

Вариацией называют наибольшую разность между повторными показаниями приборов, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой величины при неизменных внешних условиях. Например, если трехкратное измерение температуры кипящей воды при постоянном атмосферном давлении термометр показывает в первый раз $100,2^{\circ}\text{C}$, во второй раз — $99,6^{\circ}\text{C}$, в третий — $99,8^{\circ}\text{C}$, то вариация показаний термометра будет равна $0,6^{\circ}\text{C}$. Так же, как и погрешность, вариацию часто оценивают в процентах от верхнего предела измерений прибора (или от алгебраической разности верхнего и нижнего пределов измерений).

Существуют два близких по наименованию, но различных по смыслу термина: чувствительность и порог чувствительности.

Чувствительностью измерительного прибора называют отношение линейного или углового перемещения стрелки или пера прибора к единице измеряемой величины, вызвавшей это перемещение. Например, если у одного манометра перемещение стрелки равно 6 угловым делениям на единицу давления, а у второго — 10 делениям, то второй более чувствителен, чем первый.

Порогом чувствительности измерительного прибора называют наименьшее изменение измеряемой величины, способное вызвать малейшее перемещение стрелки или пера прибора. Порог чувствительности у измерительных приборов возникает прежде всего за счет трения в кинематических звеньях. Поэтому при определении порога чувствительности требуется предварительно исключить влияние вариаций, возникающих по другим причинам.

Погрешности, вариации и порог чувствительности по сравнению с измеряемыми величинами относительно невелики, и в обычных условиях их принято оценивать величинами с двумя значащими цифрами. Например, приведенная погрешность $0,83\%$, а не $0,826\%$.

Совокупность действий, производимых с целью оценки погрешностей приборов, называют *поверкой*.

§ 3. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЕ И АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Для пояснения принципа действия всякой автоматической системы управления рассмотрим регулирование скорости движения (подачи) роторного экскаватора в зависимости, например, от прочности грунта.

На рис. 5 показана блок-схема электропривода рабочего органа роторного экскаватора с ручным управлением. Нагрузка B на валу электропривода роторного



5. Принцип действия системы регулирования скорости движения роторного экскаватора

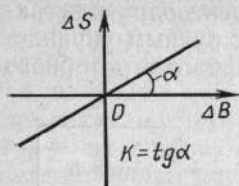
экскаватора зависит от прочности грунта. В свою очередь ток якоря электропривода I является функцией нагрузки на рабочем органе. Шкалу прибора, измеряющего ток I , можно проградуировать в величине нагрузки B . Человек, обслуживающий экскаватор, следя за углом поворота φ стрелки прибора, читает на его шкале значение нагрузки B . В зависимости от того, в какую сторону она отклонилась от требуемого значения, человек производит перемещение S движка реостата, изменяющего частоту вращения электродвигателя и скорость движения экскаватора в соответствующую сторону.

Автоматизируя этот процесс, прежде всего надо проанализировать функции человека в нем. Человек здесь осуществляет перемещение движка реостата в зависимости от наблюдаемого им отклонения нагрузки.

Такой простейшей зависимостью является пропорциональность между перемещением движка реостата и величиной отклонения с учетом направления (знака) этого перемещения (рис. 6):

$$\Delta S = K \Delta B,$$

где ΔB — нежелательное отклонение нагрузки от некоторого требуемого заданного программой ее значения B_0 ; K — коэффициент пропорциональности, который показывает, сколько, например, сантиметров перемещения ΔS движка реостата приходится на каждую единицу отклонения.



6. Зависимость перемещения движка реостата от единицы отклонения

7. Принцип действия полуавтоматической системы регулирования скорости движения роторного экскаватора



Требуемую зависимость можно осуществить, например, если изъять указательный прибор со стрелкой и заставить непосредственно движок реостата перемещаться под действием тока I , для чего надо поставить небольшой привод (сервопривод), как показано на рис. 7. Тогда прибор и связанный с ним привод реостата будут совместно осуществлять заданную зависимость, которая называется законом регулирования.

На этом примере ясно видно, что для полной автоматизации процесса регулирования по определенной программе нужно вместо разомкнутой системы (см. рис. 5) создать замкнутую систему (рис. 7), осуществляющую заданный закон регулирования автоматически — без помощи человека. В замкнутой системе входное воздействие (величина тока I) непосредственно зависит от значения выходной величины B . Эта непосредственная связь от выхода системы к ее входу называется обратной связью. Наличие обратной связи и создает замкнутый контур передачи воздействий в системе автоматического регулирования.

Обратная связь осуществляется с помощью устройства, которое служит не просто для регулирования величины B . Оно является, во-первых, чувствительным элементом, реагирующим на отклонение нагрузки от требуемого значения и, во-вторых, само передающее соответствующее воздействие на привод регулирующего реостата. Однако оператор должен установить величину

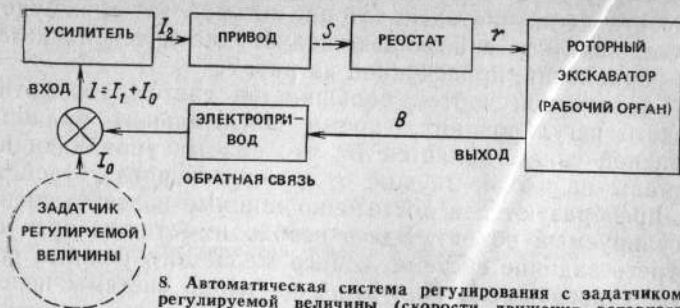
скорости движения экскаватора, которая затем и будет поддерживаться с помощью полуавтоматической системы управления, приведенной на рис. 7.

Характерной чертой большинства систем автоматического регулирования, кроме обязательного наличия обратной связи, является то, что слабые управляющие сигналы на входе, идущие от измерительного устройства, преобразуются в достаточно мощные воздействия на регулируемый объект. Здесь необходимо также предусмотреть задание системе любого желаемого режима работы (программы). Для этого на входе системы перед усилителем вводится «эталонная» величина (рис. 8), которая соответствует требуемой нагрузке B_0 . Эта величина I_0 сравнивается с I_1 прибора, которая отвечает фактической нагрузке. Разность $I = I_1 - I_0$ называется *рассогласованием* (ошибкой управления). Оно пропорционально отклонению B от требуемого значения B_0 , т. е. ошибке системы регулирования. Эта разность I и подается на усилитель, питающий привод движка регулирующего реостата.

Как видно из примера, автоматическая система регулирования (управления) состоит из двух основных частей: объекта и регулятора (управляющего устройства).

В рассмотренной системе регулирования управляющее устройство автоматической системы состоит из следующих элементов: воспринимающего, устанавливаемого непосредственно на выходе объекта для обнаружения выходной координаты (тока якоря электродвигателя рабочего органа), измерительного элемента, ряда усилительно-преобразовательных элементов и исполнительного устройства (реостата с его приводом), в который входит исполнительный элемент (реостат).

Все функциональные элементы управляющего устройства в той или иной форме последовательно преобразуют сигнал. Сигнал выхода системы (ток якоря электродвигателя рабочего органа) преобразуется воспринимающим элементом в сигнал, удобный для сравнения его с эталоном (измерением его величины). Величина контрольного воздействия должна быть постоянной, но она изменяется в зависимости от внешних воздействий (например, изменение нагрузки, связанное с прочностью грунта) и внутренних воздействий. Воздействия на нашу систему могут носить как заранее планируемый характер, так и непланируемый (помехи).



8. Автоматическая система регулирования с задатчиком регулируемой величины (скорости движения роторного экскаватора)

С измерительного элемента сигнал (ток I_1) поступает на элемент сравнения, где происходит сравнение действительного значения выходной координаты и предписанного значения (алгебраическое сложение I_0 и I_1), т. е. определяется ошибка управления (величина I). Затем соответствующий элемент вырабатывает управляющее воздействие, которое поступает на исполнительное устройство. Таким образом, в нашей системе осуществляется регулирование — обеспечение постоянства выходной координаты (тока якоря или потребляемой мощности электродвигателя рабочего органа) объекта управления, состоящего из рабочего органа (режущего инструмента) и электропривода к нему (электродвигателя).

§ 4. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

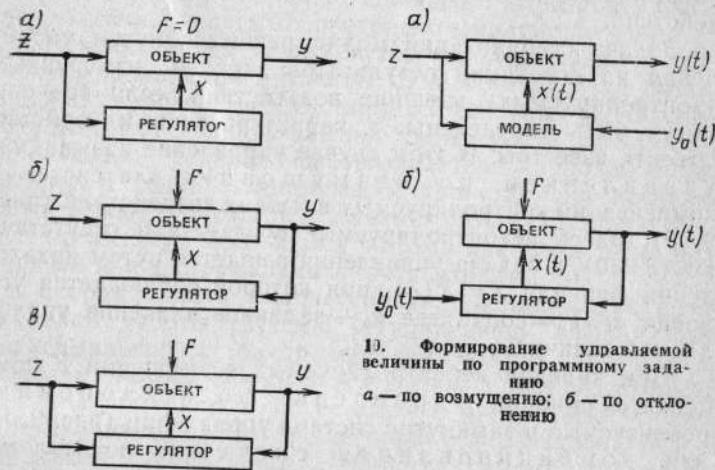
Принципы, положенные в основу автоматического управления, существенно различаются в зависимости от задач, поставленных перед системой, наличия характеристик объекта и характера получаемой информации.

Задачи, поставленные перед системой управления, можно разбить на несколько групп.

1. Стабилизация какой-либо управляемой величины. В этом случае необходимо с заданной точностью поддерживать постоянными те или иные значения управляемой величины.

2. Программное управление одной из управляемых величин. При этом закон изменения управляемой величины может быть как заранее известным и зада-

ваться оператором, обслуживающим систему управления (программное регулирование), так и автоматически соответствовать изменению какой-либо заранее неизвестной измеряемой величины (следящая система).



13. Формирование управляемой величины по программному заданию
а — по возмущению; б — по отклонению

9. Пути решения задачи стабилизации
а — управление по возмущению; б — управление по отклонению; в — управление по возмущению и отклонению

3. Самонастройка системы на оптимум какого-либо из показателей объекта или системы. Это может быть обеспечение экстремального значения управляемой величины или поддержание режима работы объекта, оптимального в определенных условиях его использования по назначению. Самонастройка может сочетаться и со стабилизацией, и с программным управлением.

Как указывалось выше, системы управления разделяются на разомкнутые и замкнутые (см. рис. 1, 2).

В разомкнутых системах управляющее воздействие задается без учета действительного значения управляемой величины на основании цели управления, характеристик объекта и известных внешних воздействий. Такое управление называется жестким, без обратной связи.

В замкнутых системах управляющее воздействие формируется в непосредственной зависимости от управляемой величины, значение которой контролируется.

Разомкнутые системы управления применяют при отсутствии влияния неконтролируемых возмущений. Они служат для стабилизации программного управления, а также для дистанционного управления (управления на расстоянии), но без применения корректирующих воздействий.

Задача стабилизации может решаться путем управления на основании результатов заранее измеренных (контролируемых) внешних воздействий, если все они могут быть определены, а характеристики и свойства объекта известны. В этом случае управление называется управлением по возмущению или системой компенсации контролируемых внешних воздействий (рис. 9, а). Здесь неконтролируемые воздействия отсутствуют ($F=0$), а задача управления решается путем нахождения функции $X=X(Z)$, при которой соблюдается условие $y=y_0=\text{const}$, где y_0 — заданное значение управляемой величины.

При наличии неконтролируемых возмущений F применяется принцип управления по отклонению, реализуемый в замкнутой системе управления (рис. 9, б), или комбинированная система по отклонению и возмущению (рис. 9, в). При управлении по отклонению воздействие на управляющую величину зависит от разности между управляемой величиной и заданной и направлено в сторону уменьшения этой разности.

Программное управление также может осуществляться разомкнутыми и замкнутыми системами.

Если существует точное математическое описание объекта, а все внешние воздействия контролируются, и путем регулирования по возмущению их влияние может быть сведено до нуля, то программное управление объектом может вестись по разомкнутой системе жесткого управления. При этом управлении задается такой закон изменения управляющей величины $X(t)$, который обеспечивает требуемый закон изменения управляемой величины $y(t)$ (рис. 10, а).

В системах, реализующих принцип программного управления по отклонению, на регулятор поступают две величины — требуемый закон изменения $y_0(t)$ и фактическое значение управляемой величины $y(t)$. В регуляторе сравнивается программное задание и регулируемая величина и вырабатывается управляющее воздей-

ствие $X(t)$, обеспечивающее минимальное значение расогласования (рис. 10, б).

Самонастраивающиеся системы управления решают задачи значительно более сложные и разнообразные, чем задачи, решаемые программными системами.

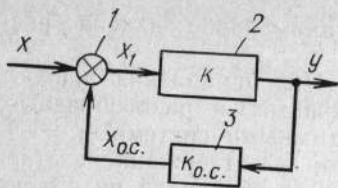
Первая задача таких систем — поддержание экстремума управляемой величины. Для этой цели на объект подают пробные воздействия со стороны управления, анализируют знак изменения управляемой величины и производят управляющее воздействие, приближающее режим к точке экстремума. Устройства, обеспечивающие режим работы управляемого объекта, близкий к оптимальному, называются автоматическими оптимизаторами или экстремальными регуляторами.

Вторая задача самонастройки — поддержание оптимальной работы системы регулирования по критерию максимального ее быстрогодействия. В этом случае показателем экстремума является время, в течение которого система приходит в соответствие с изменением условия регулирования. Это время может анализироваться с помощью специального устройства самонастройки. На основании анализа это устройство изменяет параметры регулятора таким образом, чтобы время регулирования было минимальным.

В сложных, не имеющих математического описания системах с многими неконтролируемыми воздействиями для нахождения оптимального условия работы необходимо запоминать различные режимы управления, учиться управлять. Это осуществляется самообучающимися системами автоматического управления, в которых с помощью специальных устройств запоминаются различные ситуации управления. В зависимости от входных и выходных величин автомат может выбирать из памяти системы соответствующие значения управляющих воздействий и соответственно воздействовать на объект. При этом могут реализоваться принципы воздействия как по возмущению, так и по отклонению.

§ 5. ОБРАТНЫЕ СВЯЗИ

Главным элементом замкнутой системы управления (регулирования) является звено обратной связи, с помощью которого на основании информации о значении



11. Структурная схема звена, охваченного обратной связью
1 — элемент сравнения; 2 — управляемое звено; 3 — звено обратной связи

управляемого параметра таким образом формируется управляющее воздействие, что объект управления находится в состоянии, отвечающем поставленной цели управления. Связь, с помощью которой соединяется выход всей системы с ее входом, называется главной или внешней обратной связью. Связь, с помощью которой передается воздействие от выхода какого-либо звена на его вход или на вход одного из предыдущих звеньев, т. е. обратная связь, охватывающая лишь часть звеньев системы, называется местной или внутренней связью.

Все звенья основной цепи, охваченные главной обратной связью, образуют основной замкнутый контур САУ, содержащие только одну главную обратную связь, называются одноконтурными. Автоматические системы, содержащие дополнительные обратные или дополнительные прямые связи, называются многоконтурными.

При помощи главной обратной связи измеряется в каждый момент времени действительное значение регулируемой величины и передается на вход системы к элементу сравнения. Последний сравнивает действительное и заданное значения регулируемого параметра, определяет величину рассогласования и в соответствии с этим воздействует на управляющее устройство с целью устранения рассогласования.

На рис. 11 показано звено 2, охваченное обратной связью 3 с коэффициентом передачи (усиления) $K_{0.c.}$

Коэффициентом передачи называется отношение приращения выходного сигнала ΔY к входному ΔX : $K_{0.c.} = \Delta y / \Delta X$.

Входной сигнал через обратную связь 3 поступает к элементу сравнения 1, в которой происходит алгебраическое сложение входного сигнала X с сигналом обратной связи $X_{0.c.}$ Если сигнал обратной связи $X_{0.c.}$ складывается с входным сигналом X , такая обратная связь называется положительной, а если вычитается — отрицательной. Значит,

$$X_1 = X \pm X_{0.c.}$$

Для звена без обратной связи

$$y = KX = KX_1,$$

с обратной

$$X_{0.c.} = K_{0.c.}y.$$

Решая совместно уравнения для звена с обратной связью, получаем

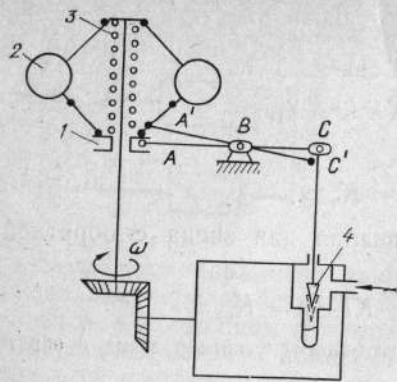
$$y = KX / (1 \pm KK_{0.c.}) = K_{рез}X,$$

где $K_{рез}$ — результирующий коэффициент усиления звена с обратной связью;

знак «—» в знаменателе действителен для положительной обратной связи, «+» — для отрицательной.

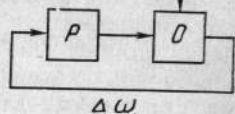
У жестких безынерционных связей выходной сигнал $X_{0.c.}$ зависит только от y , т. е. они могут быть представлены алгебраической функцией с обратной связью.

Рассмотрим обратную связь на примере автоматического регулятора. Все строительные и дорожные машины, оснащенные дизельными двигателями внутреннего сгорания ДВС, имеют центробежные регуляторы. Их назначение — увеличивать подачу топлива в цилиндры ДВС (например, у бульдозеров в момент резания грунта ножом) и уменьшать ее при холостом ходе. Упрощенная схема такого регулятора показана на рис. 12. Исполнительным органом регулятора на данной схеме является игла 4, изменяющая подачу топлива в двигатель (в действительности у дизеля перемещается не игла, а рейка топливного насоса высокого давления). Если бульдозер выполняет переход от резания грунта к его транспортировке, то сопротивление перемещению уменьшается и создается избыточный крутящий момент, а скорость вращения вала двигателя начинает расти. Под действием возросшей центробежной силы расходятся грузики 2, преодолевая силу пружины 3 чувствительного элемента регулятора, муфта 1 регулятора поднимается вверх и игла 4 опускается вниз. Уменьшается подача топлива в двигатель, и уменьшается скорость вращения вала двигателя. Таким образом регулятор противодействует изменению регулируемой величины — скорости вращения, стремится стабилизировать ее значение.



12. Регулятор частоты вращения дизельного ДВС
1 — муфта; 2 — грузики; 3 — пружина; 4 — игла (дозатор топлива)

13. Структурная схема регулятора ДВС



На рис. 13 показана структурная схема рассматриваемого регулятора. Здесь объект регулирования O (дизельный двигатель) подвергается как изменению нагрузки (пунктирная стрелка), так и управляющему воздействию регулятора P (сплошная стрелка). Это вызывает изменение скорости вращения двигателя $\Delta\omega$, оказывающее обратное воздействие на регулятор (показано жирной линией со стрелкой). Следовательно, такой регулятор обладает *отрицательной* обратной связью, т. е. уменьшение скорости вращения вала двигателя вызывает увеличение подачи топлива и наоборот.

§ 6. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

В нашей стране разработана Государственная система приборов (ГСП), в рамках которой начат выпуск датчиков, преобразователей, приборов, исполнительных механизмов и других средств и устройств автоматизации с унифицированными входными и выходными сигналами. Конструкции устройств, охваченных ГСП, также унифицированы. Введение такой системы способствует широкому внедрению стандартных элементов и модулей в средствах автоматизации и сокращению неоправданного увеличения их номенклатуры.

Рассмотрим некоторые положения ГСП. Так, для

унификации блоков, приборов и устройств электрической ветви ГСП для сигналов тока желательны диапазоны: 0—5 мА; 0—20 мА; а для сигналов напряжения: 0—10 мВ; 0—100 мВ; 0—1 В; 0—10 В; частотные характеристики ограничены диапазоном 1500—2500 Гц. Для пневматической ветви, согласно ГСП, выделен диапазон давления сжатого воздуха 20...100 кПа.

По функциональному признаку все изделия ГСП разделяются на четыре группы устройств (средств автоматизации).

1. Средства для получения информации о параметрах состояния объектов контроля, регулирования или управления, называемые измерительными элементами или датчиками. В эту группу входят первичные измерительные преобразователи (переводят контролируемый параметр в выходную физическую величину: напряжение, ток, усилие и т. д.) и нормирующие преобразователи, переводящие выходной сигнал в унифицированный.

2. Средства для приема, передачи и переработки измерительной информации, а также для преобразования и передачи управляющих команд, включающие усилители сигналов, каналы связи, преобразователи и сравнивающие устройства, называемые преобразующими элементами. В эту группу входят устройства телемеханики, телесигнализации, телеуправления, устройства согласования и др.

3. Средства для получения информации о задачах автоматического контроля, регулирования или управления, включающие запоминающие и программные устройства, преимущественно на базе микропроцессов и микроЭВМ, которые называются задающими элементами.

4. Средства для регулирования параметров контролируемых процессов, называемые исполнительными элементами. Они состоят из усилителей входных сигналов и исполнительных механизмов, преобразующих эти сигналы в энергию механических перемещений.

В некоторых автоматических системах присутствуют не все перечисленные элементы, однако отдельные элементы могут выполнять сразу несколько функций. Например, центробежный регулятор частоты вращения вала двигателя прямого действия является как измерительным элементом, так и исполнительным устройством.