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](#_Toc168215140)

[1.1 Точность линейной динамической системы. Определение показателя точности 3](#_Toc168215141)

[1.2 Статические и астатические системы 4](#_Toc168215142)

[2 Практическая часть 6](#_Toc168215143)

[2.1 Линеаризация 6](#_Toc168215144)

[2.2 Разомкнутые системы 12](#_Toc168215145)

[2.3 Замкнутые системы 16](#_Toc168215146)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 24](#_Toc168215147)

1 Теоретическая часть

1.1 Точность линейной динамической системы. Определение показателя точности

Точность работы любой системы управления наиболее полно характеризуется мгновенным значением ошибки слежения, равной разности между требуемым и действительным значениями регулируемой переменной:

, (1)

где – входной сигнал; – выходной сигнал.

Однако в большинстве задач управления реальными объектами задающие и возмущающие воздействия заранее точно неизвестны и, следовательно, определить заранее величину для всех моментов времени не представляется возможным. Поэтому точностные свойства системы, как правило, оцениваются при типовых входных воздействиях — постоянном, линейно или квадратично нарастающем.

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 выглядит следующим образом (рис. 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 (рис. 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.