**Слайд 0**

Добрый день, уважаемые члены комиссии. Я Сухих Даниил Андреевич, студент факультета систем управления и робототехники по специальности управление в технических системах. Тема моего исследования --- **Разработка системы управления бездатчиковым бесколлекторным двигателем постоянного тока**. Мой научный руководитель --- Власов Сергей Михайлович.

**Слайд 1**

Сначала хотелось бы начать с актуальности моей работы. Я выделил 3 основных пункта.

1. Первое, в классе двигателей постоянного тока бесколлекторные ДПТ являются самым эффективным решением, обладающих меньшими габаритами, меньшим весом и большей надёжностью при сравнимых мощностях
2. Второе, сейчас появляется всё больше исследований с усовершенствованными методами управления, что даёт большую почву для изучения
3. Третье, сейчас такие двигатели набирают всё большую популярность в связи с развитием алгоритмов управления и удешевлением средств вычисления

**Слайд 2**

Цель моего исследования: разработка алгоритма для управления такого рода двигателями.

Для решения цели поставлены следующие задачи:

а) исследование алгоритмов и обзор существующих технических решений;

б) разработка модели и синтез алгоритма управления;

в) моделирования полученной системы;

г) разработка стенда для проведения экспериментальных исследований;

д) экспериментальные исследования

**Слайд 3**

Теперь перейдём к обзорной части работы. БДПТ являются по своей структуре синхронными машинами с постоянными магнитами за исключением способа расположения обмоток и типа питания. Т. к. БДПТ питаются постоянным током, то для них требуется инвертор для обеспечения вращения, который представляет в наипростейшем случае 6 ключей, с помощью различных комбинаций замыкания которых можно получить 6 направлений магнитного поля (схематически изображено на рисунке слева). Сложность заключается в том, чтобы обеспечить своевременное переключение состояний для достижения большей эффективности. Особенно сложность это вызывает при бездатчиковом управлении, при котором необходимо как-то определять положение ротора. Для этого служат две основные техники:

1. Определение по точкам пересечения противо-ЭДС нуля. Недостатком данного метода является сложность отслеживания точек пересечения нуля при низких скоростях из-за малой амплитуды противо-ЭДС. Справа изображена возможная схема переключения.
2. Использование специальных наблюдателей положения и скорости, которые требуют для функционирования известных параметров двигателя и больших вычислительных мощностей

**Слайд 4**

Теперь рассмотрим самые популярные алгоритмы для управления скоростью. Можно выделить 3 основных алгоритма:

1. Использование классических ПИ (ПИД) регулятора по скорости
2. Векторное управление
3. Прямое управление моментом

Первый метод самый простой и требует минимальное количество информации. Однако его использование вызывает пульсации тока и момента, для компенсации чего служат два других метода.

**Слайд 5**

Векторное управление. Суть данного метода заключается в том, чтобы добиться синусоидальной формы тока статора для достижения максимального и постоянного момента и уменьшая тем самым его пульсации. Данный алгоритм требует больших вычислительных мощностей и с большой точностью известного положения ротора.

**Слайд 6**

Прямое управление моментом. Данный метод основан на оценке момента и последующим его регулированием с использованием специальной таблицы коммутации. Он является менее ресурсозатратным, нежели векторное управление, и возволяет работать с менее точными измерениями.

**Слайд 7**

Теперь определимся с конкретными реализациями узлов алгоритма.

Для этого выделим самые важные аспекты алгоритма: робастность по отношению к сопротивлению и индуктивности статора; низкие вычислительные затраты для реализации на микроконтроллере (что позволит также уменьшить период дискретизации); использование только информации о токах и напряжениях фаз для функционирования.

Таким образом, был выбран метод на основе прямого управления моментом с наблюдателем положения и скорости на основе скользящих режимов.

**Слайд 8**

Перейдём к математическому описанию выбранных решений.

Наблюдатель позволяет оценить противо-ЭДС в альфа-бета системе координат (переход в которую выполняется путём выполнения преобразования Парка). Основные уравнения в дискретной форме приведены на слайде, где A, B --- матрицы на основе параметров двигателя и периода дискретизации, v --- напряжение фаз двигателя, i --- ток фаз двигателя, e --- противо-ЭДС, эта и джи --- постоянные для настройки наблюдателя.

Таким образом, получаем оценку противо-ЭДС, из которой можно вычислить оценку положения ротора в электрических градусах.

Далее, зная количество пар полюсов (p) и период дискретизации, можно оценить скорость двигателя.

**Слайд 9**

Прямое управление моментом.

Для его использования сначала необходимо оценить электромагнитный момент по оценкам противо-ЭДС, полученным от наблюдателя.

После этого можно сформировать двухконтурную систему регулирования на основе контура скорости и контура момента, ограничив выход ПИ регулятора контура момента диапазоном от -1 до 1.

На основе выхода системы регулирования, зная оценку положения ротора, можно найти новое состояние ключей инвертора, согласно таблице внизу слайда.

**Слайд 10**

Теперь перейдём к модели системы, построенной в Matlab/Simulink. Модель состоит из двух частей.

Первая --- силовая часть --- включает в себя сам двигатель, источник питания, инвертер и измерительный блок.

**Слайд 11**

Вторая --- управляющая часть --- включает в себя систему управления, состоящую из наблюдателя, блока оценки момента, двухконтурной системы регулирования и блока с логикой выбора нового состояния ключей инвертора.

**Слайд 12**

Далее рассмотрим результаты моделирования, которое проводилось на 3 участках с разными заданными скоростями. Также исследовалась робастность путём отклонения сопротивления и индуктивности статора от действительных значений (результаты приведены в тексте исследования). На слайде же изображён только идеальный случай (приведены графики скоростей, график вектора невязки противо-ЭДС и график вектора невязки электромагнитного момента).

По итогу, во всех случаях получилось добиться желаемых показателей качества.

**Слайд 13**

После проверки алгоритма на модели, началась разработка экспериментального стенда, специально для которого была разработана плата драйвера, изображенная на рисунке слева. Сам стенд в сборе изображен на рисунке справа.

**Слайд 14**

На этом слайде приведены результаты эксперимента, в котором также получилось добиться желаемых показателей качества (приведены скорости, ток по фазам и оценка момента).

**Слайд 15**

Заключение. Был разработан алгоритм управления скоростью бесколлекторных бездатчиковых двигателей постоянного тока.

Была составлена модель с использованием выбранного алгоритма в программном комплексе Matlab/Simulink и проведено моделирование. Моделирование проводилось при исходных параметрах двигателя, а также при вариации сопротивления и индуктивности статора для проверки робастных свойств. Во всех случаях получилось добиться желаемых показателей качества.

На основе модели был разработан экспериментальный стенд с учётом требований, предъявляемых в техническом задании, и проведено исследование его работы. В итоге, также получилось достичь желаемых показателей качества, что говорит об эффективности алгоритма в практической среде.