

2 ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

2.1 Виды воздействий в системах автоматического регулирования

В ТАУ кроме управляющих воздействий вводятся также понятия "возмущающее воздействие", т.е. такое воздействие, которое нарушает заданный закон изменения управляемой величины.

К возмущающим воздействиям можно отнести нагрузку объекта регулирования, изменение внешних условий (температуры, давления, влажности и др.), изменение свойств во времени отдельных элементов системы. Если возмущающее воздействие резко влияет на ход процесса регулирования, то оно называется основным, если же оно влияет слабо и его трудно учесть – называется второстепенным. Например, в САР скорости вращения двигателя постоянного тока можно выделить:

управляющее воздействие – напряжение двигателя;

основное возмущение – изменение нагрузки на валу двигателя;

второстепенное возмущение – изменение сопротивлений электрической и магнитной цепей.

Воздействия, прикладываемые к САР обычно изменяются по произвольному закону во времени, точный закон изменения невозможно предвидеть. Конкретные воздействия могут быть самыми разнообразными по своему характеру. Поэтому поведение САР в реальных условиях представляет собой сочетание переходного и установившегося режимов. В этом случае возникают трудности принципиального характера, т.к. заранее неизвестны законы изменения внешних воздействий, что затрудняет анализ динамики и статики САР.

Кроме того, довольно часто сравниваются различные системы. Для этого нужно поставить их в одинаковые условия, т.е. подавать на вход одинаковые, так называемые типовые, управляющие и возмущающиеся воздействия, кото-

рые представляют собой наиболее неблагоприятные законы изменения управляющих и возмущающих воздействий.

При исследовании САР применяются несколько, так называемых, типовых или стандартных воздействий. Наиболее часто встречаются следующие типовые воздействия.

2.1.1 Единичный скачок и ступенчатое воздействие

Математически единичный скачок (рисунок 2.1, а) можно выразить следующим образом:

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ 1 & \text{при } t \geq 0 \end{cases}.$$

Ступенчатое воздействие (рисунок 2.1, б)

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0 \\ A & \text{при } t \geq 0 \end{cases}.$$

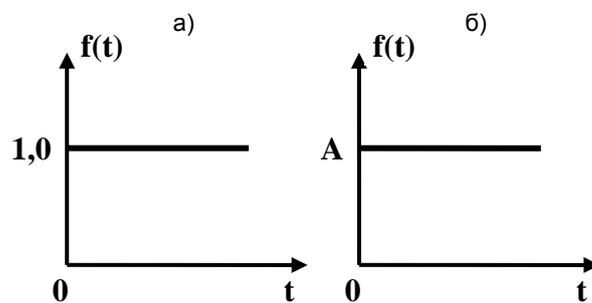


Рисунок 2.1 – Типовые воздействия

Воздействиям такого рода соответствуют, например, набросы и сбросы нагрузки, включение или снятие напряжения и т.п.

2.1.2 Единичный импульс

Единичный импульс (рисунок 2.2) – это воздействие бесконечно большой величины h и бесконечно малой длительности Δt при условии, что

$$h \cdot \Delta t = 1.$$

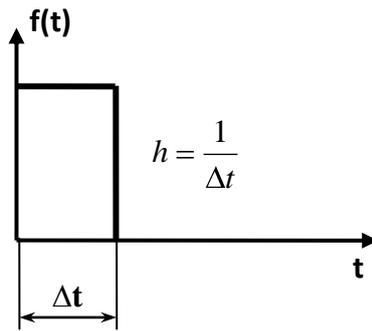


Рисунок 2.2 – Единичный импульс

Следовательно, единичный импульс представляет собой математическую идеализацию предельно короткого импульсного сигнала, площадь которого равна 1 при длительности равной нулю и высоте, равной бесконечности.

2.1.3 Импульсное воздействие

Импульсное воздействие представляет собой воздействие бесконечно большой величины H и бесконечно малой длительности Δt при условии, что

$$H \cdot \Delta t = A = \text{const}$$

Единичный импульс и импульсное воздействие реализовать практически невозможно, их можно осуществить только приближенно. Для импульсов прямоугольной формы с длительностью Δt амплитуда единичного импульса будет равна $h = \frac{1}{\Delta t}$, а амплитуда импульсного воздействия $H = \frac{A}{\Delta t}$. Т.е. единичный импульс (импульсное воздействие) можно рассматривать как предел прямоугольного импульса длительностью $\Delta t \rightarrow 0$ и высоты $h \rightarrow \infty$ ($H \rightarrow \infty$) при сохранении указанных выше условий.

Предельный единичный импульс называют δ -функцией (дельта-функцией). Импульсная функция может быть рассмотрена как производная от ступенчатого воздействия.

При подаче на вход какого-либо звена или системы единичного ступен-

чатого воздействия его выходная величина изменяется во времени. График изменения выходной величины в данном случае будет представлять переходную или временную функцию $h(t)$.

При подаче же на вход единичного импульса получаем импульсную переходную характеристику или весовую функцию (функцию веса), обозначаемую $\omega(t)$.

Дельта-функция связана с единичным ступенчатым воздействием (функцией) выражением

$$\delta(t) = 1'(t).$$

2.1.4 Линейное воздействие

Линейное воздействие (рисунок 2.3) – это воздействие, которое изменяется по линейному закону

$$f = g \cdot t,$$

где g – угловой коэффициент прямой.

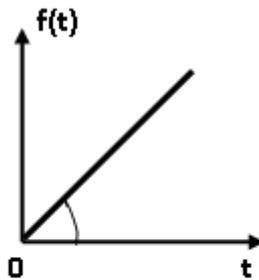


Рисунок 2.3 – Линейное воздействие

2.1.5 Синусоидальное воздействие

Синусоидальное воздействие (рисунок 2.4) – воздействие, которое изменяется по синусоидальному закону

$$f(t) = A \cdot \sin \omega t,$$

где A – амплитуда; ω – круговая частота.

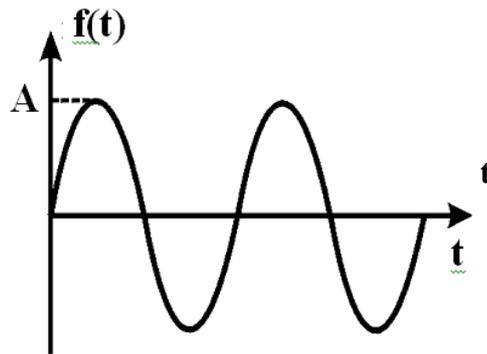


Рисунок 2.4 – Синусоидальное воздействие

2.2 Общие представления об элементах автоматики

При решении задач анализа и синтеза линейных САУ целесообразно представлять их в виде совокупности соединенных между собой нескольких несложных элементов с определенными динамическими свойствами. С точки зрения динамических свойств звеньев в теории автоматического регулирования принято их классифицировать по характеру переходного процесса, возникающего при подаче на вход звена единичного ступенчатого воздействия. При этом переходный процесс определяется только видом дифференциального уравнения, описывающего поведение звена. Реальные элементы, составляющие САУ, могут иметь разнообразную физическую основу (тепловую, механическую, электрическую и т.д.) и конкретное исполнение (нагревательное устройство, гидро- или пневмопривод, электрический двигатель и т. д.). Однако они описываются одним и тем же дифференциальным уравнением, а, следовательно, обладают идентичными динамическими свойствами. Исходя из идентичности динамических свойств, реальные элементы можно отнести к определенному типу звеньев, что, в конечном счете, позволяет свести все многообразие реальных элементов к небольшому числу так называемых элементарных звеньев.

Таким образом, с точки зрения математического описания переходных процессов реальный элемент и САУ могут быть представлены в виде отдельно-

го элементарного звена или их комбинаций. В результате такого представления получают структурную схему реального элемента или САУ, которая достаточно точно и полно описывает их динамические свойства. Элементарным звеном называется такое звено, которое невозможно подразделить на еще более простые звенья. Элементарные звенья характеризуются следующими общими свойствами:

- а) имеют одну входную и одну выходную величину;
- б) описываются дифференциальным уравнением не выше 2-го порядка;
- в) обладают детектирующим свойством, т.е. пропускают сигнал только в одном направлении.

Элементарными звеньями, из которых может быть составлена структурная схема САУ практически любой сложности, являются: пропорциональное, идеальное интегрирующее, апериодическое, колебательное, идеальное дифференцирующее и звено чистого запаздывания.

В принципе любой элемент автоматики может быть представлен в виде двухполюсника (рисунок 2.5). Он конструктивно обособлен и выполняет вполне определенную функцию. Связь между выходной и входной величиной математически описывается с помощью оператора преобразования: $y(t)=L(a,x,t)x(t)$, где a – обобщенный конструктивный параметр элемента. Этот параметр определяет его основное функциональное назначение.

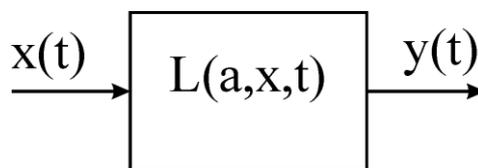


Рисунок 2.5 – Функциональное определение элемента автоматики как двухполюсника

Оператор преобразования может быть выражен в виде передаточной функции. Если элемент представляет собой безынерционное звено, то оператор преобразования вырождается в функцию преобразования $L(a,x,t)=L(a,x)=F(a,x)$. Причем если она имеет линейную зависимость, то функция преобразования вы-

рождается в коэффициент преобразования $F(a,x)=K(a)$.

Элемент автоматики, как звено системы управления характеризуется набором динамических и статических характеристик. Они определяют не только поведение самого элемента в процессе управления, но и накладывают определенное влияние на характер регулирования основного выходного параметра системы.

2.3 Динамические характеристики элементов автоматики

К динамическим характеристикам относятся:

- постоянная времени;
- перерегулирование;
- полоса пропускания.

Они определяют время переходного процесса, т.е. инерционность элемента; допустимые перегрузки, максимальные отклонения регулируемой величины

Элементы электроавтоматики в зависимости от характера переходных процессов делятся на инерционные (динамические y_1 , y_2) и безынерционные (y_3). Их переходные процессы строятся на основании переходных характеристик и могут иметь вид, показанный на рисунке 2.6.

В практике принято анализировать динамические характеристики объектов по их реакции на один из стандартных входных сигналов: единичный скачок (ступенька) или дельта функция. Более широкое применение для анализа технических объектов нашла единичная ступенька. На рисунке 2.6 показана реакция элементов, имеющих различные динамические характеристики, на ступенчатый входной сигнал.

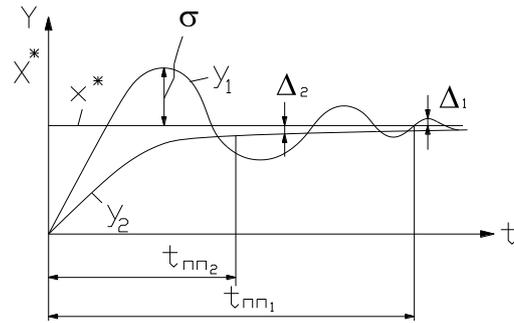


Рисунок 2.7 – Переходные процессы элементов систем управления, отличающихся динамическими характеристиками

$t_{пп1}$ – время переходного процесса апериодического звена,

$t_{пп2}$ – время переходного процесса колебательного звена

Динамические элементы в свою очередь делятся на апериодические y_2 и колебательные (периодические) y_1 .

Переходный процесс считается теоретически закончившимся, если выходной сигнал однажды попав в 5%-ную зону допустимых отклонений больше никогда из этой зоны не выходит.

Для колебательного звена важной характеристикой переходного процесса является величина перерегулирования σ . Оно определяет максимальное отклонение регулируемой величины от номинала. В зависимости от типа объекта управления по этому параметру к системам управления предъявляются различные требования. Например, в металлообрабатывающих станках, реализующих необратимый процесс формообразования, у приводов подач допустимое значение σ по положению не должно превышать 10-15%. В тоже время для различных обратимых процессов, на пример слежение за самолетами в системах навигации величина σ может достигать 30%.

Все характеристики переходного процесса однозначно связаны с параметрами объекта управления. К обобщенным характеристикам (параметрам) объекта управления относятся: T – постоянная времени или $\alpha = 1/T$ – коэффициент затухания и ω – собственная частота процессов преобразования, выпол-

няемых в элементе.

Математическое выражение для переходного процесса апериодического звена можно представить следующим образом:

$$y_1 = A(1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad (2.1)$$

где A – установившееся значение выходной величины. При коэффициенте передачи элемента равном единице величина A равна входному воздействию.

Этому уравнению подчиняются многие процессы и в частности: заряд конденсатора от источника постоянного напряжения, набор температуры в печи при ее разогреве, разгон двигателей приводов, имеющих большие инерционные массы (привод главного движения) и т.д. Постоянная времени T является мерой инерционности объекта.

Математическое выражение переходного процесса для колебательного звена имеет вид:

$$y_2 = A[1 - e^{-\alpha t} \cdot \sin(\omega t - \varphi)], \quad (2.2)$$

где ω – собственная частота; α - коэффициент затухания; φ - начальная фаза колебаний.

2.4 Статические характеристики элементов автоматики

К статическим характеристикам относятся:

- коэффициент преобразования;
- погрешность;
- зона нечувствительности или порог чувствительности.

Эти характеристики определяют поведение элементов в установившихся режимах.

Коэффициент преобразования – это отношение выходной величины ко входной величине в установившемся режиме.

$$K_n = y(t = \infty)/x. \quad (2.3)$$

В зависимости от назначения элемента, коэффициент преобразования

называют: коэффициент усиления, коэффициент стабилизации, чувствительность и т.д.

Погрешность – это отклонение выходной величины от требуемого значения, при неизменной входной величине. Она, как правило, связана с изменением свойств внутренних элементов, при изменении условий эксплуатации. В зависимости от причин, вызывающих погрешность, ее называют: температурная, частотная и параметрическая нестабильность. Различают абсолютную и относительную погрешность.

Зона нечувствительности – это такое абсолютное значение входного сигнала, которое не приводит к изменению выходной величины. Пример зоны нечувствительности показан на рисунке 2.7. Зоной нечувствительности являются шумы в электронных усилителях, люфты в редукторах, дискретность изменения выходного сигнала в элементах преобразования аналоговых сигналов и т. д.

Основным требованием, предъявляемым к статической функции преобразования элементов автоматики, используемых в системе управления, является ее линейность. При наличии нелинейности в контуре системы управления различным значениям входного сигнала соответствуют разные значения коэффициентов усиления. Это не позволяет обеспечить требуемое качество управления при сохранении устойчивости системы во всем желаемом диапазоне изменения входных сигналов или возмущений.

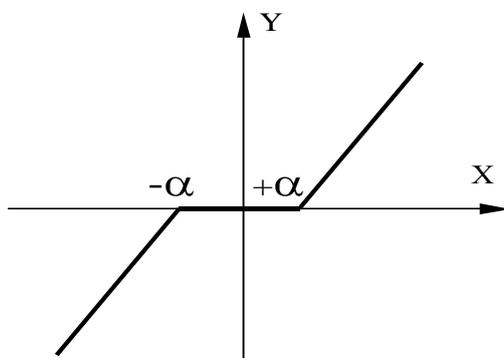


Рисунок 2.7 – Пример зоны нечувствительности элемента автоматики

Зона нечувствительности не всегда оказывает отрицательное влияние на

процесс управления. В некоторых случаях она вводится специально, например, в различных дискретных системах стабилизации с целью исключения возможных автоколебаний. В станках с ЧПУ в стандартных циклах позиционирования в окрестности точки, соответствующей нулевой ошибке рассогласования координат, предусмотрена зона нечувствительности равная 2-4 дискретам измерения перемещений.

2.5 Контрольные вопросы

1. Перечислите основные виды типовых воздействий.
2. Что такое элементарное звено?
3. Перечислите основные динамические характеристики элементов автоматике.
4. Перечислите основные статистические характеристики элементов автоматике.
5. Что такое переходный процесс?