

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Кузнецов Алексей Андреевич

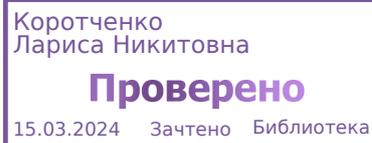
**Оценка возможностей формирования
подчиненных контуров электропривода на
принципах модального и оптимального
управления**

Направление подготовки

13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

АВТОРЕФЕРАТ

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ



2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель

Кандидат технических наук,
доцент кафедры ЭПАПУ
Горькавый Александр
Иванович

Рецензент

Кандидат технических наук,
Главный инженер, ООО
«Одиссей-ДВ» Бакаев Виктор
Викторович

Защита состоится «15» марта 2024 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на-Амуре государственном университете по адресу: 681913, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Автореферат разослан 8 марта 2024 г.

Секретарь ГЭК

А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Во время разработки или проектирования какого-либо технологического процесса, в котором зачастую используются электродвигатели, для электродвигателей необходимо составлять систему управления в зависимости от их назначения. Основными задачами управления электроприводами являются: осуществление пуска, регулирование скорости, торможение, реверсирование рабочей машины, поддержание ее режима работы в соответствии с требованиями технологического процесса, управление положением рабочего органа машины. При этом должны быть обеспечены наибольшая производительность машины или механизма и наименьший расход электроэнергии. Также у систем управления могут быть дополнительные функции: сигнализация, защита, блокировки и пр.

Современный автоматизированный электропривод – сложная система автоматического управления (САУ), которая может входить в состав более сложной САУ.

Эти системы должны собирать информацию о ходе технологического процесса, обработать ее на основании заданного алгоритма, вырабатывать и выдавать управляющие воздействия на устройство, обеспечивающее целесообразный ход технологического процесса.

Интенсификация, то есть повышение производительности за счет применения новых технологий в технологическом прогрессе в различных отраслях промышленности связана с усложняющейся технологией производства, с повышением требований к качеству продукции при более сложных процессах технического изготовления, что привело к большому количеству разнообразных систем управления электроприводами. В связи с этим возникает необходимость их классификации, позволяющая более рациональное их изучение.

Системы управления различают по назначению: поддержания постоянства регулируемой переменной, системы программного управления и следящие системы. Эта классификация относится к замкнутым системам. Она не включает в себя простейших систем и не учитывает систем, обеспечивающих оптимизацию, самонастройку и комплексную автоматизацию. Системы управления различают по роду аппаратуры: релейно-контакторные, с электромашинными усилителями, с магнитными усилителями, с электронными и полупроводниковыми преобразователями. Это не всегда удобно, т.к. современные системы, имеющие аппаратуру, могут строиться по одинаковым принципам и будут меняться при переходе от одного класса систем к другому.

Наиболее целесообразно группировать СУЭП по тем основным функциям, которые они выполняют в производственном процессе. Требования производства к СУЭП могут быть простыми для отдельных несложных технологических механизмов и довольно сложными для технологических комплексов, выполняющих различные операции при обработке материалов и деталей.

Требования производства лежат в основе функций, которые выполняются САУ. Простые функции соответствуют простым требованиям, более сложные – более сложным системам и функциям.

Группирование систем по основным функциям довольно сложно при изучении систем управления, то классификация их по основным функциям является более целесообразной и с методической точки зрения. В данном случае каждый класс системы отличается от других классов структурной схемой, принципами действия, способами построения, а также своими расчетами и типовыми схемами.

Кроме основных функций, выделяются дополнительные, каждая из которых вызывает создание лишь дополнительных узлов в СУЭП.

Системы, выполняющие сложные функции, могут выполнять и более простые. Однако необходимо следить, чтобы более простым функциям на практике соответствовали и более простые схемы СУЭП.

Целью данной магистерской диссертации является анализ и оценка возможности формирования системы управления электроприводом на принципах оптимального и модального управления с подчиненными контурами при сохранении физических переменных и интегральных показателей функционирования объекта.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

- 1) Анализ принципов подчиненного, оптимального и модального управления на предмет формирования структур контуров тока и скорости
- 2) Сформулировать подход построения модели системы на принципах, подчиненного модального и оптимального управления
- 3) Разработка астатической СУЭП с модальными ПИ – регуляторами
- 4) Оценка возможности варьирования настроек контуров тока и скорости

Научная новизна работы:

- 1) Решается задача построения структуры системы электропривода с подчиненными и отдельно настраиваемыми контурами тока и скорости, с широкими возможностями их перестроения.
- 2) Рассматриваются возможности повышения эффективности функционирования исполнительных устройств производственного оборудования.
- 3) Рассматриваются возможности синтеза системы электропривода так, чтобы она была астатической к возмущению и имела подчиненный контур тока с возможностью его ограничения.

Практическая значимость работы заключается в разработке научнообоснованных рекомендаций по повышению точностных

характеристик систем электропривода с целью совершенствования технологического процесса.

Методы исследования. В работе применялся комплексный подход к решению поставленных задач включающий системный анализ и математическое моделирование процессов, происходящих в системах электропривода.

Степень достоверности и апробации работы. Основные выводы и положения, сформулированные в процессе работы над диссертацией, нашли подтверждение в ходе моделирования и теоретических исследований. Отдельные разделы диссертационной работы докладывались и обсуждались на Внутривузовском конкурсе студенческих научных работ в области инноваций и технического творчества «Студенческая весна 2021» по направлению «Инноваций и технического творчества», КНАГУ, г. Комсомольск-на-Амуре (2021 г.).

Реализация результата работы. Представленные в работе регуляторы систем электропривода могут применяться при разработке настраиваемых систем управления электроприводом промышленных машин.

Личный вклад автора состоит в изучении и сборе научнотехнической информации по тематике диссертации, разработке эффективных регуляторов систем электропривода, разработке.

Публикации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в пяти научных изданиях, индексируемых базами РИНЦ, ВАК и Scopus.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 27 наименований. Работа представлена на 71 страницах, содержит 38 рисунков и 5 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулирована и обоснована актуальность темы исследования, обозначена цель работы и задачи для её достижения.

В первой главе осуществлён обзор в области цифровизации и роботизации развития промышленности, также были рассмотрены промышленный робот как сложная электромеханическая система и вопросы оптимизации и энергоэффективности технологического процесса.

Вторая глава посвящена аналитическому обзору возможности формирования подчиненных контуров электропривода на принципах оптимального и модального управления. Проанализированы тенденции развития систем управления ЭП, основные цели научных работ в этой области и их результаты.

В третьей главе предлагается вариант синтеза модальных пропорционально-интегральных (ПИ) регуляторов отдельных контуров так, чтобы обеспечивалась их автономность, желаемая настройка, вид переходного процесса по задающему воздействию и астатизм всей системы электропривода по возмущающему воздействию.

Предлагаемый способ построения системы может быть изложена в обобщенном векторно-матричном виде. Однако это приведет к довольно сложным векторно-матричным представлениям с множеством обозначений, переобозначений и преобразований координат. Поэтому в работе используются как инструменты структурного, так и векторно-матричного представления объектов и систем.

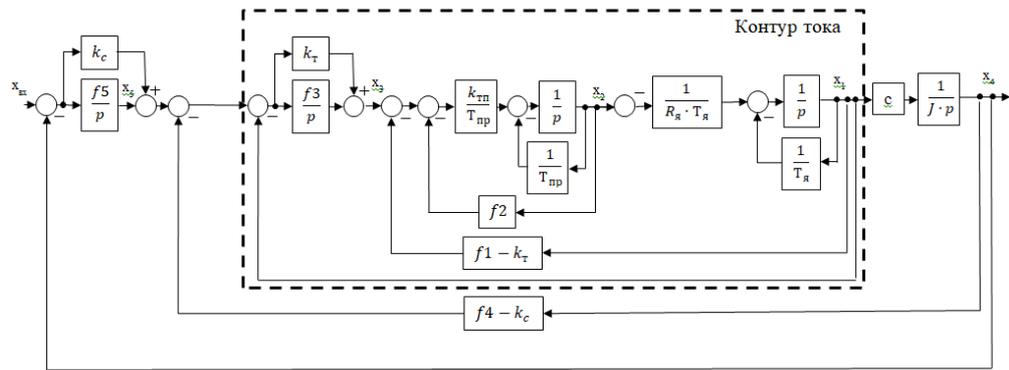


Рисунок 1 - Предлагаемая система ЭП

В результате с помощью настроек системы получилось изменять форму переходного процесса: форма Баттерворта или биномиальная форма.

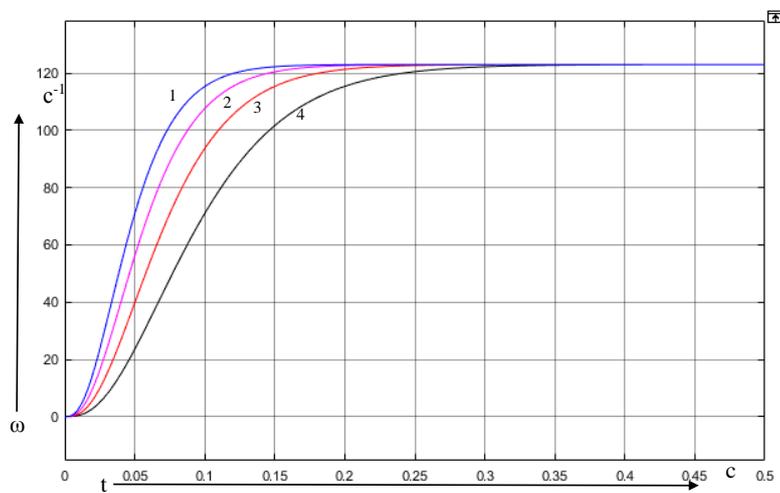


Рисунок 2 - Переходный процесс скорости при настройке на биномиальную форму

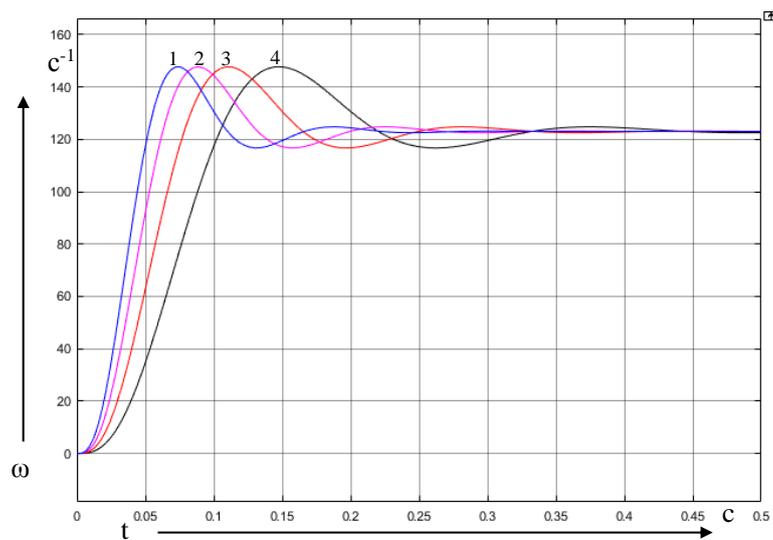


Рисунок 3 - Переходный процесс скорости при настройке на форму Баттефорта

Как показали проведенные исследования можно формировать имитационные модели и в условиях ограничения тока и скорости, в том числе в рамках контура положения.

В четвертой главе разработана система управления электропривода на принципах оптимального и подчиненного управления. Применение принципов оптимального управления при синтезе систем электропривода позволяет разрабатывать законы управления в соответствии с критерием оптимальности, в котором формируется «взвешивание» интегральных показателей отдельных аспектов функционирования систем: энергетических, динамических и точностных. Расчеты будут производиться по уравнениям Риккати.

Для объекта управления формируется квадратичный функционал качества:

$$J = \frac{1}{2} \cdot \int_0^{\infty} (q_1 \cdot x_1^2(t) + q_2 \cdot x_2^2(t) + q_3 \cdot x_3^2(t) + \rho \cdot u^2(t)) dt.$$

Здесь весовой коэффициент q_1 определяет значимость (вес) динамической ошибки по скорости при переходе в новое состояние, а фактически быстродействие; коэффициенты ρ , q_2 , q_3 определяют многообразие при формировании энергетического формирования энергетического показателя в функционале качества. Изменяя весовые коэффициенты, можно формировать приоритеты в соотношениях динамических и энергетических показателей и находить необходимый баланс (компромисс) в соответствии с предъявляемыми требованиями к функционированию системы.

После моделирования системы при различных сочетаниях весовых коэффициентов, получили переходные характеристики тока и скорости:

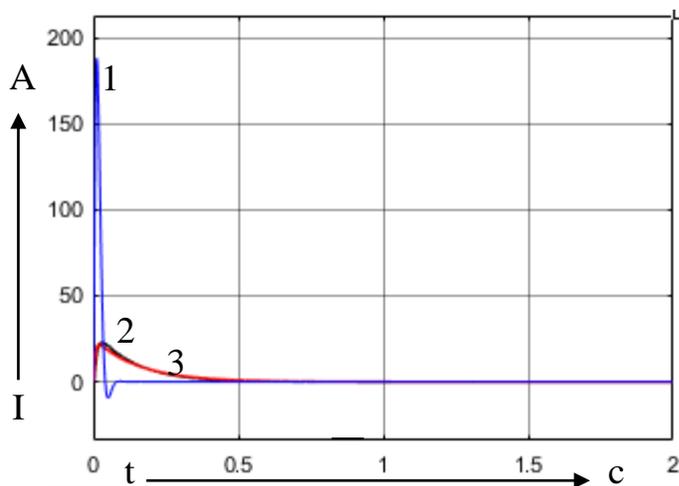


Рисунок 4– Графики переходных процессов тока ЭП

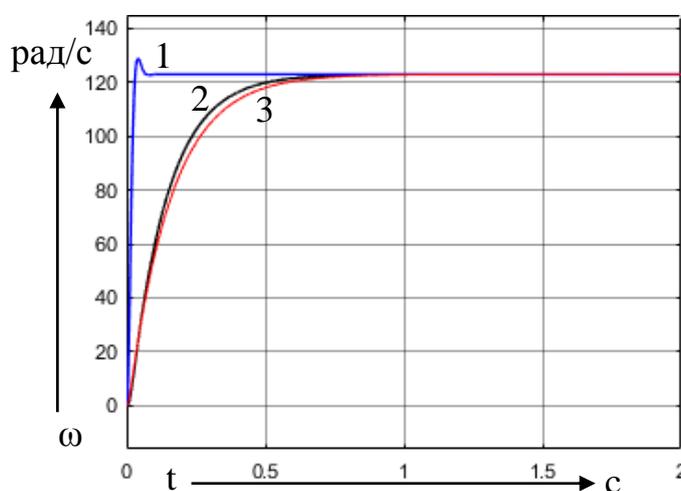


Рисунок 5 - Графики переходных процессов скорости ЭП

Таким образом, изменяя весовые коэффициенты в соответствии с требуемыми соотношениями интегральных показателей в функционале качества можно получать системы электропривода, отвечающие требованиям технологических и энергетических показателей.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1 Был представлен способ построения модели системы электропривода при помощи инструментов модального, оптимального и подчиненного регулирования.

2 Реализация предложенной процедуры синтеза на примере системы электропривода (ТП-Д) показала, что реакция системы на задающее воздействие полностью соответствует настройке системы с модальным ПИ-регулятором на биномиальную стандартную форму, то есть, при включении в структуру блока интеграторов переходный процесс системы остался прежним.

3 Также при рассмотрении методов повышения точности систем электропривода мехтронных модулей, основываясь на принципах оптимального управления, было произведено построение оптимальномодального ПИ-регулятора

4 Поскольку одним из способов, позволяющих получить высокую точность в системах автоматического управления, является использование методов теории инвариантности и комбинированного управления в работе была произведена интеграция принципов комбинированного и модального управления при сохранении в системе высокого порядка астатизма.

5 На примере объекта четвёртого порядка – электропривод тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока (ТП – Д) реализована процедура построения модального ПИ-регулятора с многократным интегрированием и разработана структура комбинированного управления, что позволило изменить переходную характеристику в сторону повышения быстродействия без нарушения настроек динамики системы на заданную стандартную форму. Результаты нашли своё подтверждение в ходе моделирования переходных процессов.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Кузнецов, А.А. Оценка возможностей формирования математической модели системы электропривода действующего промышленного робота / А.А. Кузнецов, А.И. Горькавый // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению - Автоматика, электропривод и робототехника: материалы междунаро. науч. –практ. конф., Комсомольск-на-Амуре, 16-26 фев. 2021 г. - Комсомольск-на-Амуре. 2021. С. 17-21.

2 Кузнецов, А.А. Формирование имитационной модели с изменяющимися настройками и характеристиками для прототипирования реальных систем управления электроприводом мехатронных модулей / А.А. Кузнецов, А.И. Горькавый // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований - Автоматика, электропривод и робототехника: материалы всероссийской. науч. конф., Комсомольск-на-Амуре, 12-16 апр. 2021 г. - Комсомольск-на-Амуре. 2021. С. 26-29.

3 Кузнецов, А.А. Формирование подчиненных контуров в системе электропривода на принципах оптимального управления/ А.А. Кузнецов, А.И. Горькавый, М.А. Мельниченко // Молодёжь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований – Промышленные технологии и инновации: материалы всероссийской. науч. конф., Комсомольск-на-Амуре, 11-15 апр. 2022 г. - Комсомольск-на-Амуре. 2021. С. 228-230.

4 Кузнецов, А.А. Оптимально-модальный регулятор в мехатронном модуле производственного оборудования / А.А. Кузнецов, А.И. Горькавый, О.С. Баталова // Производственные технологии будущего: от создания к внедрению – Управление инновациями в производственных системах: материалы всероссийской. науч. конф., Комсомольск-на-Амуре, 5-11 дек. 2022 г. - Комсомольск-на-Амуре. 2021. С. 342-344.