Факультет (институт) информационных технологий и компьютерных систем

Кафедра «Автоматизация и робототехника»

Дисциплина «Теория управления техническими системами»

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение курсового проекта (курсовой работы)**

Студенту (ке) Группа

Направление (специальность) 15.03.04. «Автоматизация технологических

процессов и производств»

Тема курсовой работы «Анализ системы автоматического управления концентрации сернистого газа»

Срок сдачи проекта на кафедру «\_\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_ г.

Исходные данные к проекту упрощенная схема системы управления, исходные данные*: T1=12 с; T2=7 с;kБ=1,5;kТ=0,06; TД=0,5 с; kД=12 (с∙В)-1.*

Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

1. Написать уравнения, передаточные функции элементов. Составить структурную схему. Определить передаточные функции разомкнутой, замкнутой систем и передаточную функцию по ошибке.

2. Построить частотные характеристики системы, ЛАЧХ разомкнутой системы, переходную характеристику.

3. Исследовать систему на устойчивость. Определить запасы устойчивости.

4. Определить коэффициенты ошибок. Найти установившуюся ошибку Δx(t) при функции входного сигнала xВХ(t) = 1; t; t2.

5. Определить показатели качества (время регулирования, перерегулирование, колебательность переходного процесса).

6. Выполнить синтез корректирующего звена для обеспечения требуемых значений показателей качества.

Перечень графического материала с указанием основных чертежей: иллюстративный пояснительный материал содержится в пояснительной записке к курсовой работе.

Методическая литература и иные информационные источники

1. Ситников Д.В. Теория автоматического управления: Методические указания для самостоятельной работы студентов дневной формы обучения. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2003, – 40 с.

2. Федотов А.В. Теория автоматического управления: Конспект лекций. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2007, – 176 с.

Дата выдачи задания «11» сентября 2020 г.

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Гоненко Т.В.

Зав. Кафедрой \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Гебель Е.С.

Задание принял к исполнению студент(ка)\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_\_2020 г.

Оглавление

[Аннотация 5](#_Toc59788671)

[Введение 6](#_Toc59788672)

[ГЛАВА 1. Разработка математической модели исследуемой системы автоматического управления 7](#_Toc59788673)

[1.1 Описание системы автоматического управления концентрации сернистого газа 7](#_Toc59788674)

[1.2 Передаточные функции элементов системы (звеньев) 9](#_Toc59788675)

[1.3 Расчет передаточных функций 12](#_Toc59788676)

[ГЛАВА 2. Исследование системы на устойчивость 14](#_Toc59788677)

[2.1 Критерий Гурвица 15](#_Toc59788678)

[2.2 Анализ устойчивости по критерию Михайлова. 16](#_Toc59788679)

[2.3 Критерий Найквиста 19](#_Toc59788680)

[2.4 Логарифмический критерий устойчивости 23](#_Toc59788681)

[ГЛАВА 3. Качество системы автоматического управления 25](#_Toc59788682)

[3.1 Запасы устойчивости 26](#_Toc59788683)

[3.2 Оценка точности 28](#_Toc59788684)

[3.3 Показатели качества переходного процесса 29](#_Toc59788685)

[ГЛАВА 4. Синтез системы 32](#_Toc59788686)

[4.1 Построение логарифмических частотных характеристик 32](#_Toc59788687)

[4.2 Построение логарифмических частотных характеристик с заданными показателями качества 34](#_Toc59788688)

[4.3 Определение устойчивости скорректированной САУ 35](#_Toc59788689)

[4.4 Показатели качества переходного процесса скорректированной САУ 36](#_Toc59788690)

[Заключение 38](#_Toc59788691)

[Список использованной литературы 39](#_Toc59788692)

Аннотация

Курсовая работа на тему «Анализ системы автоматического управления скорости вращения электрического двигателя» выполнена на 33 страницы, включает в себя 2 таблицы, 16 рисунков, 70 уравнений, 2 литературных источника, графическая часть проекта состоит из 3 листов формата А3.

Введение

При современном развитии техники системы автоматического управления (САУ) встречаются практически повсюду, как на высокотехнологических производствах, так и в бытовых приборах (стиральная машина, микроволновка и т.п.). Такие системы очень активно внедряются, благодаря удобству при их использовании, а также исключая человеческий фактор при управлении различными процессами.

САУ классифицируются в основном по цели управления, типу контура управления и способу передачи сигналов. Первоначально перед САУ ставились задачи поддержания определённых законов изменения во времени управляемых величин. В этом классе систем различают системы автоматического регулирования (CAP), в задачу которых входит сохранение постоянными значения управляемой величины; системы программного управления, где управляемая величина изменяется по заданной программе; следящие системы, для которых программа управления заранее неизвестна. В дальнейшем цель управления стала связываться непосредственно с определёнными комплексными показателями качества, характеризующими систему (её производительность, точность воспроизведения и т. п.). К показателю качества могут предъявляться требования достижения им предельных (наибольших или наименьших) значений, для чего были разработаны адаптивные, или самоприспосабливающиеся системы. Последние различаются по способу управления: в самонастраивающихся системах меняются параметры устройства управления, пока не будут достигнуты оптимальные или близкие к оптимальным значения управляемых величин; в самоорганизующихся системах с той же целью может меняться и её структура.

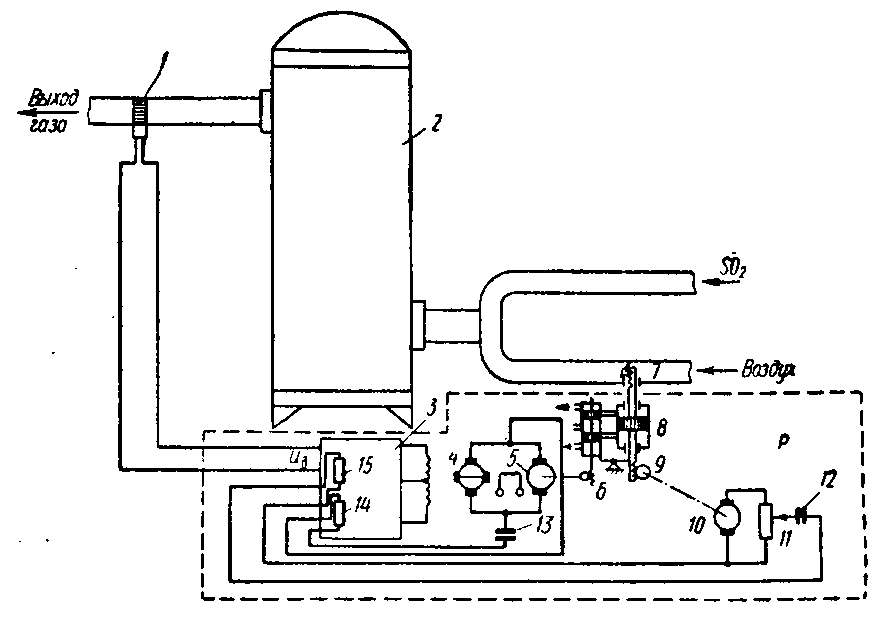
ГЛАВА 1. Разработка математической модели исследуемой системы автоматического управления

## 1.1 Описание системы автоматического управления концентрации сернистого газа

На рис. 1 представлена упрощенная схема системы, состоящая из объекта регулирования в виде сушильной башни 2; исполнительного механизма, состоя­щего из электродвигателя 5, датчика обратной связи – тахогенератор 10.

Работа системы регулирования заключается в следующем. При увеличе­нии количества сернистого газа SO2, поступающего через трубопровод в су­шильную башню, на ее выходе повышается концентрация сернистого газа. Электрический газоанализатор 1, измеряющий концентрацию SO2, выдает напряжение uд, поступающее на электронный усилитель 3 регулятора Р. Усиленный в ЭМУ, электродвигателе и силовом гидравлическом серводвига­теле сигнал воздействует на заслонку 7 воздуховода, увеличивая количество воздуха, поступающего в башню. Таким образом, концентрация сер­нистого газа в башне падает до требуемого значения.

Блок-схема системы регулирования концентрации сернистого газа показана на рис. 2.

  
Рисунок №1 - Система автоматического регулирования концентрации сернистого газа

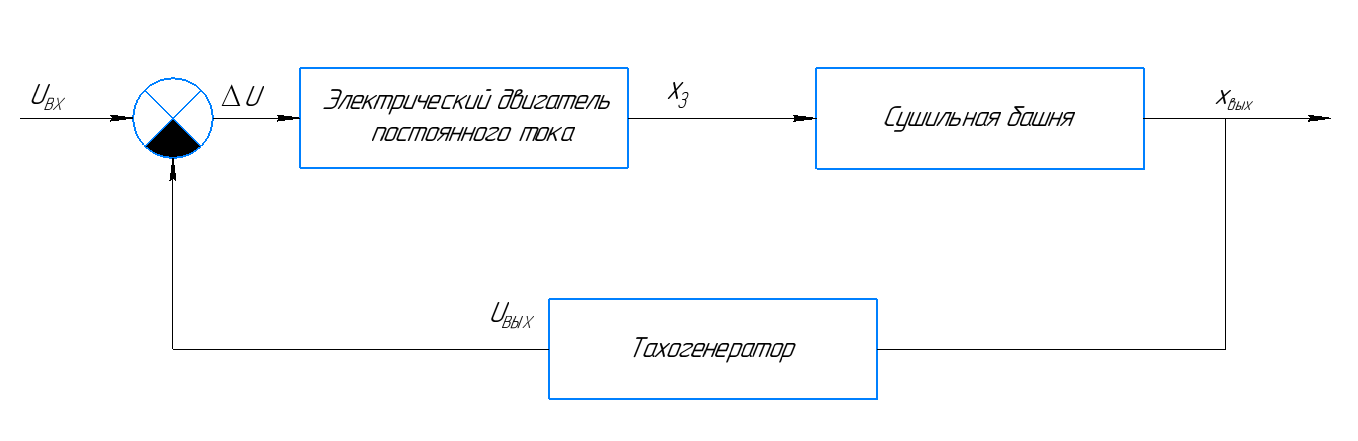


Рисунок №2. Блок-схема системы регулирования концентрации сернистого газа

## 1.2 Передаточные функции элементов системы (звеньев)

Передаточной функцией системы (звена) W(p) называется отношение преобразования Лапласа выходного сигнала к преобразованию Лапласа входного сигнала при нулевых начальных условиях.

1.Сушильная башня для производства серной кислоты

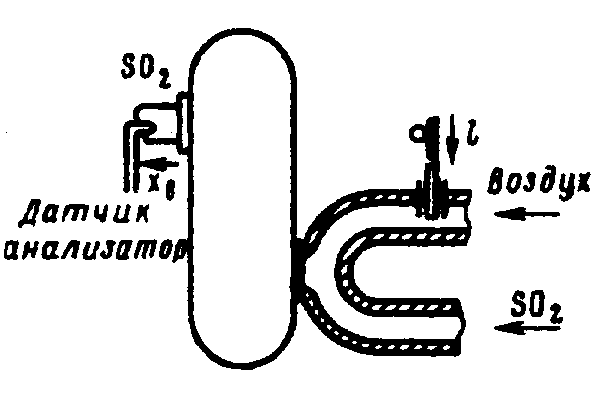


Рисунок 3 – Условное графическое обозначение сушильной башни для производства серной кислоты

Уравнение элемента:

(1)

где x(t) – напряжение с газоанализатора, пропорциональное относительной концентрации газа SO2 в смесителе;

*l*(t) – положение заслонки;

T1, T2 – постоянные времени;

k – коэффициент передачи.

Уравнение в операторной форме:

 (2)

Входным сигналом являетсяположение заслонки, выходным –напряжение. Получим из уравнения (2) передаточную функцию:

(3)

Из передаточной функции (3) видно, что сушильная башня для системы автоматического управления концентрации сернистой кислоты – колебательное звено.

2. Тахогенератор



Рисунок 4 – Условное графическое обозначение тахогенератора

Уравнение элемента:

UТ = kТω (4)

где ω –угл. скорость вращения вала;

UТ – напряжение;

kТ – коэффициент передачи.

Уравнение в операторной форме:

UТ(p) = kТω (p) (5)

Входным сигналом являетсяугловая скорость вращения вала, выходным –напряжение. Получим из уравнения (5) передаточную функцию:

(6)

Из передаточной функции (6) видно, что тахогенератор для системы автоматического управления концентрации сернистой кислоты – усилительное звено.

3. Электрический двигатель постоянного тока



Рисунок 5 – Условное графическое обозначение электрического двигателя постоянного тока

Уравнение элемента:

ωω (7)

где TД –постоянная времени двигателя;

kД – коэффициент передачи двигателя;

U – напряжение на управляющей обмотке;

ω – угловая скорость вращения вала.

Уравнение в операторной форме:

(8)

Входным сигналом являетсянапряжение на управляющей обмотке, выходным –угловая скорость вращения вала. Получим из уравнения (8) передаточную функцию:

= (9)

Из передаточной функции (9) видно, что двигатель для системы автоматического управления концентрации сернистой кислоты – инерционное звено.

## 1.3 Расчет передаточных функций

Для дальнейших преобразований подставим в формулу (10) формулы (3), (6), (9).

Передаточная функция разомкнутой системы:

WР(p)=**=**

(10)

В общем виде:

, (11)

где =42;

Передаточная функция замкнутой системы:

W(p)= , (12)

В общем виде:

, (13)

где =42;

Передаточная функция по ошибке:

WΔ(p)=1-W(p)=1-. (14)

В общем виде:

, (15)

где ==42; ==93,5; ==19,5; =1.

=42;

ГЛАВА 2. Исследование системы на устойчивость

Под устойчивостью понимается свойство системы возвращаться в состояние установившегося равновесия после устранения возмущения, нарушившего это состояние. Неустойчивая система после воздействия возмущения непрерывно удаляется от равновесного состояния или начинает совершать вокруг него колебания с нарастающей амплитудой.

Существует много критериев устойчивости объекта в зависимости от типов его моделей. Для линейных объектов применяют два подхода к определению устойчивости:

− прямой (непосредственный);

− косвенный.

При прямом подходе записывают любой процесс управления и, зная его желаемое состояние, исходя из определения устойчивости и неустойчивости, делают заключения о его качествах. Однако в этой работе прямой метод исследования устойчивости объекта не невозможен, так как мы работаем только с его математической моделью, в виде передаточных функций. В этой ситуации для исследования устойчивости объекта мы будем использовать косвенный метод.

Для того, чтобы определить, устойчива система или нет, используются следующие критерии устойчивости:

1) критерий Гурвица

2) критерий Михайлова

3) критерий Найквиста

4) логарифмический критерий устойчивости

Критерий Гурвица является алгебраическим и разработан для определения устойчивости замкнутых систем без запаздывания. Последние критерии относятся к группе частотных критериев, поскольку определяют устойчивость замкнутых систем по их частотным характеристикам. Их особенностью является возможность применения к замкнутым системам с запаздыванием, которыми является подавляющее большинство систем управления.

## 2.1 Критерий Гурвица

Критерий Гурвица использует для оценки выполнения условия устойчивости системы коэффициенты характеристического уравнения замкнутой системы. Следовательно, для применения критерия Гурвица необходим характеристический полином замкнутой системы.

𝐷(𝑝) = α0pn + α 1pn-1+ ⋯ + αn (16)

Система устойчива, если коэффициенты его характеристического уравнения и все диагональные миноры матрицы Гурвица больше нуля.

𝐷(𝑝) = 42𝑝3 + 93.5p2 + 19.5𝑝 + 2.08 (17)

Критерий распадается на два условия:

1) Необходимое: все коэффициенты α0, α1, α2, …, αn>0

2) Все диагональные миноры (определители) ∆1, ∆2, ∆3>0

Проверим необходимое условие:

1) Коэффициенты характеристического полинома:α0 = 42> 0; α1 = 93.5> 0; α2 = 19.5> 0; α3 = 2.08>0 .

2) Составим определители Гурвица:

В общем виде

∆= (18)

Подставим значения коэффициентов:

∆1= |93.5| > 0, (19)

∆2= = 93,5∗19,5 − 42∗2,08=1735,89> 0, (20)

∆3= =93,5\*(19,5\*2,08)-2,08(42\*2,08)=

=3610,65> 0. (21)

**Вывод:** в первом пункте мы проверили необходимое условие критерия Гурвица. Все коэффициенты характеристического полинома больше нуля. Во втором пункте мы проверили достаточное условие критерия, все определители больше нуля. Таким образом, можно сделать вывод, что система устойчива.

## 2.2 Анализ устойчивости по критерию Михайлова.

Годограф Михайлова – это кривая, описываемая характеристическим уравнением на комплексной плоскости. Критерий Михайлова формулируется так:

«Для того чтобы система автоматического управления была устойчива, необходимо и достаточно, чтобы кривая (годограф) Михайлова при изменении частоты от 0 до +∞, начинаясь при w=0 на вещественной положительной полуоси обходила только против часовой стрелки последовательно n квадрантов координатной плоскости, где n – порядок характеристического уравнения. Если хотя бы один квадрант пропущен или кривая обходила по часовой стрелки, то система не устойчива.»

Требования к кривой Михайлова:

· Имеет плавную спиралевидную форму;

· Берет свое начало с положительной оси;

· Последовательно проходит через квадранты (против часовой стрелки) комплексной плоскости;

· Уходит в бесконечность в том квадранте, номер которого равен степени n характеристического полинома.

На рисунке 10 показаны типичные кривые Михайлова для устойчивых систем, описываемых уравнениями, начиная от первого (n=1) и кончая пятым (n=5) порядком.

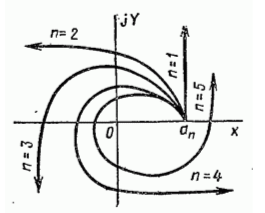


Рисунок 6 – Годографы Михайлова

Если годограф Михайлова проходит через начало координат, то говорят, что система находится на границе устойчивости, что наглядно изображено на рисунке 7.

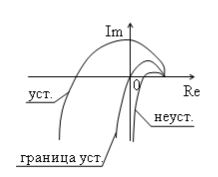


Рисунок 7 –Условия устойчивости

Характеристический вектор получим, подставив в характеристический полином (знаменатель передаточной функции замкнутой системы):

𝐷(𝑝) = 42𝑝3 + 93.5p2 + 19.5𝑝 + 2.08 (22)

Заменим pна *jω*

D(*jω)=U(ω)+ jV(ω)* (23)

D(*jω)=* 42(*jω)* 3 + 93.5(*jω)* 2 + 19.5*jω* + 2.08=

= -42*jω3*-93.5*ω2*+19.5*jω+2.08=*

*= (2.08-93.5 ω2*)+j(19,5*ω*-42*ω3* ) (24)

Выделим действительную и мнимую части:

*U(ω)= 2.08-93.5 ω2*- действительная часть

*V(ω)=*19,5*ω*-42*ω3*  - мнимая часть

Это система третьего порядка.

Приравняем их к нулю и находим частоты, при которых годограф пересекается с осями:

*U*=*2.08-93.5 ω2=*0 (25)

*ω1=*0,149 (26)

*V=*19,5*ω*-42*ω3=*0 (27)

*ω2=*0 (28)

*ω3=*0,681 (29)

Вычисляем значение функции при*ω=∞*

*U*(∞)=-*∞,* (30)

*V(∞)=-∞.* (31)

Составляем таблицу значений функции в точках пересечения с осями и при*ω=∞*(табл.1)*.*

Таблица 1 - Расчетные данные для построения годографа Михайлова

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *ω* | *U*(∞) | *V(∞)* |
| 0 | 2,08 | 0 |
| 0,149 | 0 | 2,767 |
| 0,681 | -41,28 | 0 |
| *∞* | -*∞* | -*∞* |

По данным таблицы строим годограф (рис.8).

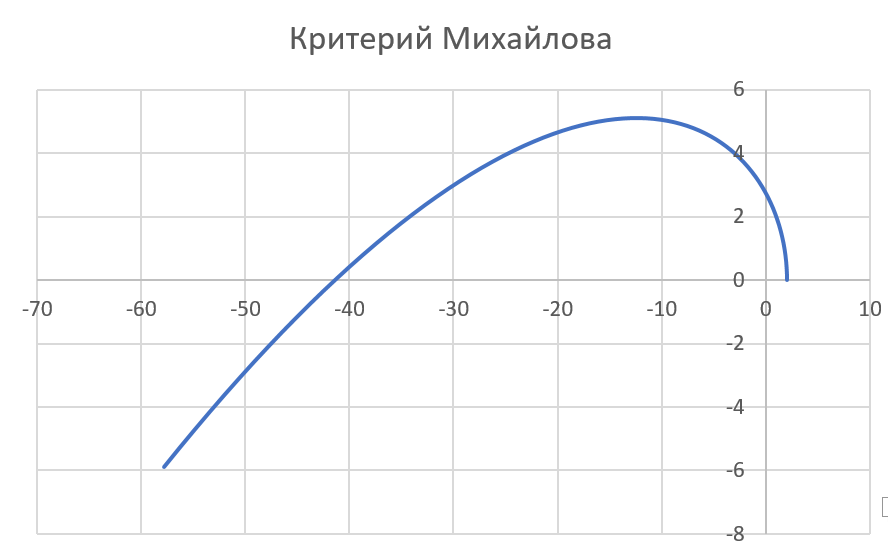


Рисунок 8 – Годограф Михайлова в диапазоне частот от 0 до 0.8 с-1 .

Вывод: Была выделена действительная и мнимая части характеристического вектора, построен годограф Михайлова в разных диапазонах частот. Характеристический вектор описывает угол π, последовательно проходя первый, второй и третий квадранты (уходит в бесконечность в третьем квадранте). Порядок системы равен трем. Анализируя графики, можно прийти к выводу, что условие выполняется, следовательно, система устойчива.

## 2.3 Критерий Найквиста

Критерий Найквиста является частотным критерием и дает возможность судить об устойчивости замкнутой системы по виду амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой системы.Данный критерий имеет следующую формулировку: «Если система устойчива в разомкнутом состоянии, то для устойчивости замкнутой системы амплитудно-фазовая частотная характеристика разомкнутой системы не должна охватывать на комплексной плоскости точку с координатами (-1, j0) при изменении частоты в пределах

-∞˂*ω*˂∞.

Частотная передаточная функция разомкнутой системы может быть получена из передаточной функции разомкнутой системы.

W(*jω)=A(ω)\*ejƟ(ω)=U(ω)+ jV(ω)*

Критерии оценки:

1. Система автоматического управления, устойчивая в разомкнутом состоянии, будет устойчивой и в замкнутом состоянии, если АФЧХ W(jω) разомкнутой системы при изменении частоты от 0 до ∞ не охватывает критическую точку с координатами (-1, j0).

2. Для оценки устойчивости замкнутой системы, если разомкнутая система нейтрально устойчива, необходимо АФЧХ W(jω) разомкнутой системы дополнить дугой бесконечно большого радиуса, начиная с меньших частот, в отрицательном направлении и для полученной замкнутой кривой воспользоваться критерием Найквиста для систем, устойчивых в разомкнутом состоянии.

3. Система, неустойчивая в разомкнутом состоянии, будет устойчивой в замкнутом состоянии, если АФЧХ W(jω) разомкнутой системы при изменении частоты от 0 до ∞ охватывает критическую точку (-1,j0) в положительном направлении ровно р/2 раз, где р - число правых полюсов разомкнутой системы.

Исследуем разомкнутую систему для определения устойчивости замкнутой системы. Воспользуемся корневым методом:

WР(p), (32)

. (33)

Корни уравнения:

p1= -2p2= -0,08; p3= -0,14; (34)

Все корни характеристического уравнения левые отсюда следует, что система устойчива.

Получаем частотную передаточную функцию, подставив p=*jω*в разомкнутую передаточную функцию:

WР(p) (35)

Для того чтобы избавиться от мнимой единицы в знаменателе, умножим последнее выражение на :

W(jω)==

(36)

W(jω)= P(ω) + jQ(ω), (37)

где

P(ω) = , (38)

Q(ω) = , (39)

где

Pb(ω) = 1,08 – действительная часть числителя,

Qb(ω) = 0 – мнимая часть числителя,

Pa(ω) = – действительная часть знаменателя,

Qa(ω) =– мнимая часть знаменателя.

По полученным формулам рассчитаем Pa(ω), Pb(ω), Qa(ω), Qb(ω), P(ω), Q(ω), A(ω), ϕ(ω), занесем данные в табл. 2. Откладывая значение комплексной передаточной функции разомкнутой системы 𝑊р (𝑗𝜔) на комплексной плоскости при изменении частоты, получим амплитудно-фазовую характеристику (АФХ) разомкнутой системы (рис.9).

Таблица 2

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ω | Pa(ω) | Pb(ω) | Qa(ω) | Qb(ω) | P(ω) | Q(ω) |
| 0 | 1 | 1.08 | 0 | 0 | 1.08 | 0 |
| 0.05 | 0,766 | 1.08 | 0.970 | 0 | 0.542 | -0.686 |
| 0.10 | 0,065 | 1.08 | 1.908 | 0 | 0.019 | -0.565 |
| 0.15 | -1,104 | 1.08 | 2.783 | 0 | -0.133 | -0.335 |
| 0.20 | -2,740 | 1.08 | 3.564 | 0 | -0.146 | -0.190 |
| 0.25 | -4,844 | 1.08 | 4.219 | 0 | -0.127 | -0.110 |
| 0.30 | -7,415 | 1.08 | 4.716 | 0 | -0.104 | -0.066 |
| 0.35 | -10,454 | 1.08 | 5.024 | 0 | -0.083 | -0.040 |
| 0.40 | -13,960 | 1.08 | 5.112 | 0 | -0.068 | -0.025 |
| 0.45 | -17,934 | 1.08 | 4.948 | 0 | -0.056 | -0.015 |
| 0.50 | -22,375 | 1.08 | 4.5 | 0 | -0.046 | -0.009 |
| 0.55 | -27,284 | 1.08 | 3.737 | 0 | -0.039 | -0.005 |

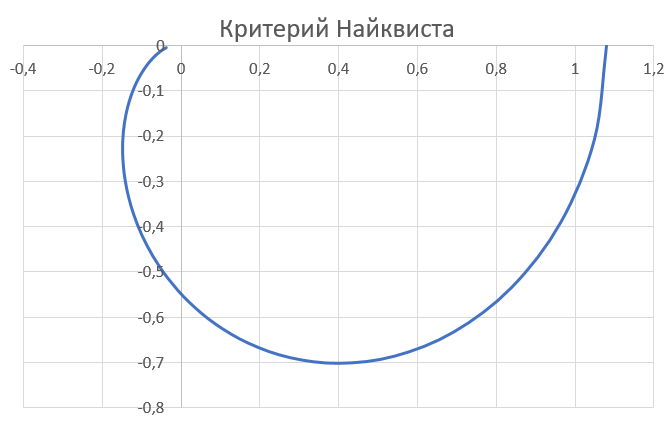


Рисунок 9 – АФЧХ разомкнутой системы

Вывод: анализируя полученную АФЧХ, можно заметить, что контрольная точка (-1; j0) не попадает внутрь контура кривой, соответствующей годографу, что говорит об устойчивости исследуемой системы.

## 2.4 Логарифмический критерий устойчивости

Логарифмический критерий устойчивости является частотным критерием и дает возможность судить об устойчивости замкнутой системы по виду логарифмической частотной характеристики разомкнутой системы.Данный критерий имеет следующую формулировку: «Система будет устойчива, если точка пересечения ЛАХ с осью частот лежит левее точки пересечения ЛФХ с прямой, соответствующей фазовому сдвигу 𝜃(𝜔)= -180 ﹾ»

На рис. 10 показаны логарифмические частотные характеристики для устойчивой (1) и неустойчивой (2) систем: 𝐿(𝜔) – логарифмическая амплитудная характеристика (ЛАХ), 𝜃(𝜔) – логарифмическая фазовая характеристика (ЛФХ), 𝜔с – частота среза системы, 𝜔1– частота фазового угла −𝜋 (или -180ﹾ).

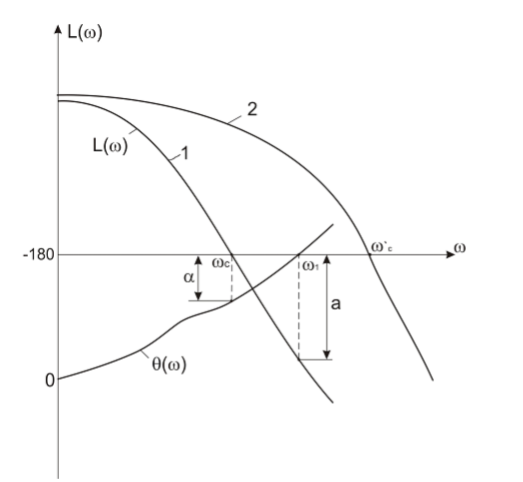


Рисунок 10 – Логарифмические частотные характеристики для устойчивой и неустойчивой систем

Для устойчивой системы 𝜔1>𝜔с и частота 𝜔1, при которой угол фазового сдвига 𝜃(𝜔) = −𝜋, соответствует области отрицательных ординат логарифмической амплитудной характеристики 𝐿(𝜔). Для неустойчивой системы (логарифмическая амплитудная характеристика 2) 𝜔1<𝜔с и частота 𝜔1 соответствует области положительных значений ординат ЛАХ (т.е. на этой частоте коэффициент усиления системы больше единицы).

На рис. 11 показаны логарифмические частотные характеристики для исследуемой САУ, построенные с использованием программной среды MATLAB/Simulink.

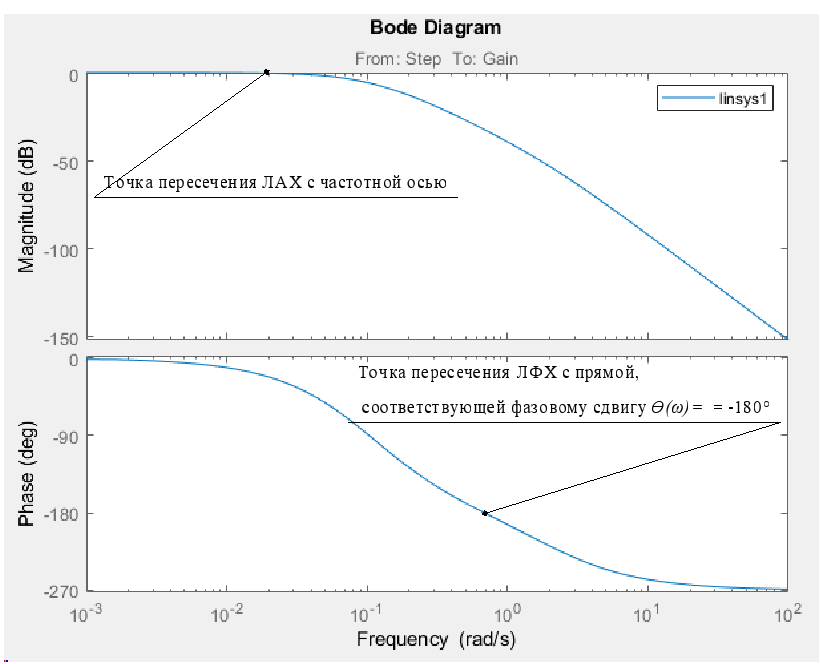


Рисунок 11 – Логарифмические частотные характеристики исследуемой системы

Вывод: система устойчива, т.к. точка пересечения ЛАХ с осью частот лежит левее точки пересечения ЛФХ с прямой, соответствующей фазовому сдвигу 𝜃(𝜔) = −180°.

ГЛАВА 3. Качество системы автоматического управления

Устойчивость системы является весьма важной ее характеристикой, определяющей работоспособность системы. Однако система должна не просто работать, но и обеспечивать требуемое качество работы. Теория автоматического управления рассматривает процессы в системах автоматического управления. Поэтому показатели качества работы системы связываются с качеством переходных процессов в системе при внешних воздействиях на систему.

Для полной характеристики системы автоматического управления применяют качественные показатели, характеризующие свойства системы. Качественные показатели системы можно разделить на следующие группы.

1. Оценки точности управления в системе, использующие величину ошибки 20 системы.

2. Оценка запаса устойчивости системы, характеризующая склонность системы к потере устойчивости.

3. Оценка быстродействия системы.

4. Косвенные и интегральные оценки, косвенно характеризующие точность и быстродействие системы.

При определении качественных показателей системы обычно рассматривается переходная характеристика системы в результате ступенчатого внешнего воздействия на систему. При рассмотрении переходной характеристики можно сделать ряд заключений о качестве системы. Следует иметь в виду, что оценка качества имеет смысл только для заведомо устойчивых систем. Неустойчивая система неработоспособна и невозможно обсуждать качество её работы.

## 3.1 Запасы устойчивости

Запас устойчивости – это количественная оценка, определяющая удаление расчетных параметров системы от зоны, опасной с точки зрения устойчивости . Формулировка запаса устойчивости системы зависит от того, какой критерий устойчивости применяется.

По критерию Михайлова запас устойчивости определяется радиусом окружности R, в которую не должен заходить годограф Михайлова. Центром окружности является «опасная» точка, то есть начало координат.

По критерию Найквиста «опасной точкой» является точка с координатами (−1;𝑗0). Оценка запаса устойчивости при этом критерии производится по амплитуде и фазе. Запас устойчивости по амплитуде определяется отрезком 𝐴, а запас по фазе определяется углом 𝑗.

При оценке устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам запас по амплитуде определяется отрезком 𝐴 при фазе 𝜑 = −𝜋 и измеряется в децибелах. Запас устойчивости по фазе определяется по фазовой частотной характеристике при частоте среза, то есть при частоте пересечения ЛАЧХ оси частот. В этой точке значение ЛАЧХ равно нулю, так как модуль АФЧХ в этой точке равен единице.

Независимо от принятой формы запас устойчивости является количественной характеристикой, и применение его при расчетах является определенной гарантией устойчивости системы в реальных условиях.

Для того, чтобы найти запасы устойчивости системы воспользуемся программой Matlab, в которой произведем построение логарифмических частотных характеристик разомкнутой САУ (рис. 12):

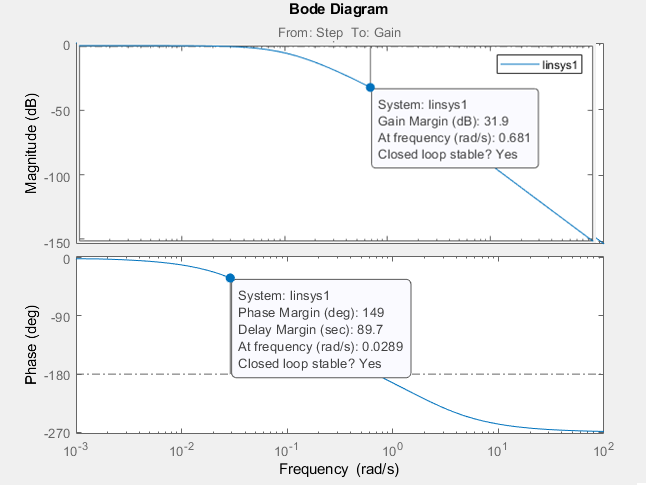


Рисунок 12 - логарифмические частотные характеристики разомкнутой САУ, построенные в ПО Matlab

Вывод: Исходя из графиков, запас по амплитуде равен 31,9 дБ, запас устойчивости по фазе равен 149°, (рекомендованные значения А≥10…12 дБ,𝜑≥ 30°…60°), следовательно, запасы устойчивости достаточны.

## 3.2 Оценка точности

Определим коэффициенты ошибок. Передаточная функция системы по ошибке:

WΔ(p)==, (40)

где ==42; ==93,5; ==19,5;

=1; =42;

Представим 𝑊∆(𝑝) в виде бесконечного степенного ряда:

𝑊∆(𝑝) = 𝑆0 + 𝑆1*p*+ *S*2𝑝2 + …*S*k𝑝k (41)

где коэффициенты ошибок *S*k определяются по формуле:

*S*k=(42)

𝑆0=(43)

𝑆1= =4,87 (44)

𝑆2=

(45)

Установившаясяошибка

∆(𝑡) =𝑆0*x*вх(t) + 𝑆1+𝑆2=

=0.481*x*вх(t) + 4,87-22,33(46)

Вывод: при 𝑥(𝑡) = 1,∆𝑥(𝑡) = 0.481 – статическая ошибка системы присутствует (система статическая); при 𝑥(𝑡) = 𝑡,∆𝑥(𝑡) = 0,481𝑡 + 4,87 – скоростная ошибка линейно возрастает с течением времени; при 𝑥(𝑡) = 𝑡2,∆𝑥(𝑡) = 0,481𝑡2 + 9,74𝑡 – 22,33 – ошибка от ускорения возрастает с течением времени.

## 3.3 Показатели качества переходного процесса

Для определения показателей качества необходимо построить переходную характеристику. Переходная характеристика ℎ(𝑡) представляет собой решение дифференциального уравнения (ДУ) системы:

*a*3+*a*2 + *a*1+*a*0*x*вых(t)=*b*0*x*вх(t) (47)

при *x*вх(t) = 1 и нулевых начальных условиях. Подставив ℎ(𝑡) = , получим ДУ:

*a*3+*a*2 + *a*1+*a*0*h*(t)=*b*0, (48)

коэффициенты определены при выводе передаточной функции замкнутой системы: =42; *b*0=1,08.

Перепишем ДУ в виде:

*a*3+*a*2 + *a*1+*a*0*(h*(t)-)=*0* (49)

Обозначив *h1(t)=h*(t) -, получим однородное дифференциальное уравнение:

*a*3+*a*2 + *a*1+ *a*0=*0* (50)

Для его решения необходимо найти все корни характеристического уравнения:

*a*3*p3+a*2*p2*+ *a*1*p+a*0*0,* (51)

*42 p3+ 93,5p2+19,5 p + 2,08 = 0.* (52)

Так как уравнение третьего порядка, получим три корня:

P1 = –2,01 = –β, (53)

P2,3 = –0,11± j∙ 0,11 = –α± j∙ω, (54)

где обозначено

β = 2,01; (55)

α = 0,11; (56)

ω = 0,11 c-1 . (57)

Получен один действительный корень и два комплексных. Поэтому решение ДУ имеет вид

*h1(t)=*. (58)

Переходная характеристика системы

*h*(t) *=* +*h1(t)=*+ . (59)

Величина = 0,519

Постоянные величины найдем из начальных условий:

ℎ(0) = 0;=0; = 0 (60)

Вычисляя первую и вторую производные функции h(t) при t = 0 и решая полученную систему уравнений относительно C1, C2, C3, получим:

Таким образом, переходная характеристика:

*h*(t)*=*-0.0031**+**

(61)

Построим график переходного процесса с помощью программного обеспечения MicrosoftExcel:

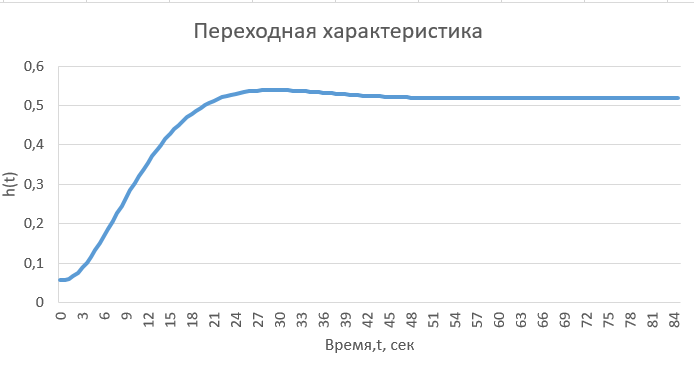


Рисунок 13 – График переходного процесса

Вывод: по рисунку 13 мы видим, что время переходного процесса t =38,6 с, установившиеся значение 0,519.

ГЛАВА 4. Синтез системы

В теории автоматического управления задача синтеза понимается и сводится к задаче выбора параметров системы и определения необходимых структурных изменений некоторой имеющейся системы, направленных на обеспечение требуемого качества системы. Решение задачи выбора параметров системы с целью обеспечения необходимого качества рассматривается как задача параметрического синтеза системы. В том случае, когда решается задача определения необходимых структурных изменений системы для обеспечения её заданного качества, говорят о структурном синтезе системы.

При решении задачи структурного синтеза структурные изменения системы достигаются введением в систему некоторых дополнительных элементов, называемых корректирующими звеньями. Вид корректирующего звена и его параметры выбираются таким образом, чтобы качественные показатели системы после введения в нее корректирующего звена улучшились и достигли заданных значений. К структурному синтезу приходится прибегать в том случае, когда никакие изменения параметров системы не дают желаемого результата.

## 4.1 Построение логарифмических частотных характеристик

Логарифмические частотные характеристик (ЛЧХ) или диаграммы Боде позволяют упростить построения за счет замены реальной характеристики асимптотической; упростить расчеты за счет замены умножения коэффициентов последовательных звеньев геометрическим сложением графиков; растянуть низкочастотный диапазон исследования системы и сжать высокочастотный. Построение ЛАЧХ начинается с низкочастотной асимптоты, ее строят по двум параметрам:

- степень астатизма 𝜈 = 𝑟 − 𝑙 ((здесь 𝑟 − число нулевых корней знаменателя, 𝑙 − числителя);

– добротность 𝐾 – отношение свободных членов полиномов числителя и знаменателя ПФ после выделения нулевых корней.

Низкочастотную асимптоту или ее продолжение проводят через точку с координатами 𝑙𝑔𝜔 = 0 (𝜔 = 1) и 𝐿(𝜔) = 20𝑙𝑔𝐾 слева направо с наклоном 𝜈(−20 дБ/дек) до первой (наименьшей) частоты сопряжения.

Частоты сопряжения находят по корням (постоянным времени 𝑇) простых дробей, на которые разбивают ПФ, или типовых звеньев, из которых состоит структурная схема системы регулирования.

Определяем параметры НЧ–асимптоты:

– степень астатизма 𝜈 = 0 − 0 = 0 (не имеется ни одного нулевого корня в знаменателе); – добротность 𝐾 = 1,08; 20𝑙𝑔𝐾 = 0,668.

Находим частоты сопряжения:

(62)

(63)

Строим график ЛАЧХ по найденным значениям.

## 4.2 Построение логарифмических частотных характеристик с заданными показателями качества

Так как при оценке устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам запас устойчивости по фазе и амплитуде оказался достаточен, время регулирования нас удовлетворяет, за задачу синтеза примем устранение статической ошибки системы.

Выбираем следующую желаемую частоту среза:

(64)

Проводим через нее прямую с наклоном −20 дБ/дек и границами:

(65)

(66)

После чего достраиваем желаемую характеристику.

Далее строим разностную ЛАЧХ отнимая график желаемой от исходной и по полученному графику ищем передаточную функцию корректирующего звена.

В ходе синтеза было решено ввести еще одно корректирующее звено с интегратором, т.к. установившееся значение в исходной переходной характеристике отлично от единицы. Для этого желаемая ЛАЧХ была продлена вверх линией с наклоном −20 дБ/дек до пересечения с осью ординат. Далее построена разностная характеристика и найдена ПФ корректирующего звена.

Таким образом ПФ этих звеньев:

, (67)

где *T1=*c; *T2=*c; *T3=*c.

Находим коэффициент усиления ПФ корректирующих звеньев, для этого мысленно продолжим прямую разностной характеристики с углом -20 дБ/дек до пересечения с осью частот. Точка пересечения и будет является коэффициентом усиления ПФ.

*К=0,14* (68)

Проведём проверку синтеза.

## 4.3 Определение устойчивости скорректированной САУ

Определим устойчивость скорректированной САУ по логарифмическому критерию.

Для этого построим модель скорректированной САУ (рис.14).

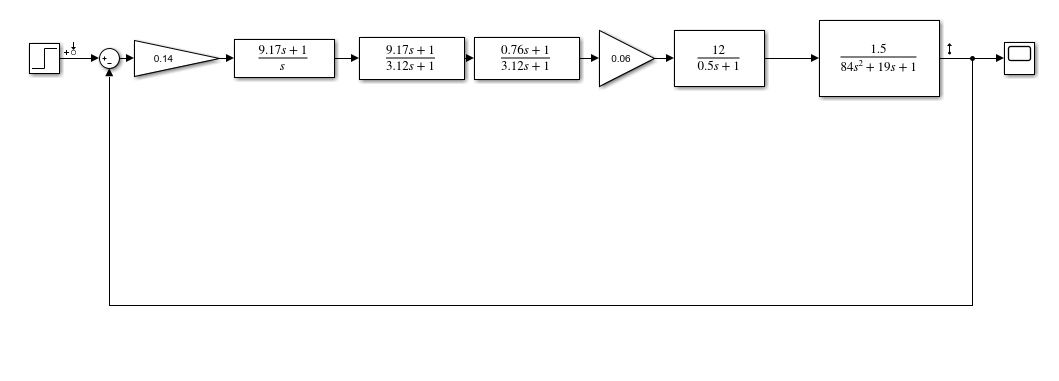


Рисунок 14 – Модель замкнутой САУ с корректирующим звеном

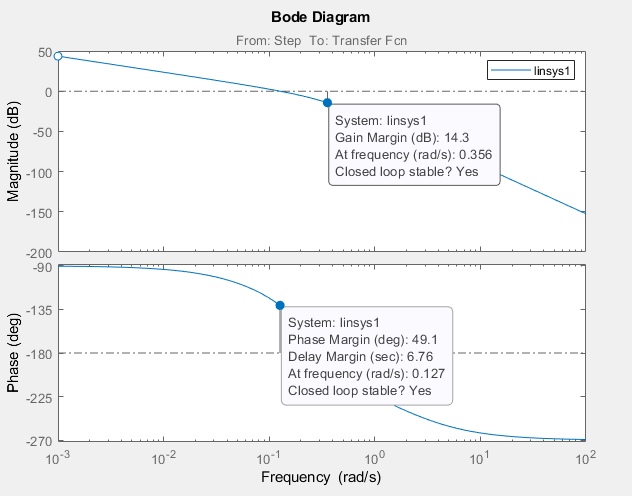
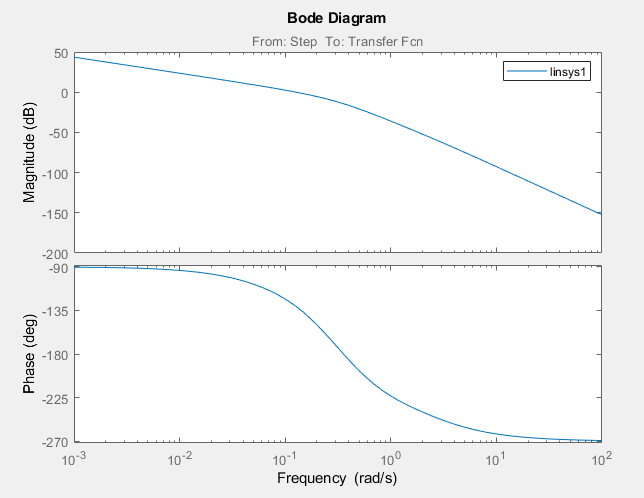


Рисунок 15 - Логарифмические характеристики скорректированной САУ

На рис.15 показаны логарифмические частотные характеристики для скорректированной САУ, построенные с использованием программной среды MATLAB/Simulink с введенным корректирующим звеном. Из ЛЧХ видно, что точка пересечения ЛАЧХ с осью частот лежит левее точки пересечения ЛФЧХ с прямой, соответствующей фазовому сдвигу 𝜃(𝜔) = −180°.

Вывод: скорректированная система устойчива, т.к. точка пересечения ЛАЧХ с осью частот лежат левее точек пересечения ЛФЧХ с прямой, соответствующей фазовому сдвигу 𝜃(𝜔) = −180°.

## 4.4 Показатели качества переходного процесса скорректированной САУ

## 

Строим переходную характеристику (рис.16) и определяем показатели качества скорректированной САУ с помощью программной среды MATLAB/Simulink.

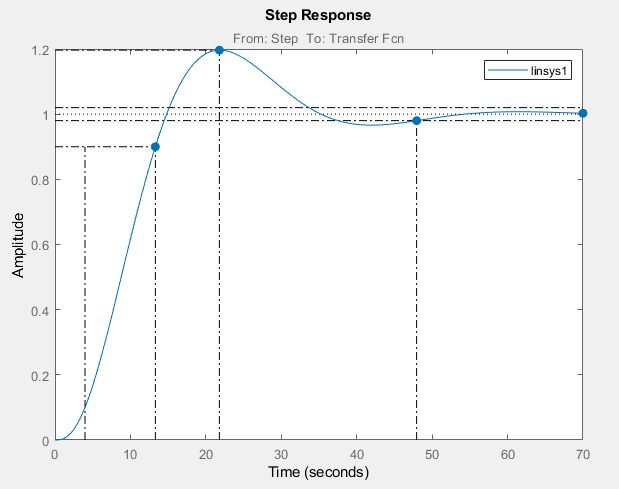


Рисунок 16 – Переходная характеристика скорректированной САУ

Определим запас по фазе и амплитуде скорректированной системы по логарифмическим характеристикам (рис. 15).

*L*зап=14,3 дБ (69)

𝜑зап=49,1 ° (70)

Показатели качества САУ:

– установившееся значение ℎ(𝑡) = 1

– время регулирования *t*р= 47,9 с

– перерегулирование 𝛿 = 19,6 %

– статическая ошибка отсутствует, система астатическая

Заключение

В данной курсовой работе был проведен анализ и синтез системы автоматического управления концентрации сернистого газа. По исходным элементам, входящим в состав системы, были найдены передаточные функции отдельных звеньев, найдены передаточные функции разомкнутой, замкнутой и передаточной функции по ошибке.

Выполнена проверка системы на устойчивость по частотным критериям Михайлова, Найквиста, а также по алгебраическому критерию Гурвица. Система оказалась устойчивой, запас устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам по амплитуде и фазе достаточен.

При постановке задачи синтеза были определены желаемые параметры работы системы автоматического регулирования. С помощью синтеза системы автоматического управления концентрации сернистого газа было найдено и введено корректирующее звено. Таким образом, была получена скорректированная система, удовлетворяющая требуемым показателям качества.

Список использованной литературы

1. Ситников Д.В. Теория автоматического управления: Методические указания для самостоятельной работы студентов дневной формы обучения. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2003, – 40 с.

2. Федотов А.В. Теория автоматического управления: Конспект лекций. – Омск: Издательство ОмГТУ, 2007, – 176 с.