Министерство науки и образования Российской Федерации

ГОУ ВПО Дагестанский государственный технический университет

Методические указания

к выполнению лабораторной работы по исследованию системы управления судном при различных законах регулирования по дисциплине «Локальные системы управления»

Махачкала 2020

УДК

Методические указания к выполнению лабораторных работ №1, 2, по дисциплине «Локальные системы управления» для студентов направления подготовки 27.03.04 – Управление в технических системах

Приведены описания комплекса программа для анализа и синтеза систем автоматизированного управления – КОПРАС, лабораторных работ №1 (Исследование временных характеристик позиционных звеньев), №2 (Исследование временных характеристик интегрирующих, дифференцирующих и интегро-дифференцирующих звеньев), №3 (Исследование частотных характеристик звеньев и систем автоматического регулирования), №4 (Исследование влияния обратных связей на качество переходных процессов систем автоматического регулирования), основные теоретические сведения к ним, порядок их выполнения и содержания отчетов.

Составители: д.т.н., проф. Г.К.Асланов.

Рецензент: технический директор ОАО НИИ «Сапфир» Шер М.И..

Печатается по постановлению ученого Совета Дагестанского государственного технического университета от   2020 г.

1.Цель работы

- изучение влияния законов регулирования на качество переходных процессов на примере системы управления судном

2.Краткие теоретические сведения

Если в результате эпизодического определения места судна будет получена обсервованная точка, не совпадающая с линией заданного пути, возникает задача возвращения судна на этот путь и коррекции движения с учетом влияния ветра, волнения, течения и ошибок управления, обусловивших смещение судна (рис.1).

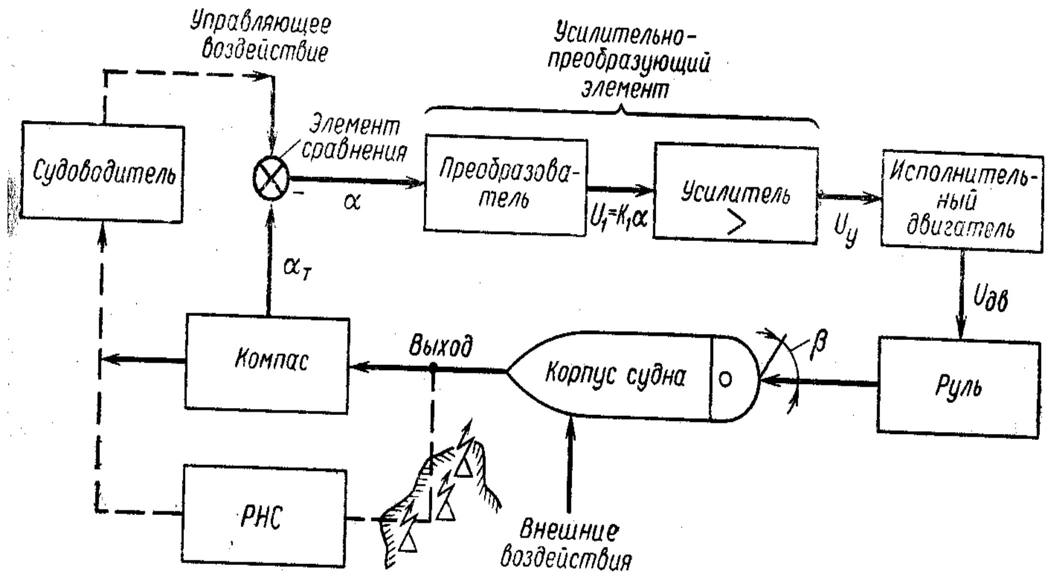

Рис. 1. $\sigma=\beta$, $\Delta U=\alpha$, $U_{дв}=\Omega$.

Возвращение судна на заданный путь должно быть подчинено определенному закону.

Одной из основных функций автоматических устройств является регулирование, т. е. поддержание или изменение по требуемому закону некоторой физической величины (курс судна, частота вращения вала двигателя, напряжение или частоты на клеммах генератора и т. п.).

В судовых САР используют так называемую отрицательную обратную связь, т. е. передачу информации с выхода системы на ее вход с обратным знаком. При этом из заданного значения вычитается текущее значение регулируемой величины и наличие рассогласования (ошибки) служит сигналом для работы корректирующего исполнительного устройства.

Из схемы следует, что при построении автоматической системы необходимо избавить человека от функций сравнения заданного курса с текущим и перемещения рулевого привода. Если передать эти функции автоматическим устройствам, получим САР курса судна, представленную на рис. 1, которая состоит из ряда элементов: сравнения, усилительно-преобразующего (усилитель, рулевой привод), исполнительного (двигатель), регулирующего органа (руль), объекта регулирования (корпус судна), измерительного (компас), выполняющих вполне определенные функции.

Все элементы, кроме объекта регулирования, обычно объединяются под одним названием — регулятор.

На основании внешней информации, например от РНС о местоположении судна, судоводитель может принять решение изменить курс следования, т. е. приложить задающее (управляющее) воздействие пунктирные линии), внешнее для САР. Этим действием судоводитель выполняет функции так называемого задающего (управляющего) элемента.

К внешним воздействиям относятся также возмущения на систему, вызванные изменением состояния объекта или его взаимодействия со средой (например, для судна это будет изменение загрузки, скорости, действия ветра, течения и т. п), а также изменением энергопитания системы.

Процесс регулирования характеризуется передачей внутренних воздействий от одного звена системы к другому по единому замкнутому контуру, поэтому нельзя определить качество работы системы, не зная, что происходит в данный момент в других звеньях и объекте регулирования.

Составление уравнений динамики. Системы автоматического регулирования обычно включают ряд сложных устройств, соединенных между собой. Для описания поведения системы необходимо в соответствии со структурной схемой (рис. 2) составить систему дифференциальных уравнений, в которой число уравнений должно соответствовать числу независимых обобщенных координат, определяющих состояние системы.

Рис. 2. Система управления курсом судна.

Обычно система уравнений решается относительно отклонения регулируемой величины *y (t)* от заданного значения, т. е. ошибки *x (t),* либо относительно самой регулируемой величины *y (t)*.

Пусть ось движка потенциометра R_1 указывает направление курса, а ось обмотки потенциометра R_1 совпадает с продольной осью судна (рис.2).

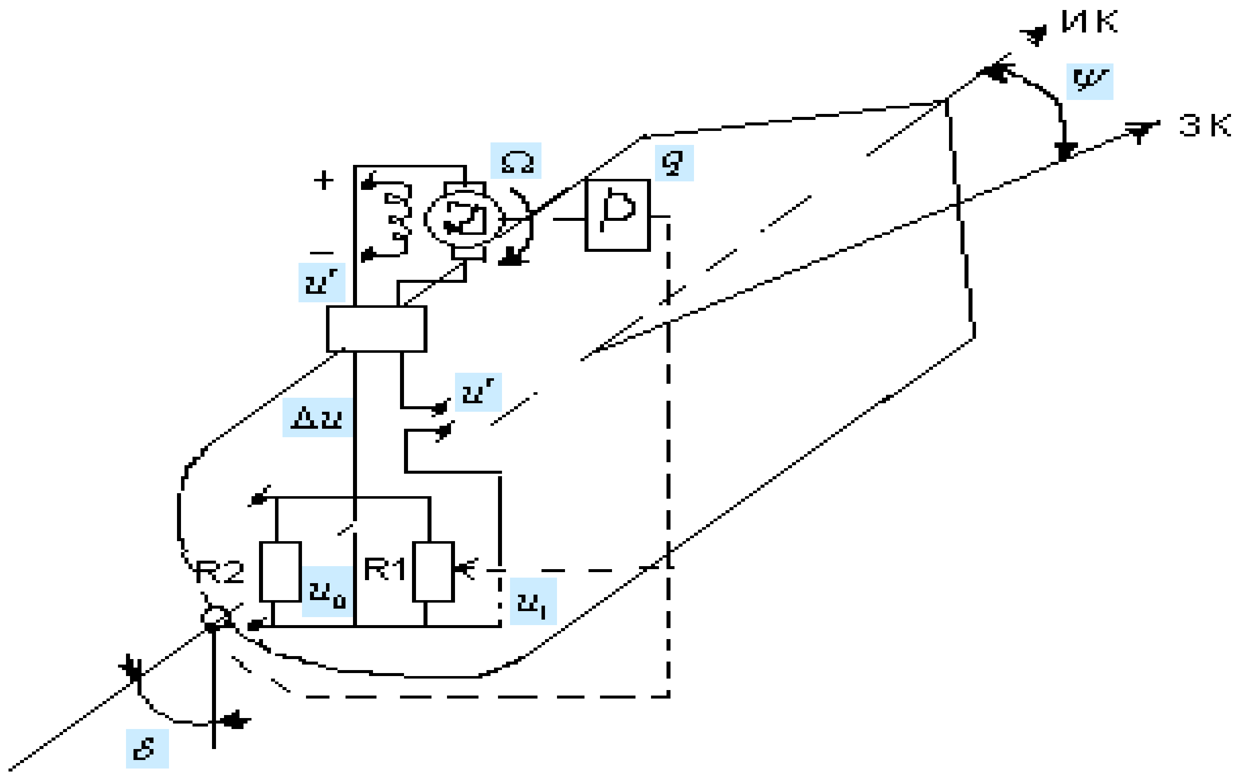

Рис.2 Функциональная схема системы автоматического управления курсом судна. ИК – истинный курс; ЗК –заданный курс.

Тогда отклонение от заданного курса на угол ψ создаёт отклонение движка потенциометра R_1 на угол ψ от среднего положения. В идеальном случае угол ψ должен быть равен нулю и движок потенциометра R1 должен находиться точно по середине обмотки.

Поэтому установленное значение u_0 для выходного напряжения u_1 потенциометра R_1 может быть получено от потенциометра R_2 ,приключённого к тому же источнику напряжения, причём движок потенциометра R_2 должен находиться точно посередине обмотки. Разность этих напряжений $\Delta u = u - u_0$ поступает на вход усилителя с коэффициентом усиления k_0 .К входу того же усилителя приложено ещё и вспомогательное напряжение u', смысл введения которого выяснится ниже. Выходное напряжение усилителя u' приложено к зажимам якоря двигателя независимого возбуждения Д. Будем пренебрегать индуктивностью цепи якоря и моментом инерции на валу двигателя Д. Поэтому можно положить $\Omega = k_1 u_1$. Через редуктор с передаточным отношением (на замедление) q вал двигателя соединён с валом руля направления, угол поворота которого обозначен через δ.Поворот руля направления создаёт момент, в первом приближении равный $\rho\delta$, где ρ = const, и действующий на судно относительно вертикальной оси f и момент вязкого трения (демпфирования) в воздушной среде относительно той же оси, пропорциональной угловой1 скорости поворота, равен - $N\frac{d\psi}{dt}$.

Тогда уравнение движения для вращения судна вокруг вертикальной оси имеет вид

$$J\frac{d^2\psi}{dt^2} = -N\frac{d\psi}{dt} - \rho\delta \qquad (1)$$

При δ >0 момент руля действует в направлении уменьшения, создавая отрицательное ускорение $\frac{d^2\psi}{dt^2}$<0.

Положим $\Delta u = x$. Поскольку величина x пропорциональна углу ψ, можно положить $x = k_3\psi$, где k_3 =const. Совокупность уравнений системы имеет следующий вид :

$$\begin{cases} J\dfrac{d^2\psi}{dt^2} = -N\dfrac{d\psi}{dt} - \rho\delta \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \dfrac{\Omega}{q}, \Omega = k_1 u_1 \\ u_1 = k_0(x + u'), x = k_3\psi \end{cases} \qquad (2)$$

Пусть

$$\frac{1}{q} = \xi_0,$$
$$T = \frac{J}{N}, \qquad (3)$$
$$k_2 = \frac{\rho}{N}$$

Тогда уравнения примут вид :

$$\begin{cases} T\dfrac{d^2\psi}{dt^2} + \dfrac{d\psi}{dt} = -k_2\delta \\ \dfrac{d\delta}{dt} = \xi_0\Omega \\ \Omega = k_1 u_1 \\ u_1 = k_0(x + u') \\ x = k_3\psi \end{cases} \qquad (4)$$

Чтобы выяснить, каким звеньям соответствует первое из уравнений (4), положим $\frac{d\psi}{dt} = \varphi$. Тогда это уравнение разобьётся на совокупность двух уравнений:

$$T\frac{d\varphi}{dt} + \varphi = -k_2\delta$$
$$\frac{d\psi}{dt} = \varphi \qquad (5)$$

Получаем уравнение цепочки, состоящей из двух последовательно соединенных звеньев : инерционного с постоянной времени Т и коэффициентом усиления k_2 и интегрирующего звена с уравнением $\frac{d\psi}{dt} = \psi$. Поскольку в системе уравнений присутствует ещё одно уравнение интегрирующего звена $\frac{d\delta}{dt} = \xi_0\Omega$, данная система является астатической и содержит два интегрирующих звена.

На схеме не изображены напряжения u_0 и u, а прямо показана их разность $x = u - u_0$. Поскольку одно из звеньев имеет отрицательный коэффициент усиления -k_2, необходимая отрицательная связь в системе обеспечена. Исключим из уравнения (4) все переменные, кроме x и u'. Для этого удобнее всего продифференцировать первое уравнение, подставив в него x из последнего уравнения, затем подставив вместо $\frac{d\delta}{dt}$ значение из второго уравнения, вместо Ω - значение из третьего уравнения, вместо u_1 - значение из четвёртого уравнения.

Полагая

$$\xi = k_0 k_1 k_2 k_3 \xi_0 \qquad (6)$$

находим

$$T\frac{d^3x}{dt^3} + \frac{d^2x}{dt^2} + \xi(x + u') = 0 \qquad (7)$$

Если положить здесь u'=0, то получим уравнение регулятора курса без дополнительных связей

$$T\frac{d^3x}{dt^3} + \frac{d^2x}{dt^2} + \xi x = 0 \qquad (8)$$

В этом уравнении коэффициент при $\frac{dx}{dt}$ равен нулю. В этом случае уравнение (8) описывает движение неустойчивой системы. Любая система без дополнительных связей с последующим соединением двух интегрирующих звеньев будет неустойчивой. Для достижения устойчивости необходимо введение дополнительных связей.

Дополнительные связи можно вводить различными способами. Разберём два способа.

Жесткая обратная связь. Пусть дополнительное напряжение пропорционально

$$u' = -r\delta \qquad (9)$$

Здесь r =const. Для получения u' можно, например, соединить механически с осью руля движок потенциометра R_2 и, таким образом, передать на вход усилителя

k_0 дополнительное напряжение, пропорциональное δ. Из первого и последнего уравнений (4) находим :

$$\delta = \frac{T\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{dx}{dt}}{k_2k_3} \tag{10}$$

Тогда, согласно выражению (9)

$$u' = \frac{r}{k_2k_3}(T\frac{d^2t}{dt^2} + \frac{dx}{dt}) \tag{11}$$

Подставив это выражение в уравнение (7) , получим

$$T\frac{d^3x}{dt^3} + (1 + \xi\frac{r}{k_2k_3}T)\frac{d^2x}{dt^2} + \xi\frac{r}{k_2k_3}\frac{dx}{dt} + \xi x = 0 \tag{12}$$

Подбирая надлежащее значение r, можно сделать систему устойчивой.

Введение производных. Существуют звенья, позволяющие получить сигнал, пропорциональный производной от входной величины. С динамической точки зрения такие устройства являются дифференцирующими звеньями. Если подать на подобное звено D_1 величину x, то на его выходе получим величину $r_1\frac{dx}{dt}$, где r_1 = const. Подав, в свою очередь, эту величину на вход второго дифференцирующего звена D_2, получим на выходе последнего величину $r_2\frac{d^2x}{dt^2}$.

Сумму выходных величин

$$u' = r_1\frac{dx}{dt} + r_2\frac{d^2x}{dt^2} \tag{13}$$

подадим в сумме с напряжением x на вход усилителя k_0. Подставив выражение для u' из (13)в уравнение (7), получим

$$T\frac{d^3x}{dt^3} + (1 + \xi r_2)\frac{d^2x}{dt^2} = \xi r_1\frac{dx}{dt} + \xi x = 0 \tag{14}$$

Подбором значений r_1 и r_2 можно не только достичь устойчивости (устойчивости можно добиться и при r_2=0), но и обеспечить более благоприятные характеристики, например, более плавный переходный процесс, чем в первом случае. Однако, устройство для получения производных сложнее, чем приспособления для жёсткой обратной связи.

На рисунке 3 приведена структурная схема системы управления курсом судна

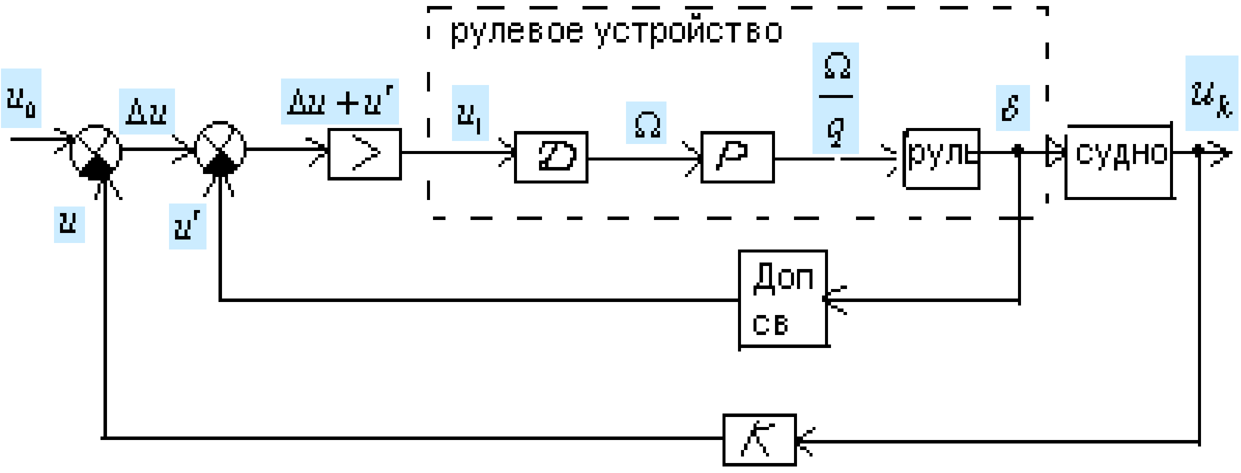

Рис.3

Составим уравнение движения САР курсом судна.

Законы регулирования

Под законом регулирования или - в более общем случае - законом управления понимается алгоритм или функциональная зависимость, в соответствии с которыми управляющее устройство формирует управляющее воздействие *u(t).* Эта зависимость может быть представлена в виде

$$u(t)=F(x, g, f), \qquad (1)$$

где F – некоторая, в общем случае нелинейная, функция от ошибки x задающего воздействия g и возмущающего воздействия f, а так же их производных и интегралов по времени.

Формула (1) обычно может быть записано следующем образом:

$$u(t)=F_1(x)+F_2(g)+F_3(f). \qquad (2)$$

Первое слагаемое (2) соответствует регулированию по отклонению, второе и третье - регулированию по внешнему воздействию.

Здесь мы рассмотрим только линейные законы, когда управляющее устройство вырабатывает величину $u(t)$ в функции ошибки в соответствии с линейной формой

$$u(t) = k_1 x + k_2 \int x dt + k_3 \iint x dt^2 + ... + k_4 \dot{x} + k_5 \ddot{x} + ... \qquad (3)$$

или в операторной записи

$$u(t) = k_1 x + \frac{k_2}{p} x + ... + k_4 px + k_5 p^2 + ... \qquad (4)$$

Предположим вначале, что регулируемы объект представляет собой звено статистического типа. Это означает, что в установившемся состоянии между регулируемой величиной и управляющем воздействием существует пропорциональная зависимость:

$$У_{уст}=k_o u_{уст}, \qquad (5)$$

$k_o=W_o(0)$ – коэффициент объекта.

1. Пропорциональное регулирование. В случае пропорционального регулирования выражение $u(t)=W_{рег}x(t)$ для простейшей безынерционной цепи регулирования приобретает вид

$$u(t)=W_{рег}(p)x(t)=k_1x(t). \qquad (6)$$

Передаточная функция $W_{рег}(p)$ может иметь более сложный вид, например

$$W_{рег}(p) = k_1 \frac{A(p)}{B(p)} \qquad (7)$$

Где $A(p)$ и $B(p)$ – некоторые полиномы от оператора p.

Однако существенным здесь является то обстоятельство, что цепь регулирования представляет собой позиционное (статическое) звено и при $p \to 0$ передаточная функция $W_{рег}(p) \to k_1$, где k_1 – коэффициент передачи цепи регулирования.

В связи с изложены здесь и далее ради облегчения анализа рассматривается упрощенное выражение (6), которое является справедливым, по крайне мере, для медленных изменений величины x.

$$W(p) = W_{рег}(p) W_0(p) = k_1 W_0(p) \qquad (8)$$

В установившемся состоянии передаточная функция стремится к значению

$$\lim W(p) = k_1 k_2 = K \qquad (9)$$

Это величина называется общим коэффициентом усиления разомкнутой системы. Коэффициент усиления разомкнутой цепи физически представляет собой отношение установившегося значения регулируемой величины к постоянному значению ошибки $x=x_0$, если цепь регулирования совместно с регулируемым объектом рассматривать как некоторый усилитель, на входе которого действует сигнал в виде ошибки x, а на выходе – усиленный сигнал y. Таким образом, для коэффициента усиления можно записать

$$K = \frac{y_{уст}}{x_0}$$

Для установившегося состояния замкнутой системы при постоянном задающем воздействии $g=g_0$ из формулы

$$x(t) = \frac{g(t)}{1+W(p)} - \frac{W_f(p)}{1+W(p)} f(t).$$

Может быть получено следующее соотношение

$$x_{уст} = \frac{g_0}{1+K} + \frac{x_{fуc}}{1+K} \qquad (10)$$

где $x_{уст}$-установившаяся (статическая) ошибка, $x_{fуст}$ - установившееся значение ошибки от возмущающих воздействий в объекте без регулирования.

Таким образом, пропорциональное регулирование позволяет уменьшить установившиеся ошибки в объекте в 1+К раз. Регулирование в этом смысле получается статическим, так как при любом конечном значении коэффициента усиления цепи установившаяся ошибка будет отличной от нуля.

Передаточная функция разомкнутой системы ________ для этого случая может быть представлена в виде

$$W(p) = \frac{R(p)}{Q(p)} = \frac{b_m + b_{m-1} + ...b_0 p^m}{c_n + c_{n-1} p + ...c_0 p^n} = \frac{K(1 + B_{m-1} p + ... + B_0 p^m 1)}{1 + C_{n-1} p + ... + C_0 p^n}, \tag{11}$$

Где $K = \frac{b_m}{c_n}$.

2. Интегральное регулирование. При интегральном регулировании осуществляется пропорциональная зависимость между скоростью изменения регулирующего воздействия и ошибкой:

$$\frac{du}{dt} = k_2 x; \tag{12}$$

При этом регулирующее воздействие получается пропорциональным интегралу от ошибки по времени:

$$u = k_2 \int x dt. \tag{13}$$

В операторной форме это можно записать в виде

$$u = W_{рег}(p) x = \frac{k_2}{p} x. \tag{14}$$

Интегральное регулирование может быть осуществлено при помощи каких-либо интегральных звеньев.

Аналогично изложенному выше (при рассмотрении пропорционального регулирования) передаточная функция цепи регулирования может иметь более сложный вид, например:

$$W_{рег}(p) = \frac{k_2}{p} \frac{A(p)}{B(p)}.$$

Однако существенным здесь является то, что регулирования представляет собой или имеет в своем составе интегрирующее звено. Поэтому выражение (14) будет справедливым по крайней мере для медленных изменений ошибки x.

Передаточная функция разомкнутой системы регулирования

$$W(p) = W_{рег}(p) W_0(p) = \frac{k_2}{pj} W_0(p).$$

В установившемся состоянии (р=0) передаточная функция стремиться к бесконечности: W(p)→∞. В результате первая составляющая ошибки _____при $g=g_0=const$ обращается в нуль. Вторая составляющая, определяемая наличием возмущающих воздействий, может не обращаться в нуль, так как в установившемся состоянии числитель ее может также стремиться к бесконечности. Поэтому должен быть найден предел выражения при $f=f_0=const$:

$$x_{уст} = -\lim \frac{W_f(p) f_0}{1+W(p)},$$

который может быть как равным нулю, так и отличным о нуля.

Таким образом, при интегральном регулировании получается система, астатическая по отношению к задающему воздействию. Она может быть при этом как статической, так и астатической по отношению к задающему воздействию.

Передаточная функция разомкнутой системы для случая интегрального регулирования может быть представлена в виде

$$W_p = \frac{K_v(1+B_{m-1}p+...+B_0p^m)}{p(1+C_{n-2}p+...C_0p^{n-1})}, \tag{18}$$

$K_v\left[\frac{1}{сек}\right]$- коэффициент усиления разомкнутой систем. Физически он представляет собой отношение установившейся скорости изменения регулируемой величины к постоянной по величине ошибке $x=x_0=$ const в разомкнутой системе:

$$K_v = \frac{(\frac{dy}{dt})_{уст}}{x_0} \tag{19}$$

если цепь регулирования совместно с регулируемым объектом представить себе в виде некоторого усилителя с входной величиной x и выходной y.

Коэффициент K_v часто называют добротностью по скорости системы регулирования. В дальнейшем, при рассмотрении вопросов точности, будет показано, что он равен отношению постоянной скорости изменения задающего воздействия.

$$\frac{dg}{dt} = v = const \tag{20}$$

к установившейся ошибке:

$$K_v = \frac{v}{x_{уст}}, \tag{21}$$

что и определило подобное название.

Регулирование может осуществляться и по второму интегралу от ошибки по времени:

$$u = k_3 \iint x dt dt \qquad (22)$$

или

$$u = W_{рег}(p)x = \frac{k_3}{p^2}x \qquad (23)$$

В этом случае установившееся значение (p=0) передаточной функции W(p)→∞. Система также будет обладать астатизмом относительно задающего воздействия. Однако это будет уже астатизм второго порядка. Ошибка, определяемая задающим воздействием в ______5.16____, будет равна нулю не только при g=const, но и прим изменении задающего воздействия с постоянной скоростью $\frac{dg}{dt} = const.$

Аналогичным образом можно получить астатизм третьего и выше порядков, вводя регулирование по третьему и высшем интегралам, т. е. осуществляя регулирование по закону

$$u = W_{рег}(p)x = \frac{k}{p^r}x,$$

где r – порядок астатизма.

Случай пропорционального регулирования (2) можно рассматривать как частный случай астатизма при r=0.

Повышение порядка астатизма приводит к увеличению установившейся точности системы регулирования, но одновременно делает систему более замедленной в действии, т. е. снижает ее быстродействие, а также приводит к ухудшению устойчивости.

Для иллюстрации появления замедленности действия системы с интегральным регулированием рассмотрим рис.1. Предположим, что ошибка в системе регулирования начинает возрастать по линейному закону $x=at$. В системе пропорционального регулирования по такому же закону начинает создаваться регулирующее воздействие $u=k_1at$. В системе интегрального регулирования регулирующее воздействие будет создаваться по закону $u = k_2\int x dt = \frac{k_2 at^2}{2}.$ При t=0 в этом случае в системе интегрального регулирования не только регулирующее воздействие равно нулю, но равна нулю так же и его первая производная, что обуславливает весьма медленный рост u в первые моменты времени происходит более интенсивно, так как наличие ошибки сразу дает появление регулирующего воздействия, в то время как в системе интегрального регулирования должно пройти некоторое время, пока не «накопиться» интеграл $\int xdt$

Если перейти к регулированию по второму интегралу, то снижение быстродействия станет еще более заметным.

Изодромное регулирование. При изодромном регулировании осуществляется регулирование по пропорциональному и интегральному законам:

$$u = k_1 x + \frac{k_2}{p} x = \frac{k_1 p + k_2}{p} x \qquad (25)$$

В этом случае W(p)→∞ при p=0 и регулирование оказывается астатическим относительно задающего воздействия. Изодромное регулирование может осуществляться при помощи использования двух параллельных ветвей в цепи регулирования или при помощи установки изодромных звеньев.

Изодромное регулирование сочетает в себе высокую точность интегрального регулирования (астатизм) с большим быстродействием пропорционального регулирования. В первые моменты времени при появлении ошибки система изодромного регулирования работает как система пропорционального регулирования. Это определяется первым слагаемым в правой части закона (25). В дальнейшем система начинает работать как система интегрального регулирования, так как с течением времени преобладающее значение начинает приобретать второе слагаемое (25).

Пропорционально-дифферинциальный закон регулирования (ПД-закон).

$$u = k\frac{dx}{dt} = kpx.$$

Особенность этого закона заключается в том, что величина регулирующего воздействия зависит не только от ошибки регулирования, но и от скорости изменения ошибки. Это приводит к тому, что при малом значении

Устойчивость САР

Если принять $x(t)$=0, то из (1) получим однородное дифференциальное уравнение. Движение системы при отсутствии $x(t)$, называется свободным или невозмущенным, при наличии $x(t)$- вынужденным или возмущенным:

$$y(t)=y_{св}(t)+y_{вын}(t).$$

Устойчивость-это способность системы (или свойство) системы возвращаться в свое исходное состояние равновесия после кратковременного внешнего воздействия. С математической точки зрения система устойчива, если решение однородного дифференциального уравнения при t=∞ стремиться к нулю, т. е. «в свое исходное состояние»:

$$\lim_{t\to\infty} y_{св}(t)=0$$

Если P_1, P_2,…,P_n корни характеристического уравнения ЗСАУ то условие устойчивости (3) запишется так:

$$\lim_{t\to\infty} y_{св}(t)=\lim_{t\to\infty}\sum_{i=1}^{n} C_i e^{p_i t}=0, \qquad (4)$$

где C_i- постоянное интегрировании, которые являются функциями начальных условий $y(0), y'(0)\ldots,y^{(n-1)}(0)$.

Условие (4) будет выполняться только в том случае, если $P_i<0$. Сформулируем полностью сущность прямого метода определения устойчивости: ЗСАУ устойчива, если все вещественные числа комплексных корней отрицательны; если хотя бы один корень положительный, то система не устойчива; если только один корень нулевой, то система находиться на апериодической границе устойчивости; если одна пара корней чисто мнимых, то система находиться на колебательной границе устойчивости.

С практической точки зрения понятию устойчивости можно дать другое определение, когда входные задающие или возмущающие воздействия являются не кратковременными, а постоянно действующими, т. е. функциями времени. Обратимся к рисунку 1, где приведены упрощенная структурная схема (а) и возможные виды переходных процессов в ЗСАУ по каналам задания *x*(в, г, д) и возмущения λ(ж, з, и).

Любая система имеет столько каналов, сколько входящих воздействий и регулируемых параметров. Рассматриваемая одноконтурная система имеет два канала для двух входных воздействий: канал задающего воздействия $x(t)$-$y(t)$ и канал возмущающего воздействия $\lambda(t)$-$y(t)$. Переходные процессы по одному из этих каналов получается при постоянном при постоянном (стабилизированном) значении другого входного воздействия. Приведенные на рисунке 1 кривые получены при ступенчатом уменьшении задания на Δx и $\lambda(t)=const$ (в, г, д) и при ступенчатом уменьшении возмущения на $\Delta\lambda$ и $x(t)= const$ (ж, з, и).По виду кривых переходных процессов можно дать такие оценки системе: ж,в-устойчивая астатическая ($\varepsilon_{ст}=0$); г, з – устойчивая статическая ($\varepsilon_{ст}\neq0$); д-находится на колебательной границе устойчивости; и – неустойчивая.

КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ.

Процедура нахождения корней P_i характеристического уравнения для систем с порядком $n>4$ трудная. Поэтому предложены критерии (или косвенные признаки) определения устойчивости САУ по коэффициентам характеристического уравнения a_i: алгебраические: Гурвица и Рауса; частотные: Михайлова, Найквиста и логарифмические.

Критерий Гурвица. По коэффициентам a_i характеристического уравнения ЗСАУ составляется квадратный определитель n x n. Если все определители Гурвица $\Delta_i>0$, система устойчива, если $\Delta_1>0$, $\Delta_2>0,\ldots$ $\Delta_{n-1}=0$, $a_n>0$, то на колебательное границе устойчивости; если $\Delta_1>0, \Delta_2>0,\ldots \Delta_{n-1}=0, a_n=0$, то система на апериодической границе устойчивости.

Критерий Рауса. По коэффициентам характеристического уравнения составляется таблица Рауса, которая имеет вид: $n+1$ строку и $(n+1)/2$ столбцов при n нечетном и $(n+2)/2$ столбцов при n четном:

J / i	1.	2.	3.	4.
1.	a_0	a_2	a_4	a_6…
2.	a_1	a_3	a_5	a_7…
3.	b_0	b_2	b_4	b_6…
4.	b_1	b_3	b_5	b_7…

Первая строка - коэффициенты с четными индексами, вторая строка – коэффициенты с нечетными индексами. Коэффициенты третьей и последующих строк формируются с использованием коэффициентов первых двух строк по следующему алгоритму:

$$C_{ij}=\frac{C_{i-1},1*C_{i-2},j+1-C_{i-2},_1*C_{i-1}*C_{j+1}}{C_{i-1},_1},i>2.$$

Пример: Найдем выражение для коэффициентов $b_2=C_{32}$

$$C_{ij}=C_{32}=\frac{C_{21}*C_{13}-C_{11}*C_{23}}{C_{21}}=\frac{a_1a_4-a_0a_5}{a_1}$$

<u>Формулировка критерия:</u> *Для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы все элементы первого столбца C_{i1} были положительны. Если хотя бы один элемент отрицательный, то система неустойчива. Если последний элемент $C_{n+1,1}$ нулевой, то система находиться на колебательной границе устойчивости. Если один элемент первого столбца C_{i1} равен нулю, то система находиться на колебательной границе устойчивости. Все элементы каждой из строк, начиная с третьей, можно умножить на одно и то же положительное число, если это упрощает расчет.*

Критерий Михайлова. В характеристическом полиноме ЗСАУ вместо Р подставим $j\omega$, где $j=\sqrt{-1}$, где ω, рад/с – круговая частота:

$$D(P=j\omega)=a_0(j\omega)^n+a_1(j\omega)^{n-1}+\ldots+a_{n-1}j\omega+a_n=Re(\omega)+jIm(\omega)$$

Задаваясь значениями ω от нуля до бесконечности, находим значения вещественной $Re(\omega)$ и мнимой и мнимой функции $Im(\omega)$ и по ним на комплексной плоскости строим кривую, которая называется годографом Михайлова.

<u>Формулировка критерия:</u> *система устойчива, если при изменении частоты от нуля до бесконечности годограф начинается с положительной вещественной* *полуоси, последовательно пересекает координатные оси в направлении против часовой стрелки и у3ходит в бесконечность в n-м квадранте. При этом вектор характеристического уравнения вращается против часовой стрелки на угол* $\varphi = n\frac{\pi}{2}$. *Если годограф начинается с начала координат, тогда система находиться на апериодической границе устойчивости. Если годограф начинается с положительной вещественной полуоси, а при некоторой частоте* $\omega_к$ *проходит через начало координат, то система находиться на колебательной границе устойчивости с частотой незатухающих колебаний* $\omega_к$.

Если годограф устойчивой системы пересекает координатные оси поочередно, значит, поочередно становится равным нулю функции Re(ω) и Im(ω). Если найти корни уравнения Im(ω)=0, ω_1, ω_3*..., то при этих же значениях частоты вещественная функция Re(ω) будет иметь чередующиеся знаки: сначала плюс, затем минус и т. д.*

Отсюда ***<u>вторая</u>*** **<u>формулировка критерия Михайлова</u>***<u>:</u> если при значениях частот, которые являются мнимой функции, знаки вещественной функции чередуются, причем Re(ω)>0, то система устойчива.*

Критерий Найквиста. В отличии от вышерассмотренных этот критерий позволяет определять устойчивость замкнутой системы САУ по поведению АФХ разомкнутой, для чего строим АФХ при ω=0--∞.

<u>Формулировка критерия:</u> 1) если РСАУ устойчива, то для устойчивости ЗСАУ необходимо и достаточно, чтобы АФХ РСАУ не охватывала критическую точку (-1; *j*0) если АФХ охватывает эту точку, то ЗСАУ неустойчива; если АФХ проходит ерез критическую точку, то ЗСАУ находиться на колебательной границе устойчивости;

2)если РСАУ неустойчива и имеет *l* неустойчивых корней, то для устойчивости ЗСАУ необходимо и достаточно, чтобы АФХ РСАУ охватывала критическую точку в направлении против часовой стрелки *l*/2 раз или вектор АФХ вращается в положительном направлении на угол $2\pi\frac{l}{2}$.

Д-Разбиение.

На практике иногда возникает необходимость не просто установить факт устойчивости или неустойчивости системы, а выявить области изменения некоторых настраиваемых параметров звеньев, например, параметров настройки регулятора, при которых система сохраняет устойчивость. Выделение таких областей называется Д-разбиением.

Для выделния областей устойчивости в плоскости двух параметров K_1 и K_2 нужно найти уравнения границы устойчивости. Для этого нужно записать условия нахождения системы на границе устойчивости, испозуя различные критерии.

По критерию Гурвица система находиться на апериодической границе устойчивости, если свободный член характеристического уравнения $a_n(K_1, K_2)=0$. Если рассматриваемы параметры К$_1$ и К$_2$ оба не входят в свободный член, то граница устойчивости не может быть найдена. Если предпоследний определитель равен нулю, а все остальные положительные, то выражение $\Delta_{n-1}(K_1, K_2)=0$ есть уравнение колебательной границы устойчивости. Задаваясь произвольными положительными значениями одного из двух параметров, находят значения другого и по ним строят кривую границы устойчивости. Для конкретизации полученных областей в одной из них выбирают произвольную точку и по критерию определяют устойчивость: если $\Delta_{n-1}(K_1, K_2)>0$, то эта область устойчивая, а другая однозначно неустойчивая.

По критерию Михайлова система находится на апериодической границе устойчивости, если годограф начинается с начала координат, т. е. при $\omega=0$ $Re(K_1, K_2)=0$ и $Im(K_1, K_2)=0$. Система находится на колебательной границе устойчивости, если при $\omega=0$ $Re(K_1, K_2)>0$, а при некотором значении $\omega_к>0$ $Im(\omega_к, K_1, K_2)=0$, $Re(\omega_к, K_1, K_2)=0$. Из этой системы находят уравнение колебательной границы устойчивости $K_1=f(K_2)$, как и в предыдущем случае.

Основные показатели качества регулирования.

Устойчивость – это необходимое условие работоспособности системы. Кроме того, каждая система в зависимости от ее назначения должна удовлетворять определенным показателям качества регулирования. Этих показателей несколько:

1. Время переходного процесса $t_{пп}$ – это время, по истечении которого регулируемый параметр отличается от своего установившегося значения не более, чем на +-5% и характеризует быстродействие системы.
2. Абсолютное перерегулирование $\sigma_{абс}=A_1$-максимальное отклонение в динамике регулиреумого параметра от своего установившегося значения: $\sigma_{абс}=h(t)-h_{уст}$.

Относительное перерегулирование: $\sigma = \frac{\sigma_{абс}}{h_y}100\%$. Из практики известно, что приемлимым считается значение $\sigma<20\%$. Ограничение на перерегулирование ставится не всегда. Есть объекты и технические процессы в них протекающие, где перерегулирование строго ограничено.

Программа выполнения лабораторной работы

1. Определить передаточную функцию системы управления курсом судна.
2. Определить устойчивость по одному из критериев.

Таблица. 1

№ п/п	Передаточная функция судна	Передаточная функция рулевого устройства	Передаточная функция гироскопа	Критерий определения устойчивости.	Тип регулятора.
1	$\frac{0,1}{p(2p+1)}$	$\frac{0.5}{0.2p+1}$	0.3	Г М	ПИ ПД

2	$\frac{0,1}{p(p+1)}$	$\frac{0.3}{0.2p+1}$	0,5	Р Н	ПД ПИ
3	$\frac{0.05}{p(2p+1)}$	$\frac{0.5}{0.1p+1}$	0,3	М Н	ПИ ПД
4	$\frac{0.05}{p(p+1)}$	$\frac{0.3}{0.2p+1}$	0,5	Г Р	ПД ПИ
5	$\frac{0.15}{p(p+1)}$	$\frac{0.4}{0.2p+1}$	0,2	Г Н	Пи ПД

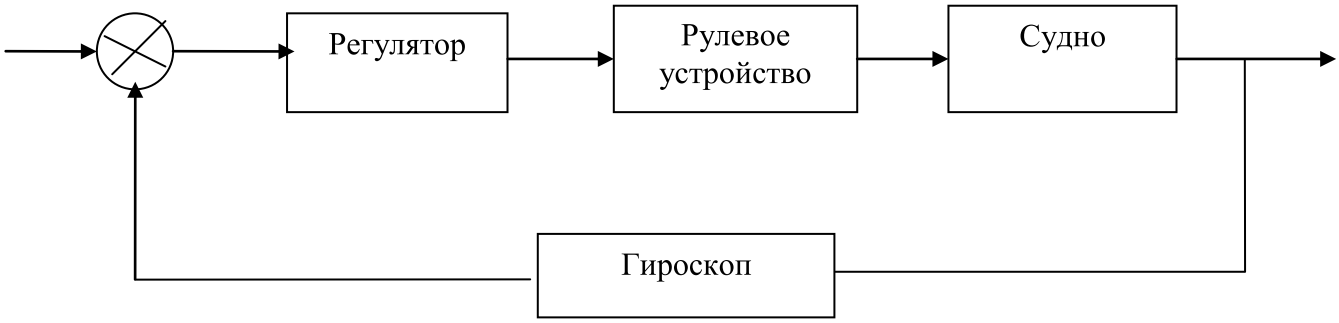

Рис. 1. Система управления курсом судна.

$W_{рег}(p) = k_1 + \frac{k_2}{p}$ - передаточная функция ПИ-регулятора;

$W_{рег}(p) = k_1 + k_2 p$ - передаточная функция ПД-регулятора;

$W_{р.устр}(p) = \frac{k_3}{T_1 p + 1}$ - передаточная функция рулевого устройства;

$W_{судна}(p) = \frac{k_4}{p(T_2 + 1)}$ - передаточная функция судна;

$W_{гир.}(p) = k_5$ - передаточная функция гироскопа.

Содержание отчета.

Отчет по выполненной работе должна содержать:

1. Цел и назначение работы.
2. Краткие сведения по выполненной работе.
3. Исходные данные для определения устойчивости системы управления и построения переходного процесса.
4. Расчеты для определения устойчивости системы и переходные и графики переходных характеристик.
5. Выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1.Что такое устойчивость?

2.Что такое структурная неустойчивость?

3. Что такое свободное, вынужденное, возмущенное, невозмущенное движение?

4. Сущность прямого метода определения устойчивости?

5. Дайте формулировку критериям устойчивости?

6. Что такое Д-раздиение? Практическое значение кривой Д-разбиения.

7. Как получить уравнение границы устойчивости, используя критерии Гурвица и Михайлова?

8. Что такое закон регулирования?

9. Особенности линейных законов регулирования.

10. особенности ПИ- и ПИД- законов.

11. Из чего исходят, выбирая тот или иной закон регулирования.

5. Содержание отчета.

В отчет по выполненной работе должны войти:

1. Цель и назначение работы.
2. Краткие сведения по выполненной работе
3. Исходные данные для построения переходного процесса и функции веса.
4. Графики переходных процессов и функции веса для позиционных звеньев.
5. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы.

1. Что вы знаете о комплексе программ КОПРАС?
2. Что такое единичное ступенчатое воздействие и единичный импульс?
3. Что такое переходная функция и функция веса?
4. Какие вы знаете позиционные звенья?
5. Как по коэффициентам характеристического уравнения отличать апериодическое звено 2-го порядка, колебательное и консервативные звенья?
6. Как влияют постоянные времени и коэффициент усиления звена на вид переходного процесса?
7. Какая существует связь между переходной и весовой функциями?

3. Содержание отчета.

В отчет по выполненной работе должны войти:

1. Цель и назначение работы.
2. Краткие сведения по выполненной работе
3. Исходные данные для построения переходного процесса и функции веса интегрирующего, дифференцирующего, интегрирующего с замедлением, дифференцирующего с замедлением звеньев.
4. Графики переходных процессов и функции веса интегрирующего, дифференцирующего, интегрирующего с замедлением, дифференцирующего с замедлением звеньев.
5. Выводы по работе.

4. Контрольные вопросы.

1. Приведите передаточные функции интегрирующего и интегрирующего с замедлением звеньев.
2. Приведите передаточные функции дифференцирующего и дифференцирующего с замедлением звеньев.
3. Изобразить переходную и весовую функции интегрирующего звена и интегрирующего звена с замедлением.
4. Изобразить переходную и весовую функции дифференцирующего и дифференцирующего с замедлением функций.
5. Как влияет подключение АПЗ-1 последовательно с интегрирующим и дифференцирующим звеньями на переходную и весовую функции.

1.Цель работы

- изучение частотных характеристик позиционных и непозиционных звеньев (лабораторная работа N 1)
- изучение частотных характеристик дифференцирующих, интегрирующих и интегродифференцирующих звеньев (лабораторная работа N 2)

2. Краткие теоретические сведения

Синтез САР частотными методами связан с необходимостью построения частотных характеристик (ЧХ) различных вариантов системы, что, за исключением простейших случаев, является трудоемкой работой. Вместе с тем задача построения ЧХ легко поддается алгоритмизации и может быть возложена на ЭВМ.

5. Содержание отчета.

В отчет по выполненной работе должны войти:

1. Цель и назначение работы.
2. Краткие сведения по выполненной работе
3. Исходные данные для построения частотных характеристик звеньев.
4. Частотные характеристики исследуемого устройства (звена).
5. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы.

1. Что такое АЧХ ?
2. Что такое ФЧХ ?
3. Что такое АФЧХ ?
4. Что такое ЛАЧХ ?
5. Как по известным АЧХ и ФЧХ построить АФЧХ и ЛАЧХ ?
6. Как по известной ЛАЧХ построить АФЧХ ?

5. Содержание отчета.

В отчет по выполненной работе должны войти:

6. Цель и назначение работы.
7. Краткие сведения по выполненной работе
8. Исходные данные для выполнения работы.
9. Графики переходных процессов.
10. Выводы по работе.

6. Контрольные вопросы.

6. Что такое положительная обратная связь?
7. Что такое отрицательная обратная связь?
8. Как влияет на общий коэффициент усиления системы введения отрицательной обратной связи?
9. Как влияет на общий коэффициент усиления системы введения положительной обратной связи?
10. Как с помощью пропорциональных и интегрирующего звеньев получить типовые звенья САР?

ЛИТЕРАТУРА

1. В.А. Бессекерский, «Цифровые автоматические системы». М., «Наука», 1978.
2. Куо Б., «Теория и проектирование цифровых систем управления» М., «Машиностроение», 1986. – 448 с.
3. В.А. Бессекерский, Е.П.Попов, «Теория систем автоматического регулирования», М., «Наука», 1975.
4. Под общей редакцией А.В. Нетушила «Теория автоматического регулирования», М., «Высшая школа», 1968.
5. Гаджиев А.А. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Основы теории управления», Махачкала, ДПТИ, 1993г.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ 3

Лабораторная работа № 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕН-

НЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЗИЦИОННЫХ ЗВЕНЬЕВ 4

Лабораторная работа № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНТЕГРИРУЮЩИХ, И ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ. 15

Лабораторная работа N 3. ИССЛЕДОВАНИЕИ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВЕНЬЕВ И СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ. 21

Лабораторная работа № 4. СИНТЕЗ ПОЗИЦИОННЫХ ЗВЕНЬЕВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНТЕГРИРУЮЩЕГО И УСИЛИТЕЛЬНОГО ЗВЕНЬЕВ И ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ 27

Литература 32