

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

На правах рукописи

УДК 65.011.56

Соколов
Владимир Игоревич

Сервопривод лазерного устройства

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра технических наук
по специальности 1-40 80 01 Элементы и устройства вычислительной
техники и систем управления

Научный руководитель
Хаджинов Михаил Касьянович
кандидат технических наук, доцент

Минск 2019

ВВЕДЕНИЕ

Сервоприводы (системы управления положением) представляют собой замкнутые электроприводы, управляющие перемещением и обеспечивающие стабилизацию положения объекта регулирования относительно некоторой базовой системы координат. При этом регулируемая величина (положение объекта) с той или иной степенью точности должна соответствовать приложенному к системе управляющему воздействию. Следящие электроприводы могут обеспечивать как линейное, так и угловое перемещение регулируемого объекта.

Во многих случаях следящие электроприводы строятся по принципу подчиненного регулирования с использованием в качестве исполнительного устройства двигателей постоянного тока. Обычно система подчиненного управления содержит три контура: контур тока, контур скорости и контур положения. Каждый контур содержит собственный регулятор (пропорциональный, пропорционально-интегральный или пропорционально-интегрально-дифференцирующий). Настройка каждого регулятора осуществляется последовательно, начиная с самого внутреннего контура – контура тока.

Альтернативой контурам управления с последовательно включенными регуляторами является схема с модальным управлением. Данный метод может применяться в системах, в которых применение традиционных ПИ-регуляторов некоторого технологического параметра является неэффективным. Это могут быть, например, многомассовые электроприводы, стабилизация которых по выходной координате не отвечает требованиям по быстрдействию из-за большого числа контуров системы. Кроме того, при наличии технологических ограничений управляющих воздействий, которые присутствуют в любой технической системе, регуляторы, имеющие в своем составе интегральное звено, могут столкнуться с проблемой интегрального насыщения, которая значительно ухудшает динамические характеристики системы управления.

Идея модального управления заключается в замыкании системы по максимальному числу переменных состояния таким образом, чтобы характеристический полином конечной системы соответствовал одному из стандартных полиномов, который обеспечивает желаемые динамические свойства системы, такие как перерегулирование и время переходного процесса.

При прямой реализации модального управления необходимо большое количество датчиков и измерителей физических величин, которые выбраны в качестве переменных состояния. Это понижает надежность системы, а также

увеличивает ее стоимость. Кроме того, в силу некоторых условий, часть переменных состояния не является доступной для измерения. В таких случаях, при реализации модального регулятора вводится контур оценивания переменных состояния (наблюдатель).

На вход наблюдателя подаются реальные сигналы управления, действующие на объект, а его выходом является оценка вектора переменных состояния объекта.

В литературе описано множество структурных схем модальных регуляторов с различными модификациями и методиками расчета. В работах был рассмотрен способ расчета схемы подчиненного управления электропривода как единого модального регулятора.

Целью настоящей работы является исследование характеристик сервопривода, имеющего структуру подчиненного управления, которая встроена в контур оценивания переменных состояния объекта управления, и обладающая свойствами модального регулятора, а также целесообразность его применения в системах наведения лазерных устройств.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Повсеместное внедрение различных автоматизированных и автоматических систем, призванных решать широкий спектр задач, привело к созданию самых разнообразных исполнительных устройств, содержащих электропривод.

Существует ряд систем, в которых к исполняющему сервоприводу предъявляются серьезные требования. Одной из таких областей является построение систем, где исполнительным механизмом является источник лазерного излучения. Помимо функциональных требований, предъявляемых к сервоприводу лазерного устройства, дополнительно предъявляются требования, связанные с обеспечением безопасности. Существуют условия, когда источник лазерного излучения невозможно полностью изолировать от окружающего его персонала. Следовательно, к надежности сервопривода предъявляются дополнительные требования: быстродействие, аperiodический характер переходного процесса, робастность.

Степень разработанности проблемы

В настоящее время существует большой перечень методик и способов построения и настройки сервоприводов.

Цель и задачи исследования

Цель работы заключалась в исследовании способов улучшения характеристик исходного сервопривода лазерного устройства путем модификации системы управления.

Для достижения поставленных целей необходимо было решить следующие задачи:

1. На основе анализа собственных и литературных данных выявить современные методы построения систем управления двигателями постоянного тока, а также модификации существующих систем, которые отвечают требованиям, предъявляемым к сервоприводу лазерного устройства;
2. Выполнить соответствующие расчёты на основе известных и разработанных в рамках данной работы моделей, сравнить их с полученными в работе экспериментальными данными и данными, имеющиеся в литературе;
3. На основе результатов работы дать практические рекомендации проектировщикам сервоприводов с особыми требованиями к характеристикам.

Объектом системы управления электроприводом.

Предметом работы являются быстродействующие, робастные системы управления двигателями постоянного тока.

Область исследования. Содержание диссертации соответствует

образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-40 80 01 «Элементы и устройства вычислительной техники и систем управления».

Основными объектами исследований являются системы подчиненного регулирования двигателями постоянного тока.

Основным методом исследования процессов и характеристик систем подчиненного регулирования является численное моделирование, расчеты.

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли работы белорусских и зарубежных ученых в области исследования систем подчиненного управления.

Информационная база исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

Теоретической основой исследований, проведенных в работе, являются общенаучные методы сравнительного анализа, методы оценки количественных и качественных показателей переходных процессов систем управления.

Методологической основой исследования являются разработки отечественных и зарубежных производителей систем обеспечения безопасности, технической и иной документации на исследуемые системы. В магистерской диссертации используются следующие общенаучные методы: структурный и сравнительный анализ, метод формализации. В основу изложения научных результатов положена гипотетико-дедуктивная схема научного исследования.

Информационная база исследования сформирована на основе открытой информации, предоставляемой производителями систем обеспечения безопасности, нормативно-правовых документов органов государственной власти Республики Беларусь, сведений из ресурсов Интернет, а также материалов научных изданий, конференций и семинаров.

Инструментальной базой исследований являются пакет прикладных программ Matlab и его составляющая Simulink.

Научная новизна и значимость полученных результатов работы заключается в построении и апробации современных систем управления электродвигателем постоянного тока и сравнения их с существующей, построенной традиционным методом.

Положения теоретического характера, выносимые на защиту:

1. Существующую и реализованную систему подчиненного регулирования положения можно перенастроить как единый модальный регулятор без изменений в структуре и комплектации. Выбрав полином с желаемыми динамическими характеристиками, а также приняв во внимания

особенности реализации системы управления, можно осуществить синтез сервопривода с наперед заданными характеристиками.

2. Система подчиненного регулирования положения настроенная как единый модальный регулятор обеспечивает увеличение быстродействия по сравнению с традиционными регуляторами без расширения амплитудно-частотной характеристики на высоких частотах.

3. Применение интегрального модального регулятора в качестве компенсатора ошибки позволяет обеспечить астатизм системы по возмущению.

Положения прикладного характера, выносимые на защиту:

1. Предложенная методика расчета системы подчиненного регулирования положения позволяет легко изменять количество контуров управления (порядок регулятора).

2. При реализации контура управления скоростью (положением) как составного (ПИ или ПИД), каждая составляющая регулятора реализуется как отдельный контур. Таким образом, составной регулятор реализуется несколькими вложенными контурами.

3. Встраивание системы подчиненного регулирования в наблюдателя, который дополнен компенсатором ошибки оценки переменных состояния, позволяет сократить количество используемых датчиков, тем самым повышая технологичность и экономичность системы.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что в ней предложен подход к построению современного сервопривода.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что на основе результатов расчета и моделирования современных систем управления двигателями постоянного тока, можно сделать вывод о целесообразности применения исследованных структур управления во вновь разрабатываемых исполнительных устройствах.

Апробация и внедрение результатов исследования

По теме магистерской диссертации проведен доклад на Международной научной конференции «Информационные технологии и системы-2018» и 55-ой юбилейной научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР в секции систем управления. Опубликованы тезисы в материалах международной научной конференции Информационные технологии и системы 2018 (ИТС 2018) (БГУИР, Минск, Беларусь, 25 октября 2018) в секции систем управления и в сборнике, посвященному 55-й научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР в секции систем управления.

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в двух

опубликованных работах общим объемом 4 страницы (авторский объем 4 страницы).

Структура и объем работы

Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и одного приложения. Общий объем диссертации – 60 страниц. Работа содержит 33 рисунка. Библиографический список включает 34 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрены общие сведения о системах управления положением (сервоприводах). Освещены основные особенности данных систем, выделены проблемы, с которыми сталкиваются при построении сервоприводов.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации, а также структура и объем диссертации.

В **первой главе** производится обзор существующих подходов к построению систем управления положением, их преимущества и недостатки. Произведен краткий обзор литературы, посвященной данной тематике. Рассматривается принцип подчиненного регулирования, строится обобщенная структурная схема системы регулирования положением. Для исследования свойств системы регулирования положения, строится математическая модель двигателя постоянного тока в системе Simulink. Приведена методика настройки системы подчиненного регулирования на "технический оптимум", получившая широкое распространение и взятая в качестве основы для сравнения. Построена математическая модель системы подчиненного регулирования положением с настройкой на "технический оптимум". Изучены динамические свойства системы в режимах малых, средних и больших перемещений. Произведена оценка качества регулирования данной системы. Промоделировано поведение системы в условиях воздействия внешних возмущений на объект управления. Возмущающие воздействия подавались в контур тока, контур скорости и контур положения. Основной результат работы, описанной в первой главе – получены переходные характеристики системы подчиненного управления, а также показатели качества регулирования, которые берутся за основу для сравнения характеристик рассматриваемых далее систем управления.

Во **второй главе** рассмотрен принцип построения модальных регуляторов, перечислены преимущества и недостатки регуляторов данного типа. Приведена "традиционная" методика синтеза модальных регуляторов, основанная на введении корректирующих обратных связей, коэффициенты которых определяются решением матричного уравнения. Приведено описание объекта исследования – метода расчета и реализации модального регулятора как системы подчиненного регулирования, в которой коэффициенты регулятора включены в прямую цепь, что облегчает введение сигналов

комбинированного управления. При такой конфигурации структуры управления, коэффициенты модального регулятора вычисляются как отношения коэффициентов нормированного полинома с дальнейшим масштабированием относительно динамики силового преобразователя. Был произведен расчет модального регулятора для упрощенного объекта управления – замкнутого контура тока, в котором инерционность якорной цепи электродвигателя скомпенсирована ПИ-регулятором. В системе Simulink построена математическая модель системы управления. Исследованы динамические характеристики, а также показатели качества регулирования полученной системы в различных режимах работы: малых, средних и больших перемещений. Рассмотрено поведение системы при воздействии на нее возмущающих воздействий, которые подавались в контур тока, скорости и положения. Основные выводы второй главы:

1. Модальный регулятор, реализованный как система подчиненного регулирования, с настройкой на апериодический переходный процесс обеспечивает меньшую установившуюся ошибку в сравнении с настройкой на "технический оптимум".
2. Регулятор с настройкой на апериодический процесс обеспечивает меньшее быстродействие в режимах малых и средних перемещений в сравнении с настройкой на "технический оптимум", при этом переходный процесс является монотонным, апериодическим. В свою очередь, настройка на "технический оптимум" не обеспечивает нулевое перерегулирование. В режиме больших перемещений, системы обладают равным быстродействием, однако модальный регулятор обеспечивает нулевое перерегулирование, в то время как перерегулирование системы с настройкой на "технический оптимум" составляет пять процентов.

В **третьей главе** предложена и исследована система управления положением, построенная на основе модального регулятора с настройкой на апериодический переходный процесс. Регулятор встроен в расширенную модель объекта управления, в которой оцениваются значения тока, угловой скорости и положения. Расширенная модель объекта дополнена компенсатором ошибки оценивания, которая формируется по датчику положения. Компенсатор ошибки оценивания представляет собой модальный регулятор четвертого порядка. Данная структура образует наблюдатель объекта управления, который позволяет осуществлять управление с астатизмом по возмущению на основе одного измерительного устройства – датчика положения. Сигнал управления, формируемый модальным регулятором по заданию с учетом выходного сигнала компенсатора ошибки оценивания,

подается на вход объекта управления. Для исследований динамических свойств системы, была построена модель в системе Simulink. Как и в предыдущих главах, переходные характеристики и показатели качества регулирования были изучены в трех режимах: малых, средних и больших перемещений. Было изучено влияние возмущений по току, скорости и положению на переходные процессы системы. Исследовано поведение системы при рассогласовании параметров объекта управления и его модели. Основные выводы третьей главы следующие:

1. Для обеспечения запаса устойчивости системы, коэффициент усиления модели объекта управления можно принять несколько заниженным по сравнению с расчетным.
2. Для обеспечения запаса устойчивости системы, инерционность модели объекта управления можно принять несколько завышенную по сравнению с расчетной величиной.

В приложении приведен отчет о проверке на заимствования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе был исследован вопрос применения структуры подчиненного регулирования со свойствами модального регулятора в качестве альтернативы традиционному способу построения сервопривода лазерного устройства – системы подчиненного регулирования с настройкой на технический оптимум.

В результате исследования, были получены следующие результаты:

1. Существующую систему подчиненного регулирования положения можно перенастроить как единый модальный регулятор без изменения структуры системы и дополнительной комплектации. Выбрав полином с желаемыми динамическими характеристиками, а также приняв во внимания особенности реализации системы управления, можно осуществить синтез сервопривода с наперед заданными характеристиками.

2. Предложенная методика расчета позволяет легко изменять количество контуров управления (порядок регулятора).

3. Встраивание системы подчиненного регулирования в наблюдателя, который дополнен компенсатором ошибки оценки переменных состояния, позволяет сократить количество используемых датчиков, тем самым повышая технологичность и экономичность системы. Применение интегрального модального регулятора в качестве компенсатора ошибки позволяет обеспечить астатизм системы по возмущению.

4. При незначительном рассогласовании параметров объекта управления и его модели система сохраняет работоспособность. Для обеспечения запаса устойчивости системы, параметры модели объекта управления можно принять несколько ухудшенными в сравнении с расчетными.

5. При расчете системы подчиненного регулирования положения, необходимо учитывать технологические ограничения, накладываемые на переменные состояния. Без учета данных ограничений, динамические свойства системы могут сильно отличаться от желаемых характеристик.

6. При реализации контура управления скоростью (положением) как составного (ПИ или ПИД), каждая составляющая регулятора реализуется как отдельный контур. Таким образом, составной регулятор реализуется несколькими вложенными контурами.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А] Соколов, В. И. Вопросы быстродействия в системах управления электроприводом / В. И. Соколов, М. К. Хаджинов // Информационные технологии и системы 2018 (ИТС 2018) = Information Technologies and Systems 2018 (ITS 2018) : материалы международной научной конференции, Минск, 25 октября 2018 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол. : Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск, 2018. – С. 64 - 65.

[2-А] Соколов, В. И. Сервопривод с интегральным модальным регулятором и контуром оптимизации по быстродействию // В. И. Соколов, М. К. Хаджинов // Материалы работы 55-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Минск: БГУИР, 22-27 апреля 2019 (в печати).