

В. Ю. ШИШМАРЕВ

ТИПОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

УЧЕБНИК

Допущено

*Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебника для студентов образовательных
учреждений среднего профессионального образования,
обучающихся по специальности 220301 «Автоматизация
технологических процессов и производств (по отраслям)»*

5-е издание, стереотипное



Москва

Издательский центр «Академия»

2011

УДК 62-52(075.32)
ББК 32.965я723
Ш657

Рецензенты:

зав. кафедрой «Автоматизация технологических процессов и производств»
Московского политехнического колледжа, преподаватель высшей категории,
канд. техн. наук *Б. И. Горошков*;
зам. главного конструктора ОАО МНПК «Авионика», канд. техн. наук *А. А. Красильников*

Шишмарев В. Ю.

Ш657 Типовые элементы систем автоматического управления :
учебник для студ. учреждений сред. проф. образования /
В. Ю. Шишмарев. — 5-е изд., стер. — М. : Издательский центр
«Академия», 2011. — 304 с.

ISBN 978-5-7695-8296-7

Рассмотрены основные элементы и устройства, применяемые в системах автоматического управления, и устройства, систематизированные по функциональному признаку. Изложены принципы действия, характеристики и методы построения датчиков, усилителей, реле, исполнительных и других элементов автоматики.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования. Может быть полезен инженерно-техническим работникам, занимающимся вопросами автоматического управления.

УДК 62-52(075.32)
ББК 32.965я723

Учебное издание

Шишмарев Владимир Юрьевич

Типовые элементы систем автоматического управления

Учебник

5-е издание, стереотипное

Редакторы *М. К. Степанкова, В. Н. Махова.*

Технический редактор *Н. И. Горбачева.* Компьютерная верстка: *В. В. Дёмкин.*

Корректоры *И. В. Могилевец, М. В. Дьяконова, Е. А. Чуйко*

Изд. № 105103942. Подписано в печать 27.05.2011. Формат 60×90/16. Гарнитура «Таймс».

Бумага офс. № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 19,0. Тираж 1 000 экз. Заказ №

Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru

125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 266.

Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 14964 от 21.12.2010.

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

Оригинал-макет данного издания является собственностью

Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом

без согласия издательства запрещается

© Шишмарев В. Ю., 2004

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2004

ISBN 978-5-7695-8296-7

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2004

ПРЕДИСЛОВИЕ

Широкое развитие систем автоматического управления, систем и средств автоматизации во всех областях техники и отраслях современного производства связано с разработкой, модернизацией и выпуском в больших количествах разнообразных технических средств автоматики, к которым относятся функциональные элементы и различные автоматические устройства.

Специалисты в области автоматики, автоматизации производства и управления должны иметь глубокие знания в области теории автоматического управления и уметь проводить анализ и синтез систем автоматизации, т.е. должны быть хорошо знакомы с элементами и устройствами, на базе которых строятся системы автоматики, автоматизации и управления.

Постоянное развитие науки и техники и интенсивное внедрение научно-технических достижений в производство обеспечивают непрерывное пополнение арсенала технических средств автоматики, вытесняя устаревшие элементы новыми, более современными конструкциями. Поэтому в предлагаемом учебнике основное внимание уделяется рассмотрению принципов действия, общих свойств, характеристик и способов реализации различных функциональных элементов автоматики, имеющих в настоящее время наибольшее применение.

При написании учебника автор использовал многолетний опыт преподавания дисциплин «Автоматизация производственных процессов» и «Теория автоматического управления» в МАТИ — РГТУ им. К. Э. Циолковского.

ВВЕДЕНИЕ

Современный научно-технический прогресс тесно связан с широким развитием автоматике. *Автоматика* — это отрасль науки и техники, охватывающая теорию и принципы построения систем управления техническими объектами и процессами, действующих без непосредственного участия человека.

Технический объект (станок, двигатель, летательный аппарат, поточная линия, автоматизированный участок, цех и т. д.), нуждающийся в автоматическом или автоматизированном управлении, называется *объектом управления* (ОУ).

Совокупность ОУ и *автоматического управляющего устройства* называется *системой автоматического управления* (САУ) или *автоматизированной системой управления* (АСУ).

Любое автоматическое устройство представляет собой комплекс отдельных конструктивных или схемных элементов, каждый из которых выполняет задачу по преобразованию энергии, полученной от предыдущего элемента или окружающей среды, и передаче ее последующему элементу.

Элементами автоматике называются конструктивно законченные устройства, выполняющие определенные самостоятельные функции преобразования сигнала (информации) в системах автоматического управления.

В системах автоматического управления в качестве *сигналов* обычно используются электрические и механические величины (например, постоянный ток, напряжение, давление сжатого газа или жидкости, усилие и т. п.), так как они позволяют легко осуществлять преобразование, сравнение, передачу на расстояние и хранение информации. В одних случаях сигналы возникают непосредственно вследствие протекающих при управлении процессов (изменения тока, напряжения, температуры, давления, наличия механических перемещений и т. д.), в других случаях они вырабатываются чувствительными элементами или датчиками.

Соответственно операциям, производимым с сигналами информации в автоматических устройствах, можно выделить функциональные ячейки — элементы. *Элемент* — простейшая в функциональном отношении ячейка (устройство, схема), предназначенная для выполнения одной из следующих основных операций с сигналом:

преобразование контролируемой величины в сигнал, функционально связанный с информацией об этой величине (чувствительные элементы, датчики);

преобразование сигнала одного рода энергии в сигнал другого рода энергии: электрической в неэлектрическую, неэлектрической в электрическую, неэлектрической в неэлектрическую (электромеханические, термоэлектрические, электропневматические, фотоэлектрические и другие преобразователи);

преобразование сигнала по значению энергии (усилители);

преобразование сигнала по виду, т.е. непрерывного в дискретный или обратно (аналогоцифровые, цифроаналоговые и другие преобразователи);

преобразование сигнала по форме, т.е. сигнала постоянного тока в сигнал переменного тока и наоборот (модуляторы, демодуляторы);

функциональное преобразование сигналов (счетно-решающие элементы, функциональные элементы);

сравнение сигналов и создание командного управляющего сигнала (элементы сравнения, ноль-органы);

выполнение логических операций с сигналами (логические элементы);

распределение сигналов по различным цепям (распределители, коммутаторы);

хранение сигналов (элементы памяти, накопители);

использование сигналов для воздействия на управляемый процесс (исполнительные элементы).

Таким образом, под элементом следует понимать самую простую часть системы, где выполняется одна функциональная операция с сигналом.

Несмотря на простоту понятия элемента и происходящих в нем процессов, до сих пор во многих случаях существуют трудности не только в формировании понятия элемента, но и в терминологии.

Часто элементы отождествляются с устройствами, в состав которых входят несколько элементов. Например, некоторые датчики, называемые элементами, в действительности являются совокупностью элементов, объединенных единой схемой соединения, обеспечивающих воспроизведение контролируемой величины и преобразование ее в другую величину, более удобную для передачи по линиям связи.

Современная теория элементов автоматики стремится к более полному раскрытию физической и математической сущности элементов. Одновременно с разработкой физики элементов автоматики рассматриваются и развиваются их классификация, методы расчета и конструирования.

РАЗДЕЛ I

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ

Глава 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ

1.1. Основные понятия

Любое автоматическое устройство представляет собой комплекс отдельных конструктивных или схемных элементов, каждый из которых выполняет задачу по преобразованию энергии, полученной от предыдущего элемента, и передаче ее последующему элементу. *Элементами автоматики* называются конструктивно законченные устройства, выполняющие определенные самостоятельные функции преобразования сигнала (информации) в системах автоматического управления и контроля.

На рис. 1.1, *а* схематически изображен элемент Э. На его вход подается энергия x , после преобразования ее по значению на выходе возникает энергия y . Иногда необходимо, чтобы энергия y на выходе была больше, чем энергия x на входе; в этом случае в элемент вводится дополнительная энергия вида z (рис. 1.1, *б*). Очевидно, при наличии дополнительной энергии возможно усиление небольшой входной энергии x до большой выходной энергии y .

Величины x и y могут быть электрическими (например, напряжение, ток, сопротивление) и неэлектрическими (например, давление, перемещение, температура, скорость). Чаще всего применяют электрические элементы, т. е. те, у которых величины x или y являются электрическими. Находят также применение и неэлектрические элементы: гидравлические, пневматические, механические и др.

Характеристики элементов оказывают влияние на свойства систем автоматики, которые из них состоят. Изучение свойств этих элементов необходимо для анализа работы устройств и схем, основ-

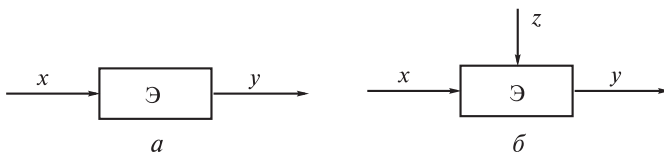


Рис. 1.1. Схемы элементов автоматики:

а — без дополнительной энергии; *б* — с дополнительной энергией

ными показателями которых (характеризующими работу) являются точность, чувствительность, инерционность и др.

В настоящей главе рассматриваются функции, выполняемые различными элементами, классифицируются физические принципы, лежащие в основе их действия, и приводятся общие характеристики, применяемые для различных элементов автоматики.

Рассмотрим схемы автоматики и телемеханики, а также основные правила их выполнения.

Комплексы различных технических устройств и элементов, входящих в состав системы управления и соединенных электрическими, механическими и другими связями, на чертежах изображаются в виде различных схем: электрических, гидравлических, пневматических и кинематических.

Схема служит для получения концентрированного и достаточно полного представления о составе и связях любого устройства или системы.

Согласно Единой системе конструкторской документации (ЕСКД) и ГОСТ 2.701 электрические схемы подразделяют на структурные, функциональные, принципиальные (полные), схемы соединений (монтажные), подключения, общие, расположения и объединенные.

Структурная схема служит для определения функциональных частей, их назначения и взаимосвязей.

Функциональная схема предназначена для определения характера процессов, протекающих в отдельных функциональных цепях или установке в целом.

Принципиальная схема, показывающая полный состав элементов установки в целом и все связи между ними, дает основное представление о принципах работы соответствующей установки.

Монтажная схема иллюстрирует соединение составных частей установки с помощью проводов, кабелей, трубопроводов.

Схема подключения показывает внешние подключения установки или изделия.

Общая схема служит для определения составных частей комплекса и способов их соединения на месте эксплуатации.

Объединенная схема включает в себя несколько схем разных видов в целях более ясного раскрытия содержания и связей элементов установки.

Чертежи и схемы выполняют по определенным правилам, которые изложены в действующих стандартах ЕСКД.

Каждый функциональный элемент выполняет элементарную функцию, которая заключается в получении, преобразовании и передаче информации в виде сигналов определенной физической природы. Эти элементы в системах автоматики и телемеханики служат звеньями однонаправленного действия, т. е. звеньями, передающими сигнал в одном направлении — с входа на выход.

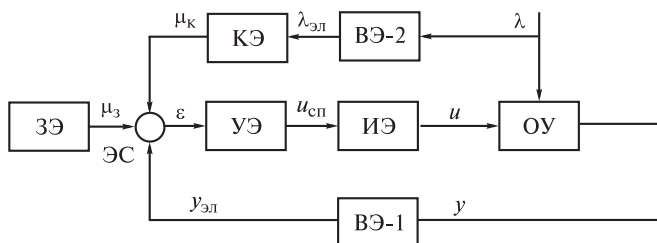


Рис. 1.2. Схема управления температурой воздуха в помещении

Назначения основных функциональных элементов автоматики можно рассмотреть на примере построения одномерной системы комбинированного управления температурой воздуха в помещении (рис. 1.2).

На схеме этой системы объект управления (ОУ) — помещение, оборудованное калорифером. Для управления объектом предусмотрен исполнительный элемент (ИЭ), содержащий исполнительный механизм (сервопривод) и регулирующий орган (клапан). От положения u золотника клапана, перемещаемого сервоприводом, зависит расход теплоносителя через калорифер и, как следствие, температура воздуха в помещении y . Сигнал управления сервоприводом $u_{сп}$ формируется управляющим элементом (УЭ) согласно заложенному в нем алгоритму по выходному сигналу элемента сравнения (ЭС): $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$, причем

$$\varepsilon_1 = \mu_3 - y_{эл}; \quad \varepsilon_2 = -\mu_k = -\theta_d (d\lambda_{эл}/dt),$$

где μ_3 — формируемый задающим элементом (ЗЭ) электрический сигнал, соответствующий требуемому значению температуры воздуха в помещении; $y_{эл}$ — формируемый первым воспринимающим элементом (ВЭ-1) электрический сигнал, соответствующий реальной температуре y воздуха в помещении; μ_k — выходной сигнал корректирующего элемента (КЭ); θ_d — положительная величина, представляющая собой постоянную времени дифференциатора, т.е. корректирующего элемента; $\lambda_{эл}$ — формируемый вторым воспринимающим элементом (ВЭ-2) электрический сигнал, соответствующий температуре λ наружного воздуха.

В рассматриваемой системе КЭ — реальное дифференцирующее звено (приближенно выполняющее операцию дифференцирования электрического сигнала $\lambda_{эл}$ по времени t), т.е. выходные сигналы μ_k корректирующего элемента пропадают с исчезновением изменений температуры наружного воздуха λ . В противном случае сигналы КЭ могут содержать постоянные составляющие, определяемые установившимися значениями температуры λ и воспринимаемые ЭС как сигналы ЗЭ. Другими словами, недопустимо наличие

постоянных составляющих в выходных сигналах КЭ, так как эти составляющие формируют алгебраическое слагаемое сигнала задания системе управления. Однако сигнал задания μ_3 системе управления должен формироваться оператором только с помощью ЗЭ.

Наличие постоянных составляющих в выходных сигналах КЭ допустимо, если эти сигналы поступают непосредственно на вход ИЭ. В этом случае КЭ должен содержать необходимый усилитель мощности, приводящий ИЭ в действие, т.е. являться управляющим элементом.

Аналогично строятся схемы для других систем управления. Как видно из рассмотренного примера, каждый элемент в системе управления выполняет вполне определенную функцию.

По выполняемым функциям основные элементы автоматики делятся на датчики, усилители, стабилизаторы, реле, распределители, двигатели и другие узлы (генераторы импульсов, логические элементы, выпрямители и т.д.).

По роду физических процессов, используемых в основе устройств, элементы автоматики делятся на электрические, ферромагнитные, электротепловые, электромашинные, радиоактивные, электронные, ионные и др.

Рассмотрим некоторые основные элементы, наиболее часто применяемые в автоматике, разделяя их по выполняемым функциям.

Датчик (измерительный преобразователь, чувствительный элемент) — устройство, предназначенное для того, чтобы информацию, поступающую на его вход в виде некоторой физической величины, функционально преобразовать в другую физическую величину на выходе, более удобную для воздействия на последующие элементы (блоки). Большинство датчиков преобразуют неэлектрическую контролируемую величину x в электрическую (например, температура преобразуется при помощи термопары в электродвижущую силу (ЭДС); механическое перемещение, связанное с изменением положения якоря электромагнита, изменяет индуктивность его обмотки и т.д.).

Основной характеристикой датчика является зависимость его выходной величины y от входной x , т.е. $y = f(x)$. На рис. 1.3 изображены некоторые распространенные виды зависимости выход-вход датчиков. Как видно из рисунка, функциональная связь может подчиняться любой закономерности, но желательно, чтобы характеристика датчика была линейной.

Различают два вида датчиков в зависимости от принципа производимого ими преобразования:

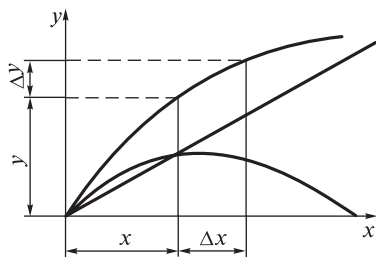


Рис. 1.3. Виды основной характеристики датчиков

параметрические (или пассивные), в которых изменение контролируемой величины x сопровождается соответствующими изменениями активного, индуктивного и емкостного сопротивлений датчика. Наличие постороннего источника энергии вида z (см. рис. 1.1, б) является обязательным условием работы параметрического датчика;

генераторные (или активные), в которых изменение контролируемой величины x сопровождается соответствующими изменениями ЭДС на выходе датчика (например, возникновение ЭДС может происходить вследствие термо-, пьезо-, фотоэффекта и других явлений, вызывающих появление электрических зарядов). Эти датчики выполняются по схеме, приведенной на рис. 1.1, а, т.е. они не требуют дополнительного источника энергии вида z , так как энергия на выходе элемента полностью берется с его входа (вследствие чего мощность выходного сигнала всегда меньше мощности входного сигнала).

В зависимости от вида контролируемой неэлектрической величины различают датчики механические, тепловые, оптические и др. Часто применяются электрические датчики с промежуточным преобразованием, т.е. механический датчик объединяют с электрическим. Преобразование контролируемой величины в таких датчиках происходит по схеме: измеряемая величина — механическое перемещение — электрическая величина. Элемент, преобразующий измеряемую величину в перемещение, называется первичным преобразователем или первичным измерителем (ПИ). Например, давление преобразуется в перемещение стрелки манометра ПИ, которое затем преобразуется в изменение активного сопротивления (проволочный, резистивный (или реостатный) датчики и др.).

Усилитель — элемент автоматики, осуществляющий количественное преобразование (чаще всего усиление) поступающей на его вход физической величины (тока, мощности, напряжения, давления и т.п.). Усилитель обязательно должен иметь дополнительный источник энергии z (см. рис. 1.1, б). Основной характеристикой усилителя является зависимость

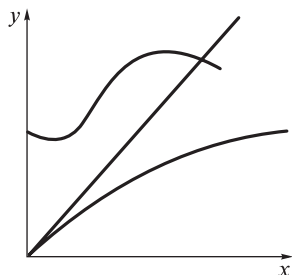


Рис. 1.4. Виды основной характеристики усилителей

$y = f(x)$; при этом обычно стремятся к получению линейной или близкой к ней характеристики на рабочем участке. Величины на входе и выходе усилителя имеют одинаковую физическую природу. На рис. 1.4 изображены различные виды характеристики усилителей.

По принципу действия усилители деляются на электронные, полупроводниковые, магнитные, электромашинные, пневматические, гидравлические.

Стабилизатор — элемент автоматики, обеспечивающий постоянство выходной величины y при колебаниях входной величины x в определенных пределах. Эффект стабилизации достигается за счет изменения параметров элементов, входящих в схему стабилизатора; при этом вид энергии на его входе и выходе должен быть один и тот же. Характеристики стабилизаторов показаны на рис. 1.5. Здесь характеристика 1 обеспечивает меньшую стабилизацию выходной величины y , чем характеристика 2. В случае, если кривая не имеет в заданном диапазоне горизонтального участка, а имеет максимум (кривая 3) или минимум, то точность стабилизации будет больше, чем в случае, характеризуемом кривой 1.

В зависимости от вида стабилизируемой величины различают стабилизаторы напряжения и тока, обеспечивающие постоянство напряжения или тока в нагрузке при колебаниях входного напряжения и сопротивления нагрузки.

Реле — элемент автоматики, в котором при достижении входной величины x определенного значения выходная величина y изменяется скачком. Зависимость $y = f(x)$ реле неоднозначна и имеет форму петли (рис. 1.6). При изменении входной величины от 0 до x_2 выходная величина y изменяется незначительно (или остается постоянной и равной y_1). При достижении входной величины x значения x_2 , т.е. $x = x_2$, выходная величина изменяется скачком от значения y_1 до y_2 . Впоследствии при увеличении x выходная величина изменяется незначительно или остается постоянной (имеет установившееся значение). Когда входная величина уменьшается до значения x_1 , выходная величина сначала остается также неизменной и почти равной y_2 . В тот момент, когда $x = x_1$, выходная величина скачком уменьшается до значения y_1 и сохраняется приблизительно неизменной при уменьшении x до нуля.

Скачкообразное изменение выходной величины y в момент, когда $x = x_2$, называется *величиной срабатывания* (например, ток

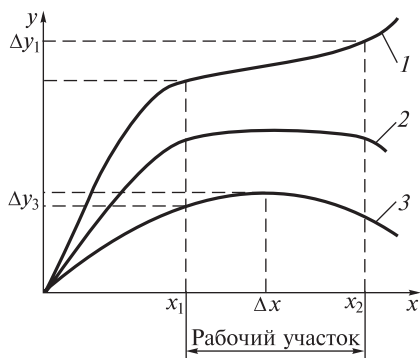


Рис. 1.5. Виды 1...3 основной характеристики стабилизаторов

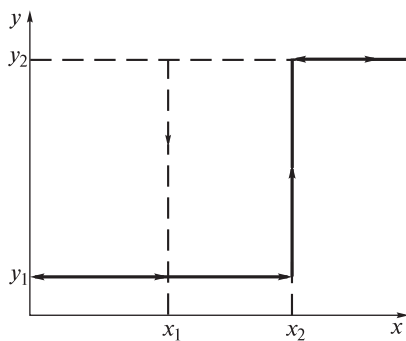


Рис. 1.6. Основная характеристика реле

срабатывания, напряжение срабатывания для электрических реле). Скачкообразное изменение выходной величины y в момент, когда $x = x_1$, называется *величиной отпущения* (ток отпущения, напряжение отпущения). Отношение величины x_1 к величине срабатывания x_2 называется коэффициентом возврата, т.е. $K_B = x_1/x_2$. Так как обычно $x_1 < x_2$, то $K_B < 1$.

Существуют различные типы реле, но основными являются электромеханические реле (электромагнитные, магнитоэлектрические, электродинамические и др.), в которых изменение входной электрической величины вызывает замыкание или размыкание контактов. Бывают бесконтактные магнитные реле и бесконтактные реле электронного типа.

Распределитель (шаговый искатель) — элемент автоматики, осуществляющий поочередное подключение одной величины к ряду цепей. При этом подключаемые цепи обычно электрические.

Распределители используются при необходимости управления несколькими объектами от одного и того же управляющего органа и по способу передачи импульсов в управляемые цепи делятся на электромеханические (контактные), электронные и ионные (бесконтактные).

Исполнительные устройства — электромагниты с втяжным и поворотным якорями, электромагнитные муфты, а также электродвигатели, относящиеся к электромеханическим исполнительным элементам автоматических устройств.

Электромагниты преобразуют электрический сигнал в механическое движение; их применяют для перемещения рабочих органов, например клапанов, вентилях, золотников и т. п.

Электромагнитные муфты используются в электроприводах и устройствах управления для быстрого включения и выключения приводимого механизма, а также для его реверса, т.е. изменения направления движения управляемого устройства.

В некоторых случаях электромагнитные муфты применяют для регулирования скорости и ограничения передаваемого момента.

Электродвигатель — это устройство, обеспечивающее преобразование электрической энергии в механическую и преодолевающее при этом значительное механическое сопротивление со стороны перемещаемых устройств. Одним из главных требований, предъявляемых к электродвигателям, является их способность развивать требуемую механическую мощность. Кроме того, электродвигатель должен обеспечивать реверс, а также движение объекта с заданными скоростями и ускорениями.

Наиболее широко в качестве электромеханических исполнительных элементов применяют электродвигатели постоянного и переменного тока.

1.2. Классификация элементов автоматики

Любая самая сложная автоматическая система состоит из определенного комплекса элементов. Многообразие автоматических систем порождает и многообразие элементов, что, в свою очередь, приводит к необходимости их классификации. Нередко признаки классификации выбираются произвольно, и она в этом случае не достигает своей цели и даже дезориентирует при выборе требуемого элемента. Поэтому большое значение приобретают выявление и обоснование признаков, которые должны быть положены в основу классификации элементов автоматики. При этом наиболее важны последовательность расположения, выделение главных и вспомогательных признаков, т. е. разработка соответствующей иерархической структуры. Этим вопросам пока еще уделяется недостаточно внимания, вероятно, из-за некоторой неопределенности представления о многих элементах, но именно эти разработки могут помочь провести научную классификацию элементов и способствовать тем самым укреплению основ теории элементов автоматики.

В основу классификационной схемы могут быть положены функциональные признаки. В этом случае элементы подразделяются на следующие классы (рис. 1.7): элементы информации, сравнения, распределения, усиления, вычисления, памяти, логики, исполнения, вспомогательные.

Известная доля неопределенности заключена в классе вспомогательных элементов, из которых в будущем должны быть сформированы классы с более конкретными функциональными признаками.

Предлагаемый набор классов элементов позволяет собрать любую автоматическую систему измерения, контроля, регулирования и управления. Каждый класс элементов в зависимости от вы-

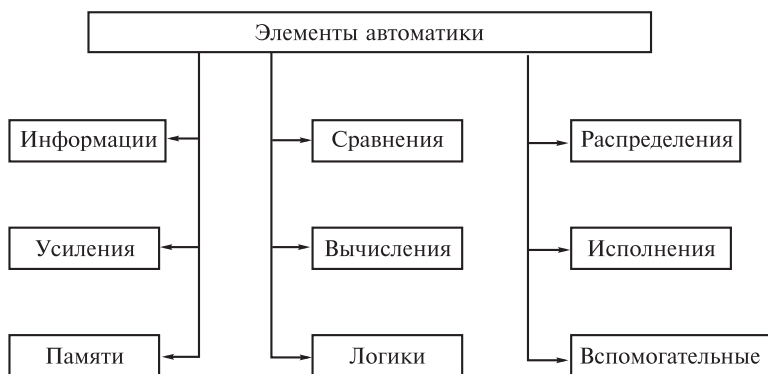


Рис. 1.7. Классификация элементов автоматики по функциональным признакам

бренных основных и вспомогательных признаков, в свою очередь, может подразделяться на подклассы, группы, подгруппы, виды, подвиды и т. д.

Элементы автоматики могут быть построены на различной физической и конструктивной основе, поэтому основными их признаками являются функциональная зависимость и принципы формирования. Для дальнейшего подразделения могут быть приняты такие признаки, как состояние вещества, из которого строится элемент (твердое, жидкое, газообразное), и характер измеряемой величины (или состояния), т. е. механическая, акустическая, тепловая, электрическая, магнитная, химическая и др. Каждому характеру измеряемой величины соответствует множество конкретных измеряемых величин и состояний (табл. 1.1).

Любые величины и состояния могут быть реализованы двумя путями. Первый путь связан с физическими принципами формирования элемента, второй — с конструктивными. Кроме того, важно знать в качестве признака элемента характер его выходного параметра: механический, акустический, тепловой, оптический, электрический, магнитный, радиоактивный и др. На рис. 1.8 приведены основные классификационные признаки элементов автоматики.

Любой элемент может иметь различный характер преобразования — электрический, пневматический, гидравлический или механический. Таким образом, у элементов сравнения основными классификационными признаками могут быть характер действия (электрический, пневматический, гидравлический) и характер сравнения (амплитуда сигнала, частота, фаза, длительность, знак, число импульсов, код).

В свою очередь, каждая величина (амплитуда, частота и т. д.) имеет свою разветвленную классификационную схему.

Основными классификационными признаками элементов распределения могут быть также характер действия (электрический, пневматический, гидравлический) и принцип действия.

Такой признак, как характер действия, относится почти ко всем элементам, и в дальнейшем, если не будет особо оговорено, его следует рассматривать как признак каждого элемента.

В приведенной классификационной схеме перечисляются только основные признаки ряда элементов, т. е. она неполная и требует дальнейшего уточнения и развития.

К примеру, элементы усиления разделяют прежде всего по выполняемым функциям: усилители тока, напряжения, мощности как постоянного, так и переменного тока. В то же время в зависимости от принципа действия электрические усилители могут быть электронными, магнитными, ионными, электромеханическими, фотоэлектрическими, гальваномагнитными и на основе использования различных нелинейно-

Виды измеряемых элементами автоматике величин и состояний

Характер измеряемой величины	Измеряемая величина	Измеряемое состояние
Механическая	Перемещение (длина, ширина, высота, толщина, уровень), положение, скорость, ускорение, время, объем, количество, расход, давление, работа, мощность, момент и т. д.	Плотность, удельный вес, пористость, проницаемость, капиллярность, поверхностное натяжение, диффузионный потенциал, консистентность, вязкость, пластичность, текучесть, упругость, твердость, точность и т. д.
Акустическая	Давление и скорость звука, частота, фаза и длина волны, сопротивление, энергия, работа звука	Удельное сопротивление, поглощение звука, отражение, скорость звука в веществе
Тепловая	Температура, тепловой поток, тепловая проводимость, количество тепла, параметр сгорания, зажигания и т. д.	Теплопроводность, теплотворная способность, удельная теплоемкость, тепловое расширение, плавление, кипение, усадка и т. д.
Оптическая	Яркость, освещенность, световой поток, частота волны света, энергия и т. д.	Поглощение света, отражение, поляризация, люминесценция, интерференция и т. д.
Электрическая	Ток, напряжение, напряженность поля, частота тока, мощность, спектр тока и т. д.	Электропроводность, диэлектрическая проницаемость, электрическая прочность, электрострикция и т. д.
Магнитная	Намагничивающая сила, напряженность магнитного поля, магнитный поток, магнитное сопротивление, магнитная индуктивность, взаимоиндуктивность и т. д.	Магнитные восприимчивость и проницаемость, магнитная индукция, магнитоотрицательность и т. д.
Радиоактивная	Поток радиации, интенсивность радиации, энергия радиации и т. д.	Поглощение, трансформация излучения и т. д.

стей. В свою очередь, усилители любого принципа действия имеют также разветвленную схему классификации.

Для элементов вычисления главным признаком является функциональная зависимость, т.е. то математическое действие, для которого они предназначены — сложение, вычитание,

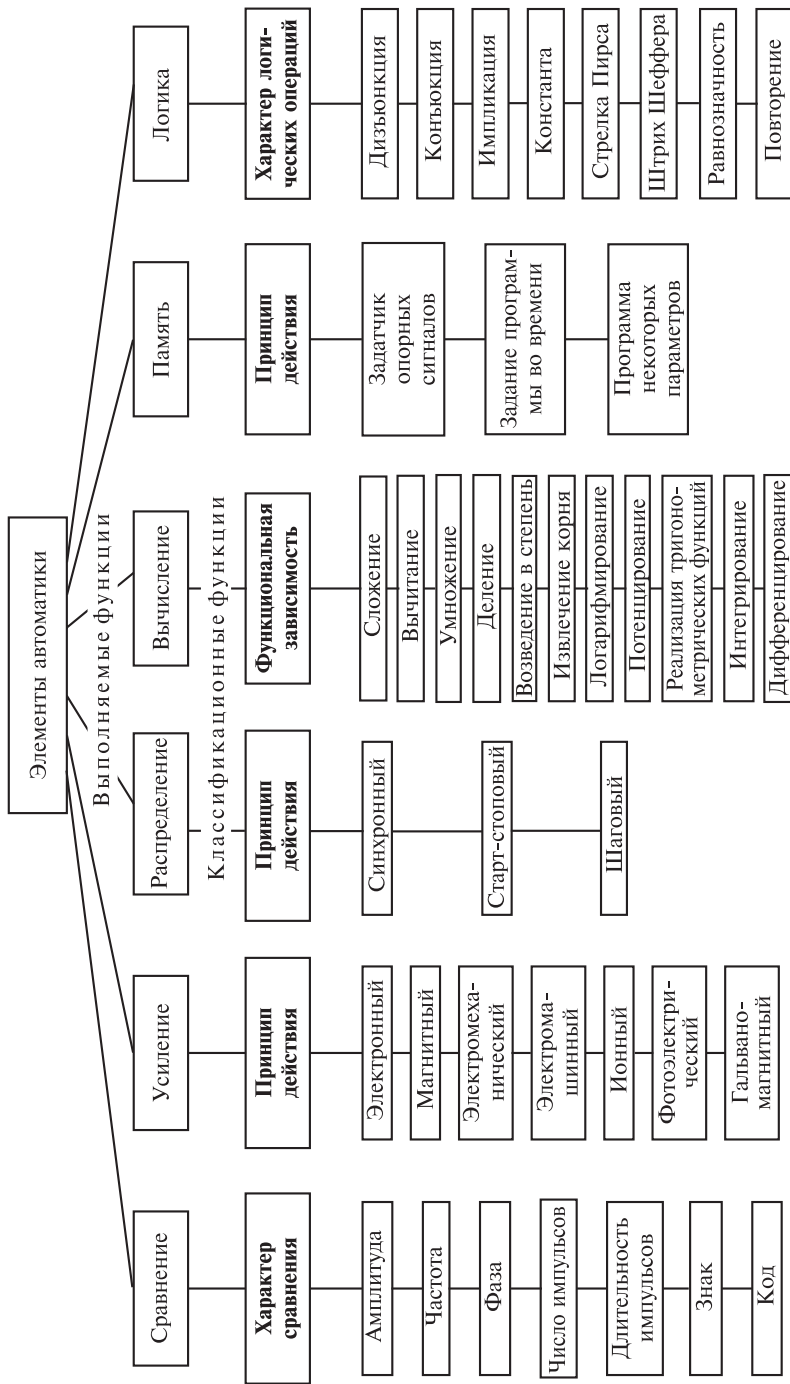


Рис. 1.8. Классификационные признаки элементов автоматики

умножение, деление, возведение в степень, извлечение корня, логарифмирование, потенцирование, реализация тригонометрических функций, дифференцирование по времени, параметру, интегрирование по времени, параметру.

Элементы памяти классифицируются как по выполняемым функциям, так и по принципу их действия. Это прежде всего задатчики опорных сигналов, элементы для задания программы, различных временных функций и других параметров.

Элементами исполнения могут быть всевозможные простейшие и сложные устройства, классифицировать которые трудно, хотя, видимо, их можно подразделить по принципу действия, имея в виду также и разделение в зависимости от характера действия. К классу вспомогательных элементов можно отнести те, которые не получили еще окончательного конструктивного оформления.

Вопросы классификации при формировании определенного научного направления имеют большое значение, поэтому важна и дальнейшая разработка признаков разделения элементов и группирования их с одновременным решением вопросов определения особенностей расчета и исследования каждой группы.

Контрольные вопросы

1. Что называется элементом системы автоматического управления?
2. Из каких типовых элементов состоит система автоматического управления?
3. Чем отличаются генераторные датчики от параметрических?
4. Какие функции выполняют элементы САУ: усилители, стабилизатор, реле?
5. Какие функции выполняют исполнительные устройства?

Глава 2

ОБЩИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИКИ

2.1. Основные понятия и определения

Каждый из элементов характеризуется какими-либо свойствами, которые определяются соответствующими характеристиками. Некоторые из этих характеристик являются общими для большинства элементов.

Главной общей характеристикой элементов является *коэффициент преобразования* (или коэффициент передачи), представляющий

собой отношение выходной величины элемента y к входной величине x , или отношение приращения выходной величины Δy или dy (см. рис. 1.3) к приращению входной величины Δx или dx . В первом случае $K = y/x$ называется *статическим* коэффициентом преобразования, а во втором случае $K' = \Delta y/\Delta x \approx dy/dx$ при $\Delta x \rightarrow 0$ — *динамическим* коэффициентом преобразования. Связь между значениями x и y определяется функциональной зависимостью; значения коэффициентов K и K' зависят от формы характеристики элемента или вида функции $y = f(x)$, а также от того, при каких значениях величин подсчитываются K и K' . В большинстве случаев выходная величина изменяется пропорционально входной, и коэффициенты преобразования равны между собой, т. е. $K = K' = \text{const}$.

Статический и динамический коэффициенты преобразования характеризуются величинами, имеющими размерность. Например, если размерность входной величины $^\circ\text{C}$, а выходной a , то размерность коэффициента преобразования будет $a/^\circ\text{C}$. Коэффициенты K и K' могут быть также выражены в относительных (безразмерных) величинах при условии, что входная и выходная величины имеют одинаковую размерность.

Величина, представляющая собой отношение относительного приращения выходной величины $\Delta y/y$ к относительному приращению входной величины $\Delta x/x$, называется *относительным коэффициентом преобразования*

$$\eta_{\Delta} = \frac{\Delta y/y}{\Delta x/x} = \frac{\Delta y/\Delta x}{y/x}.$$

При $\Delta x \rightarrow 0$ получим

$$\eta_{\Delta} = \frac{dy/y}{dx/x} = \frac{dy/dx}{y/x} = K' \frac{1}{K}.$$

Например, если изменение входной величины на 2 % вызывает изменение выходной величины на 3 %, то относительный коэффициент преобразования $\eta_{\Delta} = 1,5$. Из последней формулы видно, что относительный коэффициент преобразования равен отношению динамического коэффициента преобразования к статическому. Следовательно, относительный коэффициент преобразования η_{Δ} размерности не имеет. Для преобразователя с пропорциональной характеристикой $\eta_{\Delta} = \eta = 1$.

Применительно к различным элементам автоматики коэффициенты преобразования K' , K , η_{Δ} и η имеют определенный физический смысл и свое название. Например, применительно к датчику коэффициент преобразования называется чувствительностью (статической, динамической, относительной); желательно, чтобы она была как можно больше. Для усилителей коэффициент

преобразования принято называть коэффициентом усиления; желательно, чтобы он был также как можно больше. Для большинства усилителей (в том числе и электрических) величины x и y являются однородными, и поэтому коэффициент усиления представляет собой безразмерную величину.

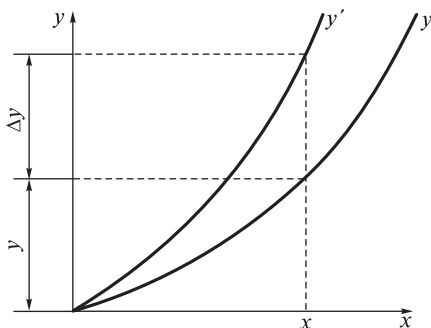


Рис. 2.1. Схема определения погрешности элемента

При работе элементов выходная величина y может отклоняться от требуемого значения за счет изменения их внутренних свойств (износа, старения материалов и т. п.) или за счет изменения внешних факторов (колебания напряжения питания, окружающей температуры и др.), при этом происходит изменение характеристики элемента (кривая y' на рис. 2.1). Это отклонение называется погрешностью, которая может быть абсолютной и относительной.

Абсолютной погрешностью (ошибкой) называется разность между полученным значением выходной величины y' и расчетным (желаемым) ее значением (см. рис. 2.1): $\Delta y = y' - y$.

Относительной погрешностью называется отношение абсолютной погрешности Δy к номинальному (расчетному) значению выходной величины y . В процентах относительная погрешность определяется как $\gamma = \Delta y \cdot 100/y$.

В зависимости от причин, вызывающих отклонение, различают температурную, частотную, токовую и другие погрешности.

Иногда пользуются *приведенной погрешностью*, под которой понимается отношение абсолютной погрешности к наибольшему значению выходной величины. В процентах приведенная погрешность

$$\gamma_{\text{прив}} = \Delta y \cdot 100/y_{\text{max}}$$

Если абсолютная погрешность постоянна, то приведенная погрешность также постоянна.

Погрешность, вызванная изменением характеристик элемента со временем, называется *нестабильностью элемента*.

Порогом чувствительности называется минимальная величина на входе элемента, которая вызывает изменение выходной величины (т. е. уверенно обнаруживается с помощью данного датчика). Появление порога чувствительности вызывают как внешние, так и внутренние факторы (трение, люфты, гистерезис, внутренние шумы, помехи и др.).

На рис. 2.2, a показана характеристика элемента при наличии «мертвого» хода. Из характеристики видно, что когда входная ве-

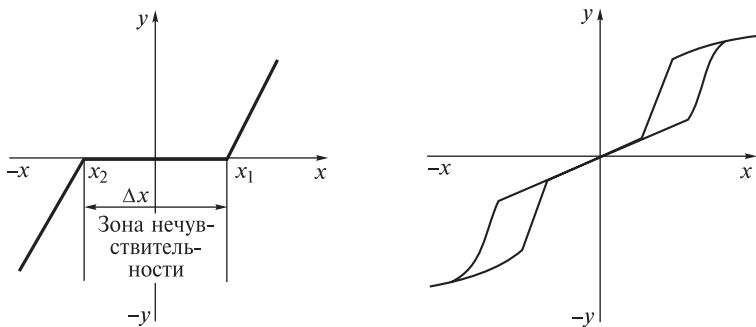


Рис. 2.2. Схема определения порога чувствительности:

a — характеристика элемента при наличии «мертвого» хода; *б* — характеристика элемента при наличии релейных свойств

личина x изменяется в пределах от x_1 до x_2 , выходная величина y не изменяется и равна нулю. Значения x_1 и x_2 называются порогами чувствительности, а расстояние между x_1 и x_2 , равное Δx , — зоной нечувствительности. При наличии релейных свойств характеристика элемента может приобретать реверсивный характер (рис. 2.2, *б*). В этом случае она также обладает порогом чувствительности и зоной нечувствительности.

2.2. Динамический режим работы элементов

Динамическим режимом называется процесс перехода элементов и систем из одного установившегося состояния в другое, т.е. такое условие их работы, когда входная величина x , а следовательно, и выходная величина y изменяются во времени. Процесс изменения величин x и y начинается с некоторого порогового времени $t = t_n$ и может протекать в инерционном и безынерционном режимах. При отсутствии инерционности процесс изменения x и y может характеризоваться графиком, приведенным на рис. 2.3, *a*.

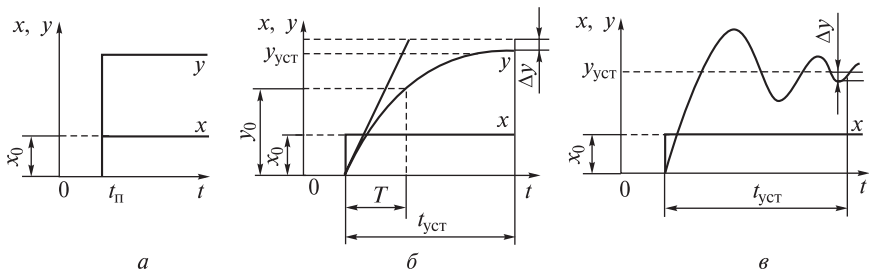


Рис. 2.3. Переходные процессы в элементе при скачкообразном изменении входной величины:

a — при отсутствии инерционности; *б*, *в* — при наличии инерционности