МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**



Институт текстильной индустрии и моды

Кафедра мехатроники и радиоэлектроники

Курсовая работа по дисциплине

“Теория линейных непрерывных систем автоматического управления”

для студентов, обучающихся по направлению подготовки

15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Профиль Автоматизация технических систем и технологических процессов в текстильной и легкой промышленности

Выполнил студент группы Атпп31

Панкратов Сергей Андреевич

Шифр 186081

Вариант №17

2022

Оглавление

[Введение 3](#_Toc114136602)

[Задание 6](#_Toc114136603)

[Расчетная часть 7](#_Toc114136604)

[1. Анализ технического задания 7](#_Toc114136605)

[2. Выбор основных компонентов системы 9](#_Toc114136606)

[2.1. Расчет мощности и выбор исполнительного двигателя 9](#_Toc114136607)

[2.2 Выбор усилителя мощности 12](#_Toc114136608)

[3 Составление передаточных функций элементов следящей системы 13](#_Toc114136609)

[3.1 Исполнительный двигатель 13](#_Toc114136610)

[3.2 Электромашинный усилитель 13](#_Toc114136611)

[3.3 Усилитель 14](#_Toc114136612)

[3.4 Фазовый детектор 14](#_Toc114136613)

[3.5 Измерительное устройство 15](#_Toc114136614)

[3.6 Редуктор 15](#_Toc114136615)

[4 Расчет непрерывного корректирующего звена методом ЛАЧХ 15](#_Toc114136616)

[4.1Построение ЛАЧХ заданной (нескорректированной) системы 15](#_Toc114136617)

[4.2 Расчет последовательного непрерывного корректирующего звена методом ЛАЧХ 18](#_Toc114136618)

[4.3 Построение ЛАЧХ заданной системы по виду передаточной функции 19](#_Toc114136619)

[Заключение 23](#_Toc114136620)

[ЛИТЕРАТУРА 25](#_Toc114136621)

# Введение

При проектировании САУ обычно задаются необходимые для нормальной работы показатели качества регулирования при некотором типовом воздействии. При этом решается как задача анализа, так и задача синтеза. Задача синтеза противоположна задаче анализа. Если при анализе структура и параметры заданы, а ищут или рассматривают поведение системы в заданных условиях, то в задаче синтеза задание и цель меняются местами.

Характер задания может быть различным. Существуют методы синтеза, при которых задается кривая переходного процесса. Однако реализация систем с переходным процессом, заданным чрезмерно жестко, как правило, оказывается весьма трудной: система получается неоправданно сложной и зачастую нереализуемой, в то время как небольшое отступление от заданной кривой может привести к существенному упрощению структуры. Поэтому более распространен метод задания более грубых качественных оценок, таких, как перерегулирование и время регулирования или же показатель колебательности, при которых сохраняется большая свобода в выборе детальной формы кривой переходного процесса. Задание кривой переходного процесса не исключено: им обычно пользуются при синтезе систем сложной структуры, когда требуется регулирование нескольких координат.

Задача синтеза обычно имеет множество решений, и выбор из этого множества наиболее рационального решения не может быть сделан только на основании математических расчетов. Это больше инженерная, чем математическая задача. Чаще всего задается ряд элементов системы управления (объект регулирования, двигатели, усилители и т. п., поскольку при построении систем разумно максимально использовать широкую номенклатуру элементов автоматики, выпускаемых промышленностью). Нередко выбор основных типовых звеньев предопределяет и основные черты структуры системы. Назовем совокупность заданных элементов неизменяемой частью системы, а ту часть, которую надо найти в процессе синтеза, — изменяемой частью системы или корректирующим устройством.

При инженерном синтезе САУ необходимо обеспечить, во-первых, требуемую точность и, во-вторых, желаемый характер переходных процессов.

Решение первой задачи в большинстве случаев сводится к определению требуемого общего коэффициента усиления системы и, в случае необходимости,— вида корректирующих средств, повышающих точность системы. Эта задача может решаться при помощи определения ошибок в типовых режимах на основе критериев точности. Решение этой задачи, как правило, не сопряжено с трудностями принципиального или вычислительного характера, так как критерии точности достаточно просты для их практического использования. В сложных случаях можно прибегать к помощи моделирования. Решение оказывается сравнительно простым вследствие необходимости установления значений относительно небольшого числа параметров. В простейшем случае необходимо найти только общий коэффициент усиления системы.

Решение второй задачи — обеспечение приемлемых переходных процессов — оказывается почти всегда более трудным вследствие большого числа варьируемых параметров и многозначности решения задачи демпфирования системы. Поэтому существующие инженерные методы часто ограничиваются решением только второй задачи, так как их авторы считают, что обеспечение требуемой точности может быть достаточно просто сделано на основании использования существующих критериев точности и совершенствования их практически не требуется.

Цель проекта – разработка следящей системы, удовлетворяющей заданным техническим условиям.

В соответствии с заданием необходимо разработать следящую систему, удовлетворяющую определенным техническим условиям. Система должна обеспечивать синхронное и синфазное вращение двух осей, механически не связанных между собой. Входом системы является угол поворота сельсина-датчика, а выходом – угол поворота выходного вала редуктора, механически связанного с рабочим механизмом и с ротором сельсина-приемника.

Следящие системы рассматриваемого типа широко применяются для дистанционного управления различными механизмами, а также при построении автоматических систем управления в различных отраслях промышленности.

# Задание

Измерительное устройство – сельсинная пара.

Исполнительный двигатель – двигатель постоянного тока серии МИ.

Усилитель мощности – электромашинный усилитель с поперечным полем.

Исходные данные для проектирования системы.

Статический момент нагрузки объекта управления – *M*ос, [Н⋅м].

Момент инерции объекта управления – *J*о, [кг⋅м2 ]

Максимальная угловая скорость объекта управления –*ω*о max.[c-1]

Максимальное угловое ускорение объекта управления – *ε*о max.[c-2]

Требования, предъявляемые к качеству процесса управления:

максимальное перерегулирование – *σ*max,[%];

время регулирования – *t*р, [с];

максимальная кинетическая ошибка – *x*max, [рад].

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вари-  ант | Статический момент нагрузки  *Мос*, Нм | Момент  инерции  объекта  управления  *J*0, кгм2 | Максим.  угловая  скорость  **0max, с-1 | Максим.  угловое  ускорен.  **0max, с-2 | Максим.  кинетическая  ошибка  *x*max, рад. | Максим.  перерегулирование  **max, % |
| 17 | 250 | 180 | 1,0 | 0,04 | 0,01 | 25 |

tр=2,0 c.

# Расчетная часть

# 1. Анализ технического задания

Представленная система автоматического регулирования предназначена для автоматического воспроизведения заданного угла поворота.

Цель управления – поддержание угла поворота исполнительной оси равным углу поворота командной оси.

Объект регулирования (ОР) – функциональный элемент, в котором протекает управляемый (регулируемый) процесс в соответствии с алгоритмом функционирования.

Для данной системы объектом регулирования служит исполнительная ось.

Задающее воздействие G(t) – требуемое значение регулируемой величины. В данной системе это задаваемый угол поворота.

Регулируемая величина X(t) – это физический параметр, характеризующий состояние объекта управления (регулирования).

Для данной системы регулируемой величиной является отклонение угла поворота.

Возмущающее воздействие f(t) – это воздействие, нарушающее требуемую функциональную зависимость (связь) между задающим воздействием и управляемой величиной.

Для данной системы возмущающим воздействием является момент нагрузки М(t) на оси управляемого объекта.

Управляющее воздействие Q(t) – это воздействие, поступающее с регулирующего органа на ОУ для изменения режима его работы.

Для данной системы управляющим воздействием является поворот оси редуктора, равный повороту исполнительной оси.

Функциональная схема ОР и взаимодействующие с ним сигналы показаны на рис. 1.

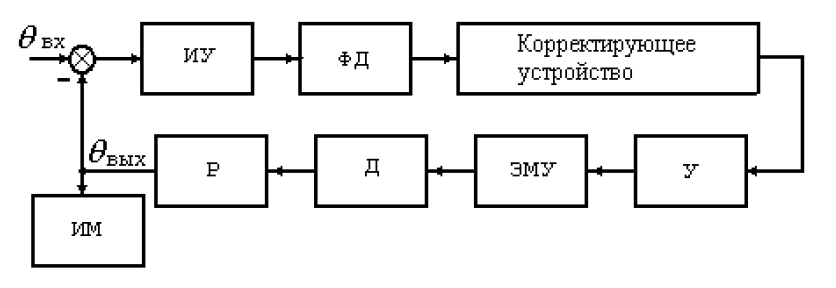


Рис. 1. Функциональная структурная схема цифровой следящей системы.

Д - исполнительный двигатель - двигатель постоянного тока серии МИ,

ЭМУ– электромашинный усилитель с поперечным полем в качестве усилителя мощности

ИУ - измерительное устройство - сельсинная пара: сельсин-датчик и сельсин-трансформатор

ФД - фазовый детектор для согласования того, что измерительное устройство работает на переменном токе, а усилитель мощности и исполнительный двигатель – на постоянном токе,

КУ - корректирующее устройство,

У - усилитель напряжения,

Р - редуктор, посредством которого исполнительный двигатель соединяется с объектом управления и ротором сельсина-трансформатора,

ИМ - объект управления.

Система слежения такого типа широко используется для дистанционного регулирования разными механизмами, а также при построении автоматических систем регулирования в разных отраслях промышленности.

# 2. Выбор основных компонентов системы

# 2.1. Расчет мощности и выбор исполнительного двигателя

Выбор исполнительного двигателя на основании определения мощности, требуемой от двигателя, сделаем по формуле:

где

Ptr - мощность, требуемая от двигателя [Вт];

Jnо - момент инерции нагрузки [кг·м2];

Mос - статический момент нагрузки (трение) [Н·м];

Joεomax - максимальное ускорение объекта регулирования [рад/с];

Wmax - максимальная скорость объекта регулирования [рад/сек2]

*ղ*р–КПД редуктора.

Далее выбираем двигатель, мощность которого больше расчетной в полтора раза. Из приведенной таблицы выбран двигатель:

МИ-41.

Параметры двигателя:

Номинальная мощность Рн=1100Вт

1. Количество оборотов двиг. N=1500об/мин

2. КПД ηд=78%

3. Номинальный ток Iн=13,0A

4. Номинальное напряжение питания Uу.п=110В

5. Момент инерции двигателя Jдв=0,035кг\*м2

Задаваясь моментом инерции редуктора, приведенным к валу двигателя

найдем передаточное число редуктора:

Требуемый момент:

Номинальный момент выбранного двигателя равен:

Проведем проверку двигателя:

по моменту 1,169/7=0,2< 10;

по скорости:

В результате проверок двигателя по моменту и скорости видно, что второе условие не выполняется и двигатель перегружен. Нужно выбрать более мощный двигатель.

Выбираем двигатель МИ-42.

Параметры двигателя:

Номинальная мощность Рн=3200Вт

Количество оборотов двиг. n=2500об/мин

КПД ηд=78%

Номинальный ток Iн=36,2A

Номинальное напряжение питания Uу.п=110В

Момент инерции двигателя Jдв=0,065кг\*м2

Последовательно определяем следующие величины:

номинальную угловую скорость двигателя

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | [с-1] |

номинальный момент двигателя *Мн*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | [Н\*м] |

оптимальное передаточное число редуктора *i*р

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

где *Jр*=0,001 кг\*м2 - момент инерции редуктора.

Определяем требуемый момент на валу двигателя:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | [Н\*м] |

Выбранный двигатель нужно проверить, удовлетворяет ли он по моменту и скорости в соответствии со следующими условиями:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | <10 | коэффициент допустимой перегрузки |
|  |  | <1,5 | коэффициент допустимого кратковременного увеличения скорости двигателя сверх номинальной |

В результате проверок двигателя по моменту и скорости видно, что он не перегружен. Следовательно, двигатель МИ-42 выбран правильно.

# 2.2 Выбор усилителя мощности

В качестве усилителя мощности используем ЭМУ с поперечным по­лем. При выборе усилителя необходимо соблюдать следующие условия.

Номинальная мощность усилителя должна удовлетворять неравенству

Номинальное напряжение усилителя должно быть не меньше но­минального напряжения исполнительного двигателя.

Номинальный ток усилителя должен быть не меньше, чем номи­нальный ток двигателя.

По заданным параметрам выберем усилитель мощности ЭМУ-70А-3.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Мощ-ность, кВт | Мощность,  управле-ния, Вт | Напря-жение, В | Ток  якоря, А | Сопро-тивление  обмотки управле-ния, Ом | Постоянные времени, с | |
| *Т*у | *Т*кз |
| 6,0 | 0,5 | 230 | 26 | 1500 | 0,04 | 0,22 |

# 3 Составление передаточных функций элементов следящей системы

# 3.1 Исполнительный двигатель

Передаточная функция исполнительного двигателя по углу поворота имеет вид (если пренебречь индуктивностью цепи якоря)

где *Кд -*коэффициент передачи двигателя, рад/В-с:

|  |  |
| --- | --- |
|  | [В-1\*с-1] |

*Тд*-электромеханическая постоянная времени:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | [с] |  |

где *а*=1,2 - постоянный коэффициент;

*Jc*- суммарный момент инерции, приведенный к валу двигателя.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  |  | [Н\*м]  [В\*с]  [Н\*м\*А-1] |  |

Подставляя значения, получаем передаточную функцию двигателя

# 3.2 Электромашинный усилитель

Передаточная функция ЭМУ



где *Кэму*- коэффициент усиления ЭМУ по напряжению



*Uэму* - напряжение на выходе ЭМУ;

*Uy*- напряжение обмотки управления ЭМУ

|  |  |
| --- | --- |
|  | [В] |

*Ру, Ry*- соответственно мощность и сопротивление обмотки управления ЭМУ;

*Ту, Ткз* - постоянные времени обмотки управления и короткозамкнутой обмотки якоря ЭМУ.

Подставляя значения, получаем передаточную функцию ЭМУ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

# 3.3 Усилитель

Усилитель служит для согласования выходного сигнала ЦАП с входным сопротивлением обмотки управле­ния ЭМУ. Его можно считать безынерционным звеном с передаточной функцией

Примем

# 3.4 Фазовый детектор

Передаточная функция фазового детектора

Wфд (s) = Кфд,

где *Кфд* = 1 - коэффициент передачи фазового детектора.

3.5 Измерительное устройство

Передаточная функция измерительного устройства

Wиу(s)=Киу,

где *Киу=* 1 рад - коэффициент передачи измерительного устройства.

# 3.6 Редуктор

Передаточная функция редуктора

Структурная схема нескорректированной следящей системы пред­ставлена на рис. 2.

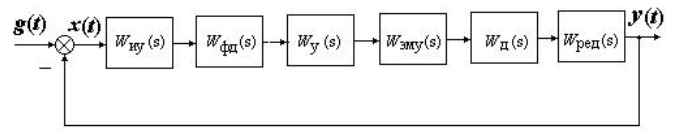


Рис. 2. Структурная схема нескорректированной следящей системы.

# 4 Расчет непрерывного корректирующего звена методом ЛАЧХ

# 4.1Построение ЛАЧХ заданной (нескорректированной) системы

Выполним расчеты с помощью приложения Control  
SystemToolboxвычислительной системы MATLAB

% Скрипт расчета

% Ввод ПФ звеньев

Wiu=tf([1],[0,1]);

Wfd=tf([1],[0,1]);

Wu=tf([370],[0,1]);

W1=tf([8.4],[0.22,1]);

W2=tf([1],[0.04,1]);

Wemu=W1\*W2;

W3=tf([2.38],[1,0]);

W4= tf([1],[0.0597,1]);

Wd=W3\*W4;

Wred=tf([1/367],[0,1]);

% ПФразомкнутойсистемы

Wr=Wiu\*Wfd\*Wu\*Wemu\*Wd\*Wred

% Переходныйпроцесс

step (Wz) ; gridon

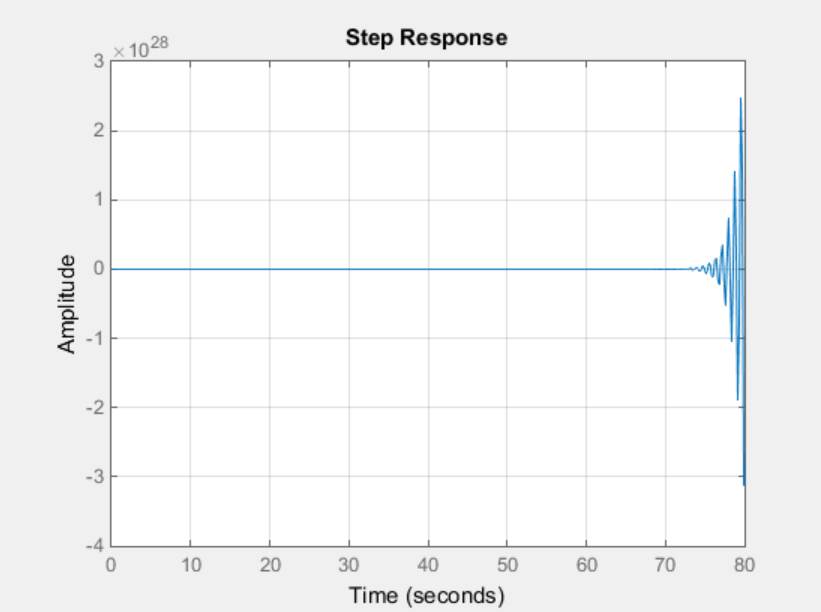


Рис. 3. Переходный процесс.

Определим частотные характеристики

margin (Wz) ; gridon

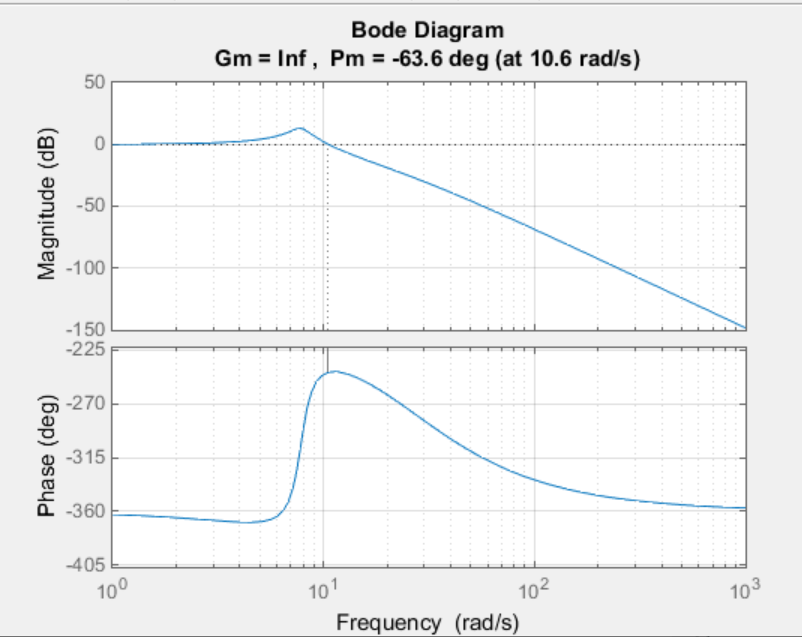


Рис. 4. Годограф Боде.

Расчеты показали неудовлетворительную переходную характеристику и частотные характеристики, т.е. требования задания не выполнены, требуется корректировка.

Определим устойчивость системы по критерию Найквиста.

Критерий Найквиста - частотный критерий, позволяющий по виду амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой системы оценить устойчивость работы замкнутой системы.

Построим диаграмму Найквиста для заданных условий:

nyquist (Wr) ; gridon

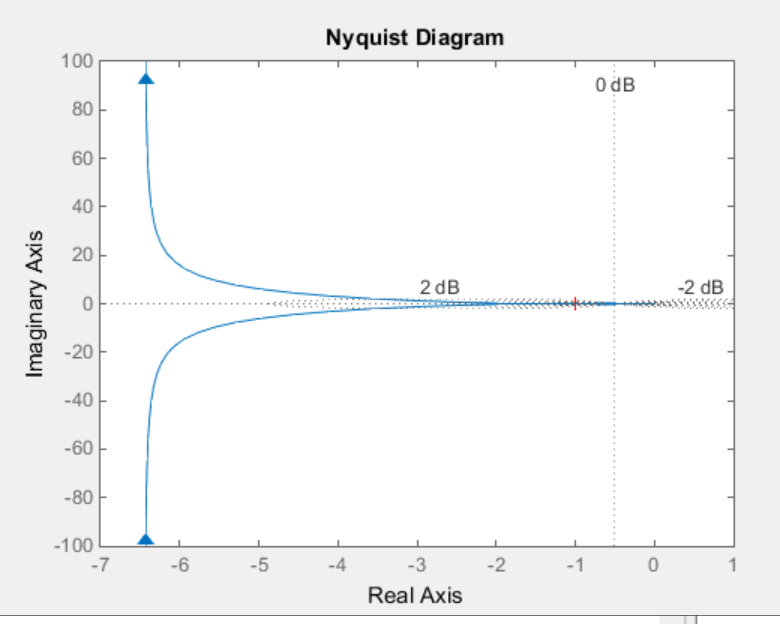


Рис. 5. Диаграмма Найквиста.

***Критерий устойчивости Найквиста:***

В нашем случае система неустойчива.

Отметим, что годограф Найквиста является одновременно и АФХ разомкнутой нескорректированной системы.

# 4.2 Расчет последовательного непрерывного корректирующего звена методом ЛАЧХ

Построение логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ) корректирующего звена проводится в следующей последовательности.

1. Строится ЛАЧХ заданной (нескорректированной) системы.

2. Строится желаемая ЛАЧХ по заданным показателям качества переходного процесса.

3. Строится ЛАЧХ параллельного корректирующего звена путем деления ЛАЧХ заданной системы и желаемой ЛАЧХ.

4. По виду ЛАЧХ корректирующего звена определяется его передаточная функция (непрерывная).

# 4.3 Построение ЛАЧХ заданной системы по виду передаточной функции

Требования к системе:

Определим параметры желаемой ПФ.

Амплитуда и частота гармонического воздействия:

Координата контрольной точки А:

Границы среднечастотной области:

В высокочастотной области желаемая ЛАХ должна повторять наклон ЛАХ нескорректированной системы, а именно -80 дБ/дек, поэтому выбираем

Желаемый коэффициент усиления

Т.к.

То примем

ПФ корректирующего устройства

Рассчитаем скорректированную САР на основе ЛАЧХ

% Расчет скорректированной САР

% ПФ корректирующего звена

W5= tf([50],[0.01,0]);

W6= tf([0.01 1],[0.011,1]);

W7= tf([1],[0.001,1]);

Wk=W5\*W6\*W7;

% ПФскорректированнойсистемы

Wsk=Wz\*Wk;

% Переходныйпроцессскорректированнойсистемы

step (Wsk) ; gridon



Рис. 5.Переходный процессскорректированной системы.

stepinfo(Wsk)

ans =

RiseTime: 0.2907

SettlingTime: 1.6923

SettlingMin: 0.9052

SettlingMax: 1.2436

Overshoot: 24.3607

Undershoot: 0

Peak: 1.2436

PeakTime: 0.8004

Перерегулирование 24%, длительность переходного процесса 1,7с. Требования ТЗ удовлетворены.

Определим частотные характеристики

% Диаграмма Боде скорректированной системы

margin (Wsk) ; gridon

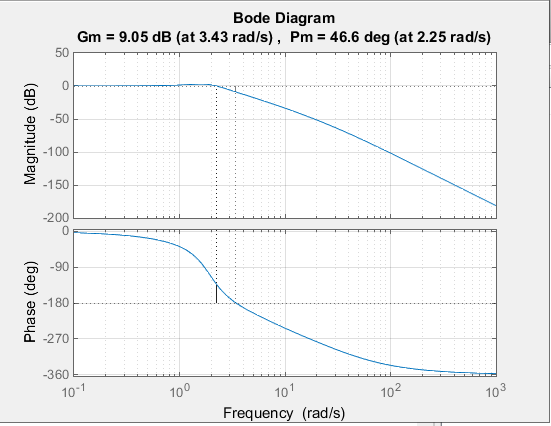


Рис. 6.Годограф Боде.

Запасы устойчивости по амплитуде 3,43 дБ, по фазе 46,6º.

Расчеты показали удовлетворительную переходную характеристику и частотные характеристики, т.е. требования задания выполнены.

# Заключение

Целью выполнения курсового проекта было проектирование и расчет следящей системы воспроизведения скорости вращения командной оси вала двигателя.

Принцип замкнутого цикла характеризуется сравнением управляющего воздействия с действительным значением регулируемой величины за счёт применения обратной связи и элемента сравнения. Образующийся в результате сравнения сигнал ошибки не должен превышать некоторой заданной величины. За счёт этого и обеспечивается в замкнутых системах требуемый закон изменения регулируемой величины.

В ходе выполнения курсового проекта была изучена и проанализирована учебно-методическая документация и учебная литература по рассматриваемой теме.

На основе выбранных в соответствии с техническим заданием функционально-необходимых элементов следящей системы была построена её структурная схема, по которой были рассчитаны передаточные функции компонентов и системы в целом.

По полученной передаточной функции была построена переходная характеристика, на основе которой были найдены показатели качества регулирования и определен характер процесса. Кроме того, была проведена проверка на устойчивость.

Для обеспечения заданных показателей качества переходного процесса в систему вводится корректирующее звено. Расчет корректирующего звена проводился методом логарифмических частотных характеристик.

Анализ работы следящей системы показал, что система корректно выполняет свою задачу – воспроизводит угол командной оси. Но при этом, сравнив фактическое значение колебательности системы со значением, указанным в техническом задании на выполнение курсового проекта, был сделан вывод, что следящая система воспроизведения угла нуждается в коррекции.

Для достижения требуемого уровня качества необходимо добавлять корректирующее устройство.

# ЛИТЕРАТУРА

1. Бесекерский, В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования / Бесекерский В.А., Попов Е.П. *-* М.: Наука, 1972. *-* 766 с.

2. Топчеев, Ю.И. Атлас для проектирования систем автоматического регулирования: Учеб. пособие для втузов. *-* М.: Машиностроение, 1989. *-* 752 с.

3. Кулида, Н.А. Исследование линейных систем автоматического управления и их элементов с помощью вычислительной системы MAT­LAB(версия 6.5). - Иваново: ИГТА, 2005. - 40 с.

4. Кулида, Н.А. Исследование линейных систем автоматического управления с помощью приложения ControlSystemToolboxвычисли­тельной системы MATLAB(версия 6.5). - Иваново: ИГТА, 2005. - 32 с.