Билет 1

Определения объекта управления, регулируемой величины. Понятия регулирования и управления. Классификация САР по назначению, характеру законов регулирования.

Объект управления (ОУ) – техническое устройство или система, в которой осуществляется регулирование или управление.

Регулируемая величина – физическая величина, подлежащая регулированию (скорость вращения вала двигателя, угловое положение самолёта).

Регулирование – наиболее совершенный принцип автоматики в период частичной автоматизации, при котором технические средства выполняют только простые функции измерения, анализа, контроля различных величин и отработку решений, принятых оператором в виде некоторых уставов – некоторых постоянных входных воздействий.

Управление – следующий этап автоматизации, при котором автоматизируются не только простые функции управления, но и выработка требуемого режима управления, исходя из цели управления и анализа его эффективности.

Классификация САР:

- Системы автоматической стабилизации – поддерживают постоянные значения регулируемой величины;
- Системы программного регулирования – регулируемые величины изменяются по заранее заданному закону;
- Следящие системы – закон изменения регулируемых величин заранее не известен (случайный), регулятор должен обеспечить отработку системой этого закона.

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{y_0 = \dot{y}_0 = u_0 = \dot{u}_0 = 0}$

$$\boldsymbol{n_1\ddot{y} + n_2\dot{y}^2 + n_3\dot{y} + n_4 \sin y + n_5\dot{u}^2 + n_6 u \cos y = 0}$$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right)\Delta\ddot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)\Delta\dot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\Delta y + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{u}}\right)\Delta\dot{u} + \left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)\Delta u = 0$

$\Delta\ddot{y} = \ddot{y} - \ddot{y}_0$

$\Delta\dot{y} = \dot{y} - \dot{y}_0$

$\Delta y = y - y_0$

$\Delta\dot{u} = \dot{u} - \dot{u}_0$

$\Delta u = u - u_0$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right)^{\circ} = n_1$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)^{\circ} = 2n_2\dot{y}_0 + n_3 = n_3$

$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^{\circ} = n_4 \cos y_0 - n_6 u_0 \sin y_0 = n_4$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{u}}\right)^{\circ} = 2n_5\dot{u}_0 = 0$

$\left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)^{\circ} = n_6 \cos y_0 = n_6$

$F = n_1\ddot{y} + n_2\dot{y}^2 + n_3\dot{y} + n_4 \sin y + n_5\dot{u}^2 + n_6 u \cos y = 0$

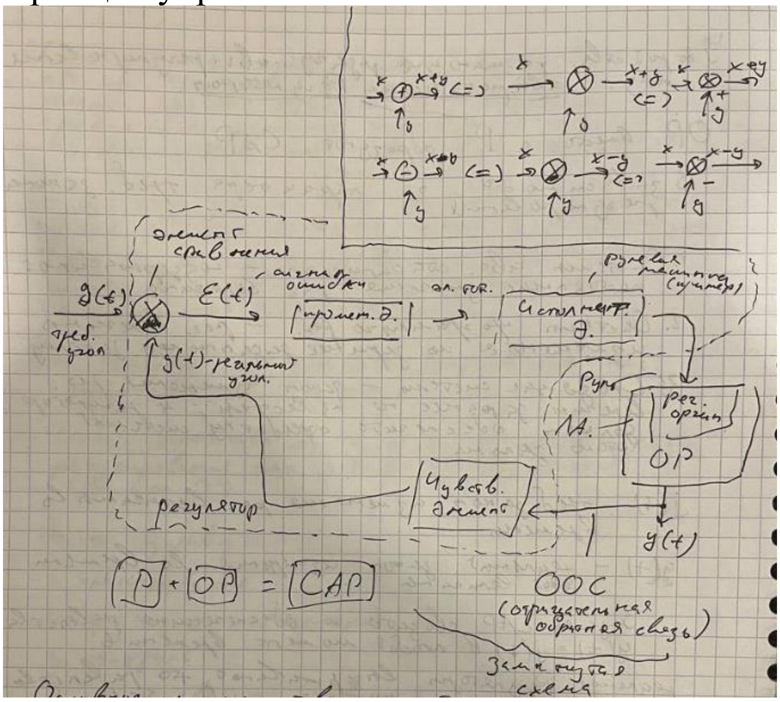
$n_1\ddot{y}_0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0$

$\ddot{y}_0 = 0$

$n_1\ddot{y} + n_3\dot{y} + n_4 y + n_6 u = 0$

Билет 2
Два основных принципа управления САР – схемы, преимущества, недостатки.

Принцип управления по ошибке:



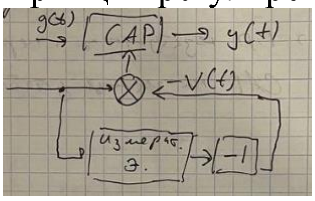
Преимущества:

Контроль по ошибке, контроль за точностью.

Недостатки:

Насколько бы не были быстродействующими все элементы этой схемы, всё равно сигнал приходит спустя время.

Принцип регулирования по возмущению:



В этом случае на систему помимо управляющего воздействия действует дополнительное возмущение v(t), которое следует скомпенсировать. Система оказывается в комфортном состоянии путём компенсации возмущений. Но есть недостатки:

- Компенсируются только измеримые возмущения, а другие – нет;
- Система работает по разомкнутому циклу.

Данный принцип обычно используется в комбинированных системах, когда основной контур осуществляет регулирование по ошибке, а контур компенсации возмущения обеспечивает разгрузку системы.

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{x_0 = \dot{x}_0 = y_0 = \dot{y}_0 = 1}$

$$\boldsymbol{3\ddot{y}x + y\dot{x} + 2xy - \dot{y}x + \dot{x} - \dot{y} + 4 = 0}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right)\Delta\ddot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)\Delta\dot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\Delta y + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}\right)\Delta\dot{x} + \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)\Delta x = 0$$

$\Delta\ddot{y} = \ddot{y} - \ddot{y}_0$

$\Delta\dot{y} = \dot{y} - \dot{y}_0$

$\Delta y = y - y_0$

$\Delta\dot{x} = \dot{x} - \dot{x}_0$

$\Delta x = x - x_0$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right)^{\circ} = 3x_0 = 3$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)^{\circ} = -x_0 - 1 = -2$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^{\circ} = \dot{x}_0 + 2x_0 = 3$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}\right)^{\circ} = y_0 + 1 = 2$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{\circ} = 3\ddot{y}_0 + 2y_0 - \dot{y}_0 = 3\ddot{y}_0 + 1$$

$F = 3\ddot{y}x + y\dot{x} + 2xy - \dot{y}x + \dot{x} - \dot{y} + 4 = 0$

$3\ddot{y}_0 + 2 - 1 + 1 - 1 + 4 = 0$

$3\ddot{y}_0 + 5 = 0$

$$\ddot{y}_0 = -\frac{5}{3}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{\circ} = -\frac{5}{3} * 3 + 1 = -4$$

$$3\left(\ddot{y} + \frac{5}{3}\right) - 2(\dot{y} - 1) + 3(y - 1) + 2(\dot{x} - 1) - 4(x - 1) = 0$$

Билет 3

Понятие звена САР. Классификация элементов САР.

Элемент (звено) автоматической системы должен обладать следующими свойствами:

- Это конструктивно-обособленная часть системы;
- Должен выполнять некоторые самостоятельные функции.

В зависимости от выполняемой функции все элементы можно представить в виде: чувствительных, промежуточных (усилительных, преобразовательных, вычислительных, корректирующих) и исполнительных.

Чувствительные предназначены для измерения тех или иных параметров, процессов или внешней среды (акселерометры, датчики угловой скорости и тд)

Промежуточные осуществляют заданное преобразование сигналов: их усиление (электронные, магнитные, релейные и тд), преобразование по физической природе (модуляторы, демодуляторы, цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП) и АЦП).

Вычислительные – вычисление в соответствии с определенными логическими или математическими выражениями (элементы сравнения, счетно-решающие устройства, бортовая цифровая вычислительная машина (БЦВМ)).

Корректирующие служат для придания системе требуемых динамических и статических свойств (RL или RC - цепочки).

Исполнительные элементы – для непосредственного воздействия на процесс или объект. В большинстве случаев сводится к механическому перемещению задвижки и тд (электромагниты, пневмодвигатели и др.).

По физической природе процессов, протекающих в элементах, можно различать: механические, гидравлические, пневматические, электрические и комбинированные (электро-механические, электро-пневматические и тд).

Наибольшее распространение – электрические и электро-механические элементы, что вызвано гибкостью электрических методов измерения, хорошими возможностями преобразования электрических сигналов, простотой, точностью и высоким быстродействием электрических элементов.

В зависимости от наличия вспомогательных источников энергии различают элементы: активные и пассивные. В пассивных источники энергии отсутствуют, поэтому выходной сигнал всегда меньше по мощности, чем второй (трансформаторы, RL/RC цепочки). В активных элементах содержится дополнительный источник энергии и входной сигнал лишь управляет передачей энергии от дополнительного источника к нагрузке (усилители всех видов, гидро- и пневмодвигатели и тд).

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{x_0 = \dot{x}_0 = \ddot{x}_0 = y_0 = 2}$

$$\boldsymbol{2\ddot{x}\dot{y} - xy + x\dot{y} + \dot{x}y + \dot{y} + \dot{x} + 12 = 0}$$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}\right)\Delta\ddot{x} + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}\right)\Delta\dot{x} + \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)\Delta x + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)\Delta\dot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\Delta y = 0$

$\Delta\ddot{x} = \ddot{x} - \ddot{x}_0$

$\Delta\dot{x} = \dot{x} - \dot{x}_0$

$\Delta x = x - x_0$

$\Delta\dot{y} = \dot{y} - \dot{y}_0$

$\Delta y = y - y_0$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}\right)^{\circ} = 2\dot{y}_0$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}\right)^{\circ} = y_0 + 1 = 3$

$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{\circ} = -y_0 + \dot{y}_0 = -2 + \dot{y}_0$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)^{\circ} = 2\ddot{x}_0 + x_0 + 1 = 7$

$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^{\circ} = -x_0 + \dot{x}_0 = 0$

$F = 2\ddot{x}\dot{y} - xy + x\dot{y} + \dot{x}y + \dot{y} + \dot{x} + 12 = 0$

$4\dot{y}_0 - 4 + 2\dot{y}_0 + 4 + \dot{y}_0 + 2 + 12 = 0$

$7\dot{y}_0 + 14 = 0$

$\dot{y}_0 = -2$

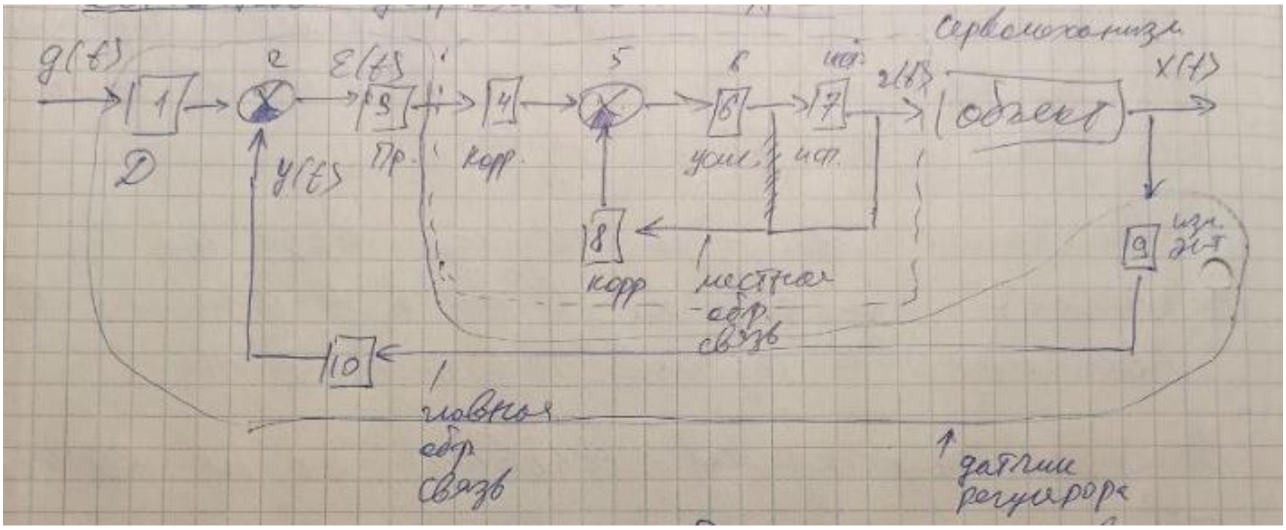
$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}\right)^{\circ} = -4$

$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{\circ} = -4$

$-4(\ddot{x} - 2) + 3(\dot{x} - 2) - 4(x - 2) + 7(\dot{y} + 2) = 0$

Билет 4

Основные устройства САР



Цель сервомеханизма – преобразование ошибки в управление воздействия.
Цель датчика регулятора – выработка ε(t).
Основные устройства автоматических систем:

1. Датчик – преобразует управляющее воздействие g(t), сигнал, удобный для сравнения
2. Элемент сравнения – вырабатывает первичный сигнал управления (сигнал ошибки ε(t) на основе сравнения сигнала управления с сигналом плавной обратной связи)
3. Преобразователь – превращает сигнал ошибки ε(t), в сигнал удобный для усиления и преобразования
4. Последовательное корректирующее устройство – для придания автоматической системе требуемых динамических и статических свойств.
5. Вспомогательный элемент сравнения – сравнивает сигнал прямой цепи в промежуточной точке с сигналом местной обратной связи (МОС).
6. Усилитель
7. Исполнительное устройство – вырабатывает регулирующее воздействие p(t) непосредственно на объект
8. Параллельное корректирующее устройство
9. Измерительное устройство – воспринимает изменение регулируемой величины.
10. Преобразователь главной обратной связи (ГОС) – для преобразования или модуляции сигнала с чувствительного элемента.

Совокупность 1,2,3,9,10 – это часть регулятора для выработки сигнала ошибки ε(t) составляет датчик регулятора.
4,5,6,7,8 – образует часть регулятора, преобразующую сигнал ошибки ε(t) в регулирующее воздействие на объект p(т), и образует сервомеханизм.

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{u_0 = \dot{u}_0 = y_0 = \dot{y}_0 = 1}$

$$\boldsymbol{\ddot{y} - 2yu + 4y^2 - 1,5\dot{y}u + 6\dot{u} = 0,5u}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right)\Delta\ddot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)\Delta\dot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\Delta y + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{u}}\right)\Delta\dot{u} + \left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)\Delta u = 0$$

$\Delta\ddot{y} = \ddot{y} - \ddot{y}_0$

$\Delta\dot{y} = \dot{y} - \dot{y}_0$

$\Delta y = y - y_0$

$\Delta\dot{u} = \dot{u} - \dot{u}_0$

$\Delta u = u - u_0$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right)^{\circ} = 1$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)^{\circ} = -1,5u_0 = -1,5$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^{\circ} = -2u_0 + 8y_0 = 6$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{u}}\right)^{\circ} = 6$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)^{\circ} = -2y_0 - 1,5\dot{y}_0 - 0,5 = -4$$

$F = \ddot{y} - 2yu + 4y^2 - 1,5\dot{y}u + 6\dot{u} - 0,5u = 0$

$\ddot{y}_0 - 2 + 4 - 1,5 + 6 - 0,5 = 0$

$\ddot{y}_0 = 6$

$(\ddot{y} - 6) - 1,5(\dot{y} - 1) + 6(y - 1) + 6(\dot{u} - 1) - 4(u - 1) = 0$

Билет 5

Классификация САР: по характеру передаваемых сигналов; идеализации математической модели; виду структурных схем и др.

По характеру передаваемых сигналов:

1. Непрерывные системы автоматического регулирования: входной сигнал передается непосредственно на объект регулирования.
2. Гармоническая амплитудная модуляция. Для передачи сигнала используется высокочастотная несущая для передачи радиосигнала на большое расстояние или преодоления препятствий например. Обладает большей энергией по сравнению с низкочастотной.
    a. Гармоническая частотная модуляция.
    b. Гармоническая фазовая модуляция.
3. Импульсные САР (дискретные): ШИМ, ЧИМ, АИМ
4. Релейные САР – квантование сигнала по уровню. В отличие от импульсных в которых квантование сигнала по времени.
5. Релейно-импульсные САР. Как по времени, так по уровню.

По идеализации математической модели:

1. Линейные и нелинейные системы. По возможности линеаризации дифура САР в окрестностях заданной рабочей точки.
2. Непрерывные, дискретные, непрерывно-дискретные. По наличию и математическому представлению импульсного элемента (квантование).
3. Стационарные и нестационарные. Стационарная тех система – система, динамика которого описывается стационарным дифуром. По наличию или отсутствию переменных в коэффициентах по времени в ДУ описывающих динамику системы.
4. Сосредоточенные и распределенные параметры (в зависимости от того динамика системы описывается обыкновенными ДУ по одному параметру или в частных производных для распределенных)

По виду структурных схем:

1. Одноконтурные (одна главная обратная связь) и многоконтурные.
2. Несвязные (для регулирования каждой величины отдельно независимо от других) и связные.

По характеру контролируемых изменений:

1. Неприспосабливающиеся (не изменяют своих свойств)
2. Приспосабливающиеся: самонастраивающиеся (меняют параметры или воздействия в зависимости от обстановки), самоорганизующееся (самостоятельно изменяют структура управления)
3. Пассивные и активные (по тому, есть ли заранее выработанная программа изменений или изменения вычисляются на основании решения задачи оптимизации качества регулирования)
4. С разомкнутым и замкнутым циклом (по возможности самоанализа эффективности произведенных изменений)

По виду управляющих воздействий:

1. $g(t) = const$ – входной сигнал. => $y(t) = const$. (Системы стабилизации)
2. $g(t)$ известная функция (известна программа управления)
3. $g(t)$ заранее неизвестная величина (следящая система)

По степени сложности и связи между элементами:

1. Прямого регулирования – чувствительный элемент непосредственно связан с регулирующим органом
2. Непрямого регулирования – если между ними еще какие-то элементы

По числу переменных регулирования:

1. Одномерные
2. Многомерные

По величине установленной ошибки:

1. Статические
2. Астатические

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{g_0 = 0}$; $\boldsymbol{u_0 = -0,5}$; $\boldsymbol{\dot{u}_0 = 2}$

$$\boldsymbol{5g^2 - 2,5\dot{g} + 6gu - 4\dot{u} = 0,5u}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{g}}\right)\Delta\dot{g} + \left(\frac{\partial F}{\partial g}\right)\Delta g + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{u}}\right)\Delta\dot{u} + \left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)\Delta u = 0$$

$\Delta\dot{g} = \dot{g} - \dot{g}_0$

$\Delta g = g - g_0$

$\Delta\dot{u} = \dot{u} - \dot{u}_0$

$\Delta u = u - u_0$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{g}}\right)^{\circ} = -2,5$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial g}\right)^{\circ} = 10g_0 + 6u_0 = -3$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{u}}\right)^{\circ} = -4$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)^{\circ} = 6g_0 - 0,5 = -0,5$$

$F = 5g^2 - 2,5\dot{g} + 6gu - 4\dot{u} - 0,5u = 0$

$0 - 2,5\dot{g}_0 + 0 - 8 + 0,25 = 0$

$\dot{g}_0 = -3,1$

$-2,5(\dot{g} + 3,1) - 3g - 4(\dot{u} - 2) - 0,5(u + 0,5) = 0$

Билет 6

Статическое и астатическое регулирование – принципы, преимущества, недостатки.

САР в зависимости от того имеют ли они или нет ошибку в установившемся состоянии при определённом рода воздействии, подразделяются на статические и астатические.

Идеальные ТС – ТС с идеальными датчиками в отсутствии входных шумов.

С этой точки зрения варьируются определения статических и астатических систем.

Идеальные астатические ТС – ТС статическая ошибка которых равна 0.

Идеальные статические ТС – ТС статическая ошибка которых не равна 0.

Статическая ошибка – ошибка выходного сигнала системы в установившемся положении.

Статическое регулирование:
Система имеет статическую ошибку регулирования, то есть разница между заданным и действительным значением сохраняется, но находится в пределах допустимых границ.
Преимущества:
Простота реализации, устойчивость в большинстве случаев.
Недостатки:
Постоянное отклонение от заданного значения (ошибка), особенно при постоянных внешних воздействиях (возмущениях).

Астатическое регулирование:
Система способна полностью устранить ошибку регулирования за счет использования интегрального элемента в регуляторе. В итоге, при постоянном воздействии система выходит на точное соответствие заданному значению.
Преимущества:
Отсутствие статической ошибки, точность регулирования.
Недостатки:
Может иметь медленное реагирование на быстрые изменения, возможны колебания и трудности в настройке устойчивости.

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{x_0 = 2}$

$$\boldsymbol{y = x^2 + \frac{1}{x}}$$

$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\Delta y + \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)\Delta x = 0$

$\Delta y = y - y_0$

$\Delta x = x - x_0$

$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^{\circ} = 1$

$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{\circ} = -2x_0 + \frac{1}{x_0^2} = -3{,}75$

$F = y - x^2 - \frac{1}{x} = 0$

$y_0 - 4 - \frac{1}{2} = 0$

$y_0 = 4{,}5$

$(y - 4{,}5) - 3{,}75(x - 2) = 0$

Билет 7

Требования к САР. Основные виды воздействий.

Основным требованием является сохранение функциональной зависимости между управляющими и регулируемыми переменными.

Требования, предъявляемые к системе в динамике зависят от её назначения, характера работы, конкретных условий работы:

1. К запасу устойчивости системы. Рассматривается по амплитуде и по разности фаз входного и выходного сигнала. Коэффициент обратной связи
$$K_{\text{оос}} = \frac{\text{амплитуда входного сигнала}}{\text{амплитуда выходного сигнала}}$$
2. Увеличение ошибки в установившемся состоянии (требование по статической точности).
3. К поведению системы в переходном процессе, а именно к параметрам переходного процесса (время переходного процесса, перерегулированию, колебательность и т.д).

Перечисленная совокупность этих 3 требований называется - условия качества системы.

Так же выделяют ещё 1 дополнительный фактор (необязательной, но обычно присутствует):

4. К динамической точности системы, т.е. к величине ошибки при непрерывно изменяющихся воздействиях (управляющие и возмущающие).

Из перечисленных требований наиболее важное – устойчивость системы.

При рассмотрении конкретных условий работы системы выбирают такие воздействия которые для данной системы являются либо наиболее типичными, либо наиболее неблагоприятными.

Выбрав такие воздействия и изучив вызванный ими переходный процесс, можно судить о динамических свойствах системы. В качестве типовых воздействий при анализе динамики системы обычно выбирают следующие:

1. единичное ступенчатое воздействие
2. единичное импульсное воздействие

Физический смысл интеграла по времени – мощность. Моделируется сигнал единичной мощности. В механике такими функциями описывают удары.

В отдельных случаях типовые воздействия могут иметь сложную форму, определяющие экспериментальным путём.

Любое входное воздействие приводит к возникновению переходного процесса, по окончании которой система переходит в новое устойчивое состояние.

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{y_0 = \dot{y}_0 = u_0 = \dot{u}_0 = 0}$

$$\boldsymbol{n_1\ddot{y} + n_2\dot{y}^2 + n_3\dot{y} + n_4\sin y + n_5\dot{u}^2 + n_6 u\cos y = 0}$$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right)\Delta\ddot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)\Delta\dot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\Delta y + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{u}}\right)\Delta\dot{u} + \left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)\Delta u = 0$

$\Delta\ddot{y} = \ddot{y} - \ddot{y}_0$

$\Delta\dot{y} = \dot{y} - \dot{y}_0$

$\Delta y = y - y_0$

$\Delta\dot{u} = \dot{u} - \dot{u}_0$

$\Delta u = u - u_0$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right)^{\circ} = n_1$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)^{\circ} = 2n_2\dot{y}_0 + n_3 = n_3$

$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^{\circ} = n_4\cos y_0 - n_6 u_0 \sin y_0 = n_4$

$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{u}}\right)^{\circ} = 2n_5\dot{u}_0 = 0$

$\left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)^{\circ} = n_6\cos y_0 = n_6$

$F = n_1\ddot{y} + n_2\dot{y}^2 + n_3\dot{y} + n_4\sin y + n_5\dot{u}^2 + n_6 u\cos y = 0$

$n_1\ddot{y}_0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0$

$\ddot{y}_0 = 0$

$n_1\ddot{y} + n_3\dot{y} + n_4 y + n_6 u = 0$

Билет 8

Понятие и основные характеристики переходного процесса

Переходный процесс – временной промежуток, в течение которого система выходит из одного состояния и переходит в новое состояние в ответ на изменение входного сигнала или возмущения.

Основные характеристики переходного процесса:

Время переходного процесса в системе характеризует её быстродействие, а его характер определяет качество системы. За количественную характеристику длительности переходного процесса принимают время, необходимое выходному сигналу системы для того, чтобы приблизиться к своему установившемуся значению.

Перерегулирование – отношение разности максимального значения переходной характеристики и её установившегося значения к величине установившегося значения. Измеряется обычно в процентах.

Степень затухания переходного процесса определяется относительным уменьшением соседних амплитуд переходной характеристики. Числителем является амплитуда первого колебания. Степень затухания показывает во сколько раз уменьшается амплитуда второго колебания по сравнению с первым. Степень затухания системы зависит от показателя колебательности M.

Логарифмический декремент затухания – натуральный логарифм отношения амплитуд двух соседних перерегулирований. Обратная ему величина показывает, за какое число колебаний их амплитуда уменьшается в e раз (e – основание натуральных логарифмов). Уместен лишь для характеристики линейных систем.

Колебательность характеризует склонность системы к колебаниям и определяется как модуль отношения амплитуд второго колебания к амплитудам первого колебания. Колебательность системы характеризуют при помощи показателя колебательности M, который представляет собой отношение резонансного пика при резонансной частоте к значению АЧХ при нулевой частоте. $M = \frac{1+m^2}{2m}$. При увеличении M, уменьшается показатель колебательности m и соответственно происходит уменьшение степени колебательности.

Установившаяся ошибка – разница между предполагаемым и реальным значением выходного сигнала при времени, стремящемся к бесконечности. В идеальных астатических системах установившаяся ошибка равна нулю.

Если ξ (коэффициент затухания) меньше 0, то колебания в переходном процессе расходящиеся. Если равно 0, то нерасходящиеся и несходящиеся. Если от 0 до 1, то колебания в переходном процессе затухающие. Если ξ больше или равно 1, то переходный процесс становится неколебательным (астатическим).

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{x_0 = \dot{x}_0 = y_0 = \dot{y}_0 = 1}$

$$\boldsymbol{3\ddot{y}x + y\dot{x} + 2xy - \dot{y}x + \dot{x} - \dot{y} + 4 = 0}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right)\Delta\ddot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)\Delta\dot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\Delta y + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}\right)\Delta\dot{x} + \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)\Delta x = 0$$

$\Delta\ddot{y} = \ddot{y} - \ddot{y}_0$

$\Delta\dot{y} = \dot{y} - \dot{y}_0$

$\Delta y = y - y_0$

$\Delta\dot{x} = \dot{x} - \dot{x}_0$

$\Delta x = x - x_0$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{y}}\right)^{\circ} = 3x_0 = 3$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)^{\circ} = -x_0 - 1 = -2$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^{\circ} = \dot{x}_0 + 2x_0 = 3$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}\right)^{\circ} = y_0 + 1 = 2$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{\circ} = 3\ddot{y}_0 + 2y_0 - \dot{y}_0 = 3\ddot{y}_0 + 1$$

$F = 3\ddot{y}x + y\dot{x} + 2xy - \dot{y}x + \dot{x} - \dot{y} + 4 = 0$

$3\ddot{y}_0 + 2 - 1 + 1 - 1 + 4 = 0$

$3\ddot{y}_0 + 5 = 0$

$$\ddot{y}_0 = -\frac{5}{3}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{\circ} = -\frac{5}{3} * 3 + 1 = -4$$

$$3\left(\ddot{y} + \frac{5}{3}\right) - 2(\dot{y} - 1) + 3(y - 1) + 2(\dot{x} - 1) - 4(x - 1) = 0$$

Билет 9

Обобщённые координаты, входные и выходные векторы системы, одно- и многомерные системы. Динамические и статические характеристики САР.

Обобщённые координаты – минимальный набор независимых переменных, которые полностью определяют положение системы в пространстве. Например, углы поворота, перемещения по координатам и другие параметры, описывающие состояние системы.

В случае многомерных систем для описания состояния может потребоваться несколько обобщённых координат, каждая из которых соответствует одному направлению или степени свободы системы.

Входные векторы системы – набор переменных, которые описывают внешнее воздействие на систему. Например, входные сигналы от датчиков, управляющие воздействия от внешних источников.

Входной вектор может иметь один или несколько компонентов, в зависимости от того, сколько сигналов подается на систему.

Выходные векторы системы – переменные, которые описывают отклик системы на входное воздействие. Например, положение объекта, угловая скорость, температура.

Для многомерных систем выходной вектор может содержать несколько компонент, каждая из которых соответствует определённой выходной переменной.

Одномерные системы – системы, которые описываются одним входом и одним выходом. Их динамика может быть представлена уравнением одного параметра, и они управляются одним сигналом.

Пример: система регулирования температуры в одной комнате, где на вход подается температура с датчика, а на выходе регулируется мощность нагревателя.

Многомерные системы – системы, которые имеют несколько входов и/или выходов. Их поведение описывается векторными уравнениями, где каждая координата входа может влиять на несколько выходных параметров.

Пример: управление полётом беспилотного летательного аппарата, где на вход поступает несколько сигналов (скорость, угол крена, высота), а на выходе необходимо регулировать сразу несколько параметров для устойчивого управления.

Статические характеристики САР описывают поведение системы в установившемся режиме, то есть при постоянных входных сигналах. Это позволяет оценить точность регулирования и поведение системы в устойчивом состоянии. Статическая характеристика – зависимость установившегося выхода от входа системы.

Пример: статическая характеристика регулятора температуры может показать зависимость температуры в комнате от мощности нагревателя.

Динамические характеристики САР описывают поведение системы при изменении входных сигналов, то есть в неустановившихся режимах. Эти характеристики показывают, как система реагирует на изменения входных воздействий, как быстро она достигает установившегося состояния, и насколько устойчива она к колебаниям.

Основные динамические характеристики:

- Переходная характеристика – реакция системы на единичное скачкообразное воздействие на входе.
- Частотная характеристика – зависимость амплитуды и фазы выходного сигнала от частоты входного сигнала.

Пример динамической характеристики: время отклика системы, время переходного процесса, перерегулирование.

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{x_0 = \dot{x}_0 = \ddot{x}_0 = y_0 = 2}$

$$\boldsymbol{2\ddot{x}\dot{y} - xy + x\dot{y} + \dot{x}y + \dot{y} + \dot{x} + 12 = 0}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}\right)\Delta\ddot{x} + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}\right)\Delta\dot{x} + \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)\Delta x + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)\Delta\dot{y} + \left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\Delta y = 0$$

$$\Delta\ddot{x} = \ddot{x} - \ddot{x}_0$$
$$\Delta\dot{x} = \dot{x} - \dot{x}_0$$
$$\Delta x = x - x_0$$
$$\Delta\dot{y} = \dot{y} - \dot{y}_0$$
$$\Delta y = y - y_0$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}\right)^{\circ} = 2\dot{y}_0$$
$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{x}}\right)^{\circ} = y_0 + 1 = 3$$
$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{\circ} = -y_0 + \dot{y}_0 = -2 + \dot{y}_0$$
$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{y}}\right)^{\circ} = 2\ddot{x}_0 + x_0 + 1 = 7$$
$$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^{\circ} = -x_0 + \dot{x}_0 = 0$$

$$F = 2\ddot{x}\dot{y} - xy + x\dot{y} + \dot{x}y + \dot{y} + \dot{x} + 12 = 0$$
$$4\dot{y}_0 - 4 + 2\dot{y}_0 + 4 + \dot{y}_0 + 2 + 12 = 0$$
$$7\dot{y}_0 + 14 = 0$$
$$\dot{y}_0 = -2$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}\right)^{\circ} = -4$$
$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{\circ} = -4$$

$$-4(\ddot{x} - 2) + 3(\dot{x} - 2) - 4(x - 2) + 7(\dot{y} + 2) = 0$$

Билет 10

Методика линеаризации дифференциальных уравнений САР, уравнения системы в каноническом виде.

$$F(\ddot{x}_2, \dot{x}_2, x_2, \dot{x}_1, x_1, \xi_1, \xi_2) = 0 \quad F(0{,}0, x_2^\circ, 0, x_1)$$

В качестве режима принимаемого за исходный при линеаризации принимается установившийся режим характеризующийся, т.е. некоторая рабочая точка в которой обычно находится система при выполнении своих функций

$$x_1 = x_1^\circ$$

$$x_2 = x_2^\circ$$

$$\xi_1 = \xi_1^\circ$$

$$\xi_2 = \xi_2^\circ$$

В приращении от рабочей точки (от значению рабочей точки)

По входному сигналу

$$x_1 = x_1^\circ + \Delta x_1$$

$$x_2 = x_2^\circ + \Delta x_2$$

$$\xi_1 = \xi_1^\circ + \Delta \xi_1$$

$$\xi_2 = \xi_2^\circ + \Delta \xi_2$$

Подставим в уравнение 1 и получим

$$F(\Delta\ddot{x}_2, \Delta\dot{x}_2, \dot{x}_2 + \Delta x_2, \Delta\dot{x}_1, \dot{x}_1^\circ + \Delta x_1, \xi_1^\circ + \Delta\xi_1, \xi_2 + \Delta\xi_2)$$

И разложим функцию в ряд Тейлора в окрестностях установившегося режима

$$F(0{,}0, x_2 \circ, 0, x_1 \circ, \xi_1 \circ, \xi_2 \circ) + \left(\frac{dF}{\ddot{d}x_2}\right)^\circ \Delta\ddot{x}_2 + \left(\frac{dF}{\dot{d}x_2}\right)^\circ \Delta\dot{x}_2 + \left(\frac{dF}{dx_2}\right)^\circ \Delta x_2 + \left(\frac{dF}{\dot{d}x_1}\right)^\circ \Delta\dot{x}_1 + \left(\frac{dF}{dx_1}\right)^\circ \Delta x_1 + \left(\frac{dF}{d\dot{\xi}_1}\right)^\circ \Delta\xi_1 + \left(\frac{dF}{d\dot{\xi}_2}\right)^\circ \Delta\xi_2 + \text{частныепроизводные} = 0$$

Первая компонента - которое по определению равно 0 (см (2)), а сама процедура линеиализации пренебрежением в ур (4) всеми частными производными, кроме производных 1-го порядка. В некоторой окрестности рабочей точки заменяем кривую на прямую.

Частные производные вычисляются в точке, соответствующей статическому режиму. Т.е. $\left(\frac{dF}{\ddot{d}x_2}\right)^\circ$ - означает что находится частное производное в которую после вычисления подставляются значения 3

Все эти производные в коечном счёте постоянные числа, так как обобщённые координаты в статическом режиме постоянные

Считая отклонения в .. режиме малыми (гипотеза малых отклонений) можно пренебречь производными высших порядков и тогда с учётом уравнения (2) уравнение (4) принимает вид

$$F(0,0,x_2^\circ,0,x_1^\circ,\xi_1^\circ,\xi_2^\circ)+\left(\frac{dF}{d\ddot{x}_2}\right)^\circ\Delta\ddot{x}_2+\left(\frac{dF}{d\dot{x}_2}\right)^\circ\Delta\dot{x}_2+\left(\frac{dF}{dx_2}\right)^\circ\Delta x_2+\left(\frac{dF}{d\dot{x}_1}\right)^\circ\Delta\dot{x}_1+\left(\frac{dF}{dx_1}\right)^\circ\Delta x_1+\left(\frac{dF}{\dot{\xi}_1}\right)^\circ\Delta\xi_1+\left(\frac{dF}{d\dot{\xi}_2}\right)^\circ\Delta\xi_2=0$$

Из рассмотренной методики следует что необходимым условием линеаризации является разложимость функции F в окрестности точки с координатами $\big(0,0,x_2(0),0,x_1(0),\psi_1(0),\psi_2(0)\big)$, т.е. в окрестностях рабочей точки в ряд тейлора. Это разложение невозможно если функция F не дифференцируема по оной из координат. В этом случае уравнение (1) даже приближённо не может быть заменено линейным, а элемент имеющий подобную характеристику называется существенно нелинейным.

В ТУ дифф уравнения, описывающие динамику систему принято представлять в каноническом виде для этого стоит обе части ДУ поделить на коэф. при выходной координате.

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{u_0=\dot{u}_0=y_0=\dot{y}_0=1}$

$$\boldsymbol{\ddot{y}-2yu+4y^2-1,5\dot{y}u+6\dot{u}=0,5u}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial\ddot{y}}\right)\Delta\ddot{y}+\left(\frac{\partial F}{\partial\dot{y}}\right)\Delta\dot{y}+\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\Delta y+\left(\frac{\partial F}{\partial\dot{u}}\right)\Delta\dot{u}+\left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)\Delta u=0$$

$\Delta\ddot{y}=\ddot{y}-\ddot{y}_0$

$\Delta\dot{y}=\dot{y}-\dot{y}_0$

$\Delta y=y-y_0$

$\Delta\dot{u}=\dot{u}-\dot{u}_0$

$\Delta u=u-u_0$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial\ddot{y}}\right)^\circ=1$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial\dot{y}}\right)^\circ=-1,5u_0=-1,5$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^\circ=-2u_0+8y_0=6$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial\dot{u}}\right)^\circ=6$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)^\circ=-2y_0-1,5\dot{y}_0-0,5=-4$$

$F=\ddot{y}-2yu+4y^2-1,5\dot{y}u+6\dot{u}-0,5u=0$

$\ddot{y}_0-2+4-1,5+6-0,5=0$

$\ddot{y}_0=6$

$(\ddot{y}-6)-1,5(\dot{y}-1)+6(y-1)+6(\dot{u}-1)-4(u-1)=0$

Билет 11

Уравнения свободных и вынужденных колебаний САР.

Колебания в системах автоматического регулирования могут возникать в результате внешних воздействий (вынужденные колебания) или в силу внутренних характеристик самой системы (свободные колебания). Для анализа таких систем применяют дифференциальные уравнения, описывающие динамику их отклика.

Уравнения свободных колебаний

Свободные колебания – колебания, которые происходят в системе без внешнего воздействия, то есть при отсутствии входного сигнала. Эти колебания связаны с внутренними свойствами системы, например, с инерцией, упругостью или демпфированием.

Для систем с одной степенью свободы уравнение свободных колебаний можно записать как: $m\frac{d^2x(t)}{dt^2} + c\frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = 0$

Это дифференциальное уравнение второго порядка описывает поведение системы без внешнего воздействия.

Решение этого уравнения зависит от величины коэффициента демпфирования c:

- При слабом демпфировании ($c^2 < 4mk$) система будет совершать затухающие колебания, причём частота колебаний определяется параметрами m и k, а амплитуда колебаний со временем уменьшается.
- При критическом демпфировании ($c^2 = 4mk$) система быстро стремится к состоянию равновесия без колебаний.
- При сильном демпфировании ($c^2 > 4mk$) колебаний нет, и система медленно возвращается к равновесию.

Уравнения вынужденных колебаний

Вынужденные колебания возникают под воздействием внешних сигналов или периодических входных воздействий. В отличие от свободных колебаний, в уравнение включается внешняя сила или управляющий сигнал.

Общее уравнение вынужденных колебаний для системы с одной степенью свободы имеет вид: $m\frac{d^2x(t)}{dt^2} + c\frac{dx(t)}{dt} + kx(t) = F(t)$

Если входное воздействие имеет гармоническую природу, например: $F(t) = F_0 \cos \omega t$, то система начинает совершать вынужденные колебания с частотой внешнего воздействия.

Решение этого уравнения включает две составляющие:

- Свободное решение – решение уравнения без учёта внешнего воздействия, которое затухает со временем.

- Установившееся решение – вынужденное колебание, частота которого совпадает с частотой внешнего воздействия ω.

Таким образом, динамика системы определяется как внутренними параметрами (инерцией, демпфированием), так и частотой и амплитудой внешнего воздействия.

Для анализа вынужденных колебаний часто используют частотные характеристики системы. Эти характеристики показывают, как система реагирует на внешние гармонические воздействия разной частоты.

Частотный отклик системы может быть выражен через амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и фазово-частотную характеристику (ФЧХ). Для линейной системы реакция на внешнее гармоническое воздействие имеет вид:

$$x(t) = X_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

При резонансе амплитуда вынужденных колебаний может резко возрастать.

Таким образом, уравнения свободных и вынужденных колебаний в системах автоматического регулирования описывают динамику системы как в отсутствие внешнего воздействия, так и под действием периодического сигнала. Свободные колебания характеризуются затуханием и поведением системы после воздействия, тогда как вынужденные колебания связаны с реакцией системы на внешние воздействия различной частоты.

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{g_0 = 0}$; $\boldsymbol{u_0 = -0,5}$; $\boldsymbol{\dot{u}_0 = 2}$

$$\boldsymbol{5g^2 - 2,5\dot{g} + 6gu - 4\dot{u} = 0,5u}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{g}}\right)\Delta\dot{g} + \left(\frac{\partial F}{\partial g}\right)\Delta g + \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{u}}\right)\Delta\dot{u} + \left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)\Delta u = 0$$

$$\Delta\dot{g} = \dot{g} - \dot{g}_0$$

$$\Delta g = g - g_0$$

$$\Delta\dot{u} = \dot{u} - \dot{u}_0$$

$$\Delta u = u - u_0$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{g}}\right)^{\circ} = -2,5$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial g}\right)^{\circ} = 10g_0 + 6u_0 = -3$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial \dot{u}}\right)^{\circ} = -4$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial u}\right)^{\circ} = 6g_0 - 0,5 = -0,5$$

$$F = 5g^2 - 2,5\dot{g} + 6gu - 4\dot{u} - 0,5u = 0$$

$$0 - 2,5\dot{g}_0 + 0 - 8 + 0,25 = 0$$

$$\dot{g}_0 = -3,1$$

$$-2,5(\dot{g} + 3,1) - 3g - 4(\dot{u} - 2) - 0,5(u + 0,5) = 0$$

Билет 12

Частотные характеристики САР – виды, связь между ними.

Частотные характеристики – зависимости отклика системы на синусоидальные входные воздействия различной частоты. Частотный анализ позволяет исследовать поведение системы в частотной области и оценить, как она реагирует на различные частоты входного сигнала. Этот метод особенно важен для анализа устойчивости и качества регулирования.

Основные частотные характеристики САР:

1. Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ).
2. Фазово-частотная характеристика (ФЧХ).
3. Передаточная функция.
4. Логарифмические амплитудно-частотные и фазовые характеристики.
5. Комплексная передаточная функция (или частотная характеристика).

АЧХ показывает, как амплитуда выходного сигнала системы изменяется в зависимости от частоты входного сигнала.

Если на систему подаётся синусоидальное воздействие с амплитудой A и частотой ω: $x_{\text{вх}}(t) = A\sin\omega t$, то система может ответить сигналом: $x_{\text{вых}}(t) = A_{\text{вых}}\sin(\omega t + \varphi(\omega))$

АЧХ выражается как отношение амплитуд выходного и входного сигналов:

$$H_A(\omega) = \frac{A_{\text{вых}}}{A_{\text{вх}}}$$

ФЧХ показывает, как фазовый сдвиг между входным и выходным сигналами зависит от частоты входного воздействия. Фазовый сдвиг $\phi(\omega)$ определяется разницей в фазе между входным и выходным сигналом.

ФЧХ записывается как функция частоты: $\varphi(\omega) = \arg\left(H(j\omega)\right)$

ФЧХ показывает, как система изменяет фазу сигнала в зависимости от частоты. Этот параметр критически важен для оценки устойчивости системы, так как при определённом фазовом сдвиге система может стать неустойчивой.

Передаточная функция отношение изображения выходного воздействия к изображению входного воздействия при нулевых начальных условиях. $W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$

Логарифмическая АЧХ – представление АЧХ в децибелах в зависимости от частоты в логарифмическом масштабе: $L_A(\omega) = 20\log_{10}(|H(j\omega)|)$

Логарифмическое представление позволяет легко выявлять резонансные частоты и предельные значения частоты, при которых система переходит в неустойчивое состояние.

Логарифмическая ФЧХ также может быть представлена в логарифмическом масштабе, что помогает анализировать фазовый сдвиг на разных частотах.

Комплексная передаточная функция описывает одновременно и амплитудные, и фазовые изменения системы. Она записывается как: $H(j\omega) = |H(j\omega)|e^{j\varphi(\omega)}$

Эта характеристика даёт полное описание поведения системы при любом частотном воздействии.

Все виды частотных характеристик связаны между собой через передаточную функцию $H(j\omega)$.

- АЧХ выражает модуль передаточной функции
- ФЧХ – аргумент передаточной функции
- Комплексная передаточная функция *H(jω)* описывает полное поведение системы как в амплитудной, так и в фазовой областях

Частотные характеристики тесно связаны через передаточную функцию, которая в совокупности описывает отклик системы на различные частоты входного сигнала, и являются основными инструментами для анализа устойчивости и качества регулирования в САР.

Линеаризовать дифференциальное уравнение в окрестностях точки $\boldsymbol{x_0 = 2}$

$$\boldsymbol{y = x^2 + \frac{1}{x}}$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)\Delta y + \left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)\Delta x = 0$$
$$\Delta y = y - y_0$$
$$\Delta x = x - x_0$$
$$\left(\frac{\partial F}{\partial y}\right)^{\circ} = 1$$
$$\left(\frac{\partial F}{\partial x}\right)^{\circ} = -2x_0 + \frac{1}{x_0^2} = -3{,}75$$
$$F = y - x^2 - \frac{1}{x} = 0$$
$$y_0 - 4 - \frac{1}{2} = 0$$
$$y_0 = 4{,}5$$
$$(y - 4{,}5) - 3{,}75(x - 2) = 0$$