Лабораторная работа 4   
**Устойчивость систем автоматического управления курсом судна.**

**4.1 Цель работы**

Целью данной работы является освоение методики определения устойчивости системы автоматического управления (САУ) курсом судна с использованием алгебраических и графических критериев.

**4.2 Теоретическое обоснование работы**

Всякая автоматическая система должна быть прежде всего работоспособной. Это значит, что она должна нормально функционировать и быть нечувствительной к неизбежным посторонним возмущениям различного рода. Иными словами, автоматическая система должна работать устойчиво.

Система автоматического управления называется *устойчивой*, если ее выходная переменная (выходной сигнал) остается ограниченной при любых значениях по абсолютной величине входных возмущений.

К устойчивым САУ относятся системы с затухающими переходными процессами.

Если система неустойчива, то ей не могут быть поручены функции управления или регулирования, т.е. она не пригодна для практического использования. Поэтому первостепенным вопросом теории автоматического регулирования и управления является исследование устойчивости САУ.

Учет устойчивости можно проводить как алгебраическими, так и графическими методами. К первым относится критерий Рауса-Гурвица, ко вторым - критерий Михайлова, Найкбиста и др.

***4.2.1 Критерий устойчивости Рауса – Гурвица***

Переходный процесс линейной автоматической системы описывается дифференциальным уравнением системы без правой части (однородным уравнением)



*а0*  *+ а1*  *+… … аn-1* *+ аn = 0.*

Для оценки устойчивости системы по критерию Рауса – Гурвица из заданного уравнения движения необходимо получить характеристическое уравнение вида:

*а0 рn + а1 рn-1 +… … аn-1 р1 + аn р0= 0,*

а затем составить определители:

1. *Δ1 = а1*

2. *Δ2*=  *= а1а2 - а0а3*

3. *Δ 3*=  =*Δ2 а3 - а1 (а4 а1 – а0 а5)*

4. *Δ4* = 

и т.д. до *Δn*

Чтобы система была устойчивой, необходимо и достаточно выполнение условия:

а0 > 0, Δ1 > 0, Δ2 > 0, … Δn > 0.

Определитель составляется следующим образом: по диагонали от левого верхнего до правого нижнего угла выписываются все коэффициенты по порядку от а1 до аn. Каждая строка дополняется коэффициентами с возрастающими индексами слева направо так, чтобы чередовались строки с нечетными и четными индексами. В случае отсутствия данного коэффициента, а также, если его индекс меньше нуля или больше n, на месте его пишется 0.

Система автоматического управления курсом судна может быть описана дифференциальным уравнением движения в виде:

*Тсα'''+ (1+)α'' + α' + α =f(t),*

Характеристическое уравнение движения будет иметь вид:

*Тс р3 + (1+) р2 +  р1 +  - f(t)=0*

где *Тс* – постоянная времени судна, характеризующая инерционность и другие динамические свойства переходного процесса;

*К0* – коэффициент усиления (коэффициент преобразования судна, характеризующий эффективность действия руля;

*КТ* – коэффициент преобразования тахогенератора (тахогенератор вырабатывает сигнал, пропорциональный скорости отклонения судна от курса);

*Кос* – коэффициент обратной связи (устанавливается масштабным вращающимся трансформатором – МВТ, который изменяет сигнал от ЛВТ руля;

*К1* – коэффициент преобразования ЛВТ курса (линейный вращающийся трансформатор курса вырабатывает сигнал, пропорциональный углу отклонения судна от курса);

*Ки* – коэффициент преобразования корректирующего звена, интегрирующего углы рыскания судна и создающего сигнал управления, пропорциональный этому интегралу (этот сигнал снимается с ЛВТ интегратора);

*f(t)* – изменение отношения возмущающего момента внешних сил к коэффициенту затухания судна во времени.

Таким образом:

*а0 =Тс*, *а1 =(1+), а2 = а3 =, а4 =f(t)*

Если в результате решения уравнения устойчивость системы не подтверждается, рекомендуется изменить коэффициент преобразования корректирующего звена *Ки*.

***4.2.2 Критерий устойчивости Михайлова***

Графический критерий устойчивости Михайлова заключается в следующем:

1. В левую часть характеристического уравнения переходного процесса в операторной форме вместо значения р подставляется чисто мнимое значение *р = jω*, где *j =* .

Тогда, например, уравнение 4-го порядка перепишется в виде:

*а0ω4- jа1ω3- а2ω2+ jа3ω + а4 = 0,*

а уравнение 3-го порядка:

*-jа0ω3- а1ω2+ jа2ω + а3 = 0*

1. Выделяются вещественные и мнимые части для уравнения 4-го порядка:

*Х = а0ω4- а2ω2+ а4*

*У = - а1ω3+ а3ω.*

Для уравнения 3-го порядка:

*Х = - а1ω2+ а3*

*У = - а0ω3+ а2ω*

1. На плоскости ХОУ для различных значений *ω* (от 0 до +∞; для наглядности графика рекомендуется взять пять значений, начиная с 0,01 или 0,001 в зависимости от варианта) порядка строится кривая, которая называется кривой Михайлова.

Для устойчивости автоматической системы требуется, чтобы кривая Михайлова проходила последовательно столько квадрантов (четвертей), каков порядок уравнения движения.

На рис.1,2,3,4 показаны различные возможные формы кривой Михайлова для САУ четвертого порядка:

Рис.1 – система устойчива (кривая проходит 4 квадранта).

Рис.2,3 – система на границе устойчивости (кривая проходит через начало координат).

Рис.4 – система неустойчива (кривая проходит только 2 квадранта).



Совокупность значений параметров системы, при которых система находится на границе устойчивости (кривая Михайлова проходит через начало координат), определяет параметрические границы устойчивости.

Для САУ 4-го порядка эти границы определяются из уравнений:

*Х = а0ω4- а2ω2+ а4=0*

*У = - а1ω3+ а3ω=0,*

Для САУ 3-го порядка:

*Х = - а1ω2+ а3=0*

*У = - а0ω3+ а2ω=0*

Определить границы устойчивости САУ означает найти значения параметров этой системы. Для предыдущих уравнений, это коэффициенты а0 , а1 , а2 , а3 , а4, которые обращают в нуль вещественную и мнимую часть характеристического уравнения переходного процесса одновременно.

**4.3 Порядок выполнения работы**

1. Из таблицы №1 выбрать по указанию преподавателя конкретные значения параметров САУ курсом судна и записать полученное уравнение движения системы автоматического управления курсом судна, рассчитав соответствующие коэффициенты.
2. Пользуясь критерием Рауса-Гурвица определить устойчивость САУ. Если система неустойчива, подобрать необходимые коэффициенты и обосновать требуемое изменение параметров системы.
3. Определить устойчивость системы, пользуясь графическим критерием (кривая Михайлова).
4. Определить параметрические границы устойчивости САУ курсом судна.
5. Сделать выводы об устойчивости САУ и необходимых изменениях в ней.

Таблица №1

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначение параметров  Вариант | ТС | КО | КТ | КОС | К1 | КИ | f(t) |
| 1 | 400 | 0,90 | 0,85 | 0,35 | 0,85 | 0,005 | 150 |
| 2 | 360 | 0,80 | 0,80 | 0,45 | 0,95 | 0,008 | 80 |
| 3 | 240 | 0,70 | 0,90 | 0,55 | 0,90 | 0,01 | 0 |
| 4 | 220 | 0,60 | 0,75 | 0,65 | 0,85 | 0,02 | 48 |
| 5 | 185 | 0,70 | 0,80 | 0,80 | 0,75 | 0,08 | 32 |
| 6 | 160 | 0,85 | 0,85 | 0,95 | 0,70 | 0,11 | 0 |
| 7 | 120 | 0,55 | 0,75 | 1,10 | 0,85 | 0,12 | 16 |
| 8 | 80 | 0,45 | 0,60 | 1,15 | 0,60 | 0,14 | 8 |
| 9 | 50 | 0,65 | 0,80 | 1,25 | 0,65 | 0,16 | 0 |
| 10 | 25 | 0,50 | 0,85 | 1,30 | 0,55 | 0,20 | 0 |
| 11 | 30 | 0,95 | 0,90 | 1,25 | 0,60 | 0,15 | 0 |
| 12 | 35 | 0,85 | 0,95 | 1,15 | 0,65 | 0,13 | 0 |
| 13 | 40 | 0,75 | 0,90 | 1,10 | 0,70 | 0,11 | 1 |
| 14 | 45 | 0,65 | 0,85 | 0,95 | 0,75 | 0,09 | 1 |
| 15 | 60 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,80 | 0,07 | 10 |
| 16 | 70 | 0,85 | 0,75 | 0,65 | 0,85 | 0,05 | 12 |
| 17 | 90 | 0,90 | 0,65 | 0,55 | 0,95 | 0,03 | 14 |
| 18 | 100 | 0,85 | 0,70 | 0,45 | 0,85 | 0,01 | 15 |
| 19 | 150 | 0,70 | 0,65 | 0,45 | 0,70 | 0,005 | 28 |
| 20 | 200 | 0,65 | 0,85 | 0,40 | 0,60 | 0,003 | 72 |

**Литература**

1. Родионов А.И., Сазонов А.Е. Автоматизация судовождения. - М.: Транспорт, 1992 – 192с.