Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский**

**политехнический университет»**

Электротехнический факультет

Кафедра «Информационные технологии и автоматизированные системы»

Направление: «Информатика и вычислительная техника»

**Курсовая работа**

**по дисциплине «Теория автоматизированного управления»**

Вариант №13

Выполнил: студент гр. ИВТ-22-2б

Мельников Г. В.

Проверил: зав. каф. ИТАС, канд. экон. наук

Рустамханова Г. И.

Пермь 2024

**СОДЕРЖАНИЕ**

[1 Теоретическая часть 3](#_Toc168706317)

[1.1 Точность линейной динамической системы. Определение показателя точности 3](#_Toc168706318)

[1.2 Статические и астатические системы 5](#_Toc168706319)

[2 Практическая часть 6](#_Toc168706320)

[2.1 Линеаризация 6](#_Toc168706321)

[2.2 Разомкнутые системы 12](#_Toc168706322)

[2.3 Замкнутые системы 16](#_Toc168706323)

[Литература 24](#_Toc168706324)

1 Теоретическая часть

1.1 Точность линейной динамической системы. Определение показателя точности

Для характеристики точностных свойств систем управления вводятся различные параметры, одним из которых является мгновенное значение ошибки слежения e(t). Оно определяется как разность между требуемым g(t) и действительным y(t) значениями регулируемой переменной:

, (1)

где – входной сигнал; – выходной сигнал.

Но из-за непредсказуемости задающих и возмущающих воздействий в реальных условиях, заранее определить e(t) для всех моментов времени невозможно. Поэтому точность системы оценивается при типовых входных воздействиях, таких как постоянное, линейно или квадратично нарастающее.

Для характеристики точностных свойств системы управления используются понятия установившейся ошибки слежения [1], а также предельное значение установившейся ошибки слежения. Установившаяся ошибка представляет собой функцию времени, удовлетворяющую условию:

, (2)

для любых начальных условий и заданного входного воздействия .

Другими словами, она характеризует ошибку слежения, установившуюся после завершения переходного процесса. Предельное значение установившейся ошибки определяется выражением:

, (3)

(при условии, что (2) существует).

Величина предельного значения установившейся ошибки при типовом задающем воздействии может быть достаточно просто рассчитана по передаточной функции системы. Пусть образы Лапласа ошибки слежения и сигнала задания связаны соотношением:

*,* (4)

где – известная передаточная функция замкнутой системы по ошибке слежения (относительно задающего воздействия).

Например, для систем с единичной отрицательной обратной связью (рис. 1) имеем

, (5)

где – передаточная функция разомкнутой системы, включающая в себя передаточные функции регулятора и объекта управления.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 1 – Система с единичной отрицательной обратной связью |

Для приближённой оценки установившейся ошибки слежения при произвольном (но достаточно гладком) входном воздействии можно воспользоваться следующей методикой. Разложим в ряд Тейлора в окрестности :

, (6)

где ,

Тогда, подставляя (6) в (4) и переходя во временную область, получаем выражение установившейся ошибки при произвольном входном воздействии:

(7)

1.2 Статические и астатические системы

Статической [2] называется система, в которой при действии на объект постоянного по величине возмущения выходная величина по окончании динамического процесса, то есть в установившемся режиме, принимает значение, отличное от заданного. Отклонение управляемой величины от задания в установившемся режиме называется статической ошибкой.

Статические системы конструктивно просты, содержат минимально необходимый набор элементов для управления и поэтому отличаются высоким быстродействием. Однако требуются специальные меры для уменьшения статической ошибки.

В астатической системе при действии на объект постоянного по величине возмущения выходная величина по окончании переходного процесса, то есть в установившемся режиме, принимает значение равное заданному, не зависимо от величины возмущения.

В качестве универсальной характеристики точностных свойств систем управления используют понятие порядка астатизма (по отношению к входному воздействию). Система называется статической (или – с нулевым порядком астатизма), если в выражении (7)

Говорят, что система имеет -ый порядок астатизма, если в выражении (7) для всех и .

# 2 Практическая часть

## 2.1 Линеаризация

1. Построить линеаризованную модель для звена, которое описывается нелинейным дифференциальным уравнением ().

(8)

В номинальном режиме установившееся значение .

Приведём уравнение к виду = 0.

(9)

Разложим в ряд Тейлора в окрестностях точек ', и . Ограничимся первым приближением:

(10)

(11)

(12)

Следовательно, линеаризованная модель будет выглядеть следующим образом:

(13)

2. По линейной модели определить установившееся значение , при . Таким образом, из (12):

(14)

(15)

(16)

3. Построить передаточную функцию линеаризованного звена.

В уравнении (13) член является постоянным возмущением. Следовательно, его можно не учитывать. Тогда (13) примет вид:

(17)

Используя преобразование Лапласа, найдем передаточную функцию линеаризованного звена:

(18)

(19)

Согласно известным значениям :

(20)

Данное звено является апериодическим.

4. Найти импульсную характеристику (весовую функцию) полученного звена.

Для получения импульсной характеристики было подано воздействие единичной площади с временем воздействия 0,01с (импульс) [3]. Заданный импульс на рисунке 2.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2 - Импульс |

Полученная импульсная характеристика представлена на рисунке 3.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3 – Импульсная характеристика |

5. Найти переходный процесс на выходе линеаризованного звена при ступенчатом входном сигнале

Для нахождения переходной характеристики было подано ступенчатое воздействие, изображённое на рисунке 4.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 4 – Ступенчатое воздействие |

Тогда переходная характеристика имеет следующий вид представленный на рисунке 5.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 5 – Переходный процесс при ступенчатом входном сигнале |

Также, найдём аналитическое решение дифференциального уравнения (13). Аналитическое решение (13) будет определяться по следующей формуле:

, (21)

где – общее решение линейного однородного уравнения, а – частное решение линейного неоднородного.

(22)

(23)

(24)

Так как , то

(25)

6. Построить и сравнить переходные процессы (в отклонениях от номинального режима) в линейной и нелинейной системе при ступенчатом входном сигнале

Схема для нахождения разницы отклонений от номинального режима линейной и нелинейной систем представлена на рисунке 6.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 6 – Схема сравнения переходных процессов линейной и нелинейной систем |

Переходный процесс в отклонении от номинального режима нелинейной системы (рис. 7).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 7 – Переходный процесс в отклонении нелинейной системы |

Переходный процесс в отклонении от номинального режима линейной системы (рис. 8).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 8 – Переходный процесс в отклонении линейной системы |

Таким образом, разница переходных процессов линейной и нелинейной систем имеет следующий вид (рис. 9).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 9 – Разница переходных процессов |

## 2.2 Разомкнутые системы

1. Определите, какие простейшие звенья можно выделить в составе звена с передаточной функцией .

(26)

Преобразуем данное звено следующим образом: вынесем в числителе ,в знаменателе – . Тогда получим:

(27)

В (27) можно заметить форсирующее и колебательные типовые звенья.

2. Определить коэффициент усиления этого звена в установившемся режиме.

Из (27) следует, что коэффициент усиления в установившемся режиме

3. Определить является ли звено устойчивым.

Для определения устойчивости звена воспользуемся критерием Гурвица. Для этого составим определитель Гурвица, а коэффициенты для него возьмём из (26). Так как система второго порядка, то определитель Гурвица будет иметь размерность 2x2.

(28)

По критерию Гурвица для устойчивости необходимо и достаточно, чтобы и были положительными, при условии . Исходя из заданных значений данное условие выполняется, значит система является устойчивой.

4. Определить является ли звено минимально-фазовым.

Звено является минимально-фазовым, если все нули и полюса передаточной функции имеют отрицательные или нулевые вещественные части.

Найдём нули числителя, для этого решим уравнение:

(29)

откуда – ноль числителя.

Найдём полюса знаменателя, для этого решим уравнение:

(30)

откуда и равны – полюса знаменателя.

Так как , можно сделать вывод, что звено не является минимально-фазовым.

5. Записать модель данного звена в виде дифференциального уравнения.

Для составления дифференциального уравнения представим передаточную функцию как отношение изображения выхода к изображению входа:

(31)

Сгруппируем (38) и выполним обратное преобразование Лапласа:

(32)

(33)

(34)

Искомое дифференциальное уравнение имеет вид (34).

6. Записать модель звена в пространстве состояний

Для дифференциального уравнения (33) выберем пространство состояний .

По системе уравнений составляется матрица состояния **А** (из коэффициентов при х) и матрица входа **В** (из коэффициентов при входном воздействии u), по уравнению выхода составляется матрица выхода **С** (из коэффициентов при х):

(35)

Матрицы состояний для текущего уравнения будут иметь вид:

, , .

Тогда модель звена в пространстве состояний:

(36)

(37)

7. Сделать обратный переход – от модели в пространстве состояний к передаточной функции.

Для обратного перехода от модели в форме пространства состояний к передаточной функции необходимо выполнить преобразование Лапласа к (36).

(38)

(39)

(40)

Подставим в уравнение для и выразим :

(41)

(42)

Передаточная функция равна:

(43)

8. Построить переходную характеристику звена.

Переходная характеристика звена имеет следующий вид, согласно рисунку 10.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 10 – Переходная характеристика |

## 2.3 Замкнутые системы

1. Пусть объект управления имеет передаточную функцию , регулятор – передаточную функцию , а измерительная система – передаточную функцию . Нарисуйте типовую блок-схему системы автоматического регулирования, обозначив задающий сигнал , сигнал управления , регулируемый сигнал , внешнее возмущение , сигнал обратной связи , сигнал ошибки .

Получим следующую схему (рис. 11):

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 11 – Типовая блок-схема САУ |

2. Предположив, что и , построить передаточные функции:

от входа к выходу

от входа к выходу

от входа к выходу

от входа к выходу

3. Используя критерий Гурвица, определить, при каких значениях и замкнутая система устойчива.

Запишем общую передаточную функцию замкнутой системы:

, (44)

где .

Тогда,

(45)

По критерию Гурвица для устойчивости необходимо и достаточно, чтобы и были положительными, при условии . Исходя из заданных значений , получаем следующую систему неравенств:

(46)

(47)

Пусть *,* .

4. Приняв , выбрать так, чтобы запас устойчивости по амплитуде был не менее 6 дБ, а запас по фазе – не менее 30º

Разомкнём систему, убрав главную обратную связь. Тогда передаточная функция разомкнутой системы будет выглядеть следующим образом:

(48)

Воспользуемся логарифмическим критерием Найквиста для определения запасов устойчивости. Для этого построим ЛАФЧХ (48), согласно рисунку 12.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 12 – ЛАФЧХ |

Из рисунка 12 видно, что запас устойчивости по амплитуде примерно 7 дб, а запас устойчивости по фазе примерно равен 130º. Данные значения достигнуты при

5. Построить переходный процесс на выходе при

График переходной характеристики имеет следующий вид (рис 13):

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 13 – Переходная характеристика |

6. Оценить время переходного процесса и перерегулирование, показать их на графике.

Из рисунка 14.1 видно, что установившееся значение переходной характеристики примерно 1,4. 5%-ый «коридор» – 0,8750,044. Таким образом, время регулирования 8,1 с., согласно рисунку 14.2.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 14.1 – Переходная характеристика | Рисунок 14.2 – Табличный формат |

Согласно рисунку 15 перерегулирование равно 0,976 – 0,875 = 0,121.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 15 – Переходная характеристика |

6. Является ли замкнутая система астатической? Почему?

Так как установившееся значение при поданном единичном ступенчатом воздействии равно 0,58, то установившаяся ошибка равна 1 – 0,875 = 0,125. Следовательно, заданная замкнутая система не является астатической.

7. Использовать пропорционально-интегральный регулятор (ПИ-регулятор) [4] с передаточной функцией: , при . С помощью критерия Гурвица определить, какие ограничения должны быть наложены на , чтобы система была устойчивой. Выбрать коэффициент , равный среднему арифметическому между минимальным и максимальным допустимыми значениями.

Запишем общую передаточную функцию системы с ПИ-регулятором и преобразуем её:

, (49)

где, .

(50)

Для нахождения воспользуемся критерием Гурвица – составим определитель Гурвица:

, (51)

откуда получим систему неравенств для нахождения :

(52)

(53)

Решив (53), получим, что

Найдём , как среднее арифметическое между 0 и 0,4884. .

8. Построить переходный процесс на выходе при выбранном регуляторе. Оценить время переходного процесса и перерегулирование, показать их на графике.

Переходный процесс выглядит следующим образом (рис.15):

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 15 – Переходная характеристика |

Из рисунка 15 видно, что установившееся значение переходной характеристики 1. 5%-ый «коридор» - 10,05. Таким образом, время регулирования 19,9 с. (рис. 16.1), а перерегулирование равно 1,285 – 1 = 0,285, согласно рисунку 16.2.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| Рисунок 16.1 – Табличный формат. Время регулирования | Рисунок 16.2 – Табличный формат. Перерегулирование |

9. Построить амплитудную частотную характеристику полученной замкнутой системы и определить показатель колебательности M [5].

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 17 – АЧХ |

Из рисунка 17 видно, что начальное значение АЧХ – 1, а максимальное значение АЧХ примерно 1,8. Тогда .

10. Является ли замкнутая система астатической по возмущению? Почему?

Данная замкнутая система является астатической по возмущению, так как в ПИ-регуляторе системы присутствует интегратор, который сводит ошибку регулирования в установившемся режиме к нулю.

11. Построить переходный процесс на выходе при и ступенчатом возмущении .

Для получения переходного процесса при ступенчатом возмущении на ОУ собрана следующая схема в SimInTech (рис. 18).

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 18 – Схема САУ |

К ОУ было добавлено единичное возмущение с нулевой секунды работы САУ, результат работы системы на рисунке 19:

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 19 – Единичное возмущение |

Литература

1. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. - Изд. 2, стереотип, 1988. - 256 с
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. М.: Профессия, 2003. – 768 c
3. Мирошник И.В. Теория автоматического управления. Линейные системы. - СПб.: Питер, 2005. – 328 c
4. Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., Сальгадо М.Э., Проектирование систем управления. М.:  Бином, 2004.-913 c
5. Файзрахманов Р.А. Решение задач по курсу «Теоретические основы автоматизированного управления». Ч.1. Линейные детерминированные системы: Учеб. пособие/ Р.А. Файзрахманов, И.Н. Липатов. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2008. – 95с.