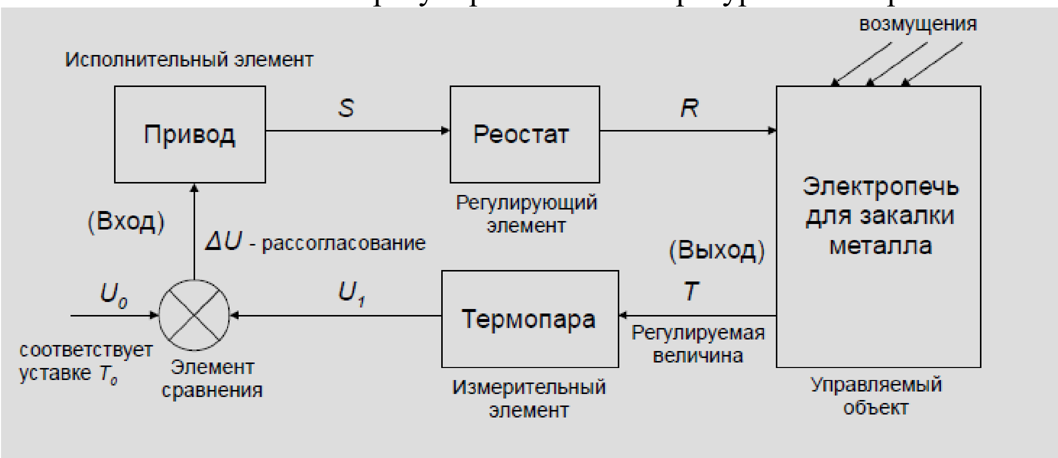
1. Понятие управления. Автоматическое и автоматизированное управление. САУ и САР. Показать на примере типовые функциональные элементы замкнутой САУ.

Управление — совокупность действий, обеспечивающих протекание процесса с целью достижения требуемых результатов.
Автоматические системы управления работают без участия человека, они применяются для управления отдельными машинами, агрегатами.
Автоматизированные системы управления предполагают наличие человека в процессе управления, а так же применяются для организационного управления и управления технологическими процессами (АСУП и АСУТП)
САУ – комплекс устройств, предназначенных для автоматического изменения 1 или нескольких параметров ОУ с целью установления требуемого режима его работы; состоит из объекта управления и автоматического управляющего устройства (регулятора)
САР – совокупность ОУ и автоматического регулятора, взаимодействующих между собой в соответствии с алгоритмом управления; применяют для регулирования параметров (температура, давление…) в объекте управления.

Основные задачи САУ
1. Обеспечение изменения выходной величины системы в соответствии с входной величиной с требуемой точностью (управление)
2. Поддержание заданного значения входной величины при наличии внешних возмущений (регулирование)
Задача регулирования – поддержание константы.

Система автоматического регулирования температуры в электропечи



$\Delta u = u_0 - u_1$
Типовые функциональные элементы САУ
Чувствительные (измерительные) элементы
Элементы сравнения
Усилительные элементы
Исполнительные элементы
Регулирующие элементы объекта управления
Корректирующие элементы (дополнительные)

2. Классификация САУ.

По характеру изменения величин:

- системы непрерывного действия
- системы дискретного действия:
  * системы импульсного действия
  * системы цифрового действия (010001011)
  * системы релейного действия

По типу ошибки в статике:

- статические
- астатические

По виду цикла управления:

– разомкнутые
– замкнутые

По математическим признакам:

– линейные и нелинейные
- существенно нелинейные

По принципу управления:

– по отклонению регулируемого параметра
– по возмущению
– комбинированные

По алгоритмам функционирования (по назначению):

- системы слежения
- системы стабилизации
- системы телеуправления
- системы программного управления
- системы самонаведения, автопилотирования

По наличию или отсутствию вспомогательной энергии:

- прямого действия
- непрямого действия (косвенные)

3. Математическое описание САУ. Передаточная функция. Виды соединений звеньев.

Передаточная функция – это соотношение изображения Y(p) выходного сигнала y(t) звена к изображению X(p) его входного сигнала x(t).

Математическое описание САУ

● Для линейных САУ справедлив принцип суперпозиции (реакция системы на любую комбинацию внешних воздействий равна сумме реакций на каждое из этих воздействий в отдельности)

● Элементы САУ, различные по физической природе и конструктивному исполнению, могут обладать одинаковыми динамическими свойствами

● Для описания САУ вводится понятие динамического звена системы (математическая модель элемента или его части, записанная в виде дифференц. ур-ия или передаточной функции)

● Звено обладает свойством направленности действия (от входа звена к его выходу)

● Уравнение динамики: $CL\frac{d^2U_c(t)}{dt^2}+RC\frac{dU_c(t)}{dt}+U_c(t)=U_{\text{вх}}$

$T_2^2y''(t)+T_1y'(t)+y(t)=kx(t)$

Передаточный коэффициент: $K=\frac{y(t)}{x(t)}$

Преобразование Лапласа

Пусть есть исходная функция (оригинал) $f(t)$: $f(t)=0$ при $t<0$

Изображение (прямое одностороннее преобразование Лапласа):

$F(p)=\int_0^\infty f(t)e^{-pt}dt$; **p** — оператор комплексного переменного (комплексная частота): $p=6+j\omega$

Краткое обозначение: $\boldsymbol{F(p)=L[f(t)]}$

Уравнение динамики в пространстве Лапласа

Исходное уравнение: $T_2^2y''(t)+T_1y'(t)+y(t)=kx(t)$

Уравнение динамики, после преобразования Лапласа: $T_2^2p^2Y(p)+T_1pY(p)+Y(p)=kX(p)$

$$Y(p)=\frac{k}{T_2^2p^2+T_1p+1}X(p)$$

Уравнение линейной САУ в общем случае: $C_0\frac{d^2y(t)}{dt^2}+C_1\frac{dy(t)}{dt}+C_2y(t)=b_0\frac{dx(t)}{dt}+b_1x(t)$

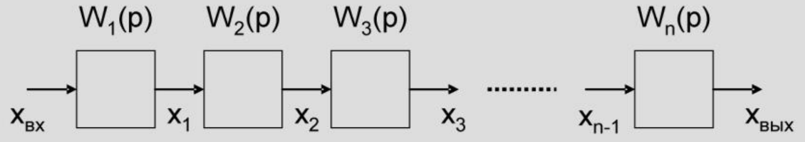
$(C_0p^2+C_1p+C_2)Y(p)=(b_0p+b_0)X(p)$

Передаточная функция: $W(p)=\frac{Y(p)}{X(p)}=\frac{b_0p^m+b_1p^{m-1}+\cdots+b_m}{C_0p^n+C_1p^{n-1}+\cdots+C_n}=\frac{E(p)}{D(p)},n\geq m$

Обратное преобразование Лапласа: $f(t)=L^{-1}[F(p)]=\frac{1}{2\pi}\int_{\sigma-jw}^{\sigma+jw}F(p)e^{pt}dp$

Виды соединений звеньев

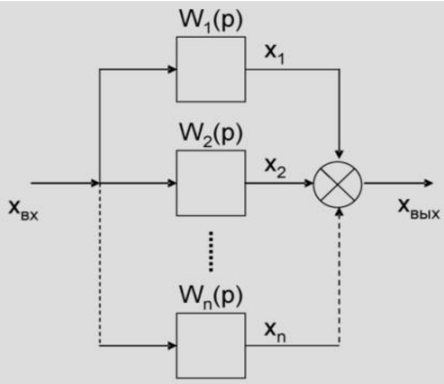
Последовательное – такое соединение, при котором выходная величина предшествующего звена является входной величиной последующего звена.



$$W(p)=\frac{x_{вых}(p)}{x_{вх}(p)} \qquad W(p)=\prod_{i=1}^{n} W_i(p)$$

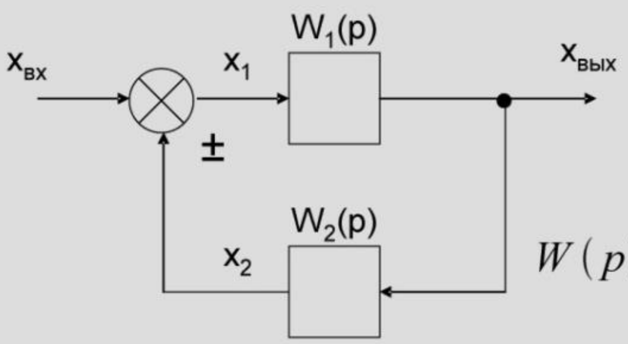
Параллельное – такое соединение, при котором входной величиной всех звеньев является одна и та же величина, а выходные величины суммируются.

$$W(p)=\sum_{i=1}^{n} W_i(p)$$



Соединение с обратной связью

Звено охвачено обратной связью, если его выходной сигнал через какое-либо другое звено подается на выход. Положительная обратная связь увеличивает коэффициент передачи звена, отрицательная обратная связь снижает коэффициент передачи охватываемого звена. Обратные связи позволяют существенно улучшить процесс регулирования.



$$x_1=x_{вх}\pm x_2$$

$$W(p)=\frac{W_1(p)}{1\mp W_1(p)W_2(p)}$$

4. Временные и частотные характеристики САУ.

● Переходная функция *h(t)* — реакция системы на единичный ступенчатый сигнал

$$1(t)=\begin{cases}1, t > 0\\ 0, t \le 0\end{cases}$$

● Импульсная переходная функция *w(t)*- реакция системы на единичный импульс

$$\delta = \begin{cases}\infty, t = 0\\ 0, t \ne 0\end{cases} \qquad w(t) = \frac{d}{dt}h(t)$$

Частотные характеристики:

Входной сигнал: $X_{вх}$=x1$e^{j\omega t}$, $e^{j\omega t} = \cos(\omega t) + jsin(\omega t)$ Выходной сигнал (после окончания переходного процесса): $X_{вых}$=$x_2 e^{j\omega t} e^{j\theta}$

Комплексная частотная функция (комплексный коэффициент усиления):

$$K = \frac{x_{вых}}{x_{вх}} = \frac{x_2}{x_1}e^{j\theta} \qquad K = W(p)_{p=j\omega} = \frac{E(j\omega)}{D(j\omega)}$$

Амплитудно-фазовая характеристика (АФХ):

$$\mathrm{W(j\omega) = R(\omega) + j}I(\omega)$$

$$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\theta(\omega)}$$

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ):

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{R^2(\omega) + I^2(\omega)}$$

Фазо-частотная характеристика (ФЧХ):

$$\theta(\omega) = \arg\big(W(j\omega)\big) = arctg\,\frac{I(\omega)}{R(\omega)}$$

Логарифмические частотные характеристики:

$$lnW(j\omega) = lnA(\omega)e^{j\theta(\omega)} = lnA(\omega) + j\theta(\omega)$$

Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика (ЛАЧХ):

$$L(w) = 20lgA(\omega)$$

Логарифмическая фазо-частотная характеристика (ЛФЧХ)

5. Классификация типовых динамических звеньев. Безынерционное звено. Апериодическое звено 1-го порядка.

– позиционного (статического) типа $x_2 = kx_1$

– интегрирующего типа $\frac{dx_2}{dt} = kx_1 \quad x_2 = k\int x_1 dt$

– дифференцирующего типа $x_2 = k\frac{dx_1}{dt}$

Безынерционное звено - звено, выходной сигнал которого пропорционален входному сигналу

$x_2 = kx_1$ **W(p)=W(jw)=k**

Примеры: рычаг, делитель напряжения (схема, которая позволяет получить из высокого напряжения пониженное напряжение)

Временные характеристики: **h(t)=k 1 (t)** **w(t)= kδ(t)**

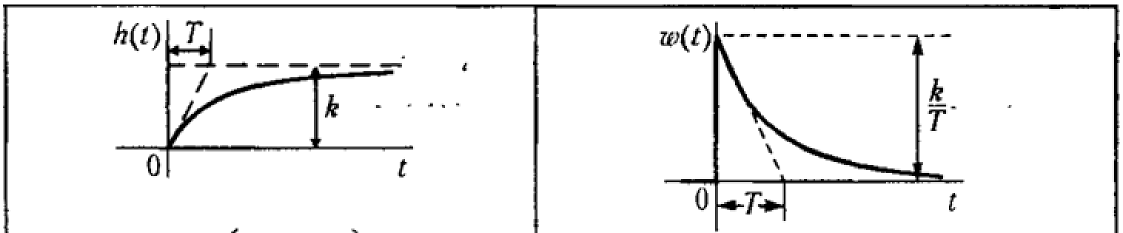
Частотные характеристики: **A(w) = k θ(w) = 0 L(w) = 20lgk**

Апериодическое звено 1-го порядка - такое звено, связь между выходом и входом определяется линейным заданным уравнением 1 – ого порядка

$T\frac{dx_2}{dt} + x_2 = kx_1 \quad W(p) = \frac{k}{1+Tp}$ T-время переходного процесса

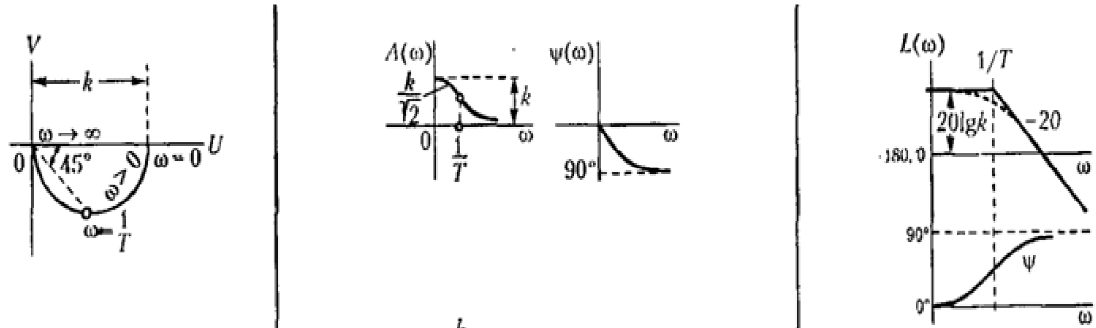
Примеры: двигатель любого типа с механическими характеристиками в виде параллельных прямых, электрический генератор постоянного тока

Временные характеристики:



$$h(t) = k\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right)\cdot 1(t) \qquad w(t) = \frac{k}{T}e^{-\frac{t}{T}}\cdot 1(t)$$

Частотные характеристики: $W(j\omega) = \frac{k}{1+j\omega T}$



$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1+\omega^2 T^2}}, \quad \psi(\omega) = -\mathrm{arctg}\,\omega T$$

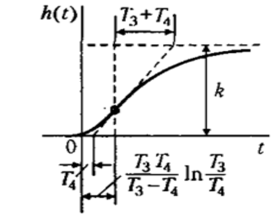
6. Апериодическое звено 2-го порядка. Колебательное и консервативное звенья.

Апериодическое звено 2-го Порядка - такое звено, связь между выходом и входом определяется линейным заданным уравнением 1 – ого порядка

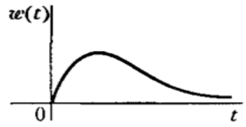
$$T_2^2\frac{d^2x_2}{dt^2}+T_1\frac{dx_2}{dt}+x_2=kx_1 \qquad \mathbf{W(p)}=\frac{k}{1+T_1p+T_2^2p^2}=\frac{k}{(1+T_3p)(1+T_4p)}$$

$$T_{3,4}=\frac{T_1}{2}\pm\sqrt{\frac{T_1^2}{4}-T_2} \qquad T_1\geq 2T_2;T_3>T_4$$

Временные характеристики

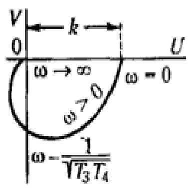


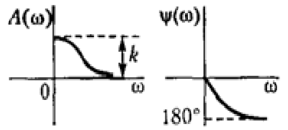
$$h(t)=k\left(1-\frac{T_3}{T_3-T_4}e^{-\frac{t}{T_3}}+\frac{T_4}{T_3-T_4}e^{-\frac{t}{T_4}}\right)\cdot 1(t)$$



$$w(t)=\frac{k}{T_3-T_4}\left(e^{-\frac{t}{T_3}}-e^{-\frac{t}{T_4}}\right)\cdot 1(t)$$

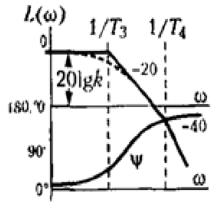
Частотные характеристики





$$A(\omega)=\frac{k}{\sqrt{1+\omega^2T^2{}_3}\sqrt{1+\omega^2T_4^2}},$$

$$\psi(\omega)=-\mathrm{arctg}\,\omega T_3-\mathrm{arctg}\,\omega T_4$$

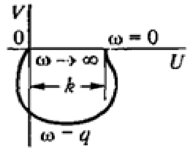


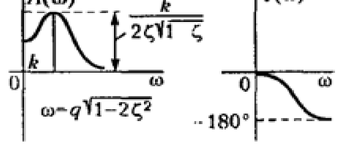
Колебательное звено - если при подаче на его вход единичного ступенчатого воздействия процесс изменения его выходной величины будет иметь форму затухающих амплитудных колебаний. Корни характеристического уравнения должны быть комплексными.

$$T_2^2\frac{d^2x_2}{dt^2}+T_1\frac{dx_2}{dt}+x_2=kx_1 \qquad T_1<2T_2$$

$$W(p)=\frac{k}{1+2\varsigma Tp+T^2p^2}=\frac{k}{1+\frac{2\varsigma p}{q}+\frac{p^2}{q^2}} \qquad q=\frac{1}{T}\,,0<\varsigma<1$$

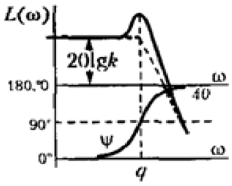
Частотные характеристики



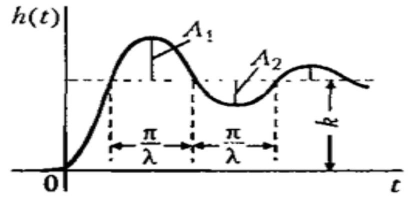
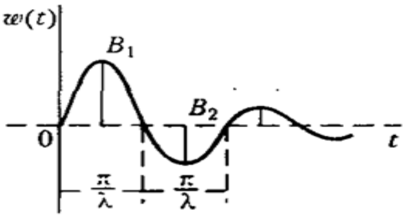


$$A(\omega)=\frac{k}{\sqrt{(1-\omega^2T^2)^2+4\zeta^2\omega^2T^2}};$$

$$\psi(\omega)=-\mathrm{arctg}\frac{2\zeta\omega T}{1-\omega^2T^2}$$



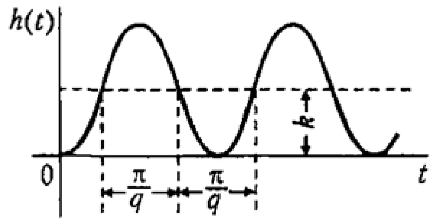
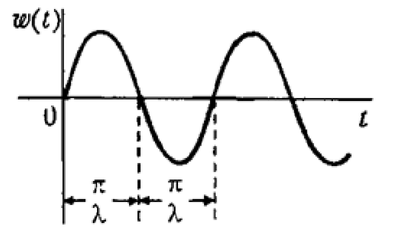
Временные характеристики:

	
$\gamma=\frac{\lambda}{\pi}\ln\frac{A_1}{A_2}$; $\gamma=\zeta q,\ \lambda=q\sqrt{1-\zeta^2}$; $h(t)=k\left[1-e^{-\gamma t}\left(\cos\lambda t+\frac{\gamma}{\lambda}\sin\lambda t\right)\right]\cdot 1(t)$	$\gamma=\frac{\lambda}{\pi}\ln\frac{B_1}{B_2},\ q=\sqrt{\gamma^2+\lambda^2}$; $\zeta=\frac{\gamma}{\sqrt{\gamma^2+\lambda^2}}$; $w(t)=\frac{kq^2}{\lambda}e^{-\gamma t}\sin\lambda t\cdot 1(t)$

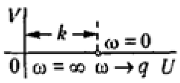
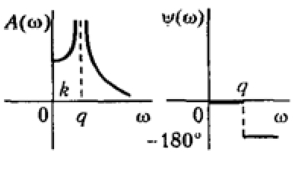
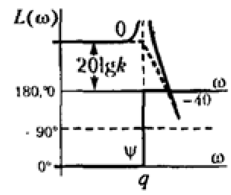
Консервативное звено - является частным случаем колебательного звена при ξ = 0. Корни характеристического уравнения будут чисто мнимые.

$\boldsymbol{\varsigma=0}$ $\qquad \boldsymbol{W(p)=\frac{k}{1+T^2p^2}=\frac{k}{1+\frac{p^2}{q^2}}}$

Временные характеристики

Переходная функция $h(t)$	**Функция веса $w(t)$**
	
$h(t)=k\,(1-\cos qt)\,1(t)$	$w(t)=kq\sin qt\,1(t)$

Частотные характеристики

	 $A(\omega)=\frac{k}{\left\lvert 1-\omega^2T^2\right\rvert}$; $\psi=0°$ при $0<\omega<q$; $\psi=-180°$ при $\omega>q$	

7. Интегрирующие звенья.

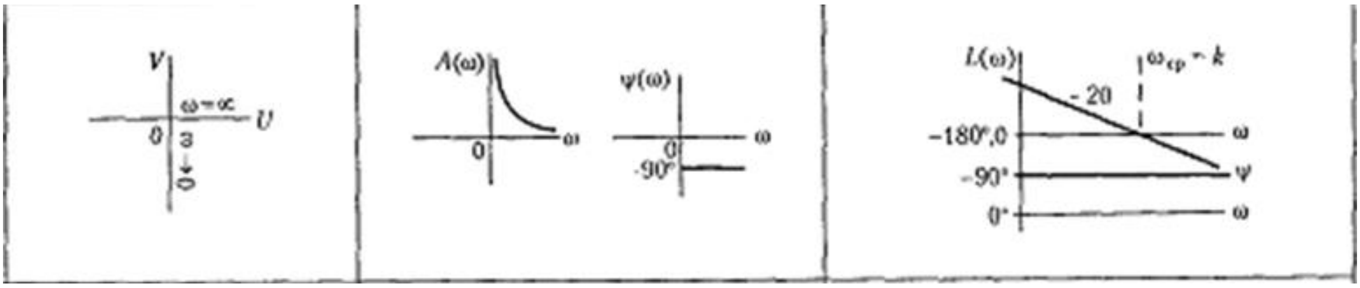
Идеальное интегрирующее Звено - звено, выходной сигнал которого пропорционален интегралу по времени от входного сигнала

$\frac{dx_2}{dt} = kx_1 \qquad W(p) = \frac{k}{p}$

Временные характеристики:

h(t) = kt   w(t) = k

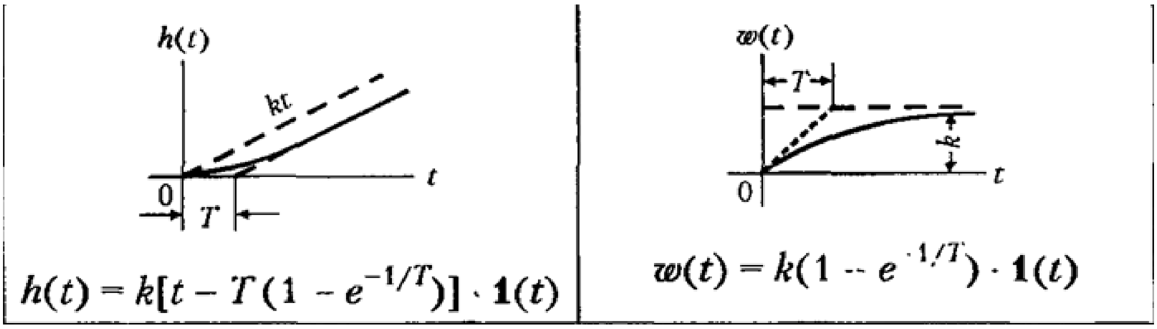
Частотные характеристики:



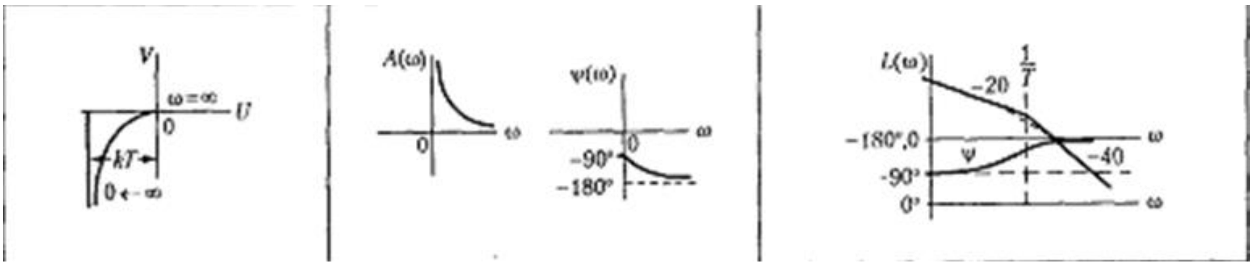
Интегрирующее звено с Замедлением можно представить как совокупность двух включенных последовательно звеньев — идеального интегрирующего и апериодического первого порядка.

$\boldsymbol{T\frac{d^2x_2}{dt^2} + \frac{dx_2}{dt} = kx_1} \qquad \boldsymbol{W(p) = \frac{k}{p(1+Tp)}}$

Временные характеристики



Частотные характеристики



Изодромное звено можно представить в виде совокупности двух звеньев, действующих параллельно. Идеально интегрирующего с коэффициентом передачи k и безынерционного с коэффициентом передачи k_1

$$\frac{dx_2}{dt} = kx_1 + k_1\frac{dx_1}{dt}$$

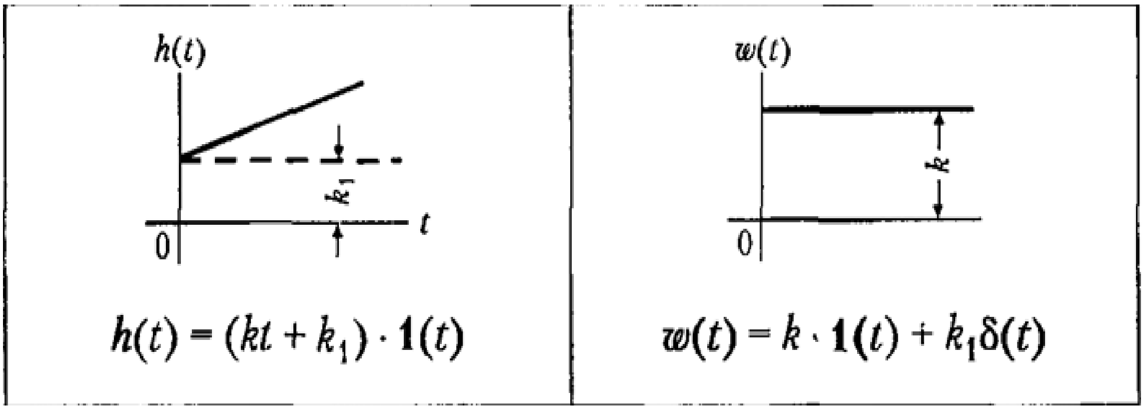
$$W(p) = \frac{k}{p} + k_1 = \frac{k(1+Tp)}{p} \qquad T = \frac{k_1}{k}$$

Временные характеристики:

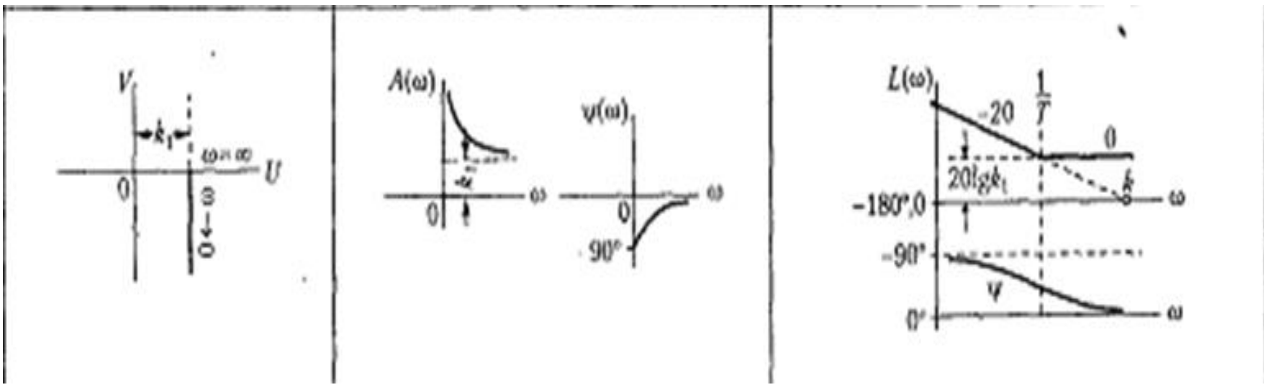
h(t) = kt +k_1

w(t) = k1(t) +k_1δ(t)

АЧХ и ФЧХ



Частотные характеристики



8. Дифференцирующие звенья.

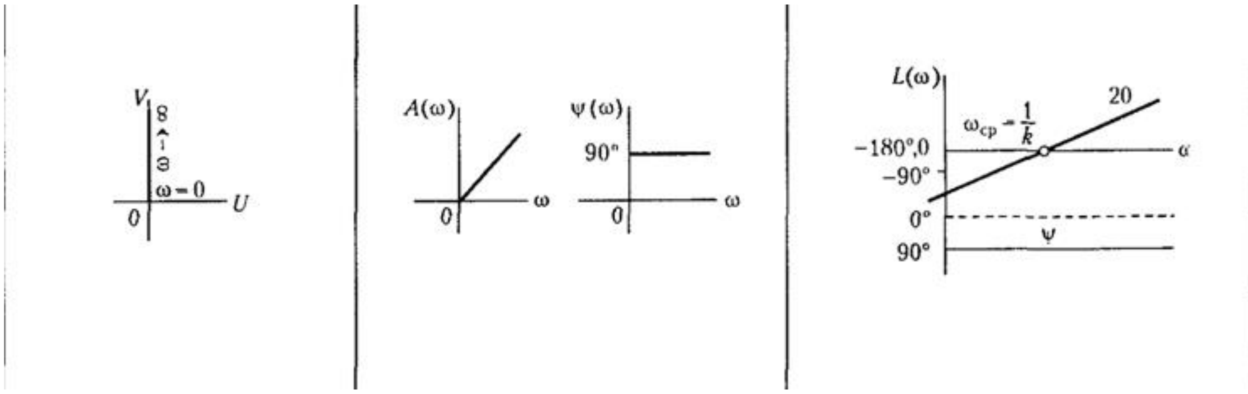
Идеальное дифференцирующее звено

$$\boldsymbol{x_2 = k\frac{dx_1}{dt}} \qquad\qquad \boldsymbol{W(p) = kp}$$

Временные характеристики: **h(t) = kδ(t)** $\quad \boldsymbol{w(t) = k\frac{d\delta(t)}{dt}}$

Передаточная функция такого звена не удовлетворяет условиям физической реализуемости, поэтому звено называется идеальным.

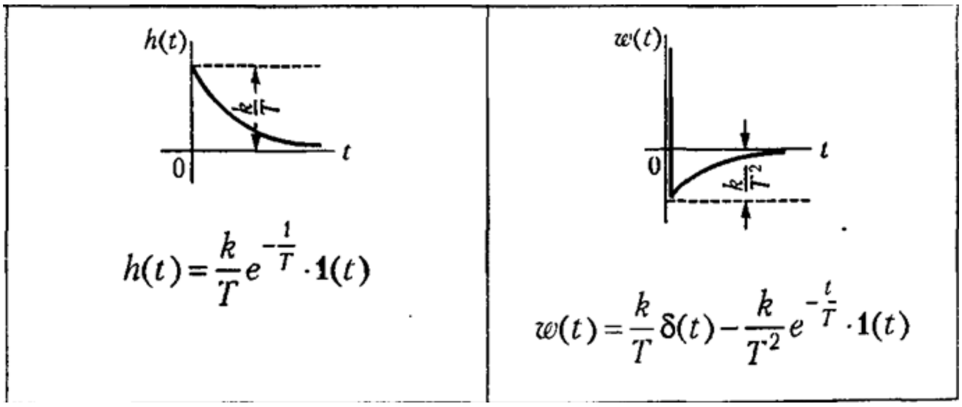
Частотные характеристики: **A(w) = kw** **θ(w) = π/2** **L(w)=20lgk+20lgw**



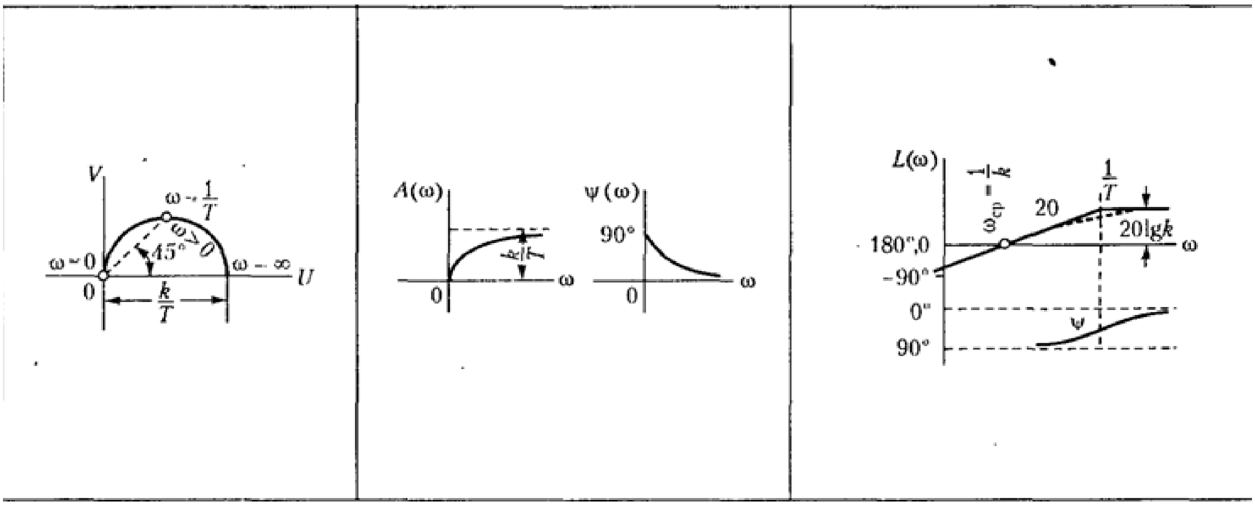
Дифференцирующее звено с Замедлением можно представить в виде совокупности двух включенных последовательно звеньев – идеального дифференцирующего и апериодического 1 порядка.

$$\boldsymbol{T\frac{dx_2}{dt} + x_1 = k_1\frac{dx_1}{dt}} \qquad \boldsymbol{W(p) = \frac{kp}{1+Tp}}$$

Временные характеристики



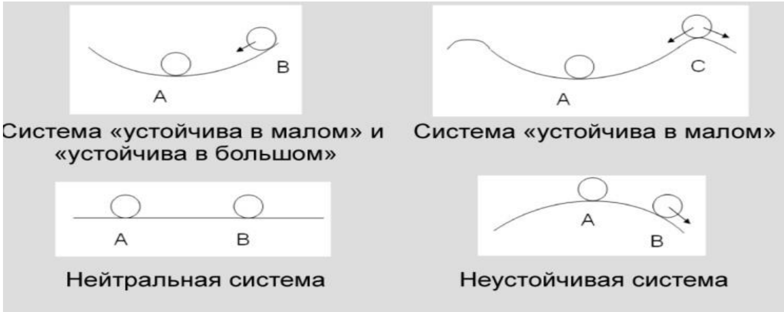
Частотные характеристики:



9. Понятие устойчивости САУ. Условия устойчивости. Теоремы устойчивости для линеаризованных систем.

Устойчивость – свойство системы возвращаться к определенному состоянию (установившегося движения или равновесия) после устранения возмущения, нарушившего это состояние.

Устойчивость в состоянии Равновесия



Особенности исследования устойчивости САУ:

Рассматриваются исчезающие возмущения (возмущение применили к системе, поступило и исчезло). С помощью САУ можно изменить поведение объекта управления с точки зрения устойчивости САУ может иметь несколько состояний равновесия. Для некоторых САУ типичным режимом работы является движение.

Устойчивость САУ

1. Обычно исследуется устойчивость невозмущенного движения системы

– устойчивость в состоянии равновесия

– устойчивость в динамике

2. Анализ устойчивости в пространстве состояний

3. Переходной процесс = вынужденные движения (зависят от возмущающего воздействия и свойств системы) + свободные движения системы (зависят только от свойств системы)

Условия устойчивости:

Устойчивость определяется свободной составляющей переходного процесса

Условие асимптотической устойчивости: $\mathbf{lim}_{t\to\infty} \boldsymbol{y_c(t) = 0}$

Уравнение свободного движения системы: $D(p)\,y(t) = C_0 \dfrac{d^n y(t)}{dt^n} + C_1 \dfrac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \ldots + C_n y(t) = 0$

Характеристические уравнения: $D_{раз}(p) = 0 \qquad D_{замк}(p) = D_{раз}(p) + E_{раз}(p) = 0$

Решение уравнения свободного движения: $y(t) = y_c(t) = A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} + \ldots + A_n e^{p_n t}$

Из решения уравнения мы видим, что она будет стремиться к нулю, если каждое слагаемое будет стремиться к нулю. А это произойдет в том случае, р - будут иметь отрицательный знак, значит все корни должны быть комплексными. Анализируя характеристические уравнения системы, Ляпунов сформулировал:

Теоремы устойчивости для линеаризованных систем.

1. Система «устойчива в малом», если $Re(p_i) < 0, i = 1,2, \ldots, n$

2.Система неустойчива, если хотя бы один корень характеристического уравнения имеет положительную вещественную часть.

3. Если имеется нулевой или чисто мнимые корни, система находится на границе устойчивости (апериодической или колебательной)

4. Если линейная система «устойчива в малом», то она также «устойчива в большом» (при больших сигналах возмущения). Для нелинейных систем это не выполняется.

10. Алгебраические критерии устойчивости на примере критерия Гурвица.

$$\boldsymbol{C_0 p^n + C_1 p^{n-1} + \cdots + C_{n-1} p + C_n = 0}$$

При рассмотрении алгебраических критериев используются лишь коэффициенты характеристического уравнения и необходимые и достаточные условия устойчивости систем.

Необходимое условие является справедливым для всех систем: Все коэффициенты характеристического уравнения должны быть положительными.

Критерий устойчивости:

Чтобы все корни характеристического уравнения имели отрицательные вещественные части (чтобы система была устойчива), необходимо и достаточно, чтобы определитель Гурвица и все его диагональные миноры были одного знака с Co

$$\mathbf{C_0} > \mathbf{0}, \Delta_\mathbf{1} = \mathbf{C_1} > \mathbf{0}, \Delta_\mathbf{2} = \begin{vmatrix} \mathbf{C_1} & \mathbf{C_3} \\ \mathbf{C_0} & \mathbf{C_2} \end{vmatrix} > \mathbf{0}, \ldots$$

Матрица Гурвица (для $n=6$):

C_1	C_3	C_5	0	0	0
C_0	C_2	C_4	C_6	0	0
0	C_1	C_3	C_5	0	0
0	C_0	C_2	C_4	C_6	0
0	0	C_1	C_3	C_5	0
0	0	C_0	C_2	C_4	C_6

Условия нахождения системы на границе устойчивости:

$\Delta_\mathbf{1}, \Delta_\mathbf{2}, \ldots, \Delta_\mathbf{n-2} > \mathbf{0} \quad \Delta_\mathbf{n} = \mathbf{0}$

Граница устойчивости 1-го типа (апериодическая): $C_n = 0$

Граница устойчивости 2-го типа (колебательная): $\Delta_{n-1} = 0$

11. Частотные критерии устойчивости. Критерий Михайлова и следствие из него.
Критерий базируется на поведении кривой, которую описывает конец вектора (X(ω),Y(ω)) <u>замкнутой</u> системы при изменении частоты от 0 до + ∞.

Возьмём характеристический полином следующего вида:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + ... + a_{n-1} p + a_n$$

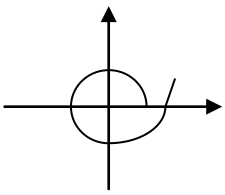
Подставим в него $p = j\omega$ и выделим вещественную и мнимую части.

$$D(j\omega) = X(\omega) + jY(\omega)$$

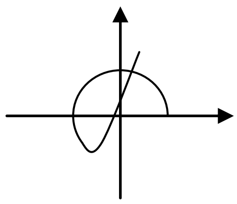
$X(\omega)$ - вещественная часть, $X(\omega) = a_n - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^2 - a_{n-6}\omega^6 + a_{n-8}\omega^8 - ...$

$Y(\omega)$ - мнимая часть. $Y(\omega) = a_{n-1}\omega - a_{n-3}\omega^3 + a_{n-5}\omega^5 - a_{n-7}\omega^7 + ...$

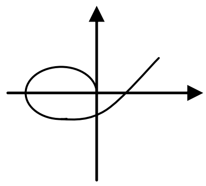
Критерий Михайлова: Для того чтобы САУ была устойчивой, необходимо и достаточно, чтобы вектор *D(j*ω*)* начал движение с точки, лежащей на положительной вещественной оси, и, вращаясь только против часовой стрелки и нигде не обращаясь в нуль, прошел последовательно *n* квадрантов комплексной плоскости, повернувшись на угол ***n*π/2,*** где *n* – степень характеристического уравнения *D(jω)=0*
*Другими словами, требуется, чтобы кривая Михайлова проходила последовательно n квадрантов против часовой стрелки, всё время огибая начало координат и уходила в бесконечность в том квадранте, номер которого соответствует показателю степени полинома. Если это условие не выполняется, то система является неустойчивой.



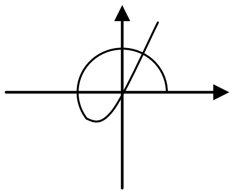
Устойчивая



Неустойчивая



Апериодическая



Колебательная

Следствие критерия Михайлова: Для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы корни полиномов *X(ω)* и *Y(ω)* чередовались по величине и их общее число (включая ω = 0) было равно степени характеристического уравнения САУ Условием устойчивости системы является перемежаемость корней полиномов вещественной и мнимой частей характеристического уравнения. Т.е. должны выполнятся следующие три условия:
- нулевой корень - корень мнимой части;
- чередование мнимых и вещественных корней;
- общее число не отрицательных корней равно n, где n - степень характеристического уравнения

12. Критерий Найквиста. Логарифмический критерий устойчивости. Запасы устойчивости.

Критерий Найквиста

а) Разомкнутая система устойчива. Если разомкнутая САУ устойчива, то для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы не охватывала точку с координатами (-1;0j).

б) Разомкнутая система неустойчива. Пусть характеристическое уравнение разомкнутой системы имеет k корней с положительной вещественной частью. Тогда для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы АФЧХ разомкнутой системы охватывала критическую точку с координатами (-1;0j) против часовой стрелки на угол kπ.

Логарифмические критерии устойчивости являются следствием критерия Найквиста, поэтому так же позволяют судить об устойчивости замкнутой системы управления по логарифмическим частотным характеристикам разомкнутой системы. Следовательно, здесь так же рассматриваются два случая:

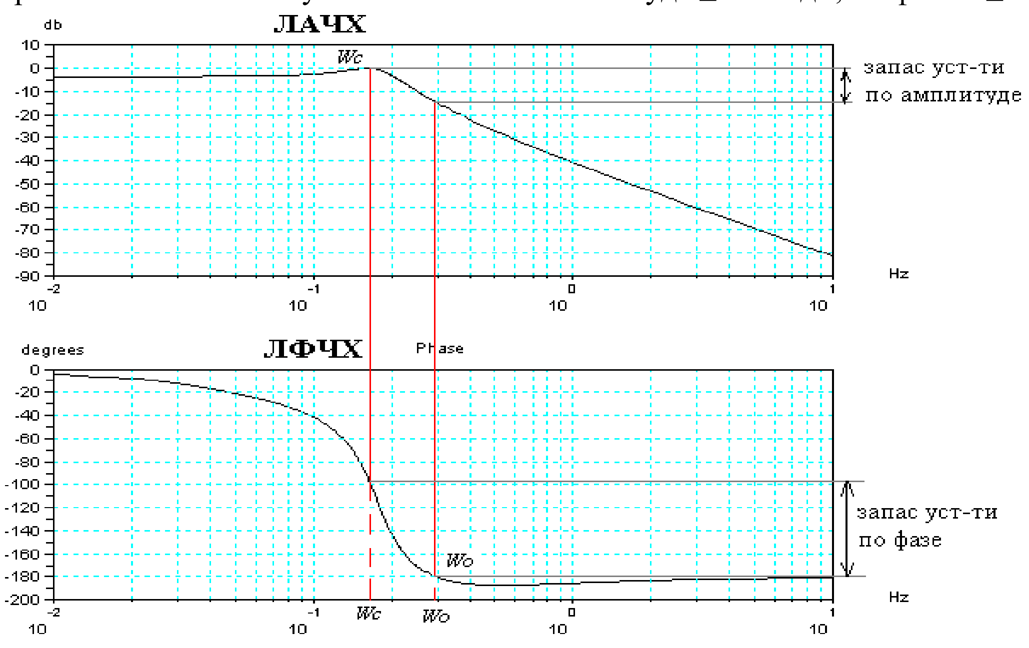
а) если САР в разомкнутом состоянии устойчива. Для устойчивости замкнутой САР необходимо и достаточно, чтобы точка пересечения фазовой характеристики разомкнутой системы с линией $-180°$ лежала правее частоты среза (точки пересечения ЛАЧХ с осью 0 дБ).

б) если САР в разомкнутом состоянии не устойчива. Для устойчивости замкнутой САР необходимо и достаточно, чтобы сумма переходов логарифмической фазовой характеристики разомкнутой системы через критический отрезок была равна ***l/2,*** где l – число корней с положительной вещественной частью в знаменателе передаточной функции разомкнутой системы W(p).

Запас устойчивости по модулю ΔL показывает, насколько может измениться модуль АФЧХ для выхода системы на границу устойчивости при неизменных фазовых соотношениях.

Запас устойчивости по фазе Δφ показывает, насколько должна измениться фаза каждого вектора АФЧХ для выхода системы на границу устойчивости при неизменных их модулях.

Требования к запасам устойчивости: по амплитуде ≥ 8 -10 дБ, по фазе – ≥ 30 - 35°



Критическим отрезком называется область с положительным значением ЛАЧХ, сложные системы могут иметь два и более критических отрезка. Переход сверху вниз считается положительным (+1), снизу вверх – отрицательным (-1), если фазовая характеристика начинается на оси -180° и идет вниз, то переход равен +1/2, если вверх, то –1/2.

13. Оценка качества процесса управления. Точность в статическом режиме. Показатели качества. Методы анализа качества переходного процесса.

Оценка осуществляется для нескольких типовых режимов:
- Поведение системы в начальный момент времени.
- Характер поведения управляемой переменной в переходном процессе.
- Поведение системы при приближении к новому установившемуся состоянию.
- Длительность перехода системы из одного установившегося состояния в другое.

● Критерии качества:

– критерии точности
– критерии запаса устойчивости
– критерии быстродействия
– комплексные критерии

Классификация САУ по виду статической характеристики:

r — число интегрирующих звеньев, входящих последовательно в разомкнутую САУ

– статические $r = 0$
– астатические $r \geq 1$

<u>Статическая характеристика</u> - отношение выходной величины к входной величине в установившемся режиме: $\Delta x_2 = k\Delta x_1$

Уравнение статического режима: $\Delta x_2 = W_{\text{замк}}(0)\Delta x_1 = \frac{W_1(0)}{1+W_1(0)W_2(0)}\Delta x_1$

Для астатических САУ $W(0) \to \infty$, для статических $W(0) \to K \Rightarrow \Delta x_2 = \frac{K_\Pi}{1+K}\Delta x_1$

О качестве переходного процесса можно судить п нескольким показателям:

1) Установившееся значение и его погрешность $h(\infty) = \lim_{t\to\infty} h(t), \varepsilon = |1 - h(\infty)|$

2) Длительность переходного процесса и точность работы(в идеале переходный процесс должен длиться бесконечно долго) $t > t_n: |h(t) - h(\infty)| \leq \Delta, h(t_0) = h_{max}$

3) Перерегулирование $\Upsilon = \frac{h_{max}-h(\infty)}{h(\infty)}$

4) Число колебаний

Все методы анализа качества переходного процесса можно разделить на две группы:

1. Прямые методы – это непосредственное решение дифференциальных уравнений, которые описывают систему и выполнение графического построения переходного процесса. Эти методы наиболее точны и находят все более широкое применение.

Прямые показатели качества оценивают по переходным характеристикам. При этом прямые показатели качества делят на:

<u>Основные</u>:

1.Вид переходной характеристики (колебательная, амплитудная и т. д.)

2.Время переходного процесса (t_n) (длительность регулирования)

3. Величина наибольшего отклонения в переходном процессе – перерегулирование

$$\sigma = \frac{y_{\max} - y_\infty}{y_\infty} \cdot 100\%$$

4. Величина ошибки в установившемся режиме ε (% от y_∞), ε ≤ Δ (Δ допустимая ошибка в установившемся режиме).

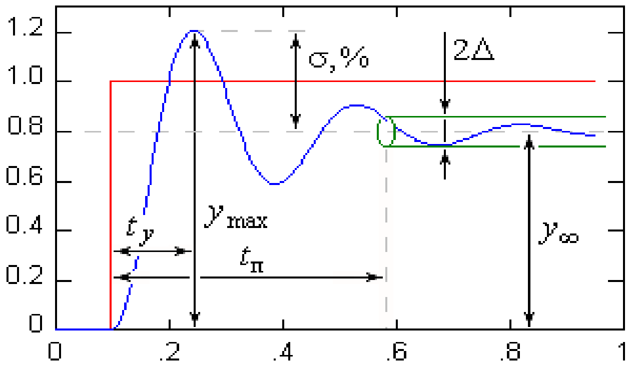
5. Колебательность переходного процесса, характеризуется числом колебаний за время регулирования.

Вспомогательные:

1. Время установления (t_y) - время, за которое выходная величина достигает максимального значения.

2. Время запаздывания ($t_з$) – время, за которое выходная величина изменяется от 0 до 50% от установившегося значения.

3. Время нарастания ($t_{нар}$) – время, за которое выходная величина изменяется от 10 до 90% своего установившегося значения.



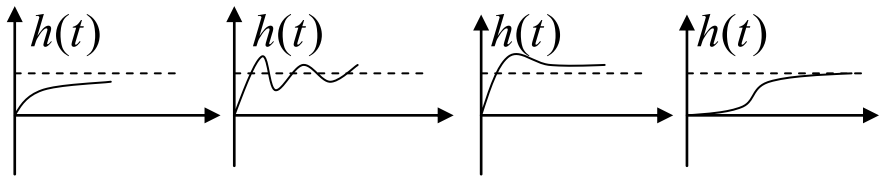
2. Косвенные методы позволяют обойти непосредственное решение уравнений, описывающих систему. Применяют обычно следующие косвенные методы:

1. Корневые (основаны на факте зависимости переходного процесса от корней характеристического уравнения, таким образом, зная корни характеристического уравнения, можно оценить вид и некоторые параметры переходного процесса).

2. Частотный (основан на взаимной связи переходных процессов и частотных характеристик САУ, их удобно использовать совместно с исследованием устойчивости по критерию Найквиста).

3. Интегральные (нацелены на получение общей оценки скорости затухания и величины отклонения регулируемого параметра одновременно).

<u>По виду переходных процессов можно определить следующие показатели качества:</u>



Монотонный Колебательный Апериодический S- образный

14. Синтез САУ. Классификация регуляторов.

Под синтезом САУ понимают работу по расчету ее рациональной структуры и оптимальных параметров отдельных элементов. При решении задачи синтеза часть структуры системы, например, объект управления, регулирующие органы, средства измерения и т.д., известны. Неизвестной является регулирующая часть САУ. Задачей математического синтеза является определение оптимального, т.е. наилучшего в данных условиях, алгоритма или закона регулирования.

●Основные подходы: 1)инженерный синтез (определение оптимального закона регулирования и расчет параметров регулятора),
2)техническая реализация САУ
3)расчет корректирующих устройств

●Задачи инженерного синтеза: достижение требуемой точности, обеспечение приемлемого характера переходных процессов

Процесс синтеза системы управления включает в себя следующие операции:

- построение располагаемой ЛАЧХ $L_0(\omega)$ исходной системы $W_0(\omega)$, состоящей из регулируемого объекта без регулятора и без корректирующего устройства;
- построение низкочастотной части желаемой ЛАЧХ на основе предъявляемых требований точности (астатизма);
- построение среднечастотного участка желаемой ЛАЧХ, обеспечивающего заданное перерегулирование и время регулирования $t_п$ САУ;

Классификация регуляторов:

П-регуляторы (пропорциональные или статические)

И-регуляторы (интегральные или астатические)

ПИ-регуляторы (пропорционально- интегральные)

ПД-регуляторы (пропорционально- дифференциальные)

ПИД-регуляторы (пропорционально- интегрально-дифференциальные)

П-регуляторы: $\mu = k_p \mathcal{E}$

●Использование жесткой ОС : $W_П(p) = k_p$

$W_{раз}(p) = W_П(p) * W_{ОУ}(p) = k_p W_{оу}(p)$

●Преимущества: простота конструкции, пропорциональность скоростей

●Недостатки: наличие статической погрешности (применение с неустойчивыми ОУ)

И-регуляторы: $\mu = k_p \int_0^t \varepsilon d\tau = \frac{1}{T_и} \int_0^t \varepsilon d\tau$

●Отсутствует внутренняя ОС: $W_и(p) = \frac{k_p}{p} = \frac{1}{T_и p}$

$\mu = \frac{\varepsilon_{const} t}{T_и}$ $W_{раз}(p) = W_и(p) * W_{оу}(p) = \frac{k_p}{p} W_{оу}(p)$

●Преимущества: простота конструкции, отсутствие статической погрешности

●Недостатки: относительно невысокая скорость регулирования

П-регуляторы (пропорциональные или статические) – автоматические регуляторы, у которых перемещение регулирующего органа пропорционально изменению регулируемого параметра. Бывают прямого и косвенного действия.

И-регуляторы (интегральные или астатические) – регуляторы, у которых перемещение регулирующего органа пропорционально интегралу изменения регулируемого параметра.

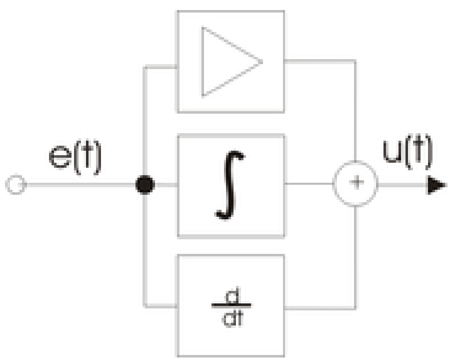
ПИ-регуляторы (пропорционально - интегральные) - автоматические регуляторы, у которых перемещение регулирующего органа пропорционально изменению регулируемого параметра и интегралу его изменения.
ПД-регуляторы (пропорционально - дифференциальные) - оказывают регулирующее воздействие, реагируя на уже изменившиеся регулируемые параметры объекта регулирования.

ПИ- ПД- и ПИД- регуляторы:
ПИ регулятор: $\mu = k_p\varepsilon + \frac{1}{T_и}\int_0^t \varepsilon d\tau$
- Использование гибкой (изодромной) ОС: $W_{пи}(p) = k_p + \frac{1}{T_и p}$
- Для изодромного регулятора: $T_и = \frac{T_{из}}{k_p}$ $\mu = k_p\varepsilon_{const}(1 + \frac{t}{T_{из}})$
- Преимущества: высокое быстродействие, отсутствие статической погрешности

ПД-регуляторы : $\mu = k_p\varepsilon + \frac{1}{T_п}\frac{d\varepsilon}{dt}$
- Структурная схема аналогична схеме для ПИ-регулятора: $W_{пд}(p) = k_p + \frac{1}{T_д p}$
- Статический регулятор с предварением: $T_{ПВ} = \frac{T_Д}{k_p}$; $\mu = k_p(\varepsilon \pm T_{пв}\frac{d\varepsilon}{dt})$
- Преимущества: высокая точность регулирования при больших и плавных изменениях нагрузки. По быстродействию уступает П-регул.

ПИД-регуляторы:
$\mu = k_p\varepsilon + \frac{1}{T_и}\int_0^t \varepsilon d\tau + T_д\frac{d\varepsilon}{dt}$;
$W_{пид}(p) = k_p + \frac{1}{T_и p} + T_д p$
- Возможный вариант регулятора: $\mu = k_p(\varepsilon + \frac{1}{T_{из}}\int_0^t \varepsilon d\tau + T_{пв}\frac{d\varepsilon}{dt})$
- Наиболее универсальный регулятор

ПИД-регуляторы (пропорционально- интегрально-дифференциальные) - устройство в цепи обратной связи, используемое в системах автоматического управления для поддержания заданного значения измеряемого параметра. ПИД-регулятор измеряет отклонение стабилизируемой величины от заданного значения и выдаёт управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых



15. Нелинейные САУ. Основные особенности.

Нелинейной называется система, для которой не выполняется принцип суперпозиции, т.е. преобразование системой суммы входных сигналов не совпадает с суммой преобразований каждого входного сигнала по отдельности.

● Основные особенности:

– не выполняется принцип суперпозиции

– качество переходного процесса зависит от величины возмущения

– возможность возникновения автоколебаний (устойчивые колебания с постоянной амплитудой)

– при рассмотрении устойчивости необходимо учитывать начальные условия и внешние воздействия

Различают статическую и динамическую нелинейность

Нелинейные статические характеристики (зависит от направления изменения входной величины)

● Однозначные (характеристика, которая не зависит от направления изменения входной величины нелинейного звена):

– непрерывные (определяются в виде полинома)

– разрывные:

нечувствительность

ограничение

идеальная релейная

релейная с зоной нечувствительности

● Неоднозначные:

– люфт

– двухпозиционная релейная с гистерезисом

– трехпозиционная релейная с гистерезисом

16. Цифровые САУ.

Цифровые системы управления имеют значительные преимущества перед аналоговыми, т.к. цифровые программируемые технические средства предоставляют возможность реализации более сложных и эффективных алгоритмов управления и регулирования.

Последовательность преобразования информации в цифровой системе.

АЦП- аналого-цифровой преобразователь(на его выходе- последовательность чисел)

После МП- последовательность чисел, генерируемых с интервалом времени То

● Относятся к дискретным САУ

● Во многих случаях можно рассматривать цифровые САУ как непрерывные

● С помощью цифровых САУ можно реализовать более сложные и эффективные алгоритмы управления

Системы непосредственного цифрового управления:

– централизованные: объект управления —преобразователи — коммутаторы — УВМ —ЦВМ более высокого уровня–

распределенные: объект управления —преобразователи — УВМ (контроллеры) —ЦВМ более высокого уровня

– возможность обмена информацией между МПК и ЦВМ по локальной сети