

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

На правах рукописи

Берх Александр Владимирович

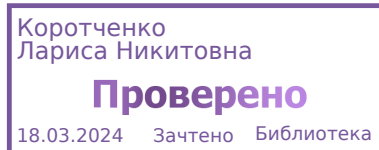
**Формирование ПИД-регуляторов систем
электропривода на принципах модального и
оптимального управления**

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 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, ауд. 104/3.

Автореферат разослан 11 марта 2024 г.

Секретарь ГЭК

А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Эффективность функционирования роботизированных технологических комплексов во многом определяется качеством функционирования манипуляционных механизмов, движение осей которых формируется мехатронными модулями. Цифровая реализация позволяет формировать все более сложные законы управления, разрабатываемые для повышения эффективности функционирования мехатронных модулей. Современные инструменты синтеза систем позволяют интерпретировать классические законы управления в более алгоритмизированные формы с учетом возросших возможностей информационного и аппаратного обеспечения процессов проектирования и реализации систем управления электроприводами различных технических объектов, в том числе, мехатронных модулей.

Если говорить о повышении точности системы, то формирование комбинированной структуры и введение интеграла в закон управления являются основными подходами. Недостатки комбинированного управления довольно сложно устранить из-за отсутствия качественных оценок возмущений, действующих на объект. Интеграл в закон управления вводится в форме пропорционально-интегрального регулятора (ПИ-регулятора) для сохранения требуемых динамических характеристик. Пропорционально-интегрально-дифференцирующие регуляторы (ПИД-регуляторы), обеспечивая астатизм системы, работают на опережение, тем самым повышают быстродействие системы и точность в динамических режимах.

Использование для настройки регуляторов принципа модального управления позволит управлять не только быстродействием системы, но и формой переходного процесса. Полученные при использовании данного метода настройки, параметры регуляторов имеют большую точность и не требуют предварительного запуска оборудования, а также дальнейшей подстройки оборудования.

Оптимальное управление представляет собой более обширный метод настройки. Позволяет использовать не только стандартные формы переходного процесса выходной координате, но и формировать новые. Что позволяет использовать данный метод в нестандартных технологических процессах с требованием к более сложным формам переходного процесса.

Еще одним плюсом оптимального управления является возможность настройки и формирования переходного процесса по всем координатам в системах автоматического управления. Так в системах управления электроприводом при высоком быстродействии возникает большой пусковой ток, что может приводить не только к потере энергоэффективности, но и к аварийным ситуациям. Оптимальное управление дает возможность находить компромисс между требованиями к быстродействию и энергоэффективностью, что позволит получить максимально выгодную систему.

При использовании данных методов настройки регуляторов сохраняются преимущества формирования переходных процессов и получение астатических систем.

В перспективе существует возможность алгоритмизации рассмотренных далее методов настройки регуляторов.

Цель представленной работы - формирование эффективного инструмента проектирования астатической системы управления электроприводом.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрены требования к мехатронным модулям, указаны возможности ПИД-регуляторов, и актуальность инновационных подходов в формировании методов настройки регуляторов, сформулированы цели и задачи.

В первой главе были изучены роботизация технологических процессов, промышленные роботы и мехатронные модули. Произведено описание наиболее распространенных типов промышленных роботов и требования

предъявляемые к ним. Был описан мехатронный модуль, его возможности и важность повышения его эффективности. Так же были описаны астатизм и его необходимость в современных системах управления, требующих высокой точности и быстродействия.

Во второй главе производится изучение принципов работы различных типов регуляторов, выделяются их преимущества и недостатки. Описано влияние составляющих всех каналов регулятора на его работу и дальнейшее влияние на систему управления. Так же рассмотрены существующие методы настройки ПИ- и ПИД- регуляторов. В работе предоставлены подробные описания данных методов. Изучены их функциональные возможности и условия реализации.

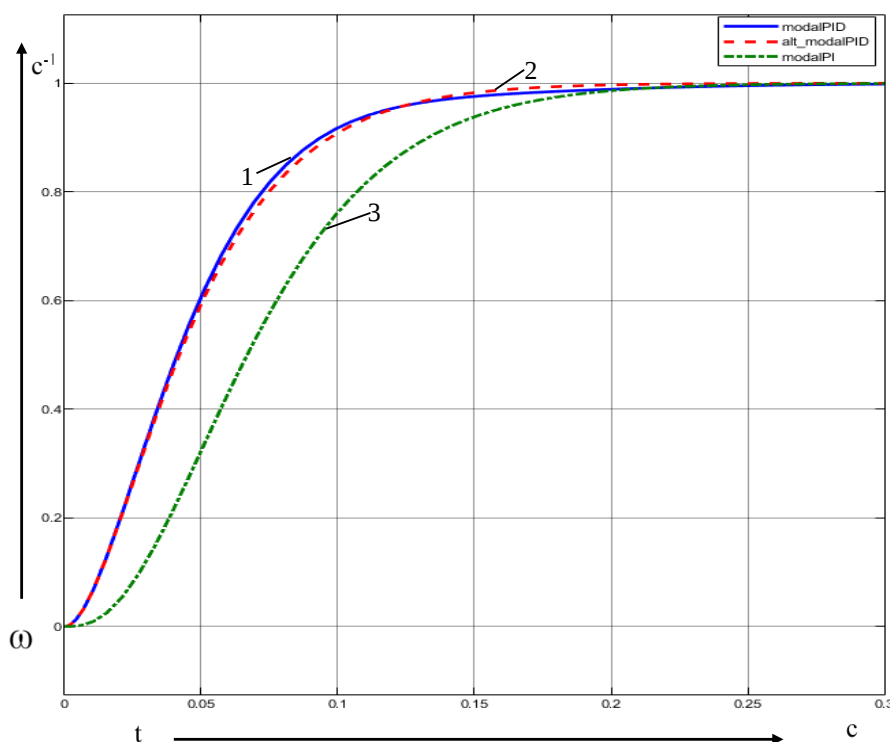
Описаны недостатки изученных методов. Ограничение быстродействия в системах подчиненного регулирования. Необходимость запуска ненастроенной системы и получение приблизительных параметров регулятора в методе Зиглера-Никольса. Невозможность получения оптимальных настроек из-за использования упрощенных моделей. Так же недостатком рассмотренных методов является их специализация под конкретные системы управления. Все рассмотренные в главе недостатки будут исключены в рассмотренных далее методах настройки систем управления электропривода.

В третьей главе производится формирование и исследование метода настройки ПИ- и ПИД-регуляторов на основе модального управления. В роли управляемой системы используется модель электропривода третьего порядка. Пропорциональной составляющей регулятора выступают обратные связи по всем координатам системы.

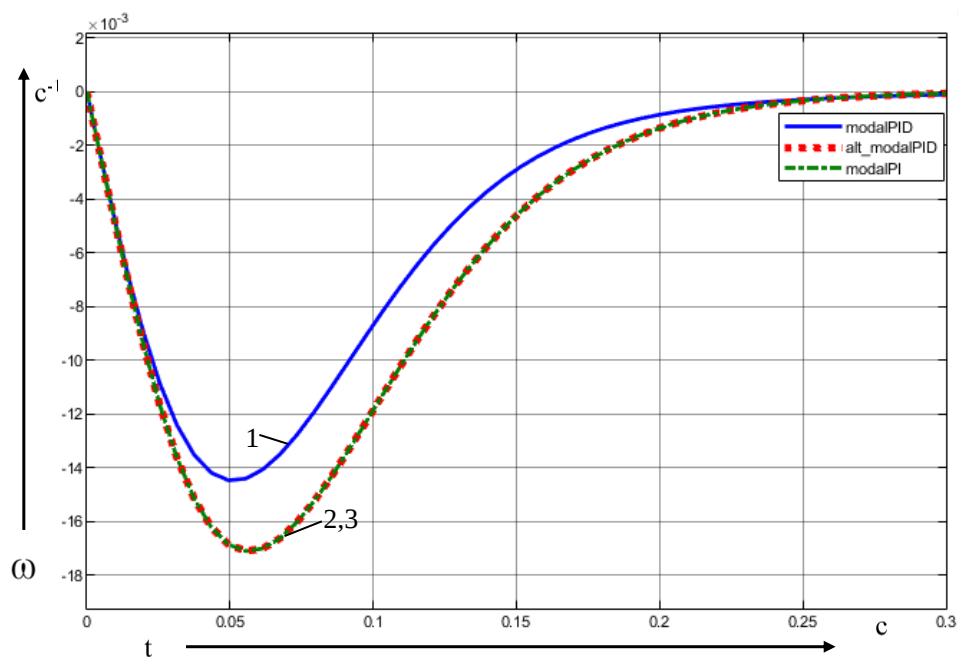
При использовании ПИ-регулятора повышается порядок не только характеристического уравнения, но и порядок числителя передаточной функции. Проведя расчет параметров регулятора, реализуется настройка системы на стандартную форму с сокращением порядка системы. Этот метод позволяет управлять быстродействием системы, сохраняя форму переходного

процесса исходного порядка, и делает систему астатической, компенсируя эффект возмущающего воздействия.

Далее производится настройки системы управления электропривода с ПИД-регулятором на принципах модального управления. За счет дифференцирующих составляющих регулятора становится возможным увеличение быстродействия системы по задающему воздействию, и уменьшение динамической ошибки по возмущающему воздействию. Наличие дифференцирующего канала повышает порядок числителя передаточной функции. Настроивая числитель на стандартную форму второго порядка, становится возможным уменьшение порядка системы. Благодаря этому переходный процесс имеет форму второго порядка, что еще увеличивает быстродействие системы. Было произведено сравнение результатов моделирования настроенных систем (рисунок 1), (рисунок 2)



1 – модальный ПИД-регулятор; 2 – ПИД-регулятор с альтернативной компенсацией дифференциального канала; 3 – модальный ПИ-регулятор
Рисунок 1 - Переходный процесс систем по задающему воздействию



1 – модальный ПИД-регулятор; 2 – ПИД-регулятор с альтернативной компенсацией дифференциального канала; 3 – модальный ПИ-регулятор
Рисунок 2 - Переходный процесс систем по возмущающему воздействию

В четвертой главе проведен синтез системы с ПИД-регулятором настроенным оптимальным методом. Использование оптимального метода предполагает формирование формы переходного процесса управляемых координат. Так как за счет дифференцирования изначальный порядок системы уменьшается, для формирования оптимальной формы используется модель электропривода второго порядка с ШИМ преобразователем. Изменяя весовые коэффициенты, было составлено некоторое множество структур, из которых была выбрана наиболее оптимальная. Используя корни ее характеристического уравнения, производится формирование новой формы, на которую будет настроена система с ПИД-регулятором.

Числитель передаточной формы приравняется к биномиальной форме второго порядка, аналогично модальному методу. Характеристическое уравнение приравняется к произведению стандартной биномиальной формы второго порядка и полученной ранее оптимальной форме, аналогично модальному методу общий порядок системы сокращается, и получаем передаточную функцию второго порядка (рисунок 3) и астатизм системы (рисунок 5).

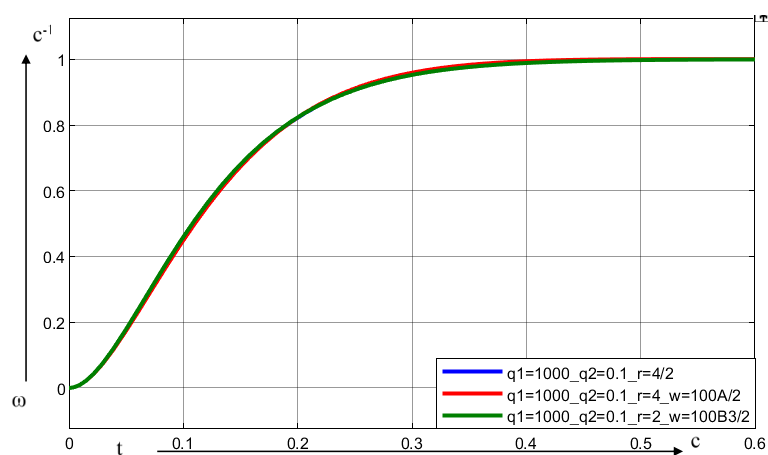
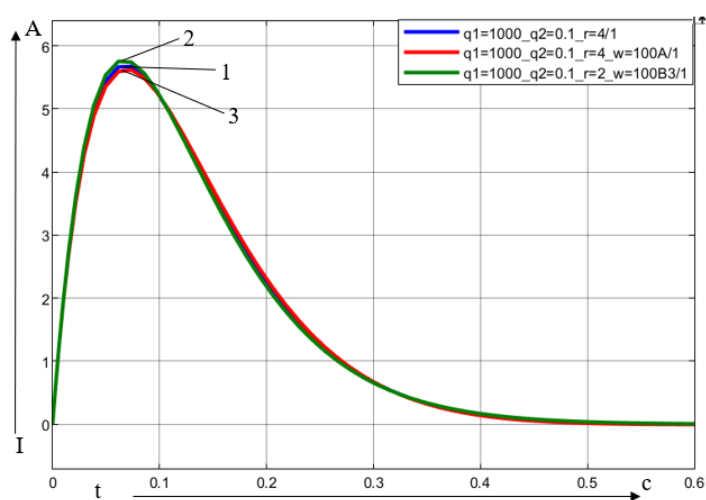
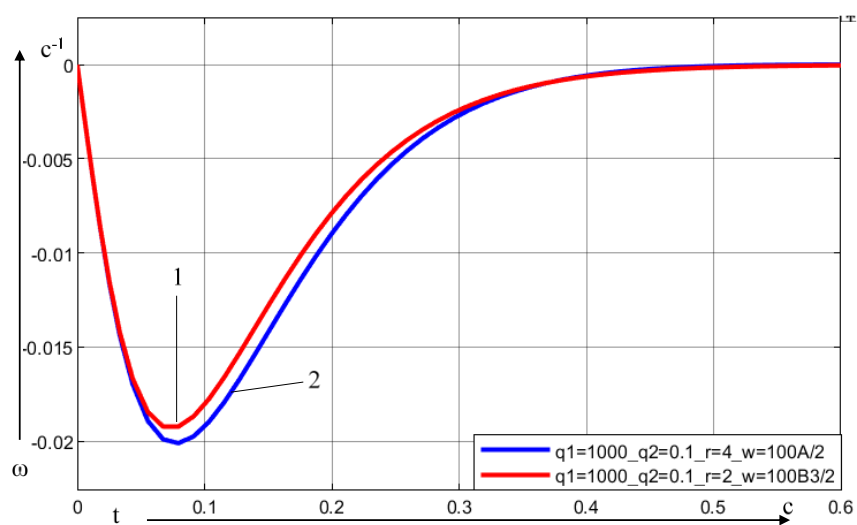


Рисунок 3 - переходный процесс скорости по задающему воздействию



1 – оптимальная система второго порядка; 2 – система с оптимальным ПИД-регулятором; 3 – система с альтернативной компенсацией дифференциального канала

Рисунок 4 - переходный процесс тока по задающему воздействию



1 – система с оптимальным ПИД-регулятором; 2 – система с альтернативной компенсацией дифференциального канала

Рисунок 5 - переходный процесс скорости по возмущающему воздействию

Также производилась формирование и исследование системы с реально дифференцирующим звеном в составе ПИД-регулятора. Размерность постоянной времени дифференциатора была выбрана так, чтобы ее можно было реализовать аппаратно. Результат моделирования показывает, что использование в расчетах структурную схему с идеально дифференцирующим звеном, позволяет использовать полученные параметры регулятора в системе с реальным дифференциатором. И дает характеристики системы аналогичные идеальному дифференциатору (рисунок 6).

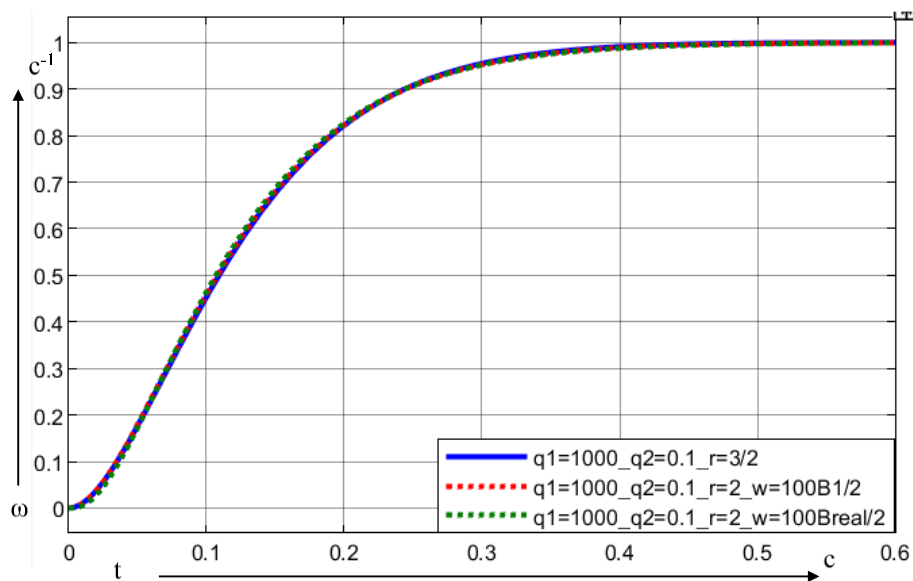


Рисунок 6 - переходный процесс скорости по задающему воздействию

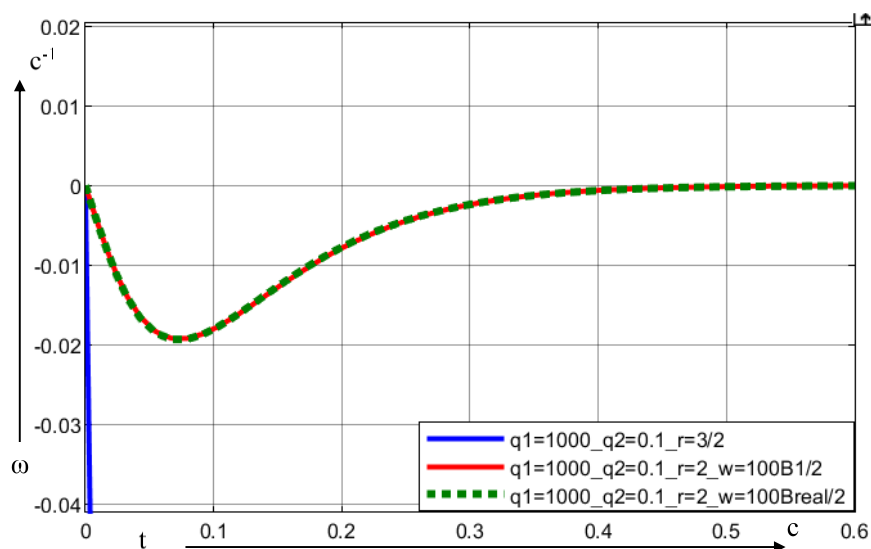


Рисунок 7- переходный процесс скорости по возмущающему воздействию

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

- 1 Проведен анализ существующих методов настройки регуляторов. Изучены основные недостатки данных методов.
- 2 Произведено моделирование и исследование метода настройки ПИ- и ПИД- регуляторов на основе модального управление.
- 3 Проведено формирование и исследования метода настройки регулятора на основе оптимального управления. Произведено сравнение различных способов компенсации дифференциальных составляющих.
- 4 Реализовано моделирование системы с реальным дифференцирующим звеном. Доказана возможность реализации рассмотренного метода в технологических системах.
- 5 Доказано устранение недостатков распространённых методов в сформулированном методе настройки регулятора.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

- 1 Берх, А.В. Формирование инструментов проектирования эффективных систем управления мехатронным модулем / Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований Ч 2, 2021.- С. 11-14.
- 2 Берх, А.В. Оптимальный ПИД-регулятор в структуре мехатронного модуля производственного оборудования / Производственные технологии будущего: от создания к внедрению Ч 1, 2023.- С. 339-341
- 3 Берх, А.В. Синтез астатической структуры системы электропривода на принципах оптимального управления / Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований Ч 1, 2022.- С. 184-186.
- 4 Берх, А.В. Синтез модели электромеханической системы мехатронного модуля / Производственные технологии будущего: от создания к внедрению Ч 1, 2021.- С. 175-179
- 5 Berkh, A.V. Improving the functioning of the cybernetic control system of the mechatronic module of the robotic complex / Informatics and cybernetics in intelligent systems. proceedings of 10th computer science on-line conference Ч 3, 2021.- С. 702-709