЙ КАЧЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ

Обычные неадаптивные системы автоматического управления (САУ) обеспечивают заданные показатели качества управления, а оптимальные системы — наилучшие показатели, лишь при заранее известных и неизменных внешних воздействиях и характеристиках объекта управления. Но во многих случаях условия работы САУ или неизвестны, или меняются случайным образом. Типичным примером является летательный аппарат, параметры которого (масса, моменты инерции) и возмущающие воздействия (скорость и направление ветра, давление и температура воздуха) в процессе полета изменяются в широких пределах. Другим примером является большинство технологических процессов химии и нефтехимии (перегонка нефти, производство бензина), металлургии (выплавка стали), микробиологии (получение антибиотиков), трубопрокатное производство, многие сборочные линии и другие объекты, параметры которых трудно или невозможно измерить. В некоторых случаях обеспечить управление подобными объектами можно путем разработки САУ с большими запасами по диапазону управляемых величин, быстродействию, мощности и т. д. В других случаях можно вручную производить настройку САУ человеком-оператором по мере изменения внешних условий. Но радикальным путем обеспечения автоматического управления в таких случаях является введение в САУ возможности самонастройки, или адаптации.

Адаптивными называются системы, которые решают задачи управления в условиях неопределенных или переменных внешних воздействий или параметров объектов управления (ОУ) путем автоматической самонастройки. Фактически возможность адаптации есть возможность автоматического управления автоматической

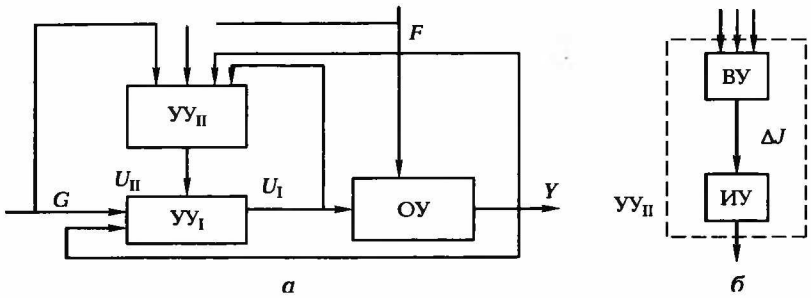


Рис. 12.5. Обобщенная схема адаптивной САУ

системой. Поэтому в схеме адаптивной САУ (рис. 12.5, *а*) дополнительно появляется устройство управления второго уровня ($УУ_{II}$).

Устройство управления первого уровня ($УУ_{I}$) в совокупности с ОУ образует обычную САУ, но допускает возможность перестройки. Задачу $УУ_{II}$ можно условно разбить на две. Вначале оно собирает информацию о работе основного контура управления, анализирует задающие и возмущающие воздействия (задача идентификации), а затем вырабатывает управляющее воздействие U_{II} (задача автоматической настройки). Управление первым контуром производится на основании критерия качества J его работы, подобного критерию оптимальности. Как и в неадаптивных системах, задачей управления может быть стабилизация или оптимизация этого критерия. Соответственно можно выделить адаптивные системы со стабилизацией и с оптимизацией качества управления.

Адаптивные САУ со стабилизацией качества управления. Такие системы вычисляют текущее значение критерия качества J, сравнивают его с заданным и в зависимости от знака отклонения производят перестройку в ту или иную сторону. Основное применение системы этого типа получили для стабилизации динамических характеристик. Поэтому в качестве критериев качества используют различные косвенные критерии переходного процесса — частотные, корневые, а также непосредственно частотные и переходные характеристики ОУ. Рассмотрим, как решаются задачи идентификации и настройки в этих системах.

Идентификация может производиться по внешним воздействиям, по моделям и с использованием пробных сигналов. При идентификации по внешним воздействиям вычислительное устройство (ВУ) (рис. 12.5, *б*), входящее в состав $УУ_{II}$, определяет отклонения критерия качества ΔJ путем анализа изменения входных и управляющих воздействий и реакций на них ОУ. На основании анализа ΔJ исполни-

тельное устройство (ИУ) вырабатывает управляющее воздействие $U_{\text{П}}$.

В тех случаях, когда изменению подвержены параметры ОУ, идентификацию удобно производить по эталонной модели объекта, параметры которой неизменны. Применение моделей позволяет значительно упростить ВУ, которому остается только сравнить между собой реакцию модели и реального ОУ.

Произвести полную идентификацию ОУ лишь на основании внешних и управляющих воздействий удается далеко не всегда. Поэтому приходится использовать специальные пробные сигналы. В качестве таких сигналов используют определенным образом подобранные воздействия, по реакции на которые можно определить критерий качества.

Второй этап адаптации — настройка основного контура — может осуществляться путем дополнительных воздействий, настройки параметров и настройки структура. При настройке путем дополнительных воздействий вырабатываемый сигнал $УУ_{\text{П}}$ сигнал $U_{\text{П}}$ используется как дополнительное задающее воздействие (уставка) для основного контура. Широко используются адаптивные системы с *самонастройкой параметров*. В этом случае воздействие $U_{\text{П}}$ приводит к изменению параметров звеньев основного контура; коэффициентов усиления, постоянных времени, коэффициентов затухания. В системах с *самонастройкой структуры*, или *самоорганизующихся* системах, воздействие $U_{\text{П}}$ приводит к изменению не значений параметров основного контура управления, а его структурной схемы. При самонастройке структуры воздействие $U_{\text{П}}$, каждому значению которого соответствует включение того или иного корректирующего звена в $УУ_{\text{I}}$, является дискретным. Например, в зависимости от характера изменения задающего воздействия, включая или выключая интегрирующее звено, можно изменять степень астатизма системы. Возможность изменения структуры в процессе настройки значительно расширяет пределы работоспособности адаптивных систем.

Адаптивные САУ с оптимизацией качества управления. В этих САУ, называемых экстремальными адаптивными системами, требуемое значение критерия качества не задано, его необходимо найти самой системе. Поэтому в экстремальных адаптивных системах, кроме задач идентификации и настройки, появляется еще задача *поиска экстремального значения*, предшествующая рабочей операции — настройке основного контура. В оптимальных неадаптивных системах поиск осуществляется проектировщиком однократно при разработке системы. В экстремальных адаптивных системах точка

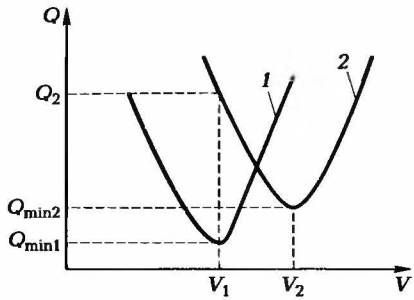


Рис. 12.6. Экстремальные характеристики ОУ

экстремума непостоянна, поэтому поиск ее надо осуществлять автоматически.

Поясним это на примере управления авиационным двигателем. Зависимость расхода топлива Q от скорости V (рис. 12.6) имеет минимум, положение которого определяется массой самолета, качеством топлива, атмосферным влиянием и т. д. При наборе этих факторов, соответствующем характеристике *1*, минимальный расход топлива Q_{min1} достигается при скорости V_1. При смещении экстремума, соответствующем характеристике *2*, неадаптивная система, стабилизирующая значение V_1, обеспечит расход Q_2. Адаптивная экстремальная система, произведя поиск нового значения скорости V_2, обеспечит расход топлива Q_{min2}, значительно меньший, чем Q_2.

Экстремальные адаптивные САУ классифицируют в зависимости от способа поиска экстремума. В отличие от оптимизации, выполнить которую в принципе можно любым способом, для экстремального управления, в зависимости от ОУ, подходит далеко не всякий алгоритм поиска. Очевидно, что поиск экстремума надо производить быстрее, чем смещается сам экстремум.

Если критерий качества J зависит от одного настроечного параметра U, то направление его изменения определяется по знаку производной dJ/dU, а в точке экстремума знак производной меняется на противоположный. При большом числе настроечных параметров используют случайный поиск, при котором делают небольшие изменения настроечных параметров в разных направлениях и сравнивают полученные значения показателя качества.

Реальные ОУ далеко не всегда допускают поисковые движения. В этих случаях используют *метод подстраиваемых моделей* (рис. 12.7). Анализатор характеристик подстраивает модель таким образом, чтобы ее характеристики совпадали с характеристиками самолета. Затем оптимизатор характеристик производит поиск экстремальных значений на подстроечной модели, после чего найденную настройку переносит на реальный автопилот. Практически все ука-

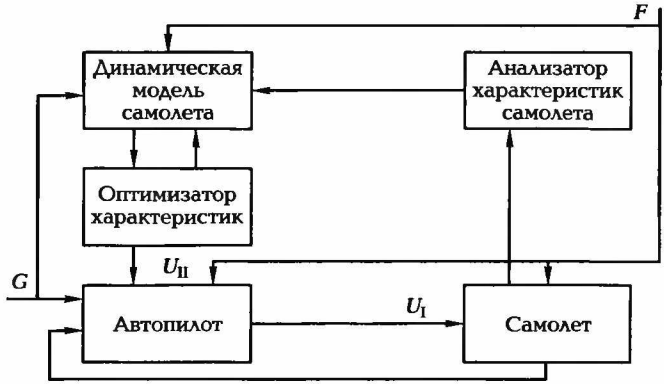


Рис 12.7. Экстремальная адаптивная САУ с подстраиваемой моделью

занные устройства (анализатор, модель, оптимизатор) представляют собой программы, заложенные в ЭВМ. В некоторых случаях, особенно при управлении объектами химического производства, вместо электрических моделей используют полупромышленные установки малой мощности.

12.6. САМООБУЧАЮЩИЕСЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотренные ранее адаптивные САУ, приспосабливаясь к переменным или неизвестным внешним условиям и параметрам ОУ, достигают поставленных перед ними целей управления. Но при этом сами цели управления в виде критериев качества должны быть строго сформулированы заранее.

По мере расширения сферы применения автоматического управления встречается все больше объектов, для которых неизвестны не только внешние условия, но даже цели управления не могут быть строго сформулированы. Типичным примером являются автоматические аппараты для исследования дна океана или поверхности других планет. Системы управления подобными объектами должны приспосабливать к внешним условиям не только свои параметры и структуру, но и вырабатывать и по мере необходимости изменять цели управления таким образом, чтобы обеспечить самосовершенствование системы. Такие САУ называются *самообучающимися*.

Как и переход к адаптивным системам, переход к самообучающимся системам приводит к появлению еще одного (или более) контура и устройства управления $УУ_{III}$ (рис. 12.8).

Это устройство управления, обладая памятью и развитыми логическими и алгоритмическими возможностями, анализирует поведение адаптивной системы $УУ_{II}$—$УУ_{I}$—ОУ, уточняет характеристики внешней среды и на основании собранной информации выдает управляющее воздействие U_{III} в виде критерия качества управления. Естественно, что в качестве столь совершенного устройства управления используют ЭВМ. Отдельным уровням управления в ЭВМ соответствуют не устройства, а программы, заложенные в нее и совершенствуемые по мере самообучения. Поэтому проектирование самообучающихся систем заключается прежде всего в алгоритмической разработке математического обеспечения. Подчеркнем, что при разработке невозможно предсказать, как будет изменяться система в результате самообучения.

Принцип самообучения оказывается необходимым не только при управлении, но и при идентификации ОУ. Благодаря его применению стало возможным создание различных устройств распознавания образов. Сюда относятся читающие автоматы, устройства распознавания телевизионной и звуковой информации, различные диагностирующие автоматы. Другое применение принципа самообучения — автоматическое управление большими системами. В таких системах необходимо перерабатывать столь большие объемы информации, что САУ с жесткой программой и детерминированной структурой становятся непригодными. Примерами больших САУ являются: системы телефонной связи, объединяющие миллионы абонентов, поведение которых описать невозможно; системы управления производством в масштабах предприятия и более; сложные энергетические и транспортные системы; различного рода оборонные системы и т.д. Для описания подобных систем используют ма-

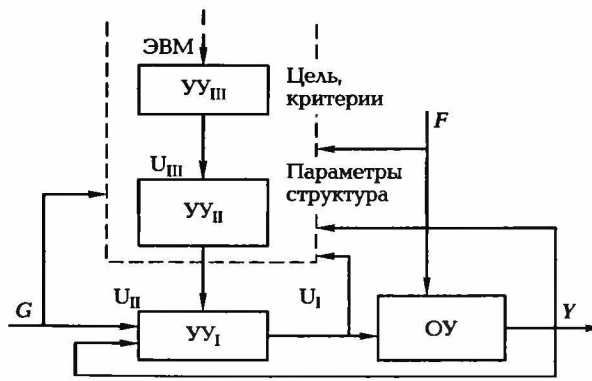


Рис. 12.8. Обобщенная схема «самообучающейся» САУ

тематический аппарат теории игр, в которой процесс управления рассматривается как процесс противодействия соперничающих алгоритмов. Для АСУП соперничающий алгоритм имеет случайный характер, для системы управления противовоздушной обороной — организованный характер.

Принцип самообучения, заложенный в рассматриваемых системах, носит общий характер. Именно самообучением обусловлен процесс эволюции в живой природе. И именно самообучение представляется наиболее перспективным путем создания искусственного интеллекта.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляет собой экстремальная система управления?
2. В чем заключается автоматический поиск наилучшего режима?
3. Нарисуйте структурные схемы экстремальной и самонастраивающейся систем автоматического регулирования.
4. Расскажите о принципах построения экстремальных систем.
5. Охарактеризуйте методы поиска экстремума системы.
6. Поясните структуру адаптивных систем со стабилизацией и оптимизацией качества управления.
7. Объясните значение понятия «самообучающиеся» системы автоматического управления?

Глава 13

СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

13.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В адаптивных системах для реализации сложных алгоритмов управления необходимы вычислительные машины. В зависимости от конкретных задач управления используются как аналоговые, так и цифровые ЭВМ.

Аналоговые вычислительные устройства используются для сложения и вычитания воздействий в контурах управления, для вычисления производных и интегралов; аналоговые ЭВМ применяются для построения перестраиваемых моделей ОУ в адаптивных системах и т. д. В этих случаях реализуются достоинства аналоговой техники: большое быстродействие, работа в реальном масштабе времени, возможность непосредственного сопряжения с измерительными и исполнительными устройствами, относительная простота и высокая экономическая эффективность. Недостаточная точность и помехоустойчивость аналоговых ЭВМ, неудобство и ограниченные возможности программирования, а также все возрастающая сложность реализуемых алгоритмов требуют применения цифровых ЭВМ.

При использовании цифровых вычислителей в САУ необходимо преобразовать аналоговые сигналы в цифровые при вводе их в ЦВМ и цифровые сигналы — в аналоговые при их выводе. Для этого ис-



Рис. 13.1. Упрощенная схема цифровой САУ

пользуют соответственно аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи (рис. 13.1).

Аналого-цифровое преобразование осуществляется путем квантования непрерывного сигнала по времени и по уровню.

Квантование по времени производится на основании теоремы Котельникова. Согласно этой теореме непрерывный сигнал, спектр которого ограничен частотой f_{max}, можно представить в виде его отдельных значений $x(t_i)$, взятых через промежуток времени

$$\Delta t \le 1/(2f_{max}).$$

Соответственно частоту дискретного сигнала f_0 можно определить как

$$f_0 = k_з \cdot 2f_{max},$$

где коэффициент запаса $k_з = 2...10$ выбирают в зависимости от требуемой точности и уровня помех.

В результате использования квантованных по времени сигналов система становится импульсной. Следовательно, можно осуществить многоточечное управление, при котором одно управляющее устройство используется для управления многими объектами (или различными параметрами одного объекта) путем последовательного переключения.

Квантование по уровню заключается в том, что весь диапазон возможных значений сигнала x_{max} разбивается на M уровней. В качестве значения сигнала в момент времени t_i берется не истинное его значение, а номер ближайшего уровня m в виде цифрового кода. Как видно из рис. 13.2, возникающая при этом ошибка квантования по уровню δ_x не превышает половины шага квантования Δx. Следовательно, увеличивая число уровней квантования M и соответственно уменьшая Δx, эту ошибку можно сделать сколь угодно малой.

Квантование по времени приводит к необходимости использования при анализе систем дискретного преобразования Лапласа, используемого для импульсных систем. Квантование по уровню является существенно нелинейной операцией, приводящей к необходимости рассмотрения цифровых систем как нелинейных систем. Поэтому с позиций теории регулирования цифровые САУ являются нелинейными импульсными системами.

В САУ используются как специализированные цифровые вычислители, так и серийные ЦВМ. Специализированные вычислительные устройства управления, иначе называемые *цифровыми регуляторами*, разрабатываются специально для конкретных САУ. Их рационально использовать в тех случаях, когда программы управления постоянны и перепрограммирование не требуется. В настоящее

время для этих целей все шире используют встроенные микропроцессоры, сочетающие в себе большие алгоритмические возможности с высокой экономической эффективностью. Микропроцессоры широко используются, например, при построении систем числового программного управления станками и промышленными роботами-манипуляторами.

Для многоточечного управления сложными ОУ используют серийно выпускаемые управляющие микроЭВМ и мини-ЭВМ (УВМ). Основными особенностями малых ЭВМ, предназначенных для применения в САУ, являются: упрощенная система команд; ограниченный объем оперативной памяти (примерно 64 Кбайт); сокращенная длина машинных слов (обычно 2 байт); упрощенный интерфейс; наличие дополнительных устройств для автоматического схемного контроля работы всех блоков и резервирование особо важных блоков для повышения надежности работы ЭВМ.

В настоящее время в САУ вместо отдельных ЭВМ используют управляющие вычислительные комплексы (УВК), представляющие собой унифицированную систему технических и программных средств, эксплуатационного обеспечения и стандартов. УВК используются в автоматизированных системах управления технологическими процессами (АСУ ТП), для автоматизации научных и технических экспериментов, в испытательных и измерительных САУ.

Набор технических средств УВК состоит из процессорных устройств различной производительности, устройств ввода-вывода, устройств связи с объектами (УСО), устройств передачи данных (УПД), мультисистемных средств и других устройств, позволяющих компоновать самые разнообразные САУ.

Области применения САУ все время расширяются, а сложность и масштабы ОУ непрерывно возрастают.

В последние годы появился ряд задач управления, для которых недостаточны возможности ни аналоговых (мала точность и алго-

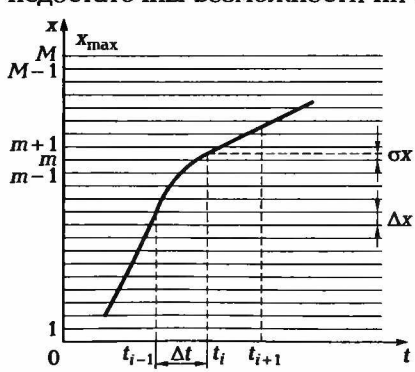


Рис. 13.2. Квантование по времени и уровню

ритмические возможности), ни цифровых (мало быстродействие) ЭВМ. К таким задачам относятся: управление движущимися объектами, когда траектория формируется в процессе движения, задачи моделирования и идентификации сложных объектов (включая биологические) в реальном масштабе времени; создание комплексных тренажеров (например, для подготовки летчиков и космонавтов). Для решения подобных задач используют гибридные вычислительные системы (например, ГВС-100), сочетающие в себе достоинства аналоговых и цифровых ЭВМ.

13.2. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Машиностроение является основой для успешного развития всех отраслей народного хозяйства. Эффективность машиностроительного производства и качество продукции в значительной степени определяются уровнем его автоматизации. Главное направление в автоматизации машиностроительного производства в настоящее время основано на широком внедрении цифровых вычислительных устройств и машин.

Для управления универсальными станками и другим технологическим оборудованием применяются *системы числового программного управления* (СЧПУ), основанные на цифровых, буквенных и других символах, однозначно определяющих алгоритм управления. СЧПУ управляют перемещением рабочих органов станков и оборудования, их скоростью при формообразовании деталей, установочными перемещениями, а также последовательностью и режимами обработки, вспомогательными функциями.

Управляющие программы СЧПУ содержат два вида информации, необходимой для автоматической работы станков (оборудования): геометрическую и технологическую. Геометрическая информация содержит данные о форме, размерах элементов детали и инструмента, их взаимном положении в пространстве. Технологическая информация содержит указания о последовательности ввода в работу инструментов, изменении режимов резания, смене инструментов, включении подачи охлаждающей жидкости и т. п.

Технологическая информация используется для управления и в других видах программных устройств — системах циклового программного управления (СЦПУ). Геометрическая информация в СЦПУ реализуется переналаживаемыми упорами, размещенными непосредственно на станке (оборудовании). Преимущества СЦПУ в

их большой универсальности, возможности быстрой переналадки и корректировки программы, возможности включения в более сложные комплексные системы автоматического производства.

СЧПУ относятся к сложным многоконтурным САУ. Они одновременно управляют несколькими независимыми или связанными параметрами объекта (координатами). В соответствии с этим в структуре СЧПУ имеется несколько контуров (каналов) управления. Так, например, в металлорежущих станках СЧПУ управляет одновременно главным движением формообразования, движением подачи и вспомогательными движениями: транспортировки, закрепления, отвода и подвода инструмента, смены инструмента и т. д.

СЧПУ могут классифицироваться по различным признакам:

- назначению — системы позиционные, прямоугольные, контурные (непрерывные), универсальные (комбинированные);
- числу потоков информации — системы незамкнутые, замкнутые самоприспособляющиеся (адаптивные);
- принципу задания программы — с представлением программы в декодированном виде на магнитной ленте, в кодированном виде (в абсолютных координатах, приращениях) на перфоленте и др., с передачей программы на станок непосредственно от центральной ЭВМ;
- типу привода — системы со ступенчатым приводом (только для позиционной и прямоугольной обработки), с регулируемым приводом (для позиционной и прямоугольной обработки), со следящим и с шаговым приводом;
- количеству одновременно управляемых координат — по одной, двух, трем, четырем и более координатам.

По структуре СЧПУ подразделяются на *разомкнутые* и *замкнутые*. Принцип управления разомкнутых СЧПУ основан на использовании только задающего воздействия, заложенного в управляющую программу (принцип жесткого управления). В замкнутых СЧПУ, помимо задающего воздействия — управляющей программы — используется также информация о действительных значениях управляемых параметров, т. е. в этих системах используется принцип управления по отклонению управляемого параметра (гибкое управление).

В *комбинированных* СЧПУ управление основными параметрами (главное движение, движения подачи) осуществляется замкнутыми контурами управления, работающими по принципу отклонения, а управление вспомогательными параметрами (закрепление заготовок, подвод инструмента, смена инструмента, включение охлаждаю-

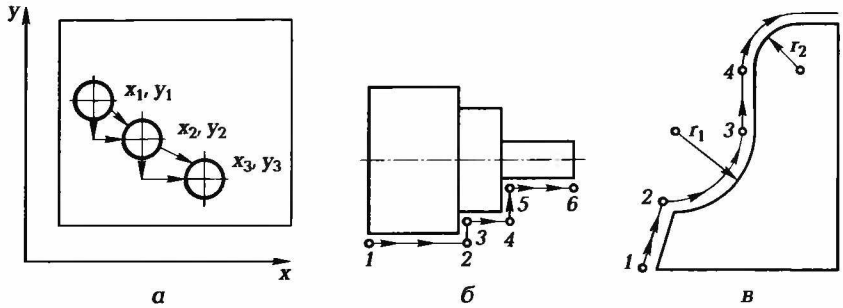


Рис 13.3. Вид управления в СЧПУ:
а — позиционное; *б* — прямоугольное; *в* — контурное

щей жидкости и т. д.) может осуществляться разомкнутыми контурами управления.

В *адаптивных* СЧПУ существуют дополнительные датчики информации о параметрах процесса обработки: силе резания, температуре инструмента, износе инструмента и т. д. Эта информация используется в СЧПУ для корректировки технологических параметров, заданных управляющей программой, в зависимости от изменения припуска на обработку, твердости и жесткости заготовок, состояния инструмента и т. д.

В зависимости от назначения оборудования, оснащенного устройствами ЧПУ, системы управления подразделяются на позиционные, прямоугольные и контурные.

В *позиционных* системах управления программируются координаты отдельных дискретных точек (рис. 13.3, *а*), определяющих положение — позицию инструмента или заготовки. Такие системы применяются для управления сверлильными и расточными станками. Разновидностью позиционных систем управления являются *прямоугольные*, управляющие перемещением вдоль отрезков, параллельных направляющим станка (рис. 13.3, *б*). Прямоугольные системы предназначены для последовательного управления одной из двух взаимно перпендикулярных координат. Такие системы применяются для управления обработкой на токарных станках деталей типа ступенчатых валиков, а на фрезерных станках — для управления обработкой деталей с прямоугольным контуром.

В *контурных* СЧПУ осуществляется одновременное взаимосвязанное управление по нескольким координатам, в результате чего получается деталь со сложным профилем (рис. 13.3, *в*). Такие системы применяются для управления токарными, фрезерными, электроэрозионными станками, а также сварочными машинами.

В многооперационных станках, использующихся для обработки одновременно несколькими инструментами сложных деталей (типа корпус), применяются *универсальные* (*позиционно-контурные*) системы управления.

13.3. СОПРЯЖЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ С ДАТЧИКАМИ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ

Незамкнутые системы ЧПУ характеризуются наличием одного потока информации, направленного от считывающего устройства (СУ) к исполнительному механизму (ИМ). Считанные с программного носителя (ПН) сигналы поступают в устройство управления (УУ), а затем после необходимых преобразований они поступают в шаговый двигатель (ШД), связанный через гидрораспределитель (Г) с гидродвигателем ГД. В гидроусилителе моментов (ГМ) имеется местная жесткая обратная связь (ОС). Происходит перемещение рабочего органа в заданное положение, точность перемещения определяется погрешностью отработки ШД командных импульсов, погрешностями гидроусилителя, зубчатых передач, ходового винта и т.д. Но в системе нет датчика пути и соответственно нет потока информации о фактическом положении исполнительного механизма, что снижает точностные показатели такой системы.

Замкнутые системы ЧПУ имеют два потока информации (рис. 13.4).

Один от СУ, второй — от датчика обратной связи (ДОС). Сигналы с программоносителя через СУ поступают в устройство управления УУ, а затем через блок сравнения (БС), дешифратор и усилитель (ДШ) к исполнительному двигателю (ИД). При перемещении рабочего органа могут возникнуть отклонения от программы, вызванные за-

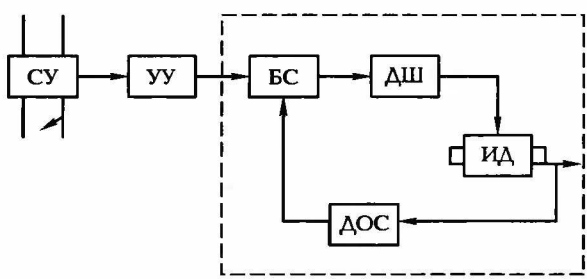


Рис. 13.4. Блок-схема замкнутой системы ЧПУ

зорами в системе привода, упругими деформациями системы, износом инструментов и т. д. Датчик обратной связи измеряет действительное перемещение рабочего органа или его положение и направляет сигнал в БС, где сигналы обратной связи сопоставляются с сигналами от СУ. При возникшем расхождении на выходе БС появляется сигнал, который через ДШ направляется к ИД, — произойдет перемещение рабочего органа в нужном направлении. Как только рассогласование пропадает, сигналы на выходе из блока исчезнут и движение прекратится. Так работает следящий привод подач, применяемый в контурных системах ЧПУ. В следящих приводах подач используют исполнительные двигатели постоянного тока.

Контур обратной связи, кроме следящего привода, имеет ступенчато-регулируемый и бесступенчато-регулируемый приводы подач, используемые в позиционных и прямоугольных системах.

13.4. АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ

В зависимости от числа одновременно управляемых координат системы ЧПУ подразделяются на системы с управлением по одной, двум, трем, четырем, пяти и более координатам.

В зависимости от вида энергии, использующейся в двигателях устройств привода, системы ЧПУ, они подразделяются на системы с электроприводом, электрогидравлическим приводом, электропневматическим приводом.

В системах числового программного управления основным видом привода являются различные следящие приводы, построенные по принципу замкнутых систем автоматического управления — следящих систем. Реже применяются приводы разомкнутого типа, причем последние могут быть построены только на базе шаговых двигателей, допускающих непосредственное программное управление как значением перемещения, так и его скоростью.

В устройствах со следящим приводом могут использоваться двигатели постоянного и переменного токов, шаговые двигатели, гидравлические и пневматические двигатели. Частота вращения двигателей в следящем приводе должна изменяться в широком диапазоне — в 1000 и более раз. В приводе используются датчики перемещения, создающие сигнал обратной связи. Этот сигнал направляется в устройство ЧПУ, где сравнивается с сигналом задающего воздействия, получаемым от управляющей программы. В качестве

датчиков перемещения в аналоговых устройствах следящего привода в СЧПУ используются сельсины, вращающиеся трансформаторы, индуктосины, многооборотные потенциометры. В аналоговых устройствах следящего привода СЧПУ используются преобразователи перемещения в код различного типа.

В зависимости от структуры устройства ЧПУ все СЧПУ подразделяются на два основных вида: построенные по принципу цифровой модели и построенные по структуре ЭВМ.

В системах, где устройство ЧПУ построено по принципу *цифровой модели*, все операции выполняются специализированными электронными блоками, функции которых строго определены в соответствии с конкретными операциями, а связи с другими блоками неизменны. Такой принцип построения называется *агрегатным*, так как для этого используются блоки — агрегаты с четко выраженными функциями. Функционирует такое устройство управления по неизменному алгоритму, причем все блоки работают параллельно и выполняют закрепленные за ними операции по преобразованию информации.

В системах, где устройство ЧПУ построено по *структуре* ЭВМ, блоки имеют универсальный характер и связи между ними могут изменяться по программе. Операции управления выполняются последовательно через центральное арифметическое устройство. В составе блоков имеются запоминающие устройства: оперативное (ОЗУ) и постоянное (ПЗУ). Функционирование этих устройств управления осуществляется по алгоритму переработки информации, поступающему в виде управляющей программы, т. е. для этих устройств требуется специальное математическое обеспечение. Математическое обеспечение может храниться в ПЗУ, если не требуется частая смена алгоритма работы, или может вводиться через устройство ввода как часть управляющей программы. Такое построение устройства ЧПУ позволяет легко корректировать алгоритм работы, совершенствовать его по мере накопления статистической информации о качестве изготовленных деталей.

В связи с внедрением в серийное производство микропроцессоров, построенных на больших интегральных схемах (БИС), перспективным является построение устройств ЧПУ на основе применения одного или нескольких микропроцессоров (т. е. используется агрегатный принцип построения на базе микропроцессоров, запрограммированных на конкретные задачи). Можно построить устройство ЧПУ и на базе микроЭВМ с дополнением микропроцессором или контроллерами — программируемыми логическими устройствами для переработки информации. В дальнейшем по мере совершенство-

вания элементной базы рациональным может стать построение ЧПУ на базе мини-ЭВМ, что расширит функциональные возможности и облегчит включение СЧПУ в более сложные комплексные системы автоматизированного производства: автоматические линии, участки, цехи, системы гибкого автоматизированного производства.

Обобщенная функциональная схема СЧПУ токарного станка показана на рис. 13.5. Система построена по принципу разомкнутой системы управления. Исполнительные двигатели: главного движения (М1), движения подач (М2, М3), вспомогательного движения — поворота и подачи револьверной головки с инструментами (М4, М5) — получают управляющие сигналы от блока управления приводами (БУП).

Устройство ввода-вывода (УВВ) воспринимает управляющую программу от центральной ЭВМ (при групповом управлении, когда СЧПУ работает в составе системы гибкого автоматизированного производства (ГАП) или считывает его с перфоленты (при автономном управлении). Управляющая программа, промежуточные результаты вычислений, необходимые константы хранятся в запоминающем устройстве (ЗУ) и по мере надобности используются вычислительным устройством (ВУ) для выработки управляющих воздействий на БУП. Последний содержит электронные блоки управления шаговыми двигателями или усилители сигналов рассогласования (в устройствах следящего привода), тиристорные преобразователи для управления скоростью главного движения (в данной схеме — частотой вращения шпинделя) и т. д.

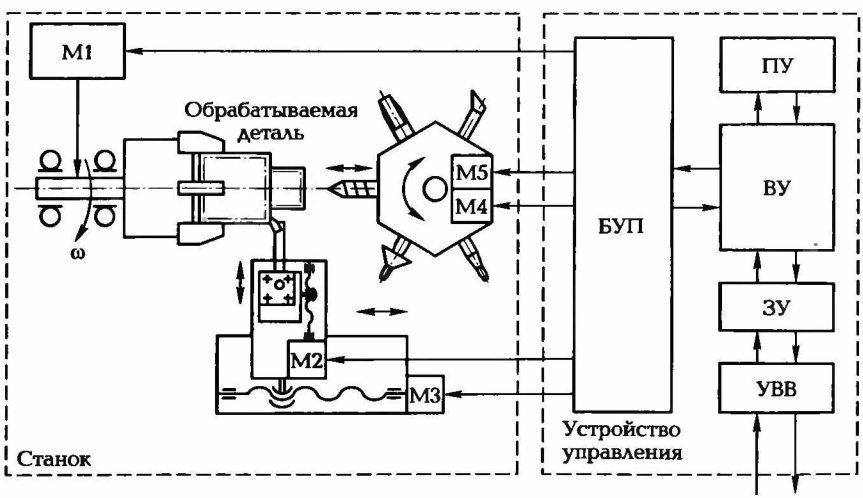


Рис. 13.5. Функциональная схема СЧПУ токарного станка

Панель управления (ПУ) имеет кнопки и клавиатуру для контроля отдельных блоков или для ручного управления приводом, для полного или частичного (при настройке) ручного ввода управляющей программы в ЗУ и обработки по ней первой детали с последующей редакцией программы (СЧПУ с непосредственным вводом программы). Панель управления позволяет вывести на индикацию (на дисплей) любой кадр программы или другую информацию, перерабатываемую системой, сигнализировать о появлении сбоев в работе.

В позиционных СЧПУ, работающих по жесткому алгоритму, ВУ может отсутствовать. В контурных СЧПУ, построенных по принципу цифровой модели, в качестве ВУ используются *интерполяторы.*

Интерполятор представляет собой специализированный блок-агрегат, управляющий взаимосвязанно скоростью обработки одновременно по двум координатам. Интерполяторы бывают линейные, круговые, параболические.

Линейные интерполяторы используют, если контур обрабатываемой детали можно представить в виде отрезков прямых, расположенных под любыми углами к осям координат. Криволинейные участки аппроксимируются в этом случае отрезками прямых. *Линейно-круговые интерполяторы* применяются при обработке деталей со сложным контуром, составленным из различных дуг окружностей и отрезков прямых. Дуга окружности в этих интерполяторах задается одним кадром программы, а общий криволинейный контур аппроксимируется несколькими прямыми и дугами окружностей разного радиуса. *Параболические интерполяторы* применяются при обработке очень сложных деталей (лопаток гребных винтов, лопаток турбин и т. д.)

В СЧПУ, построенных по принципу структуры ЭВМ, в качестве ВУ используются микропроцессоры, микроЭВМ и мини-ЭВМ. СЧПУ на базе мини-ЭВМ наиболее перспективны при создании более сложных комплексных систем автоматического производства. К таким системам относятся: технологические модули, технологические ячейки, автоматические линии, участки, цехи и системы ГАП.

Технологический модуль — это автоматизированный многооперационный станок с автоматическим манипулятором, объединенные общей САУ.

Технологическая ячейка — это автоматический производственный комплекс из группы станков с ЧПУ, автоматического манипулятора, транспортных и накопительных устройств, объединенных общей САУ от центральной ЭВМ и обеспечивающих полную или частичную обработку определенного типа деталей.

Автоматическая линия — это комплекс автоматизированных рабочих машин, расположенных в последовательности выполняемых

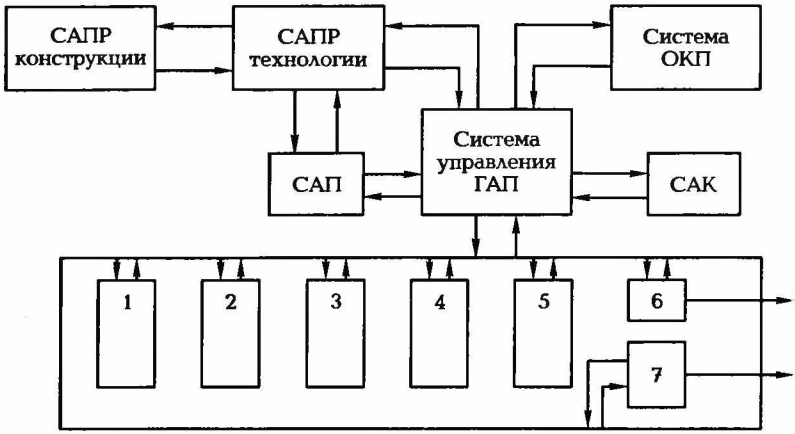


Рис. 13.6. Структурная схема системы ГАП

технологических операций, связанных средствами транспортировки и вспомогательным оборудованием, объединенных общей САУ от центральной ЭВМ и обеспечивающих полный цикл обработки деталей или группы однотипных деталей.

Автоматический участок — это комплекс из нескольких автоматизированных станков, модулей или ячеек, объединенных с помощью транспортной системы, а также манипуляторов, вспомогательных устройств и единой системы группового управления от центральной ЭВМ, обеспечивающих комплексную обработку однотипных деталей с разной последовательностью операций.

Системы ГАП предназначены для автоматизированного проектирования новых изделий и автоматизированного изготовления в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Переход системы ГАП на выпуск новых изделий обеспечивается программными средствами без перестройки оборудования ручным способом. Система ГАП объединяет несколько комплексов, в каждом из которых для управления используется центральная ЭВМ. Для управления системой ГАП используется мощная главная ЭВМ, и вся структура управления основана на иерархическом принципе.

На рис. 13.6 показана структурная схема управления системой ГАП, в которую входят следующие подсистемы:

- САПР конструкции — система автоматического проектирования конструкций новых изделий, состоящая из автоматических рабочих мест конструктора (*АРМ К*), на базе ЭВМ;

- САПР технологии — система автоматического проектирования технологических процессов изготовления новых изделий, состоящая из автоматических рабочих мест технолога (АРМТ), на базе ЭВМ;
- Система ОКП — система оперативно-календарного планирования, связанная через ЭВМ с системой АСУП;
- САП — система автоматической подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ и автоматических манипуляторов;
- САК — система автоматического контроля и диагностики, контролирует работу всех систем, входящих в систему ГАП, а также фиксирует и классифицирует неисправности в системах.

Непосредственно в систему автоматического производства входят подсистемы:

1 — подсистема распознавания предметов труда, приспособлений, инструмента;

2 — подсистема складирования;

3 — подсистема транспортировки;

4 — подсистема манипулирования (перемещение предметов труда, приспособлений, инструмента);

5 — подсистема обработки предметов труда (станки и оборудование для основных технологических операций);

6 — подсистема контроля;

7 — подсистема удаления стружки.

Класс ЭВМ, используемых в каждой системе и подсистеме, зависит от сложности выполняемых задач. В целом система управления ГАП представляет собой комплекс ЭВМ, связанный с АСУП.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каким образом осуществляется аналого-цифровое преобразование сигнала?
2. Расскажите о принципах квантования по времени и по уровню. В чем состоит их различие?
3. Для каких целей применяются системы числового программного управления (с ЧПУ)?
4. Перечислите признаки классификации систем ЧПУ.
5. Расскажите о принципах управления позиционных, контурных и универсальных систем ЧПУ.
6. Поясните принцип действия замкнутой системы ЧПУ и нарисуйте ее блок-схему.

Глава 14

УПРАВЛЯЮЩИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

14.1. ФУНКЦИИ И СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Основная область применения рассмотренных средств телемеханики — это построение на их основе АСУ технологическими процессами.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) — это система для выработки и реализации управляющих воздействий на технологический объект управления в соответствии с принятым критерием управления. Автоматизированной она называется потому, что является человекомашинной системой, т. е. предполагает участие в управлении и ЭВМ, и человека-оператора. Основными причинами необходимости человека в процессе управления являются недостаточная гибкость и надежность автоматической системы. Возникновение непредвиденных ситуаций в ОУ или случайный сбой системы управления (прежде всего ЭВМ) при отсутствии оператора могут привести к переводу ОУ в аварийный режим; оператор в данном случае выполняет функции контроля действий автоматической части системы. Другими причинами участия человека в управлении технологическими процессами являются сложность в отдельных случаях стыковки ЭВМ с регуляторами, а также экономические соображения.

Степень участия оператора в работе АСУ может быть различна (рис. 14.1). В одних случаях ЭВМ используют только для сбора и предварительной обработки данных о ходе технологического процесса, а формирование и выдачу управляющих воздействий осуществляет оператор; в других — ЭВМ рассчитывает и предлагает, оператору оптимальные варианты управления и т. д. Соответственно различают информационные, управляющие, а также вспомогательные функции АСУ ТП.

Информационными функциями являются: контроль соответствия технологических параметров заданным значениям; измерение отдельных параметров по запросу оператора; отображение и регистрация информации о ходе технологического процесса; обнаружение и сигнализация о возникновении опасных и аварийных ситуаций; расчет оптимальных режимов работы оборудования и вариантов управления.

К *управляющим функциям* АСУ ТП относятся: автоматическая выдача управляющих воздействий на технологические объекты; автоматический пуск и остановка различного оборудования. Под *вспомогательными функциями* понимают учет выпуска продукции и загрузки оборудования, связь с АСУ верхнего уровня, а также автоматическая диагностика и контроль функционирования АСУ ТП. Чем совершеннее и надежнее автоматизированная система, тем больше функций по реализации управления она осуществляет автоматически, приближаясь к системам автоматического управления.

Системы АСУ ТП используются для управления самыми различными объектами:

1) группами станков с ЧПУ, для которых применение АСУ ТП позволяет сэкономить оборудование и обеспечить оптимальную загрузку;

2) парогенераторными установками большой мощности, представляющими собой сложные объекты с экстремальной характеристикой и переменными параметрами;

3) автоматическими линиями производства интегральных схем, в которой несколько десятков различных технологических установок;

4) нефтепроводами большой протяженности, в которых расстояние между пунктом управления и контролируемыми пунктами может составлять тысячи километров;

5) атомными реакторами, энергоблоками на электростанции, доменными печами и т. д.

Таким образом, АСУ ТП в общем случае представляет собой многоточечную систему, построенную с использованием адаптивных

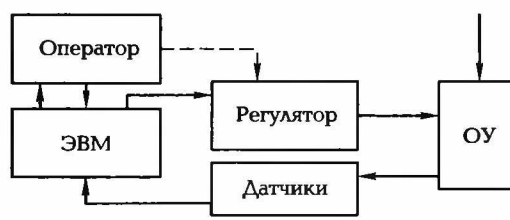


Рис. 14.1. Оператор и ЭВМ в АСУ

принципов, в которой широко применяются средства вычислительной техники различной сложности, а передача информации осуществляется средствами телемеханики.

Для того чтобы при большом разнообразии ОУ конкретные АСУ ТП можно было проектировать на основе типовых блоков, используют принцип *агрегатизации структуры*. В соответствии с этим принципом система компонуется из унифицированных автономных функциональных блоков различного назначения, которые легко стыкуются между собой. Промышленностью разработана агрегатная система средств телемеханической техники (АСТТ), номенклатура функциональных блоков которой позволяет компоновать телемеханические комплексы самого различного назначения.

Типовыми блоками АСТТ являются аналого-цифровые и цифроаналоговые преобразователи, преобразователи кодов, коммутаторы, блоки управления выполнением отдельных телемеханических функций, блоки оперативной памяти, устройства обработки информации, блоки синхронизации, блоки сопряжения с различными устройствами ввода-вывода и др. АСТТ входит в Государственную систему приборов (ГСП). Комплексы АСТТ могут работать по различным каналам связи: по выделенной физической цепи, по телеграфным и телефонным каналам (как выделенным, так и коммутируемым), а также по радиоканалам. Для обеспечения необходимой надежности АСУ ТП в комплексах АСТТ предусматривается многократное резервирование аппаратуры, защитное кодирование и обратная связь при передаче информации. АСТТ допускает сопряжение с системами вычислительной техники (АСВТ и СМ). В процессе эксплуатации возможности конкретных комплексов могут быть легко расширены за счет наращивания аппаратуры и замены отдельных блоков. Назовем выпускающиеся отечественной промышленностью комплексы ТМ-120 для построения АСУ ТП трубопроводного транспорта, ТМ-800 для электростанций и других предприятий с сосредоточенными объектами, ТК-210 для управления системами жилищно-коммунального хозяйства. Указанные системы обеспечивают централизацию управления из одного ПУ, причем все их функции реализуются чисто аппаратным путем.

В настоящее время происходит переход к выпуску телемеханических комплексов второй очереди АСТТ-2, основанных на микропроцессорах и микро-ЭВМ. В этих комплексах значительно расширяются функции контролируемых пунктов (КП), обеспечивается возможность перепрограммирования. Это позволяет строить как централизованные, так и децентрализованные АСУ ТП. В целом комплексы АСТТ-2 представляют собой многомашинные системы, в которых

происходит обмен информацией между ЭВМ контролируемых пунктов и пункта управления.

Рассмотрим обобщенную структурную схему АСУ ТП (рис. 14.2).

Основой КП являются два микропроцессора (МП), например, типа С5-02, один из которых обеспечивает сбор и обмен информацией, а другой — обработку и воспроизведение ее. Микропроцессор обмена обслуживает до 512 датчиков текущих значений (ДТЗ — телеизмерение текущее), до 256 датчиков интегральных значений (ДИЗ — телеизмерение интегральное), до 512 датчиков состояний двухпозиционных объектов (ДС2 — телесигнализация). Он также выдает около ста двухпозиционных команд соответствующим исполнительным устройствам (ИУ2 — телеуправление) и уставки (предписанные значения) местным регуляторам (МУР — телерегулирование) и управляет обменом информацией по каналу связи с ПУ или другим КП. Конечно, сигналы всех датчиков и команды должны быть унифицированы. Микропроцессор обработки производит предварительное сжатие передаваемых данных, хранит уставки, обеспечивает вывод информации на местный диспетчерский щит (ДЩ). При отказе одного микропроцессора другой выполняет его функции, обеспечивая работоспособность КП, но с меньшей скоростью.

Аналогично построен и пункт управления, также содержащий два микропроцессора. Коммутатор каналов связи (ККС) под управлением микропроцессора обмена обеспечивает связь с сотней и более КП по различным каналам, позволяя строить быстродействующие САУ с самой различной структурой (радиальной, кольцевой, древовидной и т. д.). Функциями микропроцессора обработки ПУ являются реализация принятого алгоритма управления, прогнози-

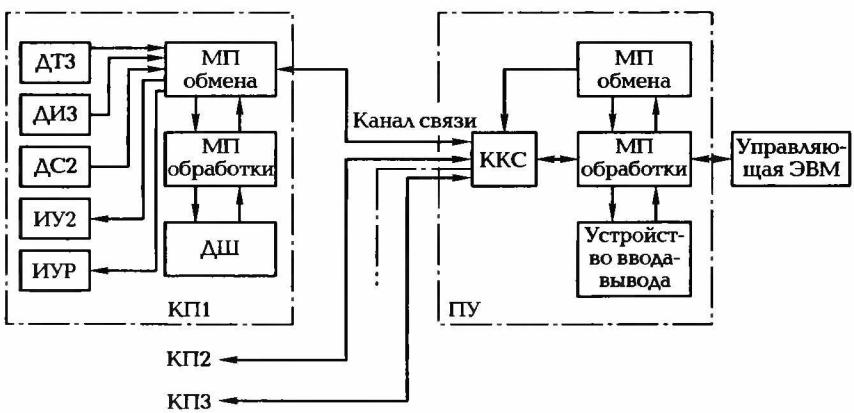


Рис. 14.2. Структурная схема АСУ ТП

рование аварийных ситуаций, регистрация простоев оборудования, преобразование телемеханических адресов в технологические наименования, управление вводом-выводом информации. Микропроцессор обработки обеспечивает связь с управляющей ЭВМ, а через нее — с ЭВМ высшего уровня, позволяя строить иерархические системы.

Рассмотренные схемы соответствуют управляющему вычислительному телемеханическому комплексу УВТК-300, предназначенному для АСУ ТП предприятий химической, металлургической и горно-добывающей промышленности; аналогично построен комплекс широкого применения ТК-301 и другие комплексы АСТТ-2. Все они снабжены достаточно совершенным математическим обеспечением, затраты на которое уже сейчас достигают 60 ... 70 % общей стоимости системы. В дальнейшем, очевидно, будет происходить все более полное слияние систем телемеханики, передачи данных и средств вычислительной техники.

14.2. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ НА БАЗЕ МИКРОЭВМ

Одна из основных областей применения средств телемеханики — построение на их основе автоматизированных систем управления. АСУ является человекомашинной системой, т. е. в управлении предполагается участие как ЭВМ, так и человека-оператора. Основной причиной необходимости участия человека в процессе управления является недостаточная гибкость и надежность автоматической системы. Степень участия оператора в работе АСУ может быть различной. В одних случаях ЭВМ используется только для сбора и предварительной обработки данных, а формирование и выдача управляющих воздействий осуществляется оператором, в других — ЭВМ рассчитывает и предлагает оператору оптимальные варианты управления и т. д.

Системы АСУ строятся по иерархическому принципу, при котором система низшего уровня является соподчиненной частью системы высшего уровня. В зависимости уровня управления различают: общегосударственную автоматизированную систему (ОГАС); отраслевые системы управления (ОАСУ); системы управления предприятием (АСУП) и системы управления технологическими процессами (АСУ ТП).

Процесс управления сводится к сбору и обработке больших массивов информации, что дает возможность выработать оптимальный

алгоритм управления. Для этой цели используют соответствующие технические средства и прежде всего ЭВМ.

В зависимости от выполняемых функций разделяют автоматизированные системы организации управления (ОГАС, ОАСУ, АСУП) и технологические (АСУ ТП). Все шире развиваются интегрированные АСУ, выполняющие и организационные, и технологические функции.

Любая АСУ состоит из математических и программных средств и комплекса технических средств (КТС). На рис. 14.3 представлена структура КТС интегрированной АСУ, объектом управления которой является производственный процесс. Обработку информации в АСУ осуществляет вычислительный центр (ВЦ) предприятия, включающий одну или несколько ЭВМ. Для сбора информации о ходе производственного процесса используют датчики устройства ручного ввода. Аналоговая информация с датчиков преобразуется в цифровую форму с помощью АЦП (аналого-цифровых преобразователей). Устройства ручного ввода воздействуют на устройства подготовки данных (УПД), позволяющие занести информацию на перфоленты, перфокарты, магнитные диски. Ручной ввод информации осуществляется также с абонентских пунктов (АП), позволяющих вести активный диалог оператора с ЭВМ. Для передачи информации в АСУ используют системы передачи данных, содержащие аппаратуру передачи данных (АПД), каналы связи и мультиплексоры (МП), осуществляющие сопряжение каналов связи с каналами ввода-вывода ЭВМ. Вид каналов связи определяется расстоянием передачи инфор-

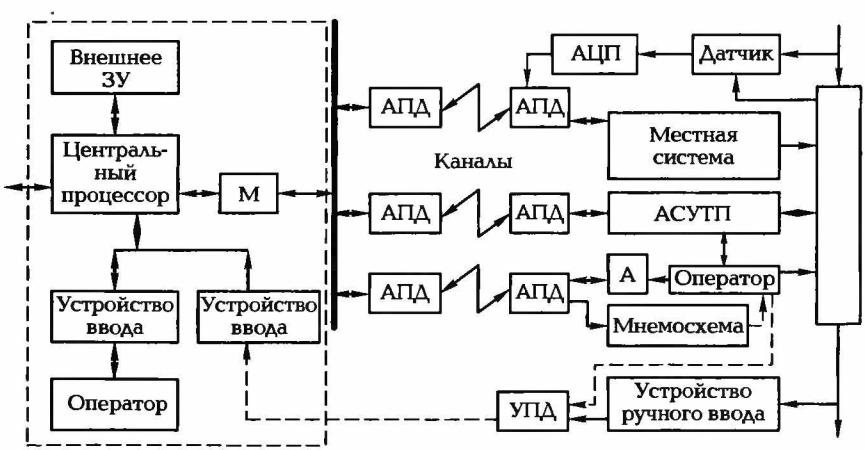


Рис. 14.3. Схема взаимодействия технических средств интегрированной АСУ

мации, объемом передаваемых данных, требованиями к достоверности передачи и т. д.

Для автоматизированных систем используются обычно стандартные телеграфные (скорость передачи до 200 бит/с) и телефонные (скорость передачи до 9600 бит/с) каналы связи. Управляющие воздействия на производственный процесс в системе осуществляются как вручную через операторов, так и автоматически непосредственно от ЭВМ. Чтобы осуществить ручные воздействия, вывод информации из ЭВМ осуществляется в удобной для оператора форме. При этом используются печатающие устройства, дисплеи, графопостроители, мнемосхемы и т. д. Автоматические воздействия осуществляются различными исполнительными устройствами и местными автоматическими регуляторами.

При создании автоматизированных систем используется принцип агрегатизации структуры. В соответствии с этим принципом система компонуется из унифицированных автономны функциональных блоков различного назначения, которые легко стыкуются между собой. Промышленностью разработана агрегатная система средств телемеханической техники (АСТТ), включающая функциональные блоки и комплексы самого различного назначения.

Комплекс технических средств АСУ всегда разрабатывается как открытая система, позволяющая изменять его состав при изменении технологии производства или расширении функций АСУ.

14.3. НАЗНАЧЕНИЕ И СХЕМА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА

Решение проблемы комплексной автоматизации возможно только путем принципиально новых машин, имитирующих действие человека в технологических процессах. Такими машинами являются промышленные роботы (ПР), исполнительными устройствами которых стали многозвенные манипуляторы с управляемыми приводами по каждой степени подвижности.

Робот — это автомат с внешней обратной связью, состоящей из рецептора (чувствительного элемента), преобразователя информации, запоминающего устройства, манипулятора (исполнительного элемента) и каналов связи, соединяющих эти элементы. Существующие конструкции роботов разделяют на три класса: человекоподобные, информационные и промышленные роботы.

Человекоподобные роботы создавались в основном в рекламных целях, хотя делались попытки их использования для различных

практических целей. Информационные роботы достигли высокого совершенства. Они используются там, где человек не может пока существовать (спутники Земли и Луны, «Луноход-1» и «Луноход-2» и др.). Промышленные роботы предназначаются для замены физического труда человека.

Манипулятор — это устройство, предназначенное для имитации двигательных и рабочих рук человека. Объектом манипулирования называют тело, перемещаемое в пространстве манипулятором. К объектам манипулирования относят детали, заготовки и различный инструмент.

По методу управления все манипуляторы можно разделить на биотехнические, т. е. с ручным управлением, интерактивные (со смешанным управлением) и автоматические.

Манипулятор с ручным управлением — манипулятор, управляемый оператором дистанционно или непосредственно за счет перемещения рабочих органов.

В зависимости от типа задающего органа манипуляторы с ручным управлением могут быть копирующими, командными и полуавтоматическими.

В копирующем манипуляторе движение рабочего органа повторяет перемещение кисти человека. В командном манипуляторе движение рабочего органа осуществляется по каждой степени подвижности в отдельности с помощью кнопок, рукояток и т. д. В полуавтоматическом манипуляторе задающий орган содержит рукоятку, управляющую несколькими степенями свободы, и микроЭВМ, которая преобразует сигналы с рукоятки в сигналы, управляющие движениями исполнительных или рабочих органов.

К числу автоматических манипуляторов относятся автооператоры, промышленные роботы и манипуляторы с интерактивным управлением.

Автооператор — непрограммируемый автоматический манипулятор. *Промышленный робот* — перепрограммируемый автоматический манипулятор. Манипуляторы с интерактивным управлением попеременно управляются оператором или действуют автоматически. Они имеют устройства памяти для автоматического выполнения отдельных действий.

По назначению ПР можно условно подразделить на производственные и транспортные.

Производственные роботы осуществляют основные операции технологических процессов различных производств (литейного, сварочного, механообрабатывающего, кузнечного, окрасочного). Они оснащены определенным инструментом.

Транспортные роботы предназначены для межоперационной передачи заготовок, деталей и узлов. Они автоматически загружают и разгружают оборудование, передают и складируют готовые детали, обслуживают технологическое и транспортное оборудование.

Каждый из этих типов роботов может быть специализированным или универсальным. Специализированные роботы предназначены для выполнения как технологических, так и транспортных операций определенных видов производств; универсальные — для выполнения основных, вспомогательных, контрольных, транспортных и других работ в различных видах производств.

По типу силового привода различают электромеханические, пневматические, гидравлические и комбинированные роботы.

14.4. СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

В соответствии с характером отработки программы различают жестко программируемые, адаптивные и интеллектуальные роботы.

Жестко программируемые роботы являются роботами первого поколения и представляют собой манипуляторы с программным устройством управления. Такой робот выполняет совокупность жестко запрограммированных операций. Программное устройство робота может перестраиваться на выполнение другого комплекса операций.

Адаптивные роботы — роботы второго поколения. Они снабжены сенсорной системой, позволяющей функционировать в не полностью определенной и часто меняющейся обстановке с адаптацией к ней, в поисковых режимах с автоматическим наведением. Исполнительные «руки» таких роботов снабжаются различными первичными преобразователями, выдающими информацию о состоянии рук и предметов, с которыми он должен манипулировать.

Интеллектуальные роботы являются роботами третьего поколения. С помощью искусственного зрения и ряда других устройств они могут воспринимать и распознавать обстановку, строить модель среды, автоматически принимать решение о дальнейших действиях и выполнять его, изменять свое поведение и самообучаться по мере накопления собственного опыта.

Подавляющее большинство используемых в производстве роботов относятся к роботам первого поколения. Для обеспечения функ-

ционирования таких роботов необходимо создать специальную оснастку и вспомогательное оборудование, стоимость которых достигает 40 % стоимости самого робота. Поэтому альтернативой роботам с жесткой системой управления является использование адаптивных роботов.

Структура промышленных роботов. Независимо от класса, типа и назначения каждый ПР состоит из двух основных систем: механической системы и системы управления.

Механическая система обеспечивает функции движения и реализует технологическое назначение ПР. В ее состав входят следующие основные узлы: несущие конструкции, приводы, передаточные механизмы, исполнительные механизмы и захватные устройства. Несущая конструкция — это станина (каркас), на которой монтируются все остальные узлы.

Приводы могут быть электрическими, пневматическими, гидравлическими и комбинированными. Исполнительный механизм представляет собой совокупность подвижно соединенных звеньев, предназначенных для воздействия на объект манипулирования или обрабатываемую среду. Исполнительный механизм, осуществляющий транспортирующие и ориентирующие движения, называется *рукой* ПР.

Большинство современных промышленных роботов имеет один исполнительный механизм, но есть роботы, которые снабжены двумя, тремя или более механизмами. По конструкции они могут быть стационарными, выдвижными, телескопическими, шарнирными и др.

Захватное устройство — это узел механической системы, обеспечивающий захватывание и удержание объекта манипулирования в определенном положении. Так как объекты манипулирования могут иметь различные размеры и форму, то захватные устройства относятся к числу сменных элементов ПР.

Большая часть ПР снабжается исполнительными устройствами, обладающими тремя—пятью степенями подвижности, захватное устройство обычно обладает еще двумя степенями подвижности и станина может перемещаться на одну-две степени.

Система программного управления предназначена для программирования, сохранения управляющей программы, ее воспроизведения и обработки. В состав системы программного управления входят устройства ввода и вывода управляющей программы, ее запоминания и хранения. Управляющая программа — это последовательность простых инструкций, выполненных на некотором формальном языке. Она может быть зафиксирована как с помощью механических упоров и копиров, различных коммутаторов (напри-

мер, штекерных панелей), так и с помощью быстросменных носителей (перфолент, магнитных лент, дисков и т. д.). В качестве устройства ввода управляющей программы с быстросменных носителей применяются контактные и бесконтактные считывающие устройства (с перфолент), а также различные магнитные накопители.

Приводы промышленных роботов. Выбор типа привода определяется функциональным назначением ПР. Независимо от вида привода к нему предъявляются следующие общие требования: минимальные габаритные размеры, высокие энергетические показатели, возможность работы в режиме автоматического управления и регулирования, высокое быстродействие, безопасность, возможность встраивания систем охлаждения и терморегулирования, надежность, удобство монтажа и обслуживания. ПР оснащаются электрическими, пневматическими, гидравлическими и комбинированными приводами.

Электрический привод обеспечивает хорошие динамические характеристики, повышенную точность позиционирования (менее ±1 мм) и широкую маневренность. В состав электропривода входят усилители мощности, управляемые двигатели, передаточные механизмы, датчики обратной связи по скоростям и положению, сравнивающие устройства.

В настоящее время широкое распространение получил дискретный (шаговый) привод с управляющим шаговым двигателем. Расширяется применение следящих приводов на базе электродвигателей постоянного тока.

Комбинированный электрогидравлический сервопривод, управляемый от электрических сервомоторов малой мощности, применяют, в частности, для промышленных роботов, мощность которых не может быть достигнута с помощью обычных приводов. Гидроусилители момента и линейные гидроусилители представляют собой приводы для осуществления вращательного и поступательного движения захватных устройств и рук роботов.

Приводы ПР располагаются на станине либо непосредственно на рабочих органах. Первый способ предпочтительней, так как расположение приводов по второму способу обычно сопровождается увеличением габаритных размеров и массы рычажно-захватного устройства, что сказывается на грузоподъемности и других параметрах робота.

Управление промышленными роботами. Основное назначение системы управления ПР заключается в формировании определенной последовательности его действия и обеспечение автоматической работы всех механизмов в соответствии с заданной программой.

Система управления обеспечивает связь робота с технологическим оборудованием, которое он обслуживает. Заданная программа определяет порядок различных движений робота и реализуется с помощью различных средств электро-, пневмо- или гидроавтоматики в зависимости от применяемого типа привода. Системы управления могут быть классифицированы по характеру обработки программ, по характеру программирования, по способу представления информации, по способу управления и т. д.

По характеру обработки программы системы управления подразделяются на жесткопрограммируемые, адаптивные и гибкопрограммируемые.

В *жесткопрограммируемых* системах управления программа содержит полный набор информации и не корректируется при изменении параметров внешней среды.

В *адаптивных* системах управления программа не содержит полной информации о параметрах внешней среды. В процессе работы адаптивная система воспринимает недостающую информацию с помощью внешних устройств. Такая система допускает изменение технологического процесса и упрощает программирование.

В *гибкопрограммируемых* системах управления используется программа, сформированная на основе поставленной цели и информации об объектах и явлениях внешней среды.

По характеру программирования системы управления подразделяются на позиционные, контурные и комбинированные. У *позиционных* систем управления задаются начальное и конечное положения рабочих органов промышленных роботов. В зависимости от числа точек позиционирования различают малоточечные (число точек позиционирования не превышает десяти) и многоточечные (число программируемых позиций может достигать нескольких сотен) позиционные системы. При *контурном* управлении положение рабочего органа робота определяется в каждый момент времени. *Комбинированные* системы управления могут обеспечивать как позиционное, так и контурное управление.

По способу представления информации различают электромеханические, цикловые, числовые, аналоговые и гибридные системы управления. В электромеханических системах геометрическая информация представлена в виде физического аналога (например, положения на управляющих, упоров). В таких системах могут быть использованы обычные схемы релейной автоматики, обеспечивающие определенную последовательность выполнения программы. Однако электромеханические системы характеризуются наименьшими функциональными возможностями.

В системах циклового программного управления программа задается в виде чисел, а геометрическую информацию выдают соответствующие путевые и конечные выключатели. Перестройка программы осуществляется либо с помощью штекерной панели, либо с помощью считывающего устройства с перфоленты. Системы циклового программного управления используются только в роботах с малым числом позиций.

В аналоговых системах управления программа задается и хранится в виде напряжения. В качестве элементной базы в них используются операционные усилители постоянного тока. Аналоговые системы по своим функциям практически не отличаются от цикловых.

В системах числового программного управления программа представляется в числовом виде и хранится на быстросменных носителях (магнитных барабанах, дисках и лентах). Для преобразования аналоговых входных сигналов системы числового программного управления оснащаются аналого-цифровыми преобразователями. Эти системы обеспечивают максимальные функциональные возможности роботов. Они контролируют результаты выполнения действий манипулятора и параметров внешней среды. При использовании нескольких ПР с числовым программным управлением они объединяются в одну систему, подключаемую к внешней ЭВМ.

В гибридных системах управления используются различные сочетания рассмотренных систем управления.

По способу управления системы подразделяют на замкнутые и разомкнутые. В замкнутых системах управляющее устройство получает информацию о фактическом состоянии ПР и окружающей среды. Это позволяет формировать управляющие сигналы с учетом полученной информации. В разомкнутых системах входная информация отсутствует, что усложняет процесс управления и требует тщательного соблюдения технологического процесса. Изменение эксплуатационных характеристик ПР в таких системах приводит к снижению точности позиционирования, т. е. к снижению надежности работы.

14.5. ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Создание гибких производственных систем с применением промышленных роботов требует решения комплекса задач. К числу этих задач относятся: размещение оборудования и (если это потребуется)

его модернизация для стыковки с роботами; выбор транспортных средств; разработка средств контроля, информации и управления и т. д. В условиях среднесерийного многономенклатурного производства оптимальными могут быть только гибкие производственные системы, обладающие свойством относительной адаптации, т. е. способностью приспосабливаться к изменениям внутри и вне системы, сохраняя при этом производительность, близкую к максимальной.

Необходимо различать роботизированные технологические комплексы, в которых ПР выполняют вспомогательные (транспортные) операции, и роботизированные производственные комплексы, где роботы выполняют основные технологические операции.

В зависимости от назначения различают две схемы роботизированных технологических комплексов: индивидуального обслуживания оборудования и группового обслуживания оборудования.

Индивидуальное обслуживание оборудования обеспечивается либо автономным, либо встроенным в оборудование роботом. Такой роботизированный комплекс решает задачи установки и снятия детали, фиксации их в рабочей зоне, а также связи с транспортным потоком основного производства.

Групповое обслуживание оборудования осуществляется одним промышленным роботом, который помимо названных выше операций обеспечивает еще межстаночное транспортирование деталей.

В зависимости от серийности производства, в котором используется роботизированный комплекс с групповым обслуживанием оборудования, могут быть применены различные организационные формы загрузки основного технологического оборудования — от независимой работы каждого станка до превращения роботизированного комплекса в поточную линию. Однако для обеспечения необходимой гибкости производства необходимо создавать межоперационные заделы, предусматривать пропуск отдельных операций на деталях некоторых типов, изменение порядка обработки и т. д. С помощью ПР обеспечивается транспортирование.

Роботизированные промышленные комплексы организуются либо с индивидуальным обслуживанием ПР, либо с групповым.

Индивидуальное выполнение основных операций (например, сварка, окраска, сборка и т. д.) осуществляется производственным или универсальным роботом, система программного управления которого дополнительно контролирует различного рода вспомогательные и транспортные устройства, входящие в состав роботизированного комплекса.

Групповое использование ПР для выполнения основных технологических операций включает применение ПР разных типов (подъемно-транспортных, производственных и универсальных), связанных в едином комплексе, обеспечивающем законченный технологический процесс.

14.6. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Можно гордиться тем, что российские ученые не только были пионерами в практике создания электроприводов еще в первой половине XIX в., но и в формировании основ и фундаментальных положений этой науки в последней четверти XIX и первой четверти XX в. Большинство из них работало в Петербурге — Ленинграде. Упомянем лишь некоторые важнейшие вехи из этой, не столь уж давней, истории и имена наших соотечественников. Наибольший вклад в новую науку внесли профессора С.А.Ринкевич и В. К. Попов в 20—30-е гг. XX в.

Современный электропривод представляет собой конструктивное единство электромеханического преобразователя энергии (двигателя), силового преобразователя и устройства управления. Он обеспечивает преобразование электрической энергии в механическую в соответствии с алгоритмом работы технологической установки. Сфера применения электрического привода в промышленности, на транспорте и в быту постоянно расширяется. В настоящее время уже более 60 % всей вырабатываемой в мире электрической энергии потребляется электрическими двигателями. Следовательно, эффективность энергосберегающих технологий в значительной мере определяется эффективностью электропривода. *Разработка высокопроизводительных, компактных и экономичных систем привода является приоритетным направлением развития современной техники.*

Последнее десятилетие XX в. ознаменовалось значительными успехами силовой электроники — было освоено промышленное производство биполярных транзисторов с изолированным затвором (IGBT), силовых модулей на их основе (стойки и целые инверторы), а также силовых интеллектуальных модулей (IPM) с встроенными средствами защиты ключей и интерфейсами для непосредственного подключения к микропроцессорным системам управления. Рост степени интеграции в микропроцессорной технике и переход от микропроцессоров к микроконтроллерам с встроенным набором

специализированных периферийных устройств, сделали необратимой тенденцию массовой замены аналоговых систем управления приводами на системы прямого цифрового управления.

Основные тенденции. Анализ продукции ведущих мировых производителей систем привода и материалов опубликованных научных исследований в этой области позволяет отметить следующие ярко выраженные тенденции развития электропривода: неуклонно снижается доля систем привода с двигателями постоянного тока и увеличивается доля систем привода с двигателями переменного тока. Это связано с низкой надежностью механического коллектора и более высокой стоимостью коллекторных двигателей постоянного тока по сравнению с двигателями переменного тока. По прогнозам специалистов в начале XXI в. доля приводов постоянного тока сократится до 10 % от общего числа приводов. Преимущественное применение в настоящее время имеют приводы с короткозамкнутыми асинхронными двигателями. Большинство таких приводов (около 80 %) — нерегулируемые. В связи с резким удешевлением статических преобразователей частоты доля частотно-регулируемых асинхронных электроприводов быстро увеличивается. Естественной альтернативой коллекторным приводам постоянного тока являются приводы с вентильными, т.е. электронно-коммутируемыми двигателями. В качестве исполнительных бесколлекторных двигателей постоянного тока (БДПТ) преимущественное применение получили синхронные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов или с электромагнитным возбуждением (для больших мощностей). Этот тип привода наиболее перспективен для станкостроения и робототехники, однако, является самым дорогостоящим. Некоторого снижения стоимости можно добиться при использовании синхронного реактивного двигателя в качестве исполнительного. Приводом XXI в. по прогнозам большинства специалистов станет привод на основе вентильно-индукторного двигателя (ВИД). Двигатели этого типа просты в изготовлении, технологичны и дешевы. Они имеют пассивный ферромагнитный ротор без каких-либо обмоток или магнитов. Вместе с тем, высокие потребительские свойства привода могут быть обеспечены только при применении мощной микропроцессорной системы управления в сочетании с современной силовой электроникой. Усилия многих разработчиков в мире сконцентрированы в этой области. Для типовых применений перспективны индукторные двигатели с самовозбуждением, а для тяговых приводов — индукторные двигатели с независимым возбуждением со стороны статора. В последнем случае появляется возможность двухзонного регулирования скорости по аналогии с обычными приводами по-

стоянного тока. Для большинства массовых применений приводов (насосы, вентиляторы, конвейеры, компрессоры) требуется относительно небольшой диапазон регулирования скорости (до 1 ... 10, 1 ... 20) и относительно низкое быстродействие. При этом целесообразно использовать классические структуры скалярного управления. Переход к широкодиапазонным (до 1 : 10 000), быстродействующим приводам станков, роботов и транспортных средств, требует применения более сложных структур векторного управления. Доля таких приводов составляет сейчас около 5 % от общего числа и постоянно растет.

В последнее время на базе систем векторного управления разработан ряд приводов с прямым цифровым управлением моментом. Отличительной особенностью этих решений является предельно высокое быстродействие контуров тока, реализованных, как правило, на базе цифровых релейных регуляторов или регуляторов, работающих на принципах нечеткой логики (фаззи-логики). Системы прямого цифрового управления моментом ориентированы в первую очередь на транспорт, на использование в кранах, лифтах, робототехнике. Усложнение структур управления приводами потребовало резкого увеличения производительности центрального процессора и перехода к специализированным процессорам с объектно-ориентированной системой команд, адаптированной к решению задач цифрового регулирования в реальном времени. Рост вычислительных возможностей встроенных систем управления приводами сопровождается расширением их функций. Кроме прямого цифрового управления силовым преобразователем реализуются дополнительные функции поддержки интерфейса с пользователем (через пульт оперативного управления), а также управления технологическим процессом. В состав системы управления входят: универсальный регулятор технологической переменной, а также генератор управляющих воздействий на базе часов реального времени. Такое решение позволяет поддерживать давление в трубопроводе на заданном, в соответствии с суточной циклограммой, уровне исключительно средствами электропривода, без использования промконтроллеров.

Перспективные системы управления электроприводами разрабатываются с ориентацией на комплексную автоматизацию технологических процессов и согласованную работу нескольких приводов в составе промышленной сети. Стремление предельно удешевить привод, особенно для массовых применений в бытовой технике (пылесосы, стиральные машины, холодильники, кондиционеры и т.д.), привело к отказу от датчиков механических переменных и пере-

ходу к системам бездатчикового управления, где для оценки механических координат привода (положения, скорости, ускорения) используются специальные цифровые наблюдатели. Это возможно только при высокой производительности центрального процессора, когда система дифференциальных уравнений, описывающих поведение привода, может быть решена в реальном времени. Возросшие возможности микропроцессорной техники привели к тому, что при массовом производстве изделий с объемом выпуска не менее 10 000 штук в год, оказывается возможным и экономически целесообразным создание мощных, однокристальных систем управления приводами на базе DSP-микроконтроллеров. Их стоимость при ограниченных интерфейсных функциях не будет превышать 10 ... 20 долларов. Основные затраты при разработке систем управления приводами приходятся не на создание аппаратной части контроллера, а на разработку алгоритмического и программного обеспечения. Поэтому роль специалистов в области теории электропривода существенно возрастает.

CASE-средства для автоматизации инженерной деятельности. На страницах журнала «САПР и графика» неоднократно ставился вопрос о необходимости ускорения процессов конструкторско-технологической подготовки производства, сокращении временны́х и трудозатрат за счет внедрения CAD/CAM/CAE- и TDM/PDM-технологий. А также рассказывали об эффективности использования той или иной САПР и мало задумывались над тем, что разработчиков всех этих САПР одолевают аналогичные проблемы. Подобно любому производителю товара каждая софтверная фирма стремится как можно более оперативно удовлетворить спрос, первой выйти на рынок программного обеспечения с новым решением, полностью отвечающим требованиям пользователей, в данном случае конструкторов и технологов проектных бюро и производственных отделов завода. Для достижения фирмами-разработчиками программного обеспечения лидирующих позиций на рынке программного обеспечения возможны два пути: экстенсивный — за счет увеличения числа разработчиков, что имеет свои разумные пределы, и интенсивный — за счет использования прогрессивных технологий разработки компьютерных программ, например, предлагаемых известной российской компанией «СПРУТ-Технология», представленной ЗАО «СПРУТ-Технология» (г. Набережные Челны) и ООО «Центр СПРУТ-Т» (г. Москва).

Современный рынок программного обеспечения автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства насыщен самыми разнообразными CAD/CAM-, CAE-, TDM- и PDM-системами,

способными существенно облегчить работу конструктора и технолога проектного и производственного отделов. Их разработкой занимаются специалисты самих промышленных предприятий, использующие полученные решения для собственных нужд, вузы — преимущественно для ведения научных исследований и специализированные софтверные фирмы, существующие за счет тиражирования программных решений или разработок систем на заказ. Таких программ по всему миру создано уже сотни тысяч, а спрос на новые решения постоянно растет и неизменно опережает предложение.

Несмотря на огромное число универсальных инструментальных средств автоматизации инженерной деятельности, все они недостаточно эффективны для выполнения комплексной автоматизации конструкторско-технологической подготовки производства конкретного изделия на конкретном заводе. Обязательно найдется круг задач, выпадающих из списка решаемых проблем с использованием той или иной универсальной САПР. Это привело к тому, что разработчики программного обеспечения серьезно взялись за создание программных инструментальных средств, позволяющих на основе базовой САПР программировать модули для решения ряда специфичных задач пользователя.

Наличие инструмента, позволяющего создавать пользовательские программные модули, интегрированные с базовым продуктом, становится все более неотъемлемым условием, выдвигаемым со стороны пользователей САПР.

Использование универсальных систем для автоматизации производства — один из наиболее понятных и распространенных путей развития промышленных предприятий, но не единственный.

История возникновения и развития любой из существующих универсальных САПР показывает, что все они начинали свой жизненный путь как программы, ориентированные на решение вполне конкретных производственных задач. Одни разрабатывались в стенах заводов, другие — по заказу промышленников в вузах и НИИ. Итак, главное — программные разработки изначально были призваны решать конкретные производственные задачи (это привело в частности, к тому, что современные универсальные САПР все-таки имеют некоторую специализацию, где их применение наиболее эффективно). Потребность в создании универсальных программ с целью их тиражирования появилась как результат использования малоэффективных инструментальных средств и технологий программирования. Кроме того, с точки зрения бизнеса тиражирование программного решения — самый простой путь развития компании-разработчика.

Система автоматизации производства, разработанная на заказ. Если опросить пользователей разных промышленных предприятий, какую САПР они предпочли бы видеть на своем рабочем месте, мы получим примерно один и тот же ответ: программу, в которой присутствует только одна кнопка, нажав на которую можно получить готовый комплект конструкторско-технологической документации на изготовление нового изделия. Это идеал, к которому в конечном счете стремятся все разработчики программного обеспечения.

Однако этот идеал не столь иллюзорен. Оказывается, «систему с одной кнопкой» для решения несложных локальных задач сегодня уже можно получить даже с применением универсальных САПР со встроенными средствами программирования и настройки. Однако в рамках автоматизации всего производства без создания системы на заказ построить «систему с одной кнопкой», манипулируя универсальными САПР разного уровня, практически невозможно. Впрочем, построение заказной системы с использованием современных визуальных сред программирования класса Delphi, Borland C++, Visual Basic и Visual C++ не менее утопично. Более того, опыт создания систем на заказ показывает, что без привлечения специалистов, для которых они разрабатываются, успех данного мероприятия также сомнителен, поскольку в противном случае мы рискуем получить очередное «программистское решение» — красивое и изящное, но неработоспособное. Становится очевидным, что пользователь сам должен участвовать в разработке и поддержке системы, с помощью которой он на своем рабочем месте сможет эффективно решать стоящие перед ним производственные задачи. Необходимость привлечения непосредственно к процессу создания программ предметных специалистов, не обладающих углубленными знаниями в области программирования, привела к появлению CASE-средств.

Наиболее заметные успехи в этом направлении на сегодня достигнуты в индустрии компьютерных игр, при создании которых разработчики используют специальные программные средства, позволяющие быстро проектировать различные лабиринты, движущиеся объекты, создавать монстров и определять правила игры. Некоторые компьютерные игры сегодня даже поставляются вместе с таким инструментом — для дальнейшего их развития усилиями самих пользователей (например, DOOM).

Немало специализированных CASE-средств сегодня используется и для разработки различных автоматизированных систем управления. Хуже обстоят дела в области машиностроительных CASE-средств. С уверенностью можно назвать только две серьезные разработки, высокоэффективные и доступные на сегодня пользователям

различных промышленных предприятий — это CAS. CADE от французской фирмы MATRA Datavision и СПРУТ от российской компании «СПРУТ-Технология».

СПРУТ — инструментальная среда быстрой разработки систем проектирования. Необычность решений, предлагаемых «СПРУТ-Технологией» потенциальным потребителям САПР, заключается в том, что наряду с классическими универсальными программами автоматизации инженерной деятельности (CAD, CAM) пользователям предлагается инструмент по быстрому созданию специализированных компьютерных программ, ориентированных на решение задач, возникающих на этапе конструкторско-технологической подготовки производства и непосредственно в процессе производства готовых изделий.

В своей деятельности специалисты «СПРУТ-Технологии» выделяют два основных направления:

1) автоматизация предприятия и конструкторско-технологической подготовки производства;

2) автоматизация разработки программных средств автоматизации предприятия и конструкторско-технологической подготовки производства.

Основной упор делается на сокращение сроков и себестоимости создания прикладных САПР, с включением в процесс разработки предметных специалистов-экспертов. Для лучшего понимания идеи и принципов, заложенных в системе СПРУТ, поясним суть системы автоматизированного проектирования изделия.

Любая система автоматизированного проектирования представляет собой некую программу, на входе которой подаются исходные данные, а на выходе получаются результаты их обработки в виде цифр, графиков или чертежей, как правило, оформленных в виде отдельных документов. Ни одна система автоматизированного проектирования не существует абстрактно. САПР может быть чего-либо конкретно, например штамповой оснастки, электродвигателя, автомобиля или утюга. Другими словами, САПР — это объект некоторого проектирования, структура которого должна содержать как минимум пять основных составляющих:

- объект проектирования, под которым подразумевается описание структуры и свойств проектируемого изделия;
- пользовательский интерфейс, соответствующий объекту проектирования, для задания исходных данных на привычном предметному специалисту, в лице которого выступает пользователь системы, языке;

- вспомогательные данные, участвующие в процессе проектирования (нормативы, стандарты, графики и т. д.);
- методики расчетов, использование которых ведет к получению конечного результата работы программы;
- документирование результатов работы программы.

Это общая структура любого программного модуля, из которых может складываться система.

Теперь применительно к структуре прикладной системы автоматизированного проектирования рассмотрим укрупненную структуру СПРУТ:

- для описания структуры и характеристик объекта проектирования разработано соответствующее визуальное интерактивное средство описания объекта в виде графа И/ИЛИ с возможными заменами и описанием свойств каждой структурной единицы. Описание структуры объекта проектирования — задача предметного специалиста, далеко не всегда владеющего программированием. Поэтому пользователю предлагается удобное интерактивное средство, требующее (разумеется, помимо экспертных знаний), только умения владеть мышью и клавиатурой. Объект при этом может постоянно изменяться и дополняться пользователем по мере необходимости в процессе развития системы;
- для создания пользовательских интерфейсов имеется соответствующее интерактивное средство, позволяющее усилиями самих пользователей быстро визуально создавать любые окна, с размещением на них любых стандартных Windows-компонентов;
- для создания баз данных в системе СПРУТ также предусмотрены все необходимые визуальные средства, исключающие труд программиста. Кроме того, здесь пользователь с помощью мыши может связывать часть параметров объекта с имеющимися в базе данными. Для интеграции с уже разработанными на производствах базами данных в СПРУТ поддерживаются BDE- и ODBC-интерфейсы;
- для создания баз знаний или методик расчетов предметному специалисту предлагается инструмент, позволяющий в удобном для него виде непосредственно описывать методики расчета. При описании методик могут использоваться, в частности, таблицы, графики, монограммы и т. д.

При этом в системе СПРУТ поддерживается естественная форма описания методик и алгоритмов выполнения всех этапов проектирования изделия. Если у пользователей имеются собственные программные разработки, их подключение осуществляется в данном блоке. На этом этапе разработки прикладной САПР, как это ни парадоксально, приоритет остается за специалистом, а не за программистом. Не каждый программист способен правильно разработать алгоритм, а ведь именно здесь особенно важно четкое понимание физики процесса. На практике нередко возникают ситуации, когда справочные материалы, используемые для описания методик расчета, содержат ошибки в виде опечаток, своевременно выявить которые могут только предметчики. Все закладываемые методики документируются и при необходимости могут быть распечатаны для дополнительного контроля и анализа ошибок, допущенных на стадии описания, и утверждения окончательного варианта руководством;

- для документирования результатов работы прикладной системы в СПРУТ также имеются соответствующие интерактивные средства, позволяющие создавать любые шаблоны документов и связывать их с результатами расчета программы.

Таким образом, все необходимое для визуального создания прикладных систем автоматизированного проектирования силами предметных специалистов практически в полном объеме представлено на сегодняшний день в системе СПРУТ. В процессе визуального создания прикладной системы автоматизированного проектирования в системе СПРУТ пользователь, сам не ведая того, «пишет» программу. Вернее, программа незаметно для пользователя генерируется автоматически системой СПРУТ, в то время как ее «автор» описывает контуры будущей САПР.

Сгенерированная в системе СПРУТ программа доступна и для ручного редактирования. Более того, все, что создается системой СПРУТ, автоматически может быть написано программистом вручную на языке СПРУТ Таким образом, систему СПРУТ можно условно разбить на две взаимосвязанные части:

- интерактивные средства;
- средства программирования.

Другой важной особенностью является то, что созданное в СПРУТ приложение является независимым от платформы и без потерь переносится из одной операционной системы в другую.

Универсальные программы. Несмотря на то что все программные разработки компании «СПРУТ-Технология» являются составляющими одной системы СПРУТ, некоторые из них успешно продвигаются на рынке САПР как автономные программные продукты. К ним относятся:

- SprutCAD для 2D-параметрического моделирования;
- SprutCAM для проектирования управляющих программ 3D ЧПУ-обработки;
- СПРУТ-ТП для проектирования технологических процессов.

Наиболее широкое распространение за последние полтора года получила программа SprutCAM. И если по функциональным возможностям она пока уступает некоторым ведущим западным разработкам, то по интерфейсной части считается наиболее удачной среди существующих мировых аналогов. Для того чтобы приступить к работе с программой, технологу более чем достаточно пройти однодневный курс обучения, при этом обучаемый необязательно должен иметь предварительный опыт работы в области ЧПУ-обработки.

SprutCAM уже более года успешно продается в России и на Западе. Известная итальянская компания Sintesi (Милан), специализирующаяся в области поставок CAD/CAM-систем в Италии и ряде стран Западной Европы, три года назад заключила с компанией «СПРУТ-Технология» соглашение, в рамках которого была разработана CAM-система SprutCAM, продвигаемая на Западе фирмой Sintesi под торговой маркой SinteCAM.

Интерес к CAM-системе SprutCAM со стороны западных пользователей не мал. Каждый день на Web-сайт компании «СПРУТ-Технология» заходят и скачивают демонстрационную версию программы в среднем два представителя дальнего зарубежья. В настоящее время SprutCAM предоставлена в опытную эксплуатацию компании «Роллс-Ройс» в Норвегии.

Пример создания прикладной САПР в системе СПРУТ. Для иллюстрации возможностей системы СПРУТ рассмотрим конкретный пример создания прикладной САПР проектирования оснастки для изготовления резиновых манжет и колец круглого сечения на Коломенском заводе резинотехнических изделий (КЗ РТИ). Здесь решалась вполне конкретная задача проектирования оснастки для изготовления резиновых армированных манжет и резиновых колец круглого сечения.

Основной трудностью при проектировании пресс-формы является большое количество разновидностей манжет, различающихся

не только параметрически, но и структурно. Поэтому незначительное отличие проектируемой манжеты от манжет, выпускавшихся ранее, зачастую приводит к проектированию пресс-формы практически «с нуля». В связи с этим основной задачей при разработке системы автоматизированного проектирования явилась возможность структурного и параметрического формирования требуемого вида манжеты и автоматическая генерация комплекта чертежей на пресс-форму для изготовления требуемой манжеты.

В случае с САПР пресс-форм резиновых колец существует другая сложность: резиновое уплотнительное кольцо модифицируется только параметрически, зато используется множество вариантов пресс-форм как одноместных, так и многоместных. При проектировании требуются умение грамотного выбора типа и вида пресс-формы, а в случае отсутствия в базе данных подходящего аналога — синтез нового вида пресс-формы. При этом правила синтеза, описываемые в базе знаний, должны управлять многокритериальным поиском наиболее подходящего решения.

Для решения такой задачи не подходят привычные продукты. Попытки выполнить расчеты, в частности, с использованием Microsoft Excel и затем выполнить параметризацию подготовленной модели в CAD-системе оказались бесплодными. В настоящее время САПР как отечественного, так и зарубежного производства обладают хорошо развитой возможностью параметрического редактирования чертежа. Но в данном случае такой подход оказался неприемлем из-за большого разнообразия проектируемых типов манжет и требований, предъявляемых к уплотнительным кольцам (направление разъема пресс-формы, количество колец на одной пресс-форме и т. п.). Ведь для получения комплекта чертежей пресс-форм на каждый вид кольца пришлось бы заводить собственную параметризированную модель, что ведет к неоправданным затратам. Возникла острая потребность в структурной генерации манжеты, а на ее основе — и пресс-формы, что возможно только при наличии соответствующего инструментария в системе разработки.

Для решения этой задачи была использована инструментальная среда автоматизированного проектирования СПРУТ.

Геометрическая модель детали была создана средствами SprutCAD, предназначенными для быстрой разработки геометрических моделей изделия с одновременной генерацией программы, описывающей эту модель. В результате интерактивных действий пользователя автоматически генерируется текст программы на языке СПРУТ. Любое интерактивное изменение элемента приводит к корректировке его текстового определения, и наоборот, редактирование текстового

определения любого элемента автоматически отражается на чертеже. При этом в обоих случаях система не только изменит редактируемый элемент чертежа, но и по дереву построения автоматически переопределит все элементы, имеющие отношение к изменению.

Результатом использования данной системы на КЗ РТИ являются:

- сокращение времени создания комплекта конструкторской документации на пресс-формы до 10 ... 20 мин;
- повышение надежности принимаемых решений;
- снижение требований к квалификации работающего персонала.

Тенденции развития. Последний год XX в. был для компании ООО «СПРУТ-Т» непростым. В августе 2000 г. ушел из жизни один из основателей компании Андрей Алексеевич Крючков, возглавлявший ее на протяжении двенадцати лет. Но направление деятельности компании с приходом нового руководства не изменилось. «Стратегия развития компании заключается в разработке инструментальных средств создания прикладных САПР» — говорит генеральный директор ООО «СПРУТ-Т» Борис Владимирович Кузьмин.

Решения, предлагаемые компанией, остаются неизменными:

- оказание промышленным предприятиям услуг в виде инженерного аудита и разработки проектов автоматизации производств;
- разработка прикладных систем на заказ для конкретных промышленных предприятий (это могут быть как локальные, так и комплексные задачи);
- тиражирование программных средств и среды СПРУТ для разработки пользователями прикладных САПР.

Продолжается развитие интерактивных средств создания специализированных систем, дальнейшее развитие получат SprutCAM, SprutCAD и СПРУТ-ТП, планируется более активное развитие в системе СПРУТ TDM/PDM-технологий и закрепление достигнутых позиций в различных отраслях промышленности, в частности:

- в автомобильном и сельскохозяйственном машиностроении;
- нефтехимическом машиностроении;
- мебельной промышленности;
- шинной промышленности (проектирование оснастки для изготовления шин);

- производстве асинхронных электродвигателей;
- инструментальном производстве (в первую очередь проектирование штамповой оснастки для холодной листовой и объемной штамповки) и др.

Все эти направления подкреплены накопленным богатым опытом и конкретными результатами внедрения специализированных САПР в масштабах завода. Кроме того, «СПРУТ-Технология» принимает активное участие в тендерах, организованных различными предприятиями, и ее специалисты готовы продемонстрировать свои достижения на любом уровне.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте пояснение системе автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП).
2. Требуется ли участие человека в этой системе, если да, то зачем?
3. Перечислите управляющие и вспомогательные функции АСУ ТП.
4. В чем заключается иерархический принцип построения систем АСУ?
5. Дайте определение понятия «робот».
6. Поясните различие роботов человекоподобных, информационных и промышленных.
7. Объясните назначение манипулятора.
8. Расскажите о сенсорной системе промышленного робота.
9. Что представляет собой структура промышленного робота? Дайте пояснение.
10. Расскажите о тенденциях развития автоматизации производства.

Список литературы

1. *Гинзбург С. Я.* Основы автоматики и телемеханики / С. Я. Гинзбург, И. Я. Лехтман, В. С. Малов. — М.: Энергия, 1968.

2. *Головинский О. И.* Основы автоматики / О. И. Головинский. — М.: Высшая школа, 1987.

3. *Гордин Е. М.* Автоматическое регулирование / Е. М. Гордин, К. Я. Стародуб. — М.: Высшая школа, 1976.

4. *Грицевский П. М.* Основы автоматики, импульсной и вычислительной техники / П. М. Грицевский, А. Е. Мамченко, Б. М. Степенский. — М.: Радио и связь, 1987.

5. *Зимодро А. Ф.* Основы автоматики / А. Ф. Зимодро, Г. Л. Скибинский. — Ленинград, Энергоатомиздат, 1984.

6. *Квартин М. И.* Лабораторный практикум по электромеханическим и магнитным устройствам автоматики / М. И. Квартин. — М.: Высшая школа, 1974.

7. *Келим Ю. М.* Электромеханические и магнитные элементы систем автоматики / Ю. М. Келим. — М.: Высшая школа, 1991.

8. *Клюев А. С.* Автоматическое регулирование / А. С. Клюев. — М.: Высшая школа, 1986.

9. *Коновалов Л. И.* Элементы и системы автоматики / Л. И. Коновалов, Д. П. Петелин. — М.: Высшая школа, 1985.

10. *Лаврентцов В. Д.* Основы автоматики, вычислительной техники и радиотелеметрии / В. Д. Лаврентцов. — М.: Машиностроение, 1977.

11. *Лепаев Д. А.* Бытовые электроприборы / Д. А. Лепаев, Н. Я. Штехман. — М.: Легкая индустрия, 1973.

12. *Нудлер Г. И.* Основы автоматизации производства / Г. И. Нудлер, И. К. Тульчин. — М.: Высшая школа, 1976.

13. *Соколова Е. М.* Электрическое и электромеханическое оборудование / Е. М. Соколова. — М.: Высшая школа, 2003.

14. *Староверов А. Г.* Основы автоматизации производства / А. Г. Староверов. — М.: Машиностроение, 1989.

15. *Стрыгин В. В.* Основы автоматики и вычислительной техники / В. В. Стрыгин. — М.: Энергоиздат, 1981.

16. *Шандров Б. В.* Автоматизация производства (металлообработка) / Б. В. Шандров, А. А. Шапарин, А. Д. Чудаков. — М.: Издательский центр «Академия», 2007.

17. *Шишмарев В. Ю.* Автоматика / В. Ю. Шишмарев. — М.: Издательский центр «Академия», 2005.

Оглавление

Введение 3

Глава 1. Производственный процесс как объект автоматизации 7
1.1. Основные понятия и определения автоматики 7
1.2. Понятие об автоматизации производственных процессов 10
1.3. Классификация автоматизации по выполняемым функциям 11
1.4. Понятие о телемеханике 15
1.5. Понятие о кибернетике 17
1.6. Понятие об информации 18

Глава 2. Классификация и общие характеристики элементов автоматики 21
2.1. Основные сведения об элементах автоматики 21
2.2. Статический режим работы элементов автоматики 22
2.3. Динамический режим работы элементов автоматики 25

Глава 3. Измерительные элементы систем автоматики 29
3.1. Классификация датчиков сигнала 29
3.2. Устройство и принцип работы датчика 30
3.3. Основные параметры и характеристики электрических датчиков 31
3.4. Принцип работы и основные параметры электрических параметрических и генераторных датчиков 32
3.5. Датчики систем электроавтоматики 45

Глава 4. Промежуточные преобразователи и исполнительные устройства 53
4.1. Назначение и области применения промежуточных преобразователей и исполнительных устройств в автоматике 53
4.2. Классификация исполнительных механизмов автоматических средств управления 55
4.3. Назначение и классификация усилительных элементов, их принцип работы 57
4.4. Виды усилителей, принципы их работы, особенности эксплуатации, достоинства и недостатки 59
4.5. Переключающие устройства и распределители 64
4.6. Назначение и принцип работы электромагнитных силовых механизмов 77

Глава 5. Системы автоматического контроля и сигнализации 84
5.1. Назначение, классификация и структурные схемы 84
5.2. Принцип действия систем технологического контроля 86
5.3. Технологические средства сигнализации, регистрации, индикации и защиты 88
5.4. Системы централизованного контроля 92
5.5. Системы автоматической сигнализации 94
5.6. Автоматические мосты и компенсаторы 96

Глава 6. Системы автоматического регулирования 99
6.1. Назначение, классификация и основные характеристики 99
6.2. Принцип регулирования по отклонению и возмущению 102
6.3. Обыкновенные системы регулирования 103
6.4. Самонастраивающиеся системы регулирования 105

Глава 7. Системы автоматического управления 108
7.1. Виды систем автоматического управления 108
7.2. Классификация систем автоматического управления 109
7.3. Управление электрическим и электромеханическим оборудованием на базе микро-ЭВМ и микропроцессорной техники 114
7.4. Система сбора информации 121

Глава 8. Элементы теории автоматического регулирования 123
8.1. Методика исследования свойств систем автоматики 123
8.2. Методика исследования динамического режима систем автоматического регулирования 124
8.3. Типовые динамические звенья САР 126
8.4. Передаточные и частотные характеристики динамических звеньев 127
8.5. Критерии устойчивости САР и показатели качества процесса регулирования 133
8.6. Методы повышения устойчивости и качества САР 136

Глава 9. Систвмы телемеханики 138
9.1. Общие свойства систем телемеханики. Методы передачи информации 138
9.2. Классификация и структурные схемы телемеханических систем. 138
9.3. Принцип действия телемеханической системы 140
9.4. Канал связи. Помехи. Способы повышения помехоустойчивости каналов связи. 140
9.5. Системы телеизмерения 142
9.6. Телеуправление и телесигнализация 148

Глава 10. Диспетчеризация инженерного оборудования 151
10.1. Назначение и основные задачи диспетчеризации в системах автоматического регулирования 151
10.2. Электрооборудование диспетчерской системы 152

Глава 11. Системы автоматизации электрического и электромеханического оборудования 159
11.1. Автоматическое управление электротермическими установками 159
11.2. Автоматическое управление холодильными установками 163
11.3. Автоматизация систем электроэнергетики и теплоснабжения 167
11.4. Автоматическое управление электроприводом 186
Глава 12. Оптимальные системы автоматического управления 191
12.1. Понятие «экстремальное управление» 191
12.2. Оптимальные системы автоматического управления 192
12.3. Критерии оптимизации систем управления 194
12.4. Принципы адаптации (самонастройки) систем управления 196
12.5. Принципы построения и структура адаптивных систем со стабилизацией и оптимизацией качества управления 199
12.6. Самообучающиеся системы автоматического управления 203
Глава 13. Системы числового программного управления 206
13.1. Основные понятия и определения 206
13.2. Назначение и классификация систем числового программного управления 209
13.3. Сопряжение вычислительных устройств с датчиками и исполнительными механизмами 212
13.4. Алгоритмы управления и программное обеспечение микропроцессорных систем 213
Глава 14. Управляющие вычислительные комплексы 219
14.1. Функции и структура автоматизированной системы управления технологическими процессами 219
14.2. Автоматизированные системы управления производством на базе микроЭВМ 223
14.3. Назначение и схема промышленного робота 225
14.4. Сенсорные системы промышленных роботов 227
14.5. Гибкие производственные системы с применением промышленных роботов 231
14.6. Тенденции развития автоматизации производства 233
Список литературы 246

Учебное издание

Александровская Альбина Николаевна

Автоматика

Учебник

3-е издание, стереотипное

Редактор *Т. П. Манухина*
Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*
Компьютерная верстка: *Н. В. Протасова*
Корректоры *Т. С. Власкина, М. М. Новикова*

Изд. № 103114328. Подписано в печать 07.02.2014. Формат 60 × 90/16. Гарнитура «Таймс».
Бумага офсетная № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,0. Тираж 1 000 экз. Заказ № 6684.

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru
129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1.
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.
Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 16476 от 05.04.2013.

Отпечатано с электронных носителей издательства.
ОАО «Тверской полиграфический комбинат», 170024, г. Тверь, пр-т Ленина, 5.
Телефон: (4822) 44-52-03, 44-50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.
Home page - www.tverpk.ru Электронная почта (E-mail) - sales@tverpk.ru

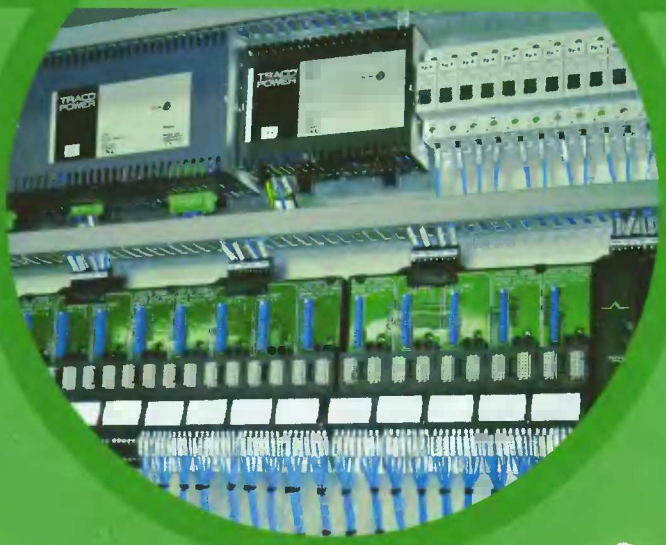
Профессиональное образование

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

А. Н. Александровская

АВТОМАТИКА

Учебник



ACADEMA

соответствует ФГОС