**Теория автоматического управления**

**Семестровое задание**

В течение пятого семестра студенты выполняют семестровую работу, которая предусматривает анализ линейных систем автоматического управления и построение логарифмических частотных характеристик. Работа выполняется в соответствие с методическими указаниями по самостоятельной работе.

***1 Содержание заданий***

На рисунке 1 приведена структура САР, состоящая из объекта регулирования 1, исполнительного устройства 2, усилителя - регулятора 3, измерительного преобразователя 4 и элемента сравнения. Дифференциальные уравнения элементов приведены в таблице 1

**Требуется:**

1. Определить передаточные функции элементов и указать каким типовым динамическим звеном или соединением типовых звеньев представлен каждый из них.

*2.* Записать передаточные функции и характеристические уравнения разомкнутой и замкнутой систем.

3. Построить ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутой системы и пользуясь логарифмическим критерием устойчивости, определить устойчивость системы в замкнутом состоянии. Определить запасы устойчивости системы по фазе и амплитуде.

**g e u r y**

W1

W2

W3

-

**x**

W4

Рисунок 1 - Алгоритмическая схема САР

***2 Методические указания***

Передаточные функции звеньев системы находятся из уравнений элементов системы как отношение изображения по Лапласу выходной величины к изображению входной величины при нулевых начальных условиях

. (1)

Формально переход от дифференциальных уравнений к операторной форме записи осуществляется заменой оператора дифференцирования  на а самих переменных их изображениями.

Например, если  и  - соответственно входная и выходная величины звена и его дифференциальное уравнение имеет вид , то, производя замену , , получим уравнение в операторной форме  (2)

Передаточная функция звена будет иметь следующий вид: 

Передаточную функцию любой линейной системы можно преобразовать к такому виду, чтобы многочлен в скобках имел степень не выше второй, а его свободный член был равен единице. Такая запись позволяет представить системы в виде последовательного соединения нескольких типовых динамических звеньев. К типовым динамическим звеньям относятся: усилительное, инерционное, интегрирующее, дифференцирующее, форсирующее, колебательное.

При анализе линейных автоматических систем находят применение частотные характеристикии, в частности, логарифмические амплитудные (ЛАЧХ) и фазовые (ЛФЧХ) характеристики.

При построении логарифмических частотных характеристик по оси абсцисс откладывают частоту в логарифмическом масштабе, при этом на отметках, соответствующих значению  указывают само значение *.* Интервал изменения частоты в 10 раз называется декадой.

По оси ординат ЛАЧХ откладывают логарифмическую амплитуду  в децибелах.

ЛФЧХ строится также в логарифмическом масштабе частотпо осиабсцисс и в натуральном масштабе (градусы или радианы) для фазы по оси ординат.

При исследовании и проектировании автоматических систем используют логарифмические характеристики разомкнутых систем, передаточные функции которых можно представить в виде произведения передаточных функций типовых динамических звеньев. Для построения ЛАЧХ и ЛФЧХ системы необходимо построить и просуммировать характеристики входящих в систему типовых звеньев. При построении ЛАЧХ системы рассматривают асимптотические ЛАЧХ типовых звеньев.

Результирующие ЛФЧХ рекомендуется строить под ЛАЧХ с тем, чтобы изменение фазы можно было сопоставить с изменением амплитуды. В этом случае удобно применять логарифмический критерий устойчивости, а также определять запасы устойчивости системы по фазе и амплитуде.

Условием устойчивости является пересечение ЛАЧХ оси абсцисс ранее, чем ЛФЧХ пересекает линию фазового сдвига - 180° .

**3 Основная и дополнительная литература**

***Основная***

1 Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 312 с.

2 Теория автоматического управления: Учеб. для вузов / С.Е. Душин, Н.С. Зотов, Д.Х. Имаев и др.; Под ред. В.Б. Яковлева. – М.: Высшая школа, 2003. – 567 с.

3 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – изд. 4-е перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.

4 О.Н. Пятина; под ред. В.И. Лачина. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 469 с.

### *Дополнительная*

5 Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы (элементы теории, методы расчета и справочный материал).- 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1982. – 504 с.

6 Теория автоматического регулирования: Учеб. пособие для вузов / А.С. Востриков, Г.А. Французова. – М.: Высш. шк., 2004. - 365 с.

**Таблица 1 - Варианты заданий**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Вариант** | Звено | Дифференциальное уравнение |
| 1 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 2 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 3 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 4 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 5 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 6 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 7 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 8 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 9 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 10 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |

Продолжение таблицы 1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Вариант** | Звено | Дифференциальное уравнение |
| 11 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 | *x*=0,2*y* |
| 12 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 | *x*=0,025*y* |
| 13 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 | *x*=0,25*y* |
| 14 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 | *x*=0,1*y* |
| 15 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 | *x*=0,025*y* |
| 16 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 | *x*=0,08*y* |
| 17 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 18 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 19 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |
| 20 | W1 |  |
|  | W2 |  |
|  | W3 |  |
|  | W4 |  |

**Приложение А**

*Пример выполнения задания семестровой работы*

На рисунке приведена структура САР, состоящая из объекта регулирования 1, исполнительного механизма 2, усилителя 3, измерительного преобразователя 4 и элемента сравнения. Дифференциальные уравнения элементов системы приведены в таблице.

|  |  |
| --- | --- |
| W1  W2  W3  W4 | *x = 0,1y* |

W3

W1

W2

W4

g

e

u

r

y

-

Требуется:

1 Определить передаточные функции элементов и указать каким типовым динамическим звеном или соединением типовых звеньев представлен каждый из них.

2 Записать передаточные функции и характеристические уравнения разомкнутой и замкнутой систем.

3 Построить логарифмические (асимптотическую амплитудную и фазовую частотную) характеристики разомкнутой системы и, пользуясь логарифмическим критерием устойчивости, определить устойчивость системы в замкнутом состоянии. Определить запасы устойчивости системы по фазе и амплитуде.

# Решение

Передаточные функции звеньев системы находятся как отношение изображения по Лапласу выходной величины к изображению входной величины при нулевых начальных условиях

W(p) = Xвых(p)/Xвх(p)

Произведя замену в дифференциальных уравнениях d/dt на p, y(t) на Y(p), r(t) на R(p), u(t) на U(p), e(t) на E(p) и x(t) на X(p), получим уравнения в операторной форме

для 1 звена:

(0,0004p2 + 0,02р + 1)Y(p) = 5R(p)

W1(p) = 

Это колебательное звено с Т = 0,02 и ξ = 0,5.

для 2 звена:

(0,5p + 1)R(p) = 4U(p)

W2(p) =  это апериодическое звено

для 3 звена:

pU(p) = 10(0,05р + 1)E(p)

W3(p) =  это изодромное звено.

для 4 звена:

X(p) = 0,1Y(p)

W4(p) = 0,1 безинерционное (усилительное) звено

Передаточная функция разомкнутой цепи равна произведению передаточной функции прямой ветви и передаточной функции обратной связи. Тогда



Характеристическое уравнение разомкнутой системы будет



Передаточная функция замкнутой цепи с отрицательной обратной связью равна передаточной функции прямой цепи, деленной на единицу плюс передаточная функция разомкнутой цепи



Характеристическое уравнение замкнутой системы будет



Построим логарифмические амплитудную и частотную характеристики разомкнутой системы. При ω = 1 вычисляем ординату 20lgК = 20lg20 = 26 дБ. Сопрягающие частоты w1 = 1/0,5 = 2 c-1; w2 = 1/0,05 = 20 c-1; w3 = 1/0,02 = 50 c-1. ЛАЧХ неизменяемой части состоит из четырех асимптот.

Фазовую характеристику определим по формуле



|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ω, с-1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 10 | 20 | 40 | 50 | 100 |
| ϕ(ω), град | -116 | -133,9 | -151,3 | -155,6 | -164,7 | -172,9 | -191 | -199,5 | -227 |

ЛАЧХ пересекает линию 0 дБ на частоте wc = 6,3 с-1 , т.е. на более низкой частоте, чем фазовая характеристика пересекает линию -180° на частоте 28 с-1.

Следовательно, замкнутая система устойчива.

Запас устойчивости по амплитуде 23 дБ, по фазе - φ = 21˚

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ,

ТРАНСПОРТА И ВООРУЖЕНИЙ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

**СЕМЕСТРОВАЯ РАБОТА**

По курсу «Теория автоматического управления»

Тема «Анализ линейных систем автоматического управления и построение логарифмических частотных характеристик»

Вариант 51

Выполнил студент группы \_\_\_\_\_\_

(Ф.И.О. студента)

Проверил: (Ф.И.О. преподавателя)

Волгоград 2020

21º

23 дБ

φ

φ3

L

ωср

50

ω2

ω3

4

3

2

1

φ4

φ2

φ1

ω1

10

1

20

1

1000

100

10

ω, с-1

200

500

2

5

20

-10

-20

-40

-30

ω, с-1

200

500

2

5

50

1000

100

40

30

L, дБ

20

10

0

φg

90

φ, град

-90

-270

0

-180