

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизации и управления

Кайыркенов Нуржан Болатжанулы

Разработка системы автоматического регулирования электроприводом

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Специальность 5В070200 – Автоматизация и управление


Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизации и управления

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой АиУ
 Алдияров Н.У.
«10» мая 2021 г.

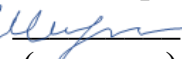
ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: «Разработка системы автоматического регулирования электроприводом»

По специальности: 5В070200 - Автоматизация и управление

Выполнил

Кайыркенов Н.Б.

Научный руководитель
канд. техн. наук,
ассоциированный профессор
 Ширяева О. И.
(подпись)
10 мая 2021 г.

Алматы 2021

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева

Институт промышленной автоматизации и цифровизации

Кафедра автоматизация и управление

5B070200 - Автоматизации и управления

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АиУ

 _____ Алдияров Н.У.

«10» мая 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Кайыркенов Н.Б.

Тема: «Разработка системы автоматического регулирования электроприводом».

Утвержден приказом ректора Университета № 2131-б от «24» ноября 2020 г.

Срок сдачи законченной работы: "10" мая 2021 г.

Исходные данные дипломного проекта: математическая модель системы управления.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов или краткое содержание дипломного проекта: а) описать технологический процесс; б) разработать функциональную схему автоматизации системы, структурную схему системы управления; в) решить задачи анализа и синтеза системы.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): принципиальная схема системы регулирования электроприводом, структурная схема.




Рекомендуемая основная литература: техническая литература по автоматизации технологических процессов и математическому моделированию системы, решению задач анализа и синтеза системы.

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

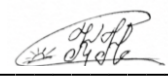
| Наименования разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления научному руководителю и консультантам | Примечание |
|--|---|------------|
| Технологический раздел | 1 марта 2021 г. | |
| Специальный раздел | 28 апреля 2021 г. | |

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с указанием относящихся к ним разделов работы

| Наименования разделов | Научный руководитель, консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание) | Дата подписания | Подпись |
|------------------------|---|-----------------|---|
| Технологический раздел | канд.техн.наук, ассоц. профессор Ширяева О.И. | 10 мая |  |
| Специальный раздел | канд.техн.наук, ассоц. профессор Ширяева О.И. | 10 мая |  |
| Нормоконтролер | канд.техн.наук, ассистент профессор Сарсенбаев Н.С. | |  |

Научный руководитель  Ширяева О.И.

Задание принял к исполнению обучающийся  Кайыркенов Н.Б.

Дата

"26" января 2021 г.

АҢДАТПА

Бұл дипломдық жобада электр жетегі үшін автоматты басқару жүйесін құру мәселесі қарастырылған. Дипломдық жоба екі негізгі бөлімнен тұрады.

Бірінші бөлім технологиялық объектіні сипаттауға, электр жетектерінің құрылымына, технологиялық процестің ерекшеліктеріне және әр түрлі схемаларды құруға арналған.

Екінші бөлімде есептелген математикалық модель талданады. Тұрақтылықты тексеру, тұрақтылықтың шекті коэффициентін табу және реттеу жүйесінің сапасын бағалауды анықтау.

Математикалық модельді MATLAB-да модельдеу нәтижелері реттеушісіз де, реттеушімен де бастапқы түрінде алынды.

Түзету сілтемесі жоқ жүйе үшін реттеуші коэффициенттері Bitragsoptimum сияқты Kesler әдісі негізінде есептеледі, және синтезделген реттеушіні Simulink MATLAB-ының автоматты реттегішімен салыстыру жүзеге асырылады.

АННОТАЦИЯ

В данном дипломном проекте рассмотрен вопрос разработки системы автоматического регулирования электроприводом. Дипломный проект состоит из двух главных разделов.

Первый раздел посвящен описанию технологического объекта, конструкции электроприводов, особенностям технологического процесса, и составлению различных схем.

Во втором разделе идет анализ рассчитанной математической модели. Проверка на устойчивость, нахождение предельного коэффициента устойчивости и определение оценок качества системы регулирования.

Получены результаты моделирования математической модели в MATLAB, как в изначальном виде без регулятора, так и с регулятором.

Для системы без корректирующего звена, рассчитаны коэффициенты регулятора на основе метода Кеслера, как Битрагсоптимум, для сравнения синтезированного регулятора с автоматической настройкой регулятора в Simulink MATLAB.

ANNOTATION

In this diploma project, the issue of developing an automatic control system for an electric drive is considered. The diploma project consists of two main sections.

The first section is devoted to the description of the technological object, the design of electric drives, the features of the technological process, and the drawing up of various schemes.

The second section analyzes the calculated mathematical model. Checking for stability, finding the limiting stability coefficient and determining the quality assessments of the regulation system.

The results of modeling a mathematical model in MATLAB are obtained, both in the original form without a regulator, and with a regulator.

For a system without a correcting link, the controller coefficients are calculated based on the Kesler method, as Bitragsoptimum, to compare the synthesized controller with automatic controller tuning in Simulink MATLAB.

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|-----|--|----|
| | Введение | 9 |
| 1 | Технологическая часть | 10 |
| 1.1 | Назначение электроприводов | 10 |
| 1.2 | Конструкция и оборудование электроприводов | 11 |
| 1.3 | Электропривод как объект управления | 13 |
| 2 | Расчетная часть | 20 |
| 2.1 | Разработка структурной схемы и получение математической модели системы автоматического регулирования электроприводом | 20 |
| 2.2 | Функциональная и структурная схема системы регулирования электроприводом | 21 |
| 2.3 | Оценки качества переходного процесса | 26 |
| 2.4 | Анализ динамических свойств системы регулирования электроприводом | 29 |
| 2.5 | Синтез регулятора для системы автоматического регулирования электроприводом на основе метода Кеслера | 31 |
| | Заключение | 38 |
| | Список литературы | 39 |

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент актуальность использования автоматизации технологических процессов с каждым днем играет все более важную роль как производственной деятельности, так и в жизни человеческого общества.

Сейчас, крайне редко можно встретить технические процессы, которые обходились бы без автоматизации – простые системы, используемые дома, и большое промышленное производство. Говоря об электроприводе, можно заявить, что он является главным источником механической энергии в промышленности, которое окружает человечество повсюду в виде совокупности множества электромашин, аппаратов и систем управления ими: поезда, троллейбусы, краны, самолеты, компьютерная техника, станки, электрооборудования, стоматологические кресла, лифты, лебёдки, стиральные машины и даже камеры видеонаблюдения. Именно благодаря автоматике обеспечивается безопасная и комфортная среда с техническими средствами, используемые в быту.

Главной задачей автоматизации является улучшение производительности объекта управления, необходимость быстрого регулирования различными процессами автоматике, обработка нужной информации и возможность её отправки на предприятие. Следовательно, разработка автоматической системы технологического процесса дело трудоёмкое, и в то же время очень важное для автоматизации.

Целью автоматизации является разработка и внедрение в эксплуатацию концепций управления как простыми, так и сложными объектами. Автоматизация предусматривает: оптимизацию процессов в соответствии с определенными конкретными критериями, защиту от непредвиденных или опасных для здоровья ситуаций, упрощение жизни работающему лицу.

Целью дипломного проекта является разработка системы автоматического регулирования электроприводом.

Основными задачами в разработке автоматической системы управления электроприводами являются:

- описание анализа существующих систем автоматического регулирования электроприводов;
- разработка структурной, функциональной схемы автоматизации различных электроприводов;
- исследование на устойчивость САР
- разработка математической модель динамики электропривода, выбор наиболее эффективного регулятора, синтез регулятора, управление и моделирование в среде MatLab Simulink.

1 Технологическая часть

1.1 Назначение электроприводов

Показателем эффективности производства во многих степени является способ получения энергии, которая в дальнейшем будет нужна для исполнения механической работы в производстве. Если верить фактам, то около 65% из всей производимой электрической энергии потребляются электроприводами, которые пускают эту энергию через себя, чтобы выжать механическую силу на выходе. Следует отметить, что они являются главными источниками механической энергии в промышленности. Помимо электрической, имеют место и другие виды энергии на основе которых были изобретены различные двигатели. Например, в паровозах используется паровая турбина, а в паровозах – паровая машина, также никакой автомобиль не обошёлся без двигателя внутреннего сгорания.

Применение электроэнергии и электродвигателей имеет ряд преимуществ:

- передача энергии на длинные дистанции с наименьшими потерями;
- высокий коэффициент полезного действия;
- обратимость электрических машин;
- широкий объём мощности электродвигателя (от долей ватт до мегаватт)

и регулировка скорости электропривода;

- жесткость механических характеристик и др.

Для начала следует понять, что же подразумевает из себя слово «привод»? Под этим словом подразумевают любую улучшенную машину или устройство, состоящее из трех главных частей: машины-двигателя, органа передачи и рабочей машины. Исполнительный механизм рабочей машины приводится в движение благодаря первым двум частям, название которых объединяют под термином «привод». Следовательно, приводом можно назвать машинное устройство, объединяющее в себе двигатель и механическую передачу, с помощью которых поступает сигнал движения исполнительному механизму рабочего органа [1].

Принимая во внимание рассмотренное выше понятие, делается вывод о том, что электропривод — это машина, двигателем которого служит электрический двигатель вместе с его системой управления.

Электропривод является одним из основных силовых исполнительных механизмов промышленного оборудования и бытовых приборов.

Электропривод окружает нас буквально повсюду:

- поезда;
- троллейбусы;
- краны;
- самолеты;
- компьютерная техника;
- станки и электрооборудования;

- стоматологические кресла;
- лифты;
- стиральные машины;
- камеры видеонаблюдения.

Многообразие областей применения значительно увеличило количество производимых и используемых электроприводов.

Современный электропривод — это совокупность множества электромашин, аппаратов и систем управления ими, включающее в себе автоматическое регулирование скоростью вращения и положением вала. Состав элементов и структура обусловят его назначение.

Электроприводы классифицируются по следующим характеристикам:

- сфера применения (машины для подъема, транспортные средства, технологические оборудования и т.д.);
- вид электрических двигателей (асинхронный, синхронный, постоянного тока);
- направление движения и его тип (линейное, непрерывно-вращательное, поступательное, с реверсированием и т.д.);
- вид управления (авто-регулируемое, ручное).

На сегодняшний день эти электрические приводы постоянно совершенствуются в направлениях расширения выполняемых функций, повышения точности и увеличения скорости выполнения задач; использования современных управляемых электродвигателей в совокупности с сокращением механических передач и улучшения их параметров; увеличения количества регулируемых параметров, тем самым повышая эффективность управления и применения цифрового управления на основе микроконтроллеров [2].

1.2 Конструкция и оборудование электроприводов

Электрический привод, вкратце электропривод – это электромеханическая система, в состав которого входят взаимодействующие преобразователи электроэнергии, электромеханические и механические преобразователи, управляющие и информационные устройства, а также устройства для подключения ко всем внешним системам, для предоставления движения исполнительных механизмов рабочей машины и контроль всем этим движением для полноценного исполнения производственного процесса [3].

Электродвигатель – это первый самый важный компонент электропривода, где происходит электромеханическое преобразование, т.е. вся электроэнергия от питания идет на приведение ротора в механическое вращение.

Бывают различные виды электродвигателей:

- а) многофункциональные;
- б) от постоянного тока;
- в) асинхронные;

г) синхронные.

Конструкция электропривода с электродвигателем проиллюстрирована на рисунке 1.1.

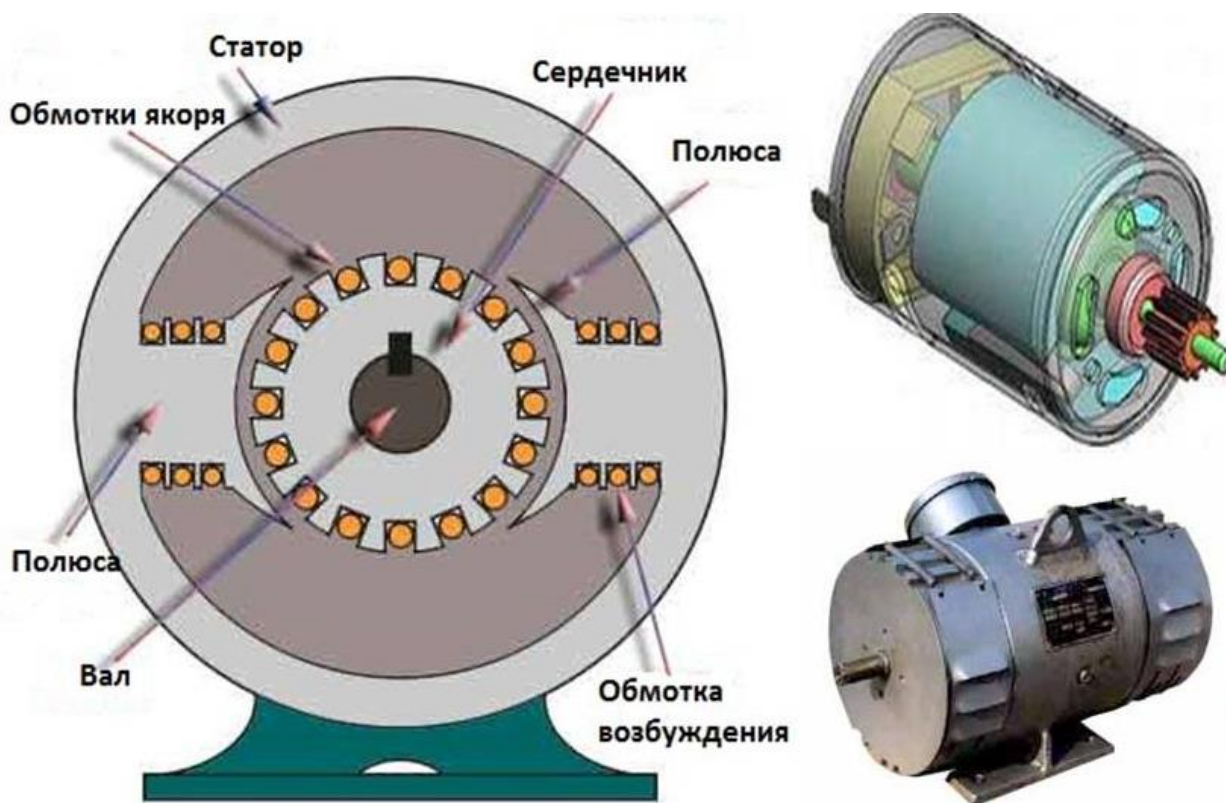


Рисунок 1.1 – Конструкция электропривода с двигателем постоянного тока

Второй главный компонент – система управления электроприводом. Оно включает в себя устройства управления и считывания данных, а также устройства подключения привода ко внешним системам. Их назначение – регулировать электромеханическое преобразование энергии таким образом, чтобы работа привода рабочей машины совпадало соответствующим алгоритмам. Примером может послужить частотный преобразователь или сервопривод, смотрите рисунок 1.2.



Рисунок 1.2 – Частотный преобразователь небольшой мощности

Контроль приводом подразумевает не только пуск, торможение, реверс, но и плавное регулирование скорости в соответствии с требованиями технологического процесса.

Регулирование скорости электропривода полагает ее целенаправленное изменение по воле оператора, а также средствами автоматики. В основном наиболее известны электрические методы регулирования скорости. Которые выполняются путем воздействия на параметры электрической цепи двигателя или на параметры источников питания. Частотный преобразователь используется для контроля скорости, момента двигателей переменного тока с помощью вариации частоты и напряжения питания электродвигателя. Более совершенные системы регулирования скорости основаны в применении замкнутых систем управления.

Третье важное оборудование электропривода – механический преобразователь. Его задача – передать механическую энергию от двигателя к исполнительному механизму рабочей машины и согласовать движение этих частей по скорости и направлению. Пример такого оборудования указан на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – Шарико-винтовая передача механической энергии

Направление движения механических преобразователей бывают:

- вращательное;
- прямолинейное;
- поступательное;
- комплексное.

1.3 Электропривод как объект управления

Электропривод – это же просто электродвигатель, делающий некое дело, скажут многие. Но теория о том, что электропривод состоит исключительно из электродвигателя является не корректной, ведь в системе принимают участие и другие компоненты как редуктор, совокупность управляющих его устройств, датчики обратной связи, всяческие реле и прочие прелести. Помимо электрической части не стоит забывать о том, что система является электромеханической. Соответственно может стать как регулируемой (автоматизированной, автоматической) так и не регулируемой (электропривод вентилятора, компрессоры и пр.).

Если рассудить деятельность не автоматизированного электропривода, то все его операции по управлению всяческими параметрами и координатами осуществляется в ручном режиме. Это значит работа устройств такого характера, нуждается в операторе, иначе говоря, требуется работник, следящий за корректностью проведения процессов. К примеру, тот же электропривод грузовой лебёдки с 3-мя скоростями, в котором положение рукоятки задается оператором.

Основное различие автоматизированного электропривода от приводов вышеописанного типа заключается в том, что тут есть сигналы обратной связи, где передаются сигналы или параметры, такие как ток двигателя, скорость вала, положение вала, и момент. Здесь, участие человека требуется только в выработке начального управляющего воздействия. Ниже на рисунке 1.4а приведена структурная схема.

Работа автоматического электропривода полностью исключает присутствие человеческого фактора. В этом режиме действия и процессы происходят автоматически. На рисунке 1.4б приведена структурная схема.

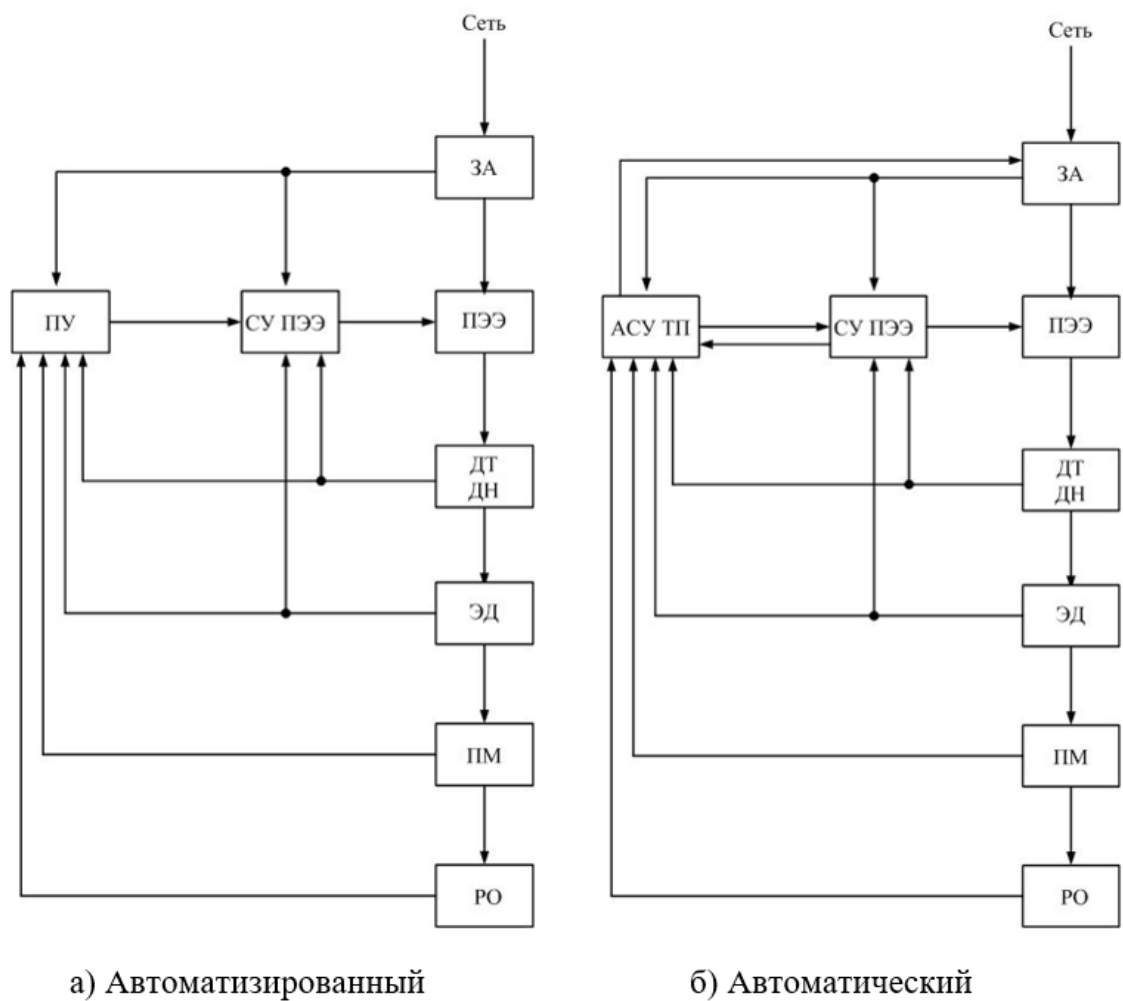


Рисунок 1.4 – Структурная схема системы автоматизированного и автоматического регулирования электроприводом

Здесь:

- 1 ЗА – защитная аппаратура (автоматические выключатели, предохранители и пр.)
- 2 ПЭЭ – преобразователь электрической энергии (частотник, тиристорный преобразователь)
- 3 ДТ – токовый датчик
- 4 ДН – датчик напряжения
- 5 СУ ПЭЭ – система управления преобразователем
- 6 ПУ – пульт управления
- 7 ПМ – передаточный механизм (муфта, редуктор и пр.)
- 8 РО – рабочий орган
- 9 ЭД – электродвигатель
- 10 АСУ ТП – автоматическая система управления технологическим процессом

В первом случае видно, что СУ ПЭЭ отвечает не только за управление преобразователем, но и за всю систему сразу. При таком раскладе регулирования датчики обратной связи осуществляют слежку за параметрами и доставляют сигнал оператору. Система умеет автоматически выполнять частичные операции (запуск, стоп и пр.), но для полного контроля за происходящим процессом присутствие человека необходима. К примеру, это может быть много конвейерная линия, где нужно конвейеры запускать по очереди, где также в каждой линии необходимо принимать во внимание его время и условия пуска. Остановка такой операции осуществляется тем же путем.

Глядя на структурную схему, можно сообщить, что одна часть сигнала обратной связи приходит на пульт оператора, наблюдающий производство, а другая часть в систему управления преобразующим устройством для выполнения основных защит и применения изменений от задающего сигнала, исходящий с пульта управления.

Во втором же случае, все процессы выполняются автоматически. Как было сказано ранее, в этом режиме работы помощь дежурного не является обязательным.

В Автоматизированную систему управления технологическим процессом (АСУ ТП) приходят все датчики обратной связи. Там же осуществляется переработка сигналов от датчиков, и выдача управляющих команд на выходе для различных подсистем. Отсутствие непрерывного надзора человека за рабочим процессом, делает этот режим работы весьма выгодным. Например, в автоматическом режиме, склоняясь к информации полученной от датчиков обратной связи, выполнять свою работу могут модернизированные шахтные подъемные машины.

Автоматизированный электропривод (АЭП) – это электромеханическая машина, служащее для приведения рабочего органа производственной машины, а также управления ее технологическим процессом, которая состоит из

электродвигателя, преобразовательного, передаточного и управляющего устройства. Преобразовательное устройство (между электросетью и двигателем) необходимо для преобразования постоянных значений электрического питания в переменное в соответствии с управлением регулируемого электропривода, а управляющее устройство – для установки оптимального управления по заданным критериям [4].

Функциональная схема электропривода, в основном реализуется в форме агрегата с использованием типовых функциональных блоков. В соответствии с рисунком 1.5, оно состоит из исполнительного электродвигателя (ЭД) с передаточным механизмом (ПМ), кинематически соединяющий его с рабочим органом (РО), изменяющий состояние объекта по указанию программного задания (ПЗ). С помощью совокупности датчиков тока D_i , напряжения D_u , температуры D_T , положения вала D_θ , скорости вращения D_Ω и других сигналов, определяется режим работы электропривода. Выход этих же сигналов контролируется информационно-измерительной системой (ИИС) и передается в управляющее устройство (УУ), необходимое для обеспечения целостности функционирования электронного силового преобразователя (СП).

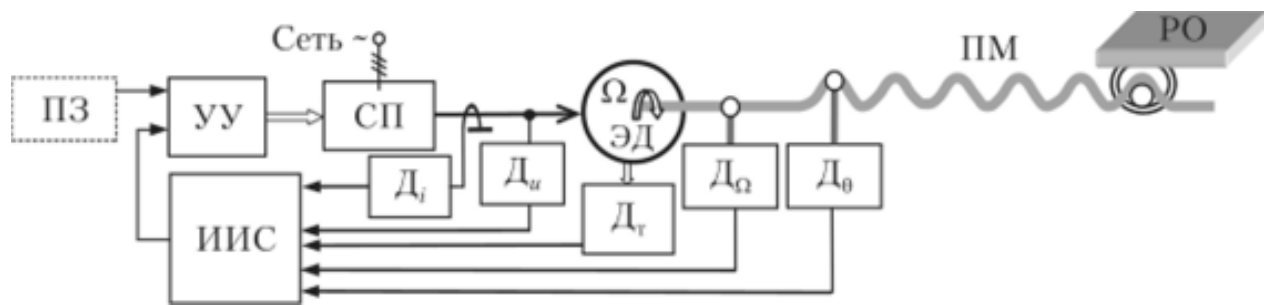


Рисунок 1.5 – Функциональная схема электропривода

На рисунке 1.6 изображена структура АЭП. Необходимая электрическая мощность предоставляется электроприводу через электрическую сеть (ЭС), которое преобразуется в управляемые параметры в силовую части преобразовательного устройства (СПрУ) и выводится на контакт с обмотками электродвигателя. Из рисунка видно, что в состав двигателя входит электромеханический преобразователь ЭМП и вращаемая часть двигателя, т.е. его ротор РД. Если назначение первого, это преобразовать электрическую мощность в механическую, то на вторую осуществляется влияние вращающего момента двигателя M , по заданной ω . Задачу подачи механической мощи исходящий от ротора осуществляет передаточный механизм ПМ, в котором идет преобразование (по M и ω , так и направление движения) и передача к исполнительному механизму рабочей машины РМ.

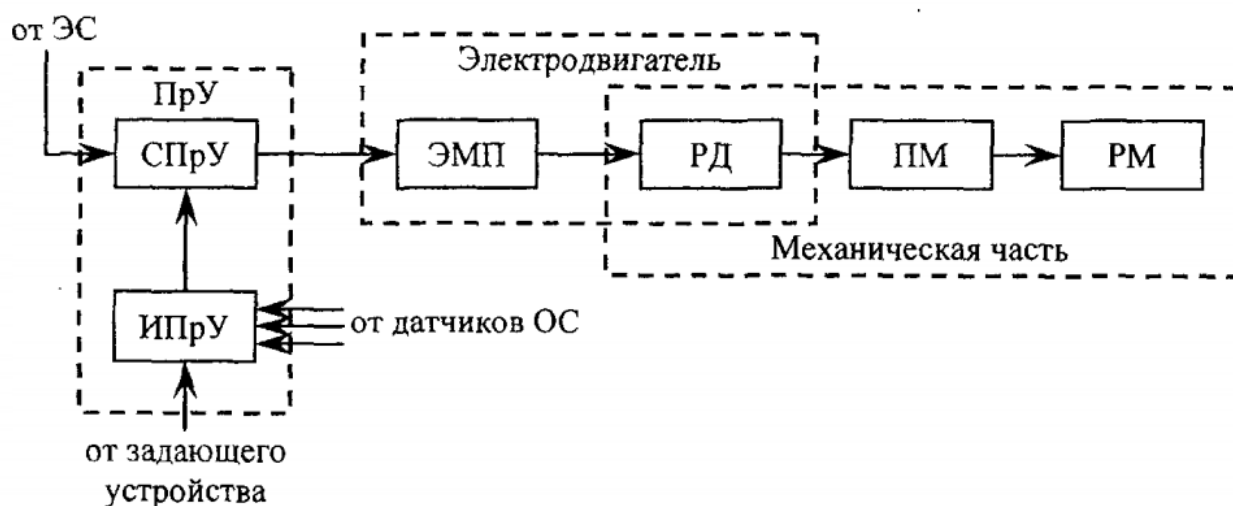


Рисунок 1.6 – Структурная схема АЭП

Преобразовательное устройство ПрУ является совокупностью двух частей – силовой части СПрУ и информационной части ИПрУ. Все данные о состоянии электропривода и происходящего процесса снятые с датчиков обратной связи, а также командные сигналы, исходящие от задающего устройства, поступают на информационную часть преобразовательного устройства. Учитывая все эти данные, опираясь на свои встроенные программные алгоритмы, ИПрУ осуществляет некоторое влияние на СПрУ, следом за ним и на ЭМП электродвигателя. А он в свою очередь управляет движением механической части и ходом рабочей машины в соответствии с технологическим процессом.

Во многих отраслях, где требуется широкий диапазон изменения скорости вращения вала, до сегодняшнего дня используются электроприводы с двигателями постоянного тока (ДПТ). Для анализа процессов управления электроприводом при вариации механического момента сопротивления необходимо иметь математическую модель системы, которую обычно формируют на схемотехническом уровне.

Уравнение ДПТ с возбуждением от постоянного магнита, создающего поток Φ , имеет вид:

$$U_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + c_e n \Phi \quad (1.1)$$

При взаимодействии тока якоря с магнитным потоком создается момент:

$$M = C_m \Phi I_a \quad (1.2)$$

Который входит в уравнение механической части:

$$J \frac{d^2 n}{dt^2} + \Phi \frac{dn}{dt} + n = M - M_c \quad (1.3)$$

С использованием приведенных уравнений можно получить упрощенную структурную схему разомкнутого электропривода, смотрите рисунок 1.7.

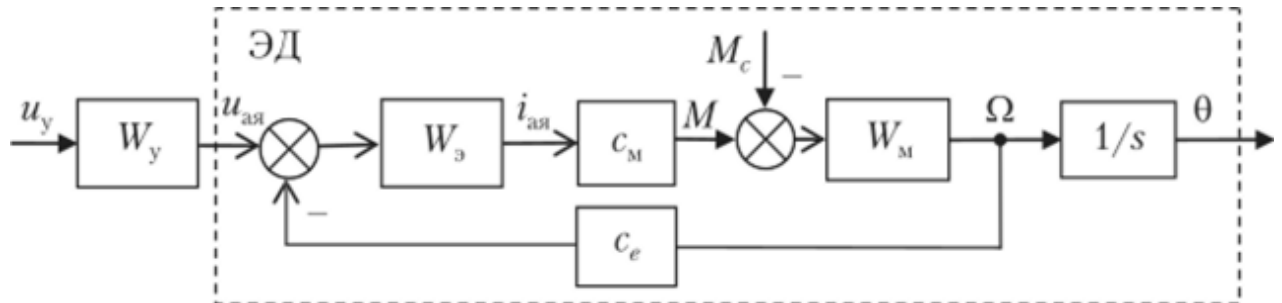


Рисунок 1.7 – Структурная схема разомкнутого электропривода постоянного тока

Процедуру преобразования входного электрического напряжения u_a в электромагнитный момент на валу M описывают коэффициент c_M и передаточная функция:

$$W_э = \frac{k_a}{sT_a + 1} \quad (1.4)$$

Управляемый выпрямитель в первом приближении характеризуется линейным дифференциальным уравнением первого порядка, которое отображено инерционным звеном с коэффициентом усиления k и постоянной времени T_y :

$$W_y = \frac{k}{sT_y + 1} \quad (1.5)$$

Передаточная функция механической части имеет вид:

$$W_M = \frac{1}{s^2 J + s\Phi + 1} \quad (1.6)$$

И связь механической и электрической подсистем осуществляется через выражение для противоЭДС:

$$e = c_e n \Phi \quad (1.7)$$

Для улучшения статических и динамических характеристик электропривода в систему управления вносят контуры регулирования различных величин с использованием отрицательной обратной связи, обладающих свойствами стабилизации. Множество вариантов создания замкнутых контуров регулирования, дают различные эффекты на выходе. В системах следящего электропривода, хорошо пользуются популярностью системы подчиненного регулирования, смотрите рисунок 1.8.

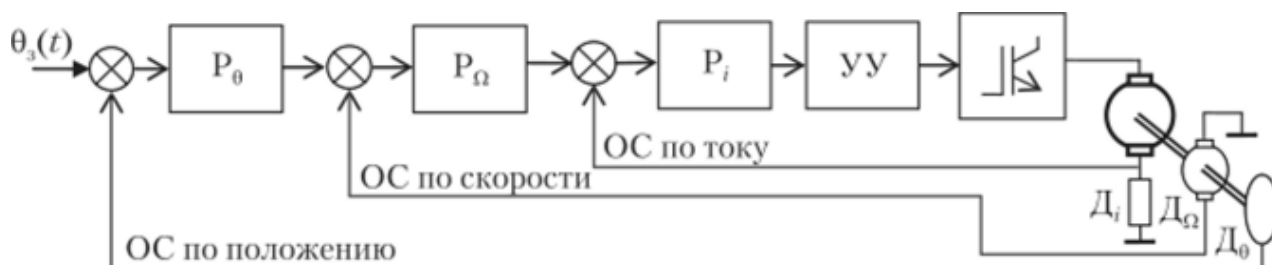


Рисунок 1.8 – Структурная схема электропривода с регуляторами тока, частоты вращения и угла поворота

Особенность таких структурных схем, подчиненного регулирования, сводится в использовании индивидуальных регуляторов (P_θ , P_Ω , P_i) для выбранных величин: положения ротора θ , частоты вращения Ω и тока якоря i_a , сигналы о значениях которых формируются резистивным датчиком тока D_i , тахогенератором D_Ω и оптоэлектронным датчиком угла поворота D_θ . Простота анализа и настройки параметров системы управления, вот что является преимуществом приведенной системы по сравнению с совокупностью контуров независимого регулирования.

2 Расчетная часть

2.1 Разработка структурной схемы и получение математической модели системы автоматического регулирования электроприводом

Автоматизация и функционирование его средств управления являются неотъемлемой частью промышленности и средством повышения эффективности ее работы. Включает она в себя много направлений и благодаря ее развитию появляются новые сферы науки. Одной из них является робототехника. В промышленности роботы могут выполнять такой объем работ, с которым не справится человек, при этом с высокой скоростью и точностью. По типу управления робототехнические системы делятся на группы. Одним из видов является система управления роботами на основе электроприводов.

На рисунке 2.1 дана схема системы автоматического регулирования электроприводом с местной обратной связью. В качестве Объекта управления выступает электропривод, состоящий из исполнительного двигателя и редуктора. Сравнивается выходной угол вращения (α_0) с входным (α_1), подаваемый через задающее устройство. Сигнал на входе задающего потенциометра усиливается как по напряжению, так и по мощности и регулируется через RLC цепи. Далее попадает в исполнительный двигатель и результат изменения отображается в потенциометре обратной связи – сравнивается с изначальным.

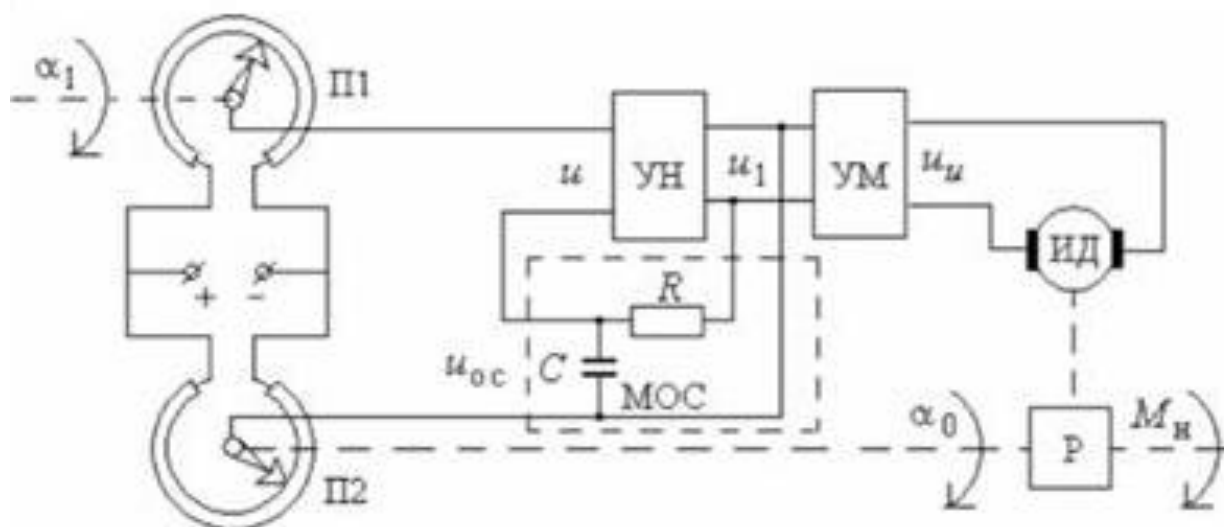


Рисунок 2.1 – Схема системы автоматического регулирования электроприводом с местной обратной связью

Описание системы автоматического регулирования электроприводом и построение ее функциональной схемы.

Потенциометр (П) – измерительный прибор, предназначенный для определения напряжения путём сравнения двух, в общем случае, различных напряжений или ЭДС с помощью компенсационного метода.

Усилитель (У) – это элемент системы автоматического регулирования, основным назначением которого, является повышения входного сигнала до начала функционирования исполнительного двигателя.

Исполнительный двигатель (ИД) – это механизм, который оказывает влияние на регулируемый орган посредством изменения электрического сигнала в угловое перемещение вала.

Редуктор (Р) – устройство, основной функцией которого является передача мощности вращением вала для снижения усилия, используемого приводом.

2.2 Функциональная и структурная схема системы регулирования электроприводом

Функциональные схемы представляют систему управления комбинацией блоков и стрелок, показывая входной и выходной сигналы и взаимосвязи между специфическими компонентами системы. В функциональной диаграмме физический характер каждого элемента идентифицирован как "двигатель", "усилитель", "привод головок", и т.д. Функциональные диаграммы представляют: – конфигурацию системы, – физический характер каждого элемента, – функцию частных элементов в системе. Однако, функциональные диаграммы не обеспечивают математическое описание компонентов системы, и из-за этого имеют ограниченное использование для анализа системы [5].

Функциональная схема системы предоставлена на рисунке 2.2.

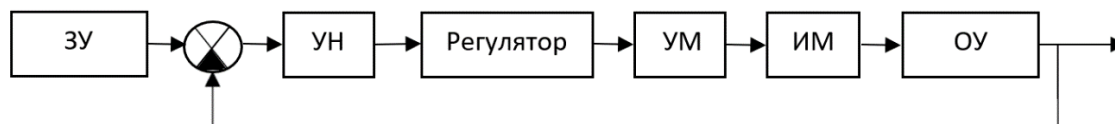


Рисунок 2.2 – Функциональная схема системы

Здесь:

- ЗУ – задающий потенциометр;
- УН – усилитель напряжения;
- УМ – усилитель мощности;
- ИМ – исполнительный двигатель + регулирующий орган;
- Регулятор – RLC резистор и конденсатор;
- ОУ – редуктор.

Линеаризованные уравнения и передаточные функции системы автоматического регулирования электроприводом.

Потенциометрический мост:

$$\theta = \alpha_1 - \alpha_0, \quad (2.1)$$

$$u = k_d \cdot \theta. \quad (2.2)$$

Обратная связь:

$$u = u_c - u_{oc}. \quad (2.3)$$

Усилители:

$$u_1 = k_1 \cdot u, \quad (2.4)$$

$$u_u = k_2 \cdot u_1. \quad (2.5)$$

Двигатель с редуктором:

$$T_{дв} \cdot \frac{d\omega}{dt} + \omega = k_{дв} \cdot u_u, \quad (2.6)$$

$$\frac{d\alpha_0}{dt} = k_p \cdot \omega. \quad (2.7)$$

В приведенных уравнениях:

α_1 – угол поворота задающей оси;

α_0 – угол поворота выходной оси;

u_c – напряжение переменного тока;

u, u_1, u_u, u_{oc} – напряжения постоянного тока.

Исходные данные для схемы приведены в таблице 2.1

Таблица 2.1 – Таблица данных

| № | k_d | k_1 | k_2 | $k_{дв}$ | $T_{дв}$ | k_p | R_1 | C | α_1 |
|---|--------|-------|-------|----------|----------|-------|-------|-----|-------------|
| | В/град | | | рад/Вс | с | | МОм | мкФ | град |
| 1 | 1,0 | 10 | 200 | 100 | 0,050 | 0,01 | 0,040 | 1,0 | $2 \sin 2t$ |

Получаем следующие функции элементов системы автоматического регулирования электроприводом:

Потенциометрический мост:

$$G_1(s) = \frac{u}{\theta} = k_d = 1 \text{ (пропорциональное звено)}. \quad (2.8)$$

Усилители:

$$G_2(s) = \frac{u_1}{u} = k_1 = 10 \text{ (пропорциональное звено)}, \quad (2.9)$$

$$G_3(s) = \frac{u_u}{u_1} = k_2 = 200 \text{ (пропорциональное звено)}. \quad (2.10)$$

Двигатель с редуктором:

$$G_4(s) = \frac{k_{дв}}{T_{дв}s + 1} = \frac{100}{0,05s + 1} \text{ (апериодическое звено 1-порядка)}. \quad (2.11)$$

$$G_5(s) = \frac{k_p}{s} = \frac{0,01}{s} \text{ (звено интегрирования)}. \quad (2.12)$$

Также в принципиальной схеме (рисунок 2.1) присутствует (четырёхполюсник) местная обратная связь (МОС), универсальная формула которой будет выражаться как:

$$RC \cdot \frac{du_{oc}}{dt} + u_{oc} = u_1 \quad (2.13)$$

Взяв передаточную функцию из выражения (2.13) получим:

$$G_{мос} = \frac{1}{RCs + 1} = \frac{1}{0,04s + 1} \text{ (апериодическое звено 1-порядка)}. \quad (2.14)$$

Структурные схемы также представляют систему управления комбинацией блоков и стрелок, показывая входной сигнал и взаимосвязь между элементами системы. Но главная цель структурных схем состоит в том, чтобы представить последовательность преобразований сигнала в системах управления, обеспечивая математическое описание простейших элементов системы, и облегчая разработку математического описания полной системы. Поэтому структурные схемы наиболее часто используемые схемные решения системы управления [6].

На рисунке 2.3 показана структурная схема.

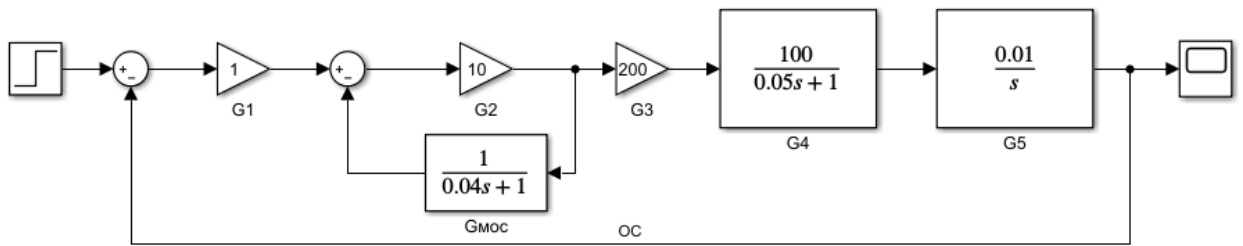


Рисунок 2.3 – Структурная схема системы

Необходимо определить передаточные функции для замкнутой и разомкнутой системы. Используя формулы и правила соединения передаточных функции, можно получить одну «эквивалентную» передаточную функцию, где будет один полином в числителе и один полином в знаменателе.

1) При последовательном:

$$G_3 = G_1 \cdot G_2 \quad (2.15)$$

2) При параллельном:

$$G_3 = G_1 + G_2 \quad (2.16)$$

3) При обратной связи:

$$G_3 = \frac{G}{1 + G \cdot H} \quad (2.17)$$

Результаты эквивалентной передаточной функции показаны на рисунках 2.4 и 2.5.

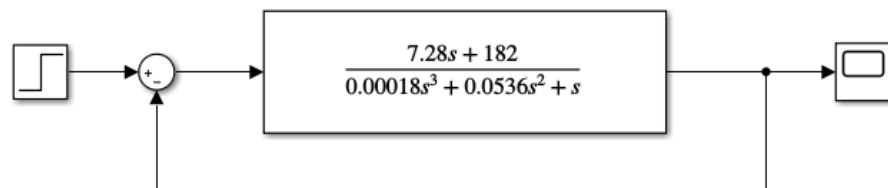


Рисунок 2.4 – Эквивалентная передаточная функция для замкнутой цепи

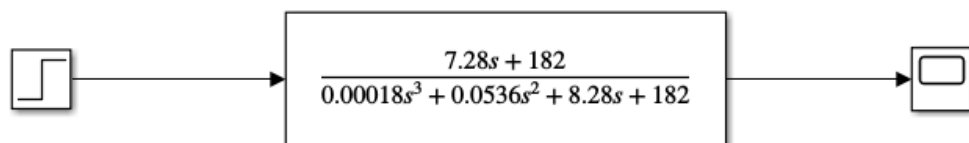


Рисунок 2.5 – Эквивалентная передаточная функция для разомкнутой цепи

Переходной процесс эквивалентной передаточной функции указан на рисунке 2.6.

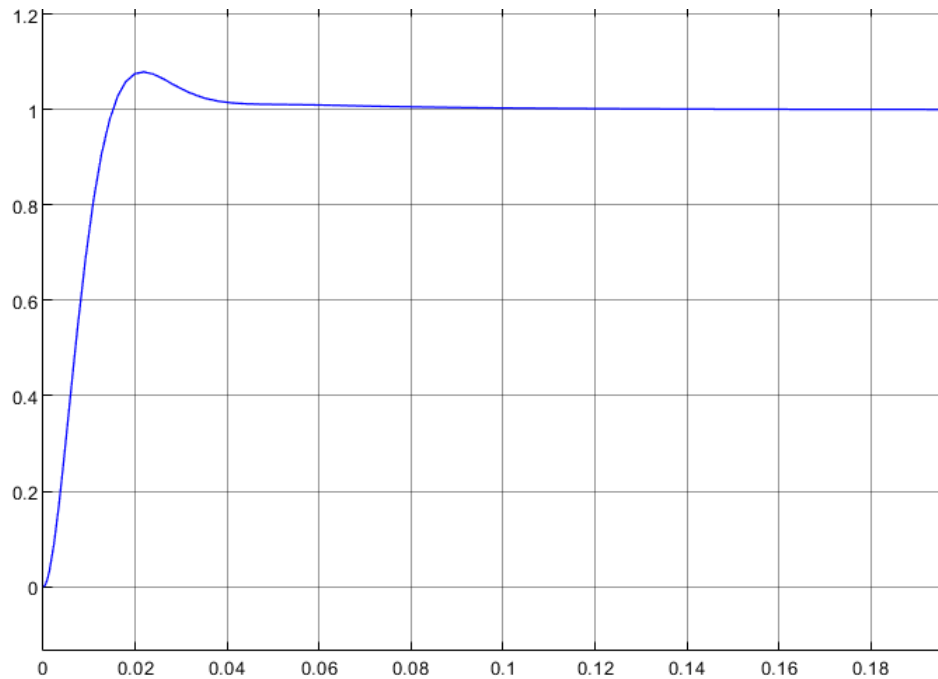


Рисунок 2.6 – Переходной процесс эквивалентной передаточной функции

Из рисунка 2.6 видно, что переходной процесс эквивалентной передаточной функции идеально соответствует всем современным требованиям технологического процесса. У него быстрый разгон, никаких колебаний и малое перерегулирование. Исходя из этого можно сделать вывод о том, что нету необходимости в постройке регулятора для данного процесса, так как регулятор уже встроен в этот технологический процесс в виде корректирующей цепи в местной обратной связи.

Но что будет, если мы уберем корректирующую RC цепь из этой системы и попытаемся самостоятельно построить регулятор для исходной системы (без RC цепи) опираясь на уже известные методы синтеза регулятора? Звучит неплохо, но для начала необходимо получить саму исходную передаточную функцию. Если вычесть корректирующую цепь, то структурная схема примет форму как показана на рисунке 2.7.

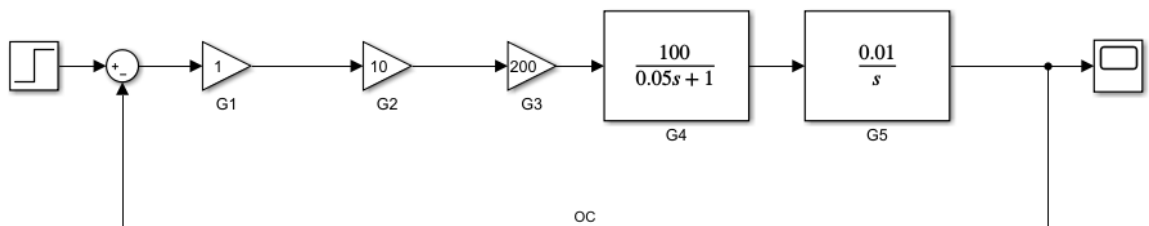


Рисунок 2.7 – Структурная схема без корректирующего звена

Эквивалентная передаточная функция и переходной процесс системы регулирования электроприводом без корректирующего звена указана на рисунке 2.8.

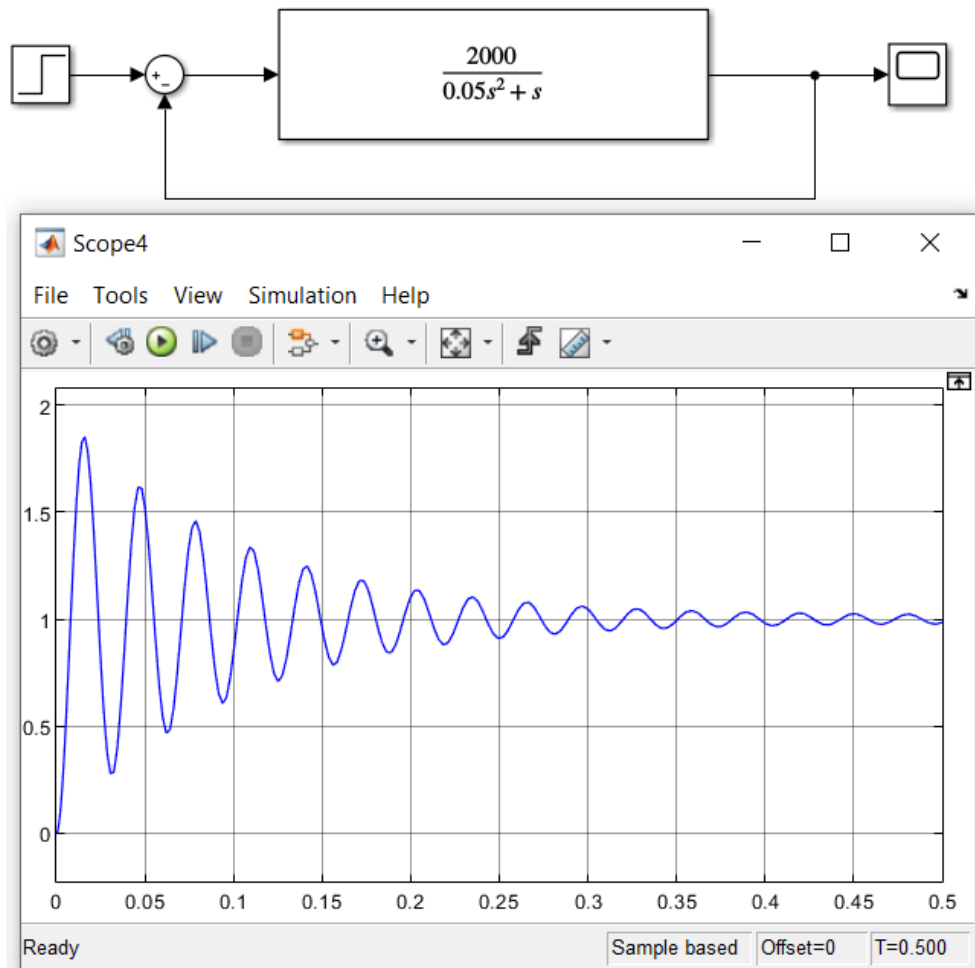


Рисунок 2.8 – Переходной процесс замкнутой эквивалентной передаточной функции

2.3 Оценки качества переходного процесса

Очевидно, что устойчивость считается одним из важных параметров САУ, но для полной ее работоспособности, необходимо учесть и другие параметры. Что если, система под влиянием определенных процессов может оказаться недостаточно точной, тогда затухание переходного процесса управления может занять длительное время, что в свою очередь может не обеспечить заданную плавность выходного сигнала, иными словами, автоматическое управление системы не будет соответствовать желаемым требованиям технологического процесса.

Существуют, так сказать, оценки качества переходного процесса. Они бывают как прямыми, так и косвенными. Предлагаю остановиться и рассмотреть прямые оценки качества.

Получение прямых оценок качества в среде MATLAB. Передаточная функция без корректирующей цепи имеет следующий вид:

$$G_э = \frac{2000}{0.05s^2 + s + 2000} \quad (2.18)$$

На рисунке 2.9 представлен переходной процесс, полученный в среде MATLAB на основе команды `>> step(G)`.

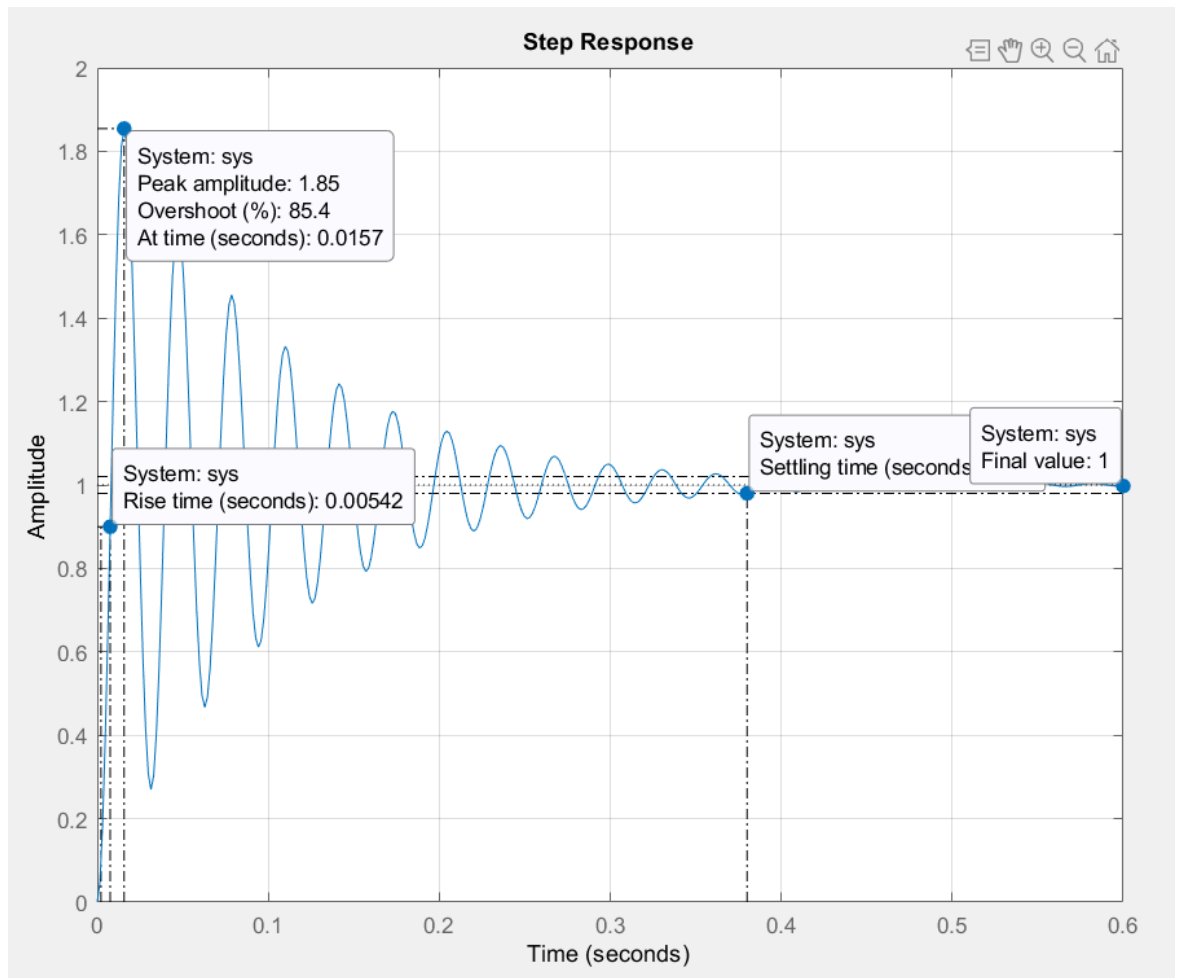


Рисунок 2.9 – Переходной процесс замкнутой системы без RC цепи

Таким образом, были получены следующие прямые оценки качества:

- peak response, позволяет получить оценку перерегулирования (overshoot), $P_{OV}=85,4\%$, время достижения первого максимума, $T_p=0.0157$ sec;
- settling time: время регулирования, $T_{set}=0.38$ sec;
- rise time: время нарастания, $T_R=0.0054$ sec;
- steady state (final value): установившееся состояние, $y_{ss}=1$.

По умолчанию, в среде MATLAB время регулирования, T_{set} , получено при допустимой ошибке 2%, а время нарастания, T_R , от 10 до 90% от переходного процесса.

В соответствии с перечнем прямых оценок качества:

- число колебаний, $M=12$;
- колебательность: $\mu = \frac{1.62-1}{1.85-1} * 100\% = 72.9\%$;
- частота колебаний: $\omega = \frac{2\pi}{0.0396-0.0081} = 199.36$;
- время достижения первого максимума, $T_p = 0.0157$ sec;
- декремент затухания: $\chi = \frac{1.85-1}{1.62-1} = 1.37$.

Получение косвенных оценок качества замкнутой САУ на основе корневых методов.

Получение в среде MATLAB полюсов передаточной функции на комплексной плоскости:

На рисунке 2.10 представлены полюса системы, полученные в среде MATLAB на основе команды `>>pzmap(G)`.

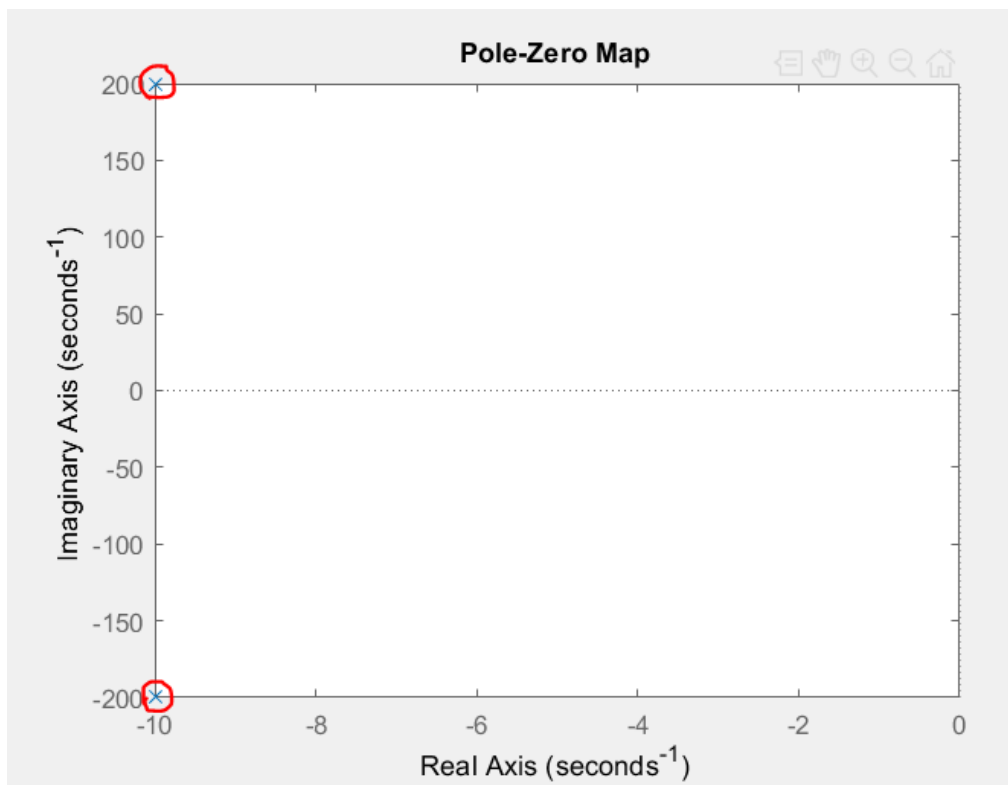


Рисунок 2.10 – Полюса передаточной функции на комплексной плоскости

Получим оценки качества системы в соответствии с перечнем корневых оценок.

Характеристика №1 Время регулирования. T_{set}

$$T_{set} = \frac{4}{|\sigma_{min}|} = \frac{4}{|-10|} = 0.4$$

Характеристика №2 Степень колебательности, μ

$$\mu = \frac{\omega_d}{\delta} = \frac{200}{10} = 20$$

Характеристика №3 Степень устойчивости, η

$$\eta = |\sigma_{min}| = 10$$

По этим итогам оценок качеств, определяется насколько наша система соответствует тем или иным требованиям мирового или **желаемого стандарта**. Смотрите ниже в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Сравнение действительных значений оценок качеств с желаемыми требованиями

| | № | Оценки качества | | прямые | корневые | Желаемые требования | Соответствие требованиям |
|----------------|---|------------------------------------|----------------|--------|----------|---------------------|--------------------------|
| Основные | 1 | Время регулирования | Tset | 0.38 | 0.4 | $0 < Tset < 1$ | Соответ-т |
| | 2 | Перерегулирование | Pov | 85.4% | | 0-30% | Не соответ-т |
| | 3 | Число колебаний | M | 12 | | 0-2 | Не соответ-т |
| | 4 | Колебательность | μ | 72.9% | 20 | $0 \leq \mu \leq 5$ | Не соответ-т |
| | 5 | Частота колебаний | ω_{osc} | 199.36 | | | |
| Дополнительные | 7 | Время достижения первого максимума | Tr | 0.0157 | | | |
| | 8 | Время нарастания | TR | 0.0054 | | | |
| | 9 | Декремент затухания | χ | 1.37 | | | |

Вывод: Анализ оценок качества, представленных в таблице 1, показывает, что переходной процесс не удовлетворяет желаемым требованиям инженера. Значит необходимо будет построить регулятор. И в соответствии с требованиями синтезировать данный регулятор, для достижения наилучшего результата.

2.4 Анализ динамических свойств системы регулирования электроприводом

Анализ устойчивости по первому методу Ляпунова.

Как было сказано ранее, полюсами передаточной функции называются корни характеристического уравнения, составленного из знаменателя передаточной функции, приравненного к нулю.

Передаточная функция разомкнутой системы имеет вид:

$$G_3 = \frac{2000}{0.05s^2 + s} \quad (2.19)$$

Приравняем характеристический полином к нулю и найдем полюса передаточной функции:

$$0.05s^2 + s = 0 \quad (2.20)$$

$$\begin{cases} s_1 = 0 \\ s_2 = -20 \end{cases}$$

По первому методу Ляпунова разомкнутая система находится на границе устойчивости, так как один полюс передаточной функции равен нулю, а остальные отрицательные.

Что касается нулей то ими называются корни числителя передаточной функции. В данном случае, числитель передаточной функции не содержит дифференциального оператора Лапласа, следовательно, можно сделать вывод, что передаточная функция не имеет нулей.

Устойчивость замкнутой системы.

Передаточная функция замкнутой системы:

$$G_3 = \frac{2000}{0.05s^2 + s + 2000} \quad (2.21)$$

Приравняем характеристический полином к нулю и найдем полюса передаточной функции:

$$0.05s^2 + s + 2000 = 0 \quad (2.22)$$

$$\begin{cases} s_1 = -10 + 200i \\ s_2 = -10 - 200i \end{cases}$$

По первому методу Ляпунова замкнутая система является устойчивой, так как два полюса имеют отрицательные действительные части.

Нахождение предельного коэффициента устойчивости по критерию Гурвица.

Передаточная функция замкнутой системы с регулятором:

$$T(S) = \frac{k \cdot G(s)}{1 + k \cdot G(s)} = \frac{2000k}{0.05s^2 + s + 2000k} \quad (2.23)$$

Характеристическое уравнение:

$$0.05s^2 + s + 2000k = 0 \quad (2.24)$$

$$k > 0$$

Параметры характеристического уравнения:

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.05 \\ a_1 &= 1 \\ a_2 &= 2000k \end{aligned}$$

Вычисление пределов изменения К на основе критерия Гурвица:

$$H = \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0.05 & 2000k \end{vmatrix} = \det_{2 \times 2}(H) = 2000k > 0$$
$$k > 0$$

Отсюда получается, что $K \in (0; \infty)$

2.5 Синтез регулятора для системы автоматического регулирования электроприводом на основе метода Кеслера

Постановка задачи синтеза регулятора.

При заданной математической модели объекта управления в виде передаточной функции, необходимо найти оптимальные параметры типового регулятора $U(t)$, минимизирующих квадратичную интегральную оценку:

$$I = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \rightarrow \min \quad (2.25)$$

Настройка регулятора в методе Бетрагсоптимума осуществляется благодаря следующему преобразованию:

$$I = \int_0^{\infty} e^2(t) dt = \frac{1}{2a_n^2 \Delta} (B_m \Delta_m + B_{m-1} \Delta_{m-1} + \dots + B_1 \Delta_1 + B_0 \Delta_0) - \frac{b_m b_{m-1}}{a_n^2} \quad (2.26)$$

В нашем случае, объект управления описывается передаточной функцией:

$$G(s) = \frac{2000}{0.05s^2 + s} \quad (2.27)$$

Передаточная функция П регулятора, $u(t) = k_p e(t)$:

$$C(s) = k_p \quad (2.28)$$

Необходимо найти параметры П регулятора, который обеспечивает выполнение критерия качества (2.25).

Для этого, сперва находим замкнутую передаточную функцию с регулятором:

$$G(s) = \frac{2000k_p}{0.05s^2 + s + 2000k_p} \quad \begin{matrix} m=0 \\ n=2 \end{matrix} \quad (2.29)$$

Для нахождения интегральной квадратичной оценки используется преобразование:

$$I = \int_0^{\infty} e^2(t) dt = \frac{1}{2a_2^2 \Delta} (B_0 \Delta_0) - \frac{b_0 b_{-1}}{a_2^2} \quad (2.30)$$

Параметры:

$$\begin{aligned} b_0 &= 2000k_p \\ b_{-1} &= 0 \\ a_0 &= 0.05 \\ a_1 &= 1 \\ a_2 &= 2000k_p \end{aligned}$$

Остальные элементы выражения находятся через формулы:

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_n & -a_{n-2} & \dots \\ 0 & a_{n-1} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_2 & -a_0 \\ 0 & a_1 \end{vmatrix} \quad (2.31)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2000k_p & -0.05 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = 2000k_p \quad (2.32)$$

Через $\Delta_k (k = m, m-1 \dots 2, 1, 0)$ обозначены определители, получающиеся путём замены в определителе $(m+1-k)$ - столбца, столбцом: $[a_{n-1} \ a_n \ 0]^T$

$$B_0 = b_0^2 = (2000k_p)^2 \quad (2.33)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_1 & -a_0 \\ a_2 & a_1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & -0.05 \\ 2000k_p & 1 \end{vmatrix} = 1 + 100k_p \quad (2.34)$$

Подставив все вышеперечисленные выражения в преобразование (2.30), получаем следующее:

$$I = \frac{(2000k_p)^2 (1 + 100k_p)}{2 \cdot (2000k_p)^2 \cdot 2000k_p} = \frac{1 + 100k_p}{4000k_p} \quad (2.35)$$

$$I = \frac{1 + 100k_p}{4000k_p} \rightarrow \min \quad (2.36)$$

Для нахождения производных используем в MATLAB оператор `diff()`, а для поиска решения – `solve()`, как показано на рисунке 2.11.

```
>> syms k
>> J = (1+100*k)/4000*k

J =

k*(k/40 + 1/4000)

>> d=diff(J)

d =

k/20 + 1/4000

>> solve(d)

ans =

-1/200
```

Рисунок 2.11 – Нахождение коэффициента П регулятора в MATLAB

В итоге получаем следующее решение:

$$k_p = -0.005 \quad (2.37)$$

Теперь необходимо сравнить результаты моделирования регулятора, найденного с помощью бетагсоптимума и Simulink регулятора при тюнинге. Схема моделирования системы с регуляторами указана на рисунке 2.12.

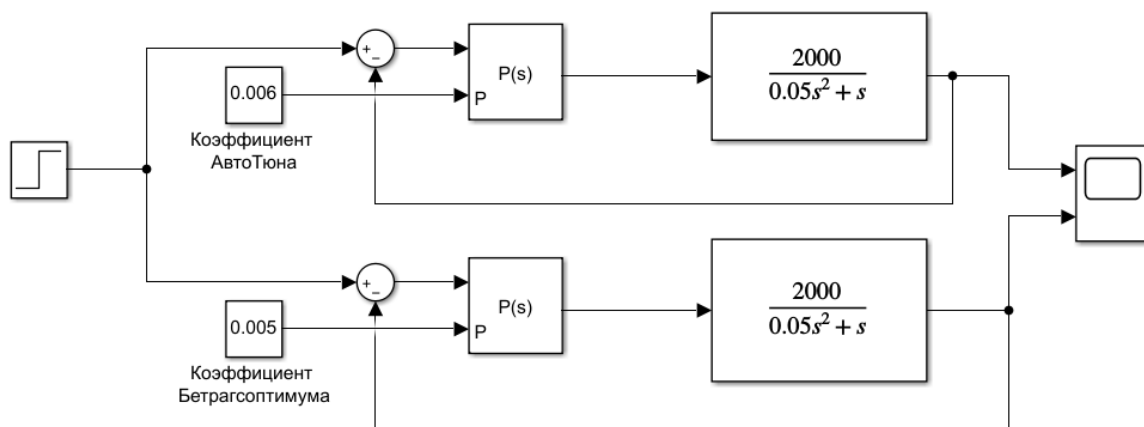


Рисунок 2.12 – Схема моделирования СОУ с регулятором

Схема сравнения регуляторов указана на рисунке 2.13.

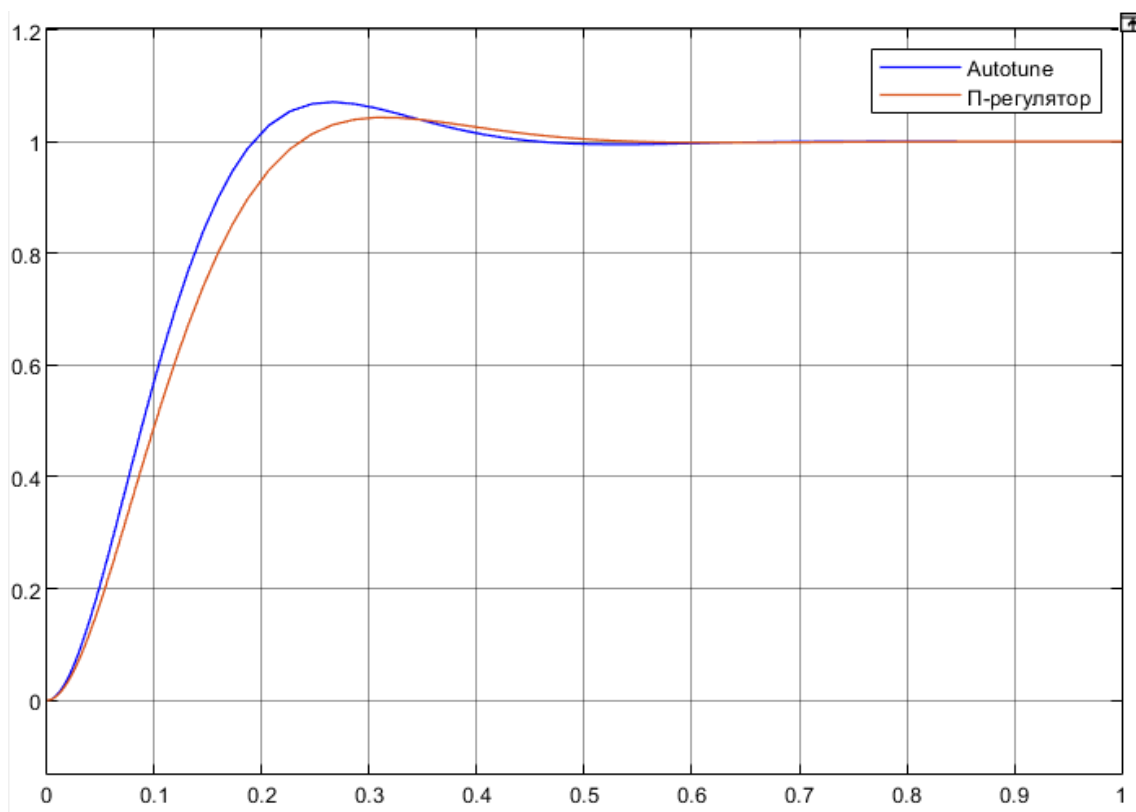


Рисунок 2.13 – Результаты моделирования СОУ с регулятором

Оценки качества переходного процесса с регулятором.

- peak response, позволяет получить оценку перерегулирования (overshoot), $P_{OV}=4,32\%$, время достижения первого максимума, $T_p=0.313$ sec;
- settling time: время регулирования, $T_{set}=0.422$ sec;
- rise time: время нарастания, $T_R=0.152$ sec;
- steady state (final value): установившееся состояние, $y_{ss}=1$.

По умолчанию, в среде MATLAB время регулирования, T_{set} , получено при допустимой ошибке 2%, а время нарастания, T_R , от 10 до 90% от переходного процесса.

В соответствии с перечнем прямых оценок качества:

- число колебаний, $M=0$.
- колебательность: $\mu = \frac{1-1}{1.04-1} * 100\% = 0\%$;
- частота колебаний: $\omega=0$;
- время достижения первого максимума, $T_p=0.313$ sec;
- декремент затухания: $\chi = \frac{1.04-1}{1-1} = \infty$.

Переходной процесс с регулятором показан на рисунке 2.14.

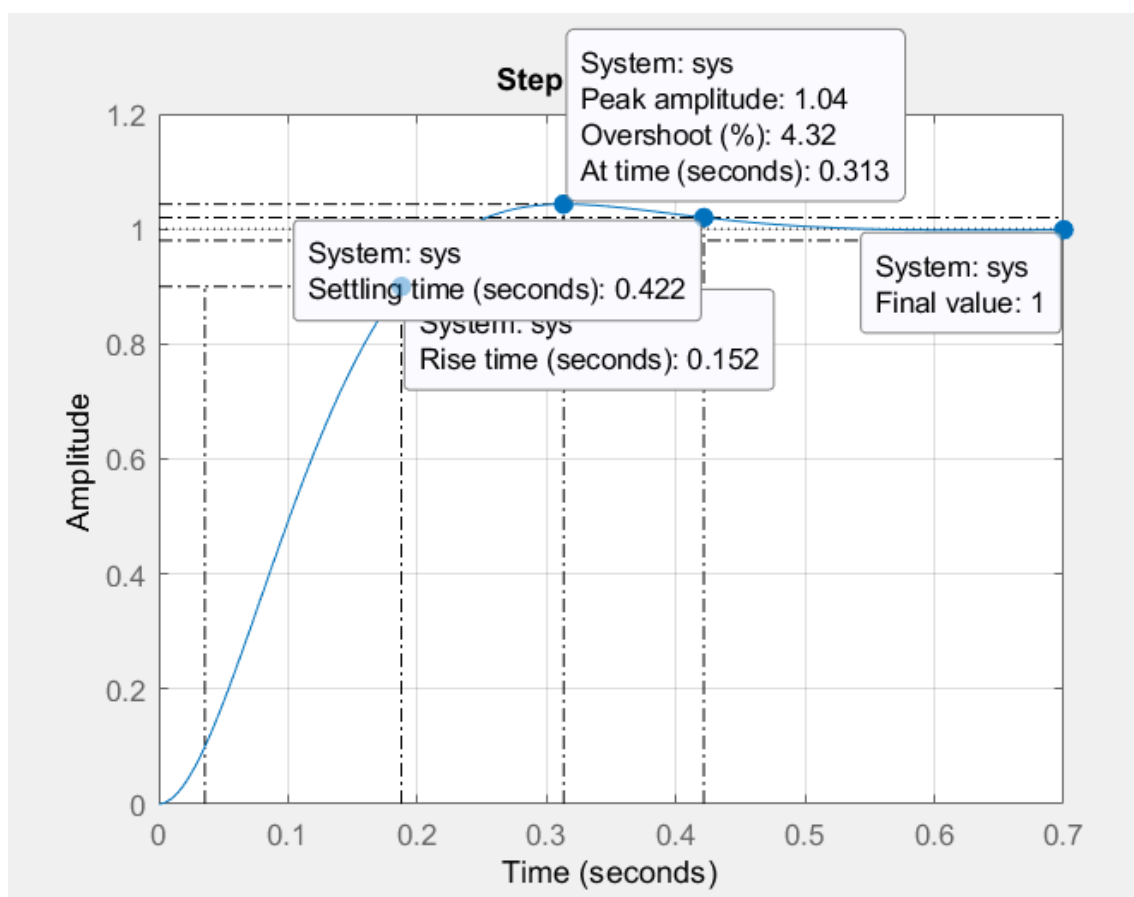


Рисунок 2.14 – Переходной процесс замкнутой системы с регулятором

Получение косвенных оценок качества замкнутой САУ на основе корневых методов.

Получение в среде MATLAB полюсов передаточной функции на комплексной плоскости:

На рисунке 2.15 представлены полюса системы, полученные в среде MATLAB на основе команды `>>pzmap(G)`.

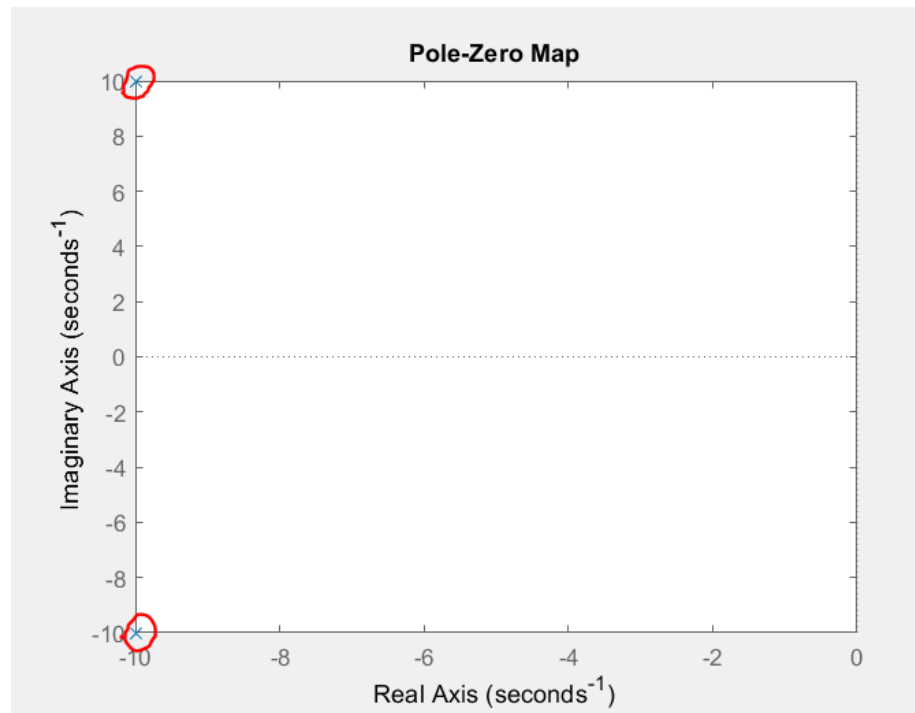


Рисунок 2.15 – Полюса передаточной функции на комплексной плоскости

Получим оценки качества системы в соответствии с перечнем корневых оценок.

Характеристика №1 Время регулирования. T_{set}

$$T_{set} = \frac{4}{|\sigma_{min}|} = \frac{4}{|-10|} = 0.4$$

Характеристика №2 Степень колебательности, μ

$$\mu = \frac{\omega_d}{\delta} = \frac{10}{10} = 1$$

Характеристика №3 Степень устойчивости, η

$$\eta = |\sigma_{min}| = 10$$

По этим итогам оценок качеств, определяется насколько наша система соответствует тем или иным требованиям мирового или **желаемого стандарта**.

Смотрите ниже в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Сравнение действительных значений оценок качеств с желаемыми требованиями

| | № | Оценки качества | | прямые | корневые | Желаемые требования | Соответствие требованиям |
|----------------|---|------------------------------------|----------------|----------|----------|---------------------|--------------------------|
| Основные | 1 | Время регулирования | T_{set} | 0.422 | 0.4 | $0 < T_{set} < 1$ | Соответ-т |
| | 2 | Перерегулирование | P_{ov} | 4.32% | | 0-30% | Соответ-т |
| | 3 | Число колебаний | M | 0 | | 0-2 | Соответ-т |
| | 4 | Колебательность | μ | 0% | 1 | $0 \leq \mu \leq 5$ | Соответ-т |
| | 5 | Частота колебаний | ω_{osc} | 0 | | | |
| Дополнительные | 7 | Время достижения первого максимума | T_p | 0.313 | | | |
| | 8 | Время нарастания | T_R | 0.152 | | | |
| | 9 | Декремент затухания | χ | ∞ | | | |

Вывод: Синтезированный регулятор методом Кеслера, выдал практически идентичные результаты с автотюном Simulink. У обоих процессов быстрый разгон, минимальное перерегулирование, отсутствуют какие-либо колебания и сходятся к финальному единичному значению. И самое главное, из оценок качества, представленных в таблице 2.3, хорошо видно, что переходной процесс полностью соответствует желаемым требованиям инженера.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте была рассмотрена задача разработки системы автоматического регулирования электроприводом.

Было рассмотрено назначение электроприводов, их конструкция и решена задача анализа САУ с использованием первого метода Ляпунова. Получены оценки качества замкнутой системы. Была построена функциональная и структурная схема, составлена математическая модель системы регулирования электроприводам.

Был сделан синтез регулятора системы регулирования электроприводом методом Кеслера. Вычислен предельный коэффициент пропорциональности для синтеза и получен результат моделирования с регулятором.

Был подобран нужный регулятор для поставленной задачи, получены результаты моделирования исходной системы без регулятора и системы с регулятором.

Выполнено сравнение синтезированного регулятора с автоматической настройкой регулятора в Simulink MATLAB.

Система смогла достичь высокой точности и скорости благодаря построенному регулятору, удовлетворив при этом все современные требования к технологическому процессу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 621.3 П12-3362. Автоматизированный электропривод: курс лекций для студентов специальности 1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства» / С. Н. Павлович. - Минск: БИТУ, 2008. - 128 с.
- 2 Ключев В.И., Теория электропривода: учебник для вузов. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
- 3 Москаленко, В.В. Электрический привод – М. : Мастерство, 2000.
- 4 Онищенко Т.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок. – М. : Изд. РАСХН, 2001.
- 5 Чиликин М.Г. Теория автоматизированного электропривода: учебное пособие для вузов. – М. : Энергия, 1979. – 616 с.
- 6 Чиликин М.Г. Общий курс электропривода / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. – М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с.
- 7 Настройка типовых регуляторов по методу Циглера–Никольса: Методические указания к выполнению лабораторной работы для студентов / О.С. Вадутов. – Т.: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 10 с.
- 8 Технико-экономическое обоснование: Методические указания к выполнению экономической части дипломных работ / З.Д. Еркешева. – Алматы: АУЭС, 2017. – 29 с.
- 9 Метрология, стандартизация и сертификация: Конспект лекций (для студентов всех форм обучения специальности 050702 – Автоматизация и управление) / С.Г. Хан. – Алматы: АИЭС, 2006. – 44 с.
- 10 Воронов А.А. и др. Основы теории автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для вузов, М.: Высшая школа, 1977. – 519 с.
- 11 Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. – М: Издательство «Наука», 1975. – 759 с.
- 12 Kriesel W., Heimbold T. Bustechnologien fur die Automation. – Heidelberg: Nuthig Verlag, 2000. – 156 с.
- 13 ГОСТ 21.208-2013. Система проектной документации для строительства. Автоматизация технологических процессов. Условные обозначения приборов и средств автоматизации в схемах. – М.: Изд-во стандартов, 2013.
- 14 ГОСТ 21.408-2013. Система проектной документации для строительства. Правила выполнения рабочей документации автоматизации технологических процессов. – М.: Изд-во стандартов, 2013.
- 15 Кириллов А.В., Степанюк Д.П., Ясенев. Электрический привод. Екатеринбург, 2016г. Информация с сайта: <http://www.ustu.ru/>

Протокол анализа Отчета подобия Научным руководителем

Заявляю, что я ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Кайыркенов Нуржан Болатжанулы

Название: Разработка системы автоматического регулирования электроприводом

Координатор: Ольга Ширяева

Коэффициент подобия 1: 11.7

Коэффициент подобия 2: 4.3

Замена букв: 20

Интервалы: 0

Микропробелы: 17

Белые знаки: 0

После анализа Отчета подобия констатирую следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, не допускаю работу к защите.

Обоснование: В результате проверки на антиплагиат были получены коэффициенты: Коэффициент подобия 1: 11,7 и Коэффициент подобия 2: 4.3. Коэффициент подобия объясняются тем, что в дипломной работе были использованы общепринятые термины теории управления: привод, устойчивость, регулятор и пр. Замена букв – выявлена при наборе формул латинскими буквами. Микропробелы – это пробелы до и после формул в тексте. Работа выполнена самостоятельно и не несет элементов плагиата. Обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и имеются ссылки. Белые знаки были выявлены в соответствии с тем, что использовалось закрашивание номеров страниц и пр. В связи с этим, признаю работу самостоятельной и допускаю ее к защите перед государственной комиссией.

25.05.2021

Дата



Подпись Научного руководителя

Протокол анализа Отчета подобия

заведующего кафедрой / начальника структурного подразделения

Заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения заявляет, что ознакомился(-ась) с Полным отчетом подобия, который был сгенерирован Системой выявления и предотвращения плагиата в отношении работы:

Автор: Кайыркенов Нуржан Болатжанулы

Название: Разработка системы автоматического регулирования электроприводом

Координатор: Ольга Ширяева

Коэффициент подобия 1:11.7

Коэффициент подобия 2:4.3

Замена букв:20

Интервалы:0

Микропробелы:17

Белые знаки:0

После анализа отчета подобия заведующий кафедрой / начальник структурного подразделения констатирует следующее:

- обнаруженные в работе заимствования являются добросовестными и не обладают признаками плагиата. В связи с чем, работа признается самостоятельной и допускается к защите;
- обнаруженные в работе заимствования не обладают признаками плагиата, но их чрезмерное количество вызывает сомнения в отношении ценности работы по существу и отсутствием самостоятельности ее автора. В связи с чем, работа должна быть вновь отредактирована с целью ограничения заимствований;
- обнаруженные в работе заимствования являются недобросовестными и обладают признаками плагиата, или в ней содержатся преднамеренные искажения текста, указывающие на попытки сокрытия недобросовестных заимствований. В связи с чем, работа не допускается к защите.

Обоснование:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения

Окончательное решение в отношении допуска к защите, включая обоснование:

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

Дата

Подпись заведующего кафедрой /

начальника структурного подразделения