

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

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

На правах рукописи

Кузнецов Дмитрий Евгеньевич

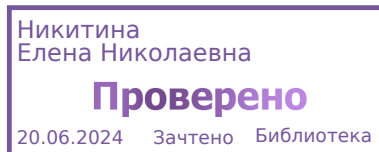
**Разработка и исследование электропривода
постоянного тока силовой коррекции**

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 Мешков Александр
Сергеевич

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент
кафедры «Электротехника,
электроника и электромеханика»
ФГБОУ ВО «ДВГУПС»

Малышева О.А.

Защита состоится «20» Июня 2020 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 10 июня 2024 г.

Секретарь ГЭК

А.В. Бузикаева

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Системы регулируемого электропривода (ЭП) средней и большой мощности, работающие в основном в режиме стабилизации скорости и момента двигателя, широко применяются в промышленности. Удовлетворение постоянно растущих требований к быстродействию таких систем, определяющему в значительной мере динамическую и статическую точность стабилизации регулируемых параметров, может быть выполнено только при использовании в таких системах быстродействующих источников питания. Использование в качестве источников питания преобразователей, выполненных на полностью управляемых силовых полупроводниковых приборах, например, IGBT-транзисторах при специальных способах управления обеспечивает требуемое высокое быстродействие. Однако, несмотря на наблюдающуюся тенденцию к постоянному снижению стоимости силовых полностью управляемых полупроводниковых приборов, в настоящее время при большой и средней мощности ЭП стоимость преобразователя на полностью управляемых полупроводниковых приборах остается высокой и практически соизмеримой со стоимостью электромеханической части. Эффективным средством снижения стоимости преобразовательной части ЭП большой и средней мощности, большую часть времени работающих в режиме малых отклонений регулируемых координат, является применение силовых корректирующих звеньев (СКЗ) и, в частности, параллельных СКЗ. Принцип параллельной силовой коррекции в приводах постоянного тока заключается в следующем: якорная обмотка двигателя питается от тиристорного преобразователя (ТП) с естественной коммутацией (ЕК), быстродействие которого относительно невелико, и от транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП) с установленной мощностью 20 ... 25 % от номинальной мощности нагрузки и с быстродействием не менее чем на порядок большим, чем быстродействие ТП. ТП и ШИП включаются параллельно якорю двигателя. В такой системе регулирования тока якоря, при

соответствующей структуре и настройках регуляторов, ТП создает только медленно изменяющиеся составляющие тока с большими амплитудами. Быстро изменяющиеся составляющие тока с амплитудой не более 20 ... 25% от номинального тока якоря создаются быстродействующим ШИП.. Такое техническое решение, ориентированное на применение относительно недорогого мощного ТП на обыкновенных тиристорах и маломощного транзисторного ШИП, будет менее затратно, чем применение в такой системе только одного быстродействующего транзисторного преобразователя на номинальную мощность двигателя.

Цель работы и задачи исследования. Проведение исследований и разработка мероприятий по совершенствованию структур тиристорных ЭП с СКЗ и законов управления в таких системах.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Произведен анализ существующих способов улучшения быстродействия систем тиристорного ЭП.
2. Обоснование использования СКЗ в системах стабилизации скорости
3. Анализ математических моделей двигателя постоянного тока, работающих в структуре замкнутых систем автоматического управления;
4. Произведен выбор электрического оборудования силовой части системы управления электроприводом с СКЗ
5. Разработка имитационной модели управления скоростью двигателя постоянного тока в составе системы управления электроприводом, с звеном силовой коррекции.
6. Разработка структур регулирования тока и скорости в тиристорных ЭП постоянного тока с СКЗ.

Научная новизна магистерской диссертации заключается в следующем:

Разработана математическая модель системы электропривода с параллельным СКЗ в силовом канале ЭП.

Произведено исследование динамических характеристик электропривода, учитывающих влияние СКЗ и произведена оценка эффективности использования такого СКЗ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, показана научная новизна, практическая ценность.

В первой главе на основании приведенных в литературе данных показано, что высокая динамическая точность в системах ЭП возможна только при использовании для их питания быстродействующих источников. На основании сравнения различных способов улучшения статической и динамической точности преобразователей переменного тока в постоянный показано, что для питания систем ЭП постоянного тока большой и средней мощности, работающих в режиме стабилизации регулируемых координат, целесообразно применение комбинированных источников питания, то есть включение в силовую цепь ТП дополнительного быстродействующего маломощного источника постоянного тока с соответствующими обратными связями, компенсирующего динамические ошибки регулирования и выполняющего функции СКЗ. Рассмотрены общие принципы построения комбинированных источников питания и систем их регулирования.

Во второй главе Предложены варианты включения транзисторных ШИП, выполняющих функции параллельного СКЗ, в силовую схему тиристорного ЭП постоянного тока. В качестве применения СКЗ были рассмотрены различные полупроводниковые управляемые источники, такие как транзисторные усилители; ТП с ЕК, и ТП с ИК, и увеличением эквивалентного числа фаз. Разработана принципиальная схема, которая анализируется в работе. В качестве ТП используется реверсивная встречно-параллельная трехфазная мостовая схема с отдельным управлением, а в качестве СКЗ мостовой реверсивный ШИП с симметричным способом переключения транзисторов. Ток контура регулирования ШИП,

ограничивался на уровне 25% от номинального тока якоря. Для контуров тока ТП и ШИП использовалась стандартные настройки на модульный оптимум.

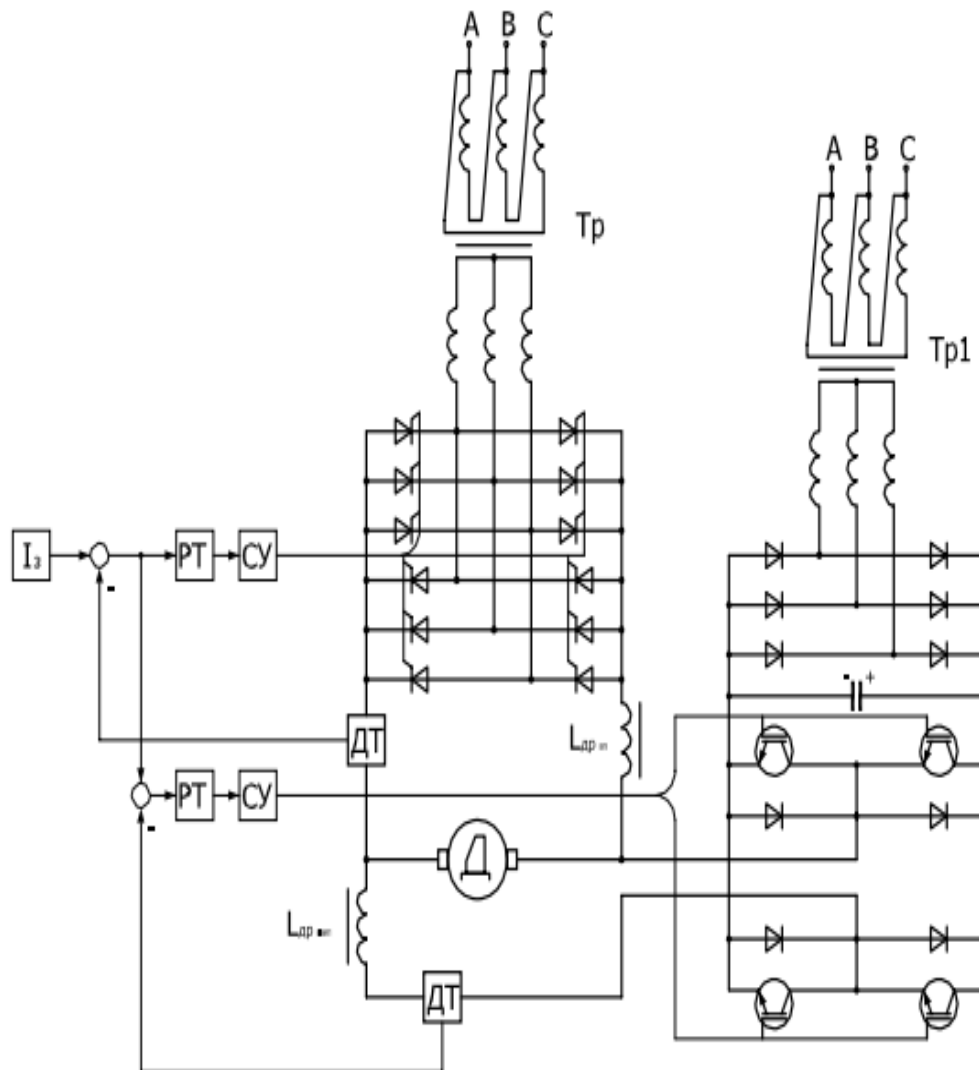


Рисунок 1- Принципиальная схема со структурой регулирования тока

Процессы в исследуемых ЭП в мгновенных значениях регулируемых координат характеризуются системой линейных и нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений. В систему входят следующие группы: — уравнения, описывающие электромагнитные процессы в силовых схемах ТП и транзисторных СКЗ; — уравнения, определяющие функционирование систем управления вентилями ТП; — уравнения, определяющие функционирование системы управления транзисторами СКЗ. — уравнения, характеризующие электромеханическое преобразование энергии в силовых цепях электрических двигателей; — уравнения,

определяющие функционирование системы регулирования координат ЭП; В силу специфики работы устройств преобразовательной техники, уравнения в каждой из первых трех групп на разных интервалах времени будут различаться, а выявление этих характерных интервалов в системах работающих не только в квазиустановившихся, но и в переходных режимах представляет известные сложности. В целом, математическое описание в виде систем уравнений для каждого из характерных интервалов будет громоздким, а решение этой системы уравнений численными методами с учетом меняющихся от интервала к интервалу начальных условий является трудоемким. Поэтому при анализе процессов в рассматриваемых системах регулирования целесообразно пользоваться методами моделирования, наиболее полно представленными в пакете программ Matlab, то есть использовать Simulink модели устройств, в основу которых положены указанные выше группы уравнений. Использование инструментальных средств среды Matlab позволяет в полной мере учесть основные нелинейности устройств преобразовательной техники и электромеханических преобразователей энергии.

В третьей главе: Изложен расчет ЭП и его основного оборудования.

Используется двигатель постоянного тока с независимым возбуждением «П92» с номинальной мощностью в 75кВт.

Выбран трансформатор ТСП-100/0,7-УХЛ4.

Выбраны диоды для выпрямителя марки В 10, класс 7.

Выбраны тиристоры типа Т161-200, низкочастотные, класс-6, нелавинные, повторяющегося напряжения $U_p = 600В$, неповторяющегося напряжения $U_{неп} = 670В$, предельный ток через вентиль $I_{пр} = 200А$.

В четвертой главе: Изложен расчет элементов силового корректирующего устройства.

Трансформатор: ТСП-16/0.7-УХЛ4.

Диоды марки В 10, класс 7.; выбираем транзисторы марки IGBT. IGBT имеет хорошие временные характеристики переключения. Прямое падение

напряжение на транзисторе в полностью открытом состоянии при коммутируемом напряжении 600 – 1200 В составляет 1,4 – 3,1 В что является хорошим показателем.

Наименование транзистора IRG4PH40U. Произведены настройки регуляторов тока и скорости.

В пятой главе предложена система ЭП постоянного на базе ТП с СКЗ и управлением СКЗ по ошибке регулирования скорости. Средствами Matlab моделируются переходные процессы в системах ЭП, В этих системах для контура регулирования тока ТП использовалась стандартная настройка на модульный оптимум. Контур регулирования тока ШИП настраивался в соответствии полученными во второй главе рекомендациями отклонения от настройки на модульный оптимум. Все контура скорости настраивались на симметричный оптимум.

Получен доступ к графикам переходных процессов по скорости и току ДПТ НВ на систему приходит номинальная нагрузка. Выполнено исследование, в результате которого были получены графики переходным процессов при номинальной нагрузке, а также с возмущением в момент времени 0.5с. выполнен сравнительный анализ систем, а именно ДПТ-НВ-ТП и ДПТ-НВ-СКЗ

В результате анализа следует вывод что система регулирования скорости в электрическом приводе соответствуют требованиям. В момент времени 0.5 с происходит процесс возмущения, после чего система стабилизируется. Кривая с СКЗ завершает переходный процесс быстрее чем кривая ДПТ-ТП. Переругивание в системах почти равно. Применение СКЗ не уменьшает процесс перерегулирования.

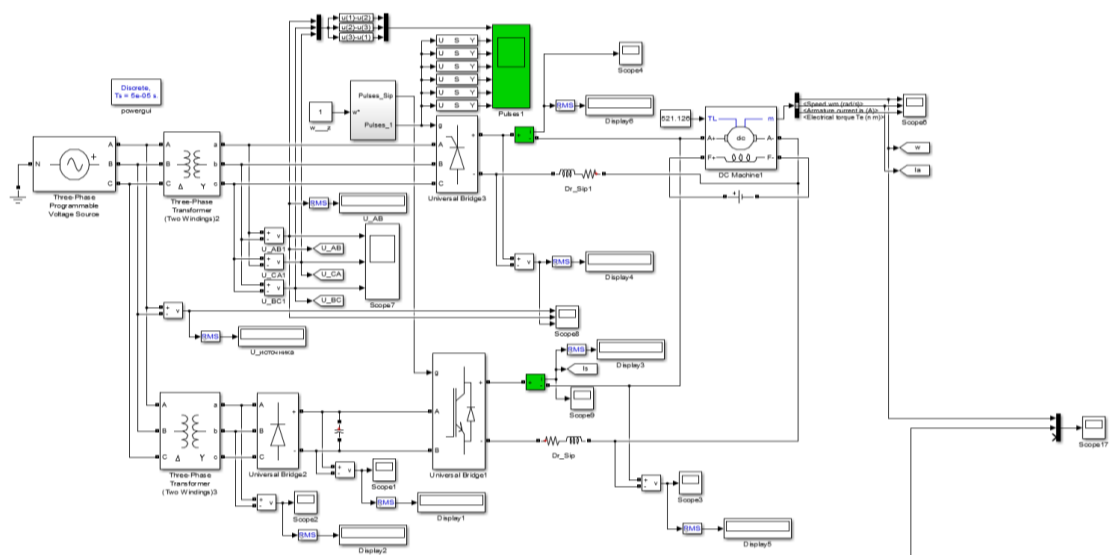


Рисунок 2 – Математическая модель

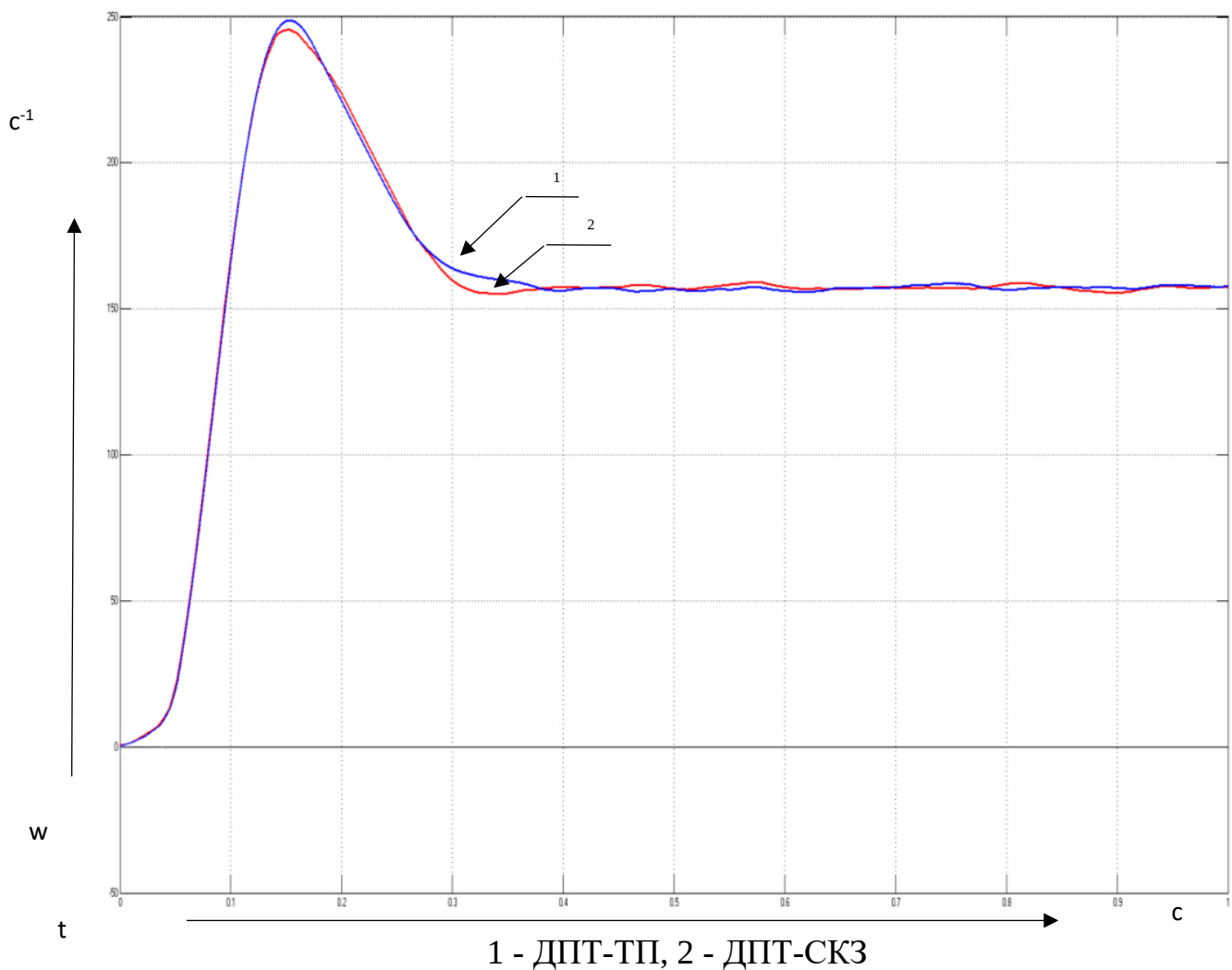


Рисунок 3 – Переходные процессы двигателя ДПТ-ТП и ДПТ-СКЗ

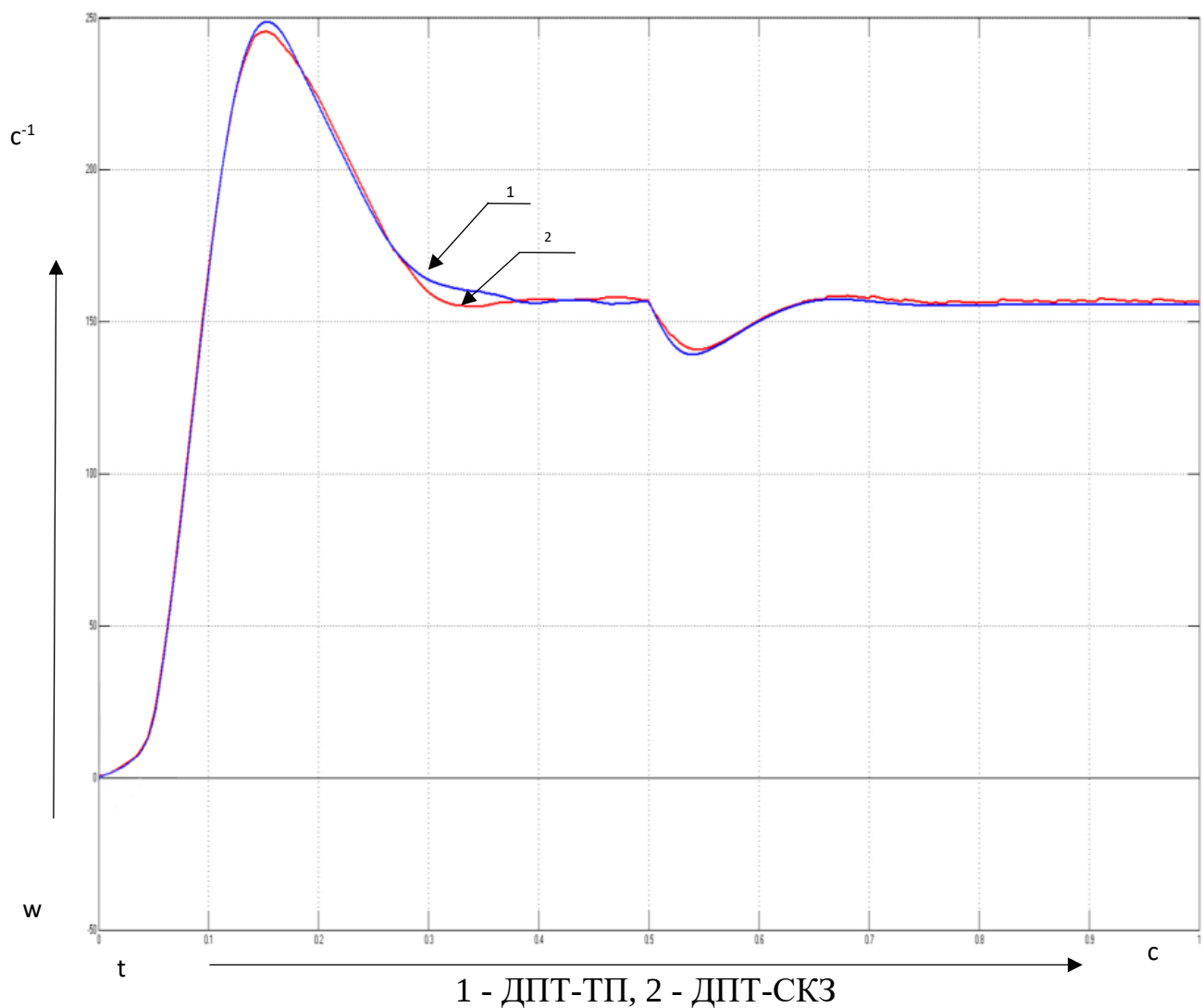


Рисунок 4 - Скорость двигателя относительно систем ДПТ-ТП; ДПТ-СКЗ

Основные результаты работы

1. Обоснована целесообразность использования силовой параллельной коррекции в системах регулирования тока и скорости тиристорных ЭП постоянного тока, работающих в режиме стабилизации, с целью улучшения их динамических и статических характеристик.

2. Показана целесообразность использования силовой параллельной коррекции в системах тиристорных ЭП переменного тока, с целью улучшения формы тока двигателя

3. Предложена система ЭП постоянного тока на основе ТП и транзисторного СКЗ с управлением СКЗ по ошибке скорости,

обеспечивающая увеличение точности стабилизации скорости при малых изменениях нагрузки на валу двигателя.

4. Разработаны модели тиристорных ЭП постоянного и переменного тока с СКЗ для расчета переходных процессов в мгновенных значениях регулируемых координат.

5. Разработаны рекомендации по настройкам контуров регулирования ЭП постоянного тока на базе ТП и транзисторного ШИП в качестве СКЗ и получены зависимости времени переходного процесса по току нагрузки и амплитуды его пульсаций от параметров силовой схемы и частоты коммутации транзисторов ШИП.

Основные публикации автора по теме диссертации:

1 Кузнецов, Д. Е. Применение силовой коррекции в системе «Тиристорный преобразователь – двигатель постоянного тока» / Д. Е. Кузнецов, А. С. Мешков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VI Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. В 3-х частях, Комсомольск-на-Амуре, 10–14 апреля 2023 года. Том Часть 1. – Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2023. – С. 255-258.

2 Кузнецов, Д. Е. «Разработка математической модели системы ТП-ДПТ с скз» / Д. Е. Кузнецов, А. С. Мешков // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : Материалы VII Всероссийской национальной научной конференции молодых учёных. Комсомольск-на-Амуре, 8–12 апреля 2024 года: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2024. – 4 с.