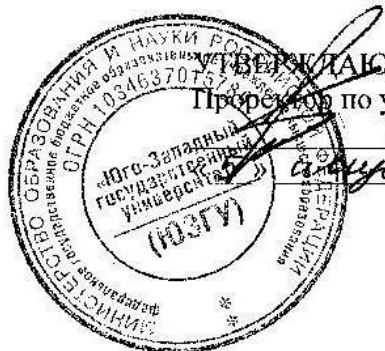


Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 18.12.2021 15:04:31
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabb73e943d14a4851fda56d089

МИНОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники



ТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
О.Г. Локтионова
2016 г.

ЭЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗЕ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Методические указания к выполнению лабораторной работы по
дисциплине «Электрические и гидравлические приводы
мехатронных и робототехнических устройств» для студентов
направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника»

Курск 2016

УДК 621.(076.1)

Составители: Мальчиков А.В.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Е.Н. Политов

Электропривод на базе бесколлекторного двигателя:
методические указания к выполнению лабораторной работы / Юго-
Зап. гос. ун-т; сост.: А.В. Мальчиков. – Курск, 2016. – 13 с., 3 ил. –
Библиограф.: 13 с.

Содержат сведения по вопросам работы электроприводов на базе бесколлекторных двигателей постоянного тока. Приводятся пример выполнения лабораторной работы и краткие теоретические положения.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утверждённой учебно-методическим советом по направлениям Мехатроника и робототехника.

Предназначены для студентов направлений направления подготовки 15.03.06 «Мехатроника и робототехника» всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 5/2016. Формат 60x84 1/16

Усл.печ.л. 26 Уч.-изд.л. 25 Тираж 20 экз. Заказ .Бесплатно. 454

Юго-Западный государственный университет.

305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Содержание

1. Цель и задачи работы	4
2. Задание на лабораторную работу.....	5
3. Краткие теоретические сведения	6
3.1. <i>Основные технические особенности вентильных двигателей</i>	6
3.2. <i>Датчики положения и дополнительные устройства</i>	8
3.3. <i>Способы коммутации с применением датчика положения ротора</i>	9
3.4. <i>Интегрированное исполнение вентильных двигателей</i> ..	11
3.5. <i>Преимущества использования вентильных двигателей</i> ..	12
4. <i>Ход работы</i>	12
Библиографический список	13

1. Цель и задачи работы

Целью работы является освоение студентами принципов построения автоматизированного электропривода на базе бесколлекторных двигателей. Освоить принципы работы, конструктивные особенности, и способы управления бесколлекторными двигателями малой мощности.

Данная работа входит в состав модуля «Электрические и гидравлические приводы мехатронных и робототехнических устройств», выполняется в ходе лабораторного занятия «Электропривод на базе бесколлекторного двигателя».

Выполнение работы ориентировано на формирование у студентов следующих элементов профессиональных компетенций:

ПК-1 – способностью составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники

ПК-11 – способностью производить расчеты и проектирование отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием

ПК-13 – Готовностью участвовать в проведении предварительных испытаний составных частей опытного образца мехатронной или робототехнической системы по заданным программам и методикам и вести соответствующие журналы испытаний

По итогам выполнения и защиты работы студент должен владеть следующими знаниями, навыками и умениями, представленными в табл. 1

Табл. 1 Уровни сформированности компетенций

Уровни сформированности компетенций		
Пороговый (удовлетворительный)	Продвинутый (хороший)	Высокий (отличный)
знать: основные методы разработки математических моделей приводов на базе БК ДПТ	знать: основные методы разработки математических моделей автоматизированных приводов на базе БК ДПТ	знать: методы разработки математических моделей и методы численного моделирования автоматизированных приводов на базе БК ДПТ
уметь: рассчитать основные параметры электропривода на базе БК ДПТ	уметь: рассчитать основные параметры и характеристики электропривода на базе БК ДПТ	уметь: определить параметры электропривода на базе БК ДПТ и характеристики регулятора
владеть: навыками постановки натурального эксперимента с БК ДПТ	владеть: навыками постановки натуральных экспериментов с БК ДПТ и их анализа	владеть: навыками проведения натуральных испытаний управляемого электропривода на базе БК ДПТ

2 Задание на лабораторную работу

В рамках настоящей лабораторной работы требуется выполнить следующие:

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом работы бесколлекторного электродвигателя,
2. Освоить принципы регулирования угловой скорости электродвигателя,
3. Освоить принцип РР- модуляции,
4. Осуществить запуск двигателя в асинхронном режиме,

5. С помощью цифрового осциллографа изучить форму сигнала поступающего на обмотки электродвигателя.
6. Проанализировать полученные результаты, сделать выводы.

3. Краткие теоретические сведения

3.1. Основные технические особенности вентильных двигателей

Под вентильным двигателем понимают синхронный двигатель, содержащий многофазную обмотку статора, ротор с постоянными магнитами и встроенным датчиком положения. Коммутация такого двигателя осуществляется при помощи вентильного преобразователя. Поэтому его принято называть «вентильным».

По сути, вентильный двигатель с точки зрения метода коммутации представляет собой «инвертированный» вариант коллекторной машины постоянного тока. В вентильном двигателе индуктор находится на роторе, якорная обмотка на статоре. Коммутация осуществляется путем подачи управляющего согласованного воздействия на обмотки статора в зависимости от положения ротора, определяемого с помощью интегрированных в двигатель датчиков обратной связи.

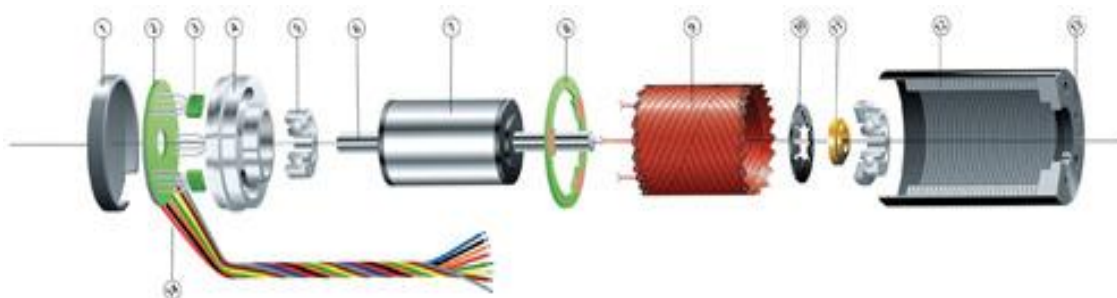


Рис. 1. Структура датчиков бесколлекторного двигателя:

- 1 – задняя крышка, 2 – печатная плата датчиков, 3 – датчики Холла, 4 – втулка подшипника, 5 – подшипник, 6 – вал, 7 – магниты ротора, 8 – изолирующее кольцо, 9 – обмотка, 10 – тарельчатая пружина, 11 – промежуточная втулка, 12 – изоляция, 13 – корпус, 14 – провода.

Рассмотрим структуру вентильного (бесколлекторного двигателя, оснащенного датчиком положения вала) двигателя на примере семейства двигателей Faulhaber (рис. 1). В данном случае в

основе ротора лежит двухполюсный магнит, статора трехфазная обмотка, положение ротора определяется с помощью интегрированных в двигатель датчиков Холла. В общем случае ротор может содержать другое количество пар полюсов, а статор иметь более традиционную конструкцию, внешне сходную со статором асинхронной машины.

Наиболее распространен статор с тремя обмотками, соединенными «звездой» (реже в «треугольник») без вывода средней точки. Как известно, именно трехфазная структура является наиболее эффективной при минимуме числа обмоток.

При соединении обмоток «звездой» вентильный двигатель имеет большие постоянные момента и меньшие постоянные противоЭДС по сравнению с соединением «треугольником». Поэтому соединение «звездой» используется в приводах, требующих больших крутящих моментов, а соединение «треугольником» – для больших скоростей.

В большинстве случаев обмотки статора выполняются без насыщения, т.е. противоЭДС обмоток имеет синусоидальную форму. Такие двигатели зачастую называют AC brushless motor в отличие от DC brushless motor, обмотки статора которого выполняются с насыщением. Такое насыщение в DC brushless motor предназначено для снижения пульсаций тока (и соответственно момента) при применении трапецеидальной коммутации.

Но иногда термин DC brushless motor используют для двигателей с питанием через инвертор от сети постоянного тока, что не совсем корректно.

Обычно количество пар полюсов, определяемое количеством пар магнитов ротора и определяющее соотношение механического и электрического оборотов, равно 4-8.

Статор может быть выполнен с железным (iron core) или безжелезным (ironless) сердечником. Конструкция статора с безжелезным сердечником обеспечивает отсутствие силы притяжения магнитов ротора и железа статорной обмотки (magnetic attraction) и зубцового эффекта (cogging), но снижает незначительно (на 10...20%) эффективность двигателя из-за меньших значений постоянной момента.

Одно из самых очевидных преимуществ ротора с постоянными магнитами состоит в уменьшении диаметра ротора и,

как следствие, в уменьшении момента инерции ротора. Технологически магниты могут быть встроены в ротор или расположены на его поверхности. Но пониженный момент инерции зачастую приводит к малым значениям соотношения момента инерции двигателя и приведенного к его валу момента инерции нагрузки (mismatch ratio), усложняющему настройку привода. Поэтому ряд производителей предлагает наряду со стандартным и повышенный – в 2-4 раза – момент инерции ротора.

3.2. Датчики положения и дополнительные устройства

В качестве датчика положения, необходимого для коммутации вентильного двигателя, могут быть использованы датчики Холла (цифровые или аналоговые), энкодер (цифровой, аналоговый или абсолютный) или резольвер (вращающийся трансформатор).

Цифровые датчики Холла используются для наиболее распространенной – трапецеидальной коммутации вентильного двигателя. Цифровые датчики Холла могут быть выполнены также и на оптической шкале энкодера. Аналоговые датчики Холла используются для синусоидальной коммутации вентильного двигателя. Энкодер имеет три дифференциальных канала – два канала А, В прямоугольных импульсов, сдвинутых на 90 электрических градусов, и нулевой импульс I (индекс). Резольвер представляет собой вращающийся трансформатор с обмоткой возбуждения и двумя выходными обмотками со сдвигом 90 электрических градусов. Аналоговый энкодер имеет аналоговые sin/cos (1В между пиками reactpeak) дифференциальные выходы.

Внешний интерполятор позволяет повысить исходное разрешение с коэффициентом умножения до 4096. Абсолютный энкодер передает информацию по положению по синхронному последовательному интерфейсу (SSI или BiSS), протокол которого задается производителем энкодера. Одними из наиболее популярных протоколов являются Heidenhain EnDat, Tamagawa Smart Abs и Stegman Hiperface протоколы.

Кроме датчика положения дополнительно могут быть встроены: тахогенератор, термодатчик, тормоз или редуктор.

3.3. Способы коммутации с применением датчика положения ротора

Способы коммутации вентильного двигателя различаются по типу датчика положения ротора и особенностям регулирования тока в фазах обмоток статора.

Трапецеидальная или шестишаговая (sixstep) коммутация вентильного двигателя осуществляется по цифровым датчикам Холла. Для 3х датчиков Холла, являющихся «грубым» датчиком положения ротора, возможных состояний на полный электрический оборот будет шесть, каждое из которых соответствует 60 электрическим градусам. При каждом постоянном состоянии датчиков Холла подключаются только две обмотки двигателя, а третья отключена от источника напряжения. Постоянство вектора тока в пределах ± 30 электрических градусов от оптимального (создающего максимальный момент) приводит к 17% пульсациям тока.

Преимущества: готовность к работе при включении питания; дешевый усилитель тока; управление током (моментом) аналоговым сигналом $\pm 10\text{В}$.

Недостатки: пульсации тока; средние показатели быстродействия при позиционировании и равномерности при сканировании.

Область применения: регулирование скорости при невысоких требованиях к эффективности и равномерности перемещения на низких скоростях.

Синусоидальная коммутация лишена недостатков трапецеидальной коммутации за счет непрерывной и плавной коммутации вектора тока. Это достигается благодаря более высокому разрешению датчика положения ротора (обычно инкрементального энкодера) по сравнению с цифровыми датчиками Холла, имеющими разрешение только 60 электрических градусов. Для стандартного двигателя с соединением фаз в «звезду» достаточно контролировать ток в двух обмотках с помощью двух регуляторов на базе ПИрегуляторов. Такой способ коммутации очень эффективен на малых и средних скоростях, но имеет ошибки на высоких скоростях. В этом случае из-за ограниченного усиления ПИрегулятора при заданном напряжении постоянного напряжения (DC bus) максимальная скорость

ограничена. Несколько повысить скорость позволяет метод сдвиг фазы (phase advance).

Преимущества: минимальные пульсации тока; высокие показатели быстродействия при позиционировании и равномерности при сканировании.

Недостатки: ограничение max скорости при заданном напряжении постоянного напряжения; управление током (моментом/силой) при помощи двух аналоговых сигналов $\pm 10\text{В}$.

Область применения: прецизионные механизмы.

Непосредственно векторный контроль тока в координатах DQ использует преобразования между статическими DQ и вращающимися UVW координатами вектора тока, известными как преобразования Парка Кларка. В отличие от синусоидальной такой способ коммутации предполагает работу ПИ регулятора с напряжениями постоянного тока, а не синусоидальными напряжениями. Это и обеспечивает качество управления током, независимое от скорости вращения двигателя.

Векторный контроль предполагает регулирование квадратичной (D) и прямой (Q) составляющих тока. Т.к. только прямая (Q) составляющая тока, перпендикулярная к полю ротора, создает момент двигателя, то задание тока подается на вход прямой (Q) составляющей тока. На вход квадратичной (D) составляющей тока подается «0» сигнал. Преобразования между статическими DQ и вращающимися UVW координатами вектора тока производятся с учетом токов фаз и положения ротора.

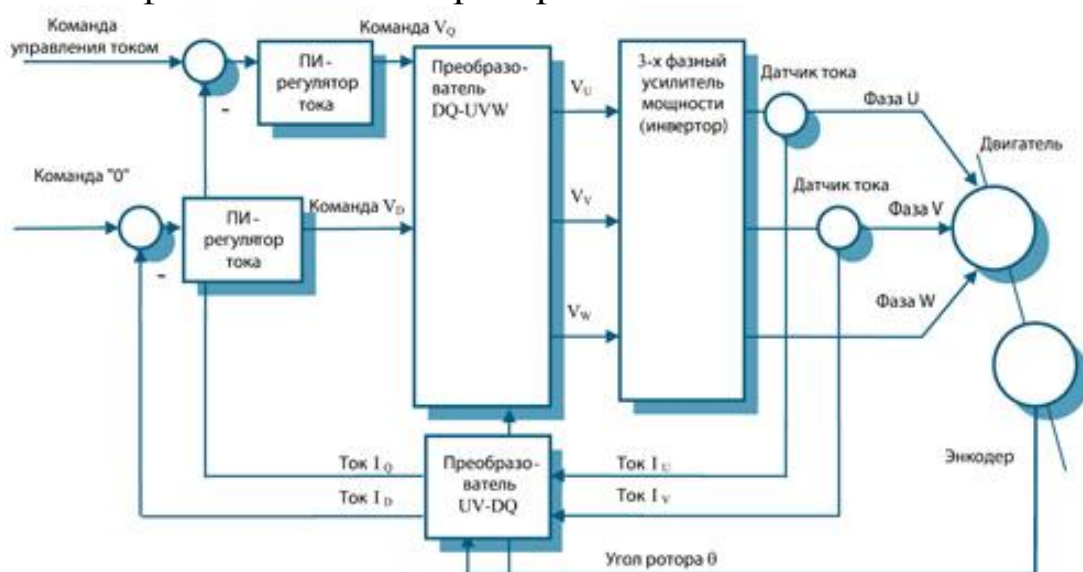


Рис. 2 Векторный контроль тока вентильного двигателя

Векторный контроль при наличии преимуществ синусоидальной коммутации позволяет расширить диапазон скоростей вентильного двигателя за счет более полного использования напряжения постоянного тока.

Следует отметить, что для синусоидальной или векторной коммутации тока при использовании инкрементального (относительного) датчика положения ротора необходимо первоначально (т.е. при каждом включении питания) сфазировать положение ротора относительно фаз статора. Алгоритм такой начальной фазировки обычно является «встроенным».

Трапецеидальная коммутация вентильного двигателя не требует начальной фазировки благодаря использованию датчиков Холла, являющихся абсолютными датчиками положения ротора. Поэтому их иногда применяют вместе с инкрементальным датчиком положения для реализации синусоидальной или векторной коммутации тока без необходимости производить начальную фазировку. Такая конфигурация рекомендуется для механизмов, где реализация процедуры начальной фазировки затруднена, например, механизмов вертикального перемещения.

3.4. Интегрированное исполнение вентильных двигателей

Одной из основных перспективных тенденций в развитии современных вентильных двигателей является тяготение производителя к интеграции в единый корпус с двигателем управляющей электроники. Такое решение позволяет предлагать не разрозненный набор комплектующих приводной системы, а законченный привод в сборе. Таким образом, решаются возможные проблемы совместимости различных компонент привода, а также проблема различных интерфейсов компонент приводной системы.

Примером интегрированного привода является серия двигателей VG, предлагаемая компанией *Dunkermotoren* (рис. 3).



Рис. 3 Двигатели Dunkermotoren серии BG

3.5. Преимущества использования вентильных двигателей

К несомненным достоинствам вентильных двигателей следует отнести:

Высокий запасаемый момент

Работа при высоких пиковых нагрузках

Хорошее ускорение при изменяющихся нагрузках

Высокий диапазон скоростей

Высокую равномерность движения

Высокую точность позиционирования благодаря возможности использования энкодеров и других датчиков обратной связи по скорости/положению.

4. Ход работы

1. Подключить лабораторный стенд к сети постоянного тока;
2. Запустить бесколлекторный двигатель;
3. Замерить частоты вращения, для различных частотах напряжений
4. Выключить питание двигателя
5. Отключить стенд от сети

Библиографический список

1. Беспалов В.Я. Электрические машины: учебник. М. Академия, 2013.
2. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М.: Издательский центр “Академия”, 2004.
3. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1998.
4. Егоров. Конструирование мехатронных модулей. — М.: ИЦ МГТУ Станкин, 2004.
5. Москаленко В.В. Системы автоматизированного управления электропривода. М.: Инфра-м, 2004.
6. Герман-Галкин С. Г. Глава 9. Модельное проектирование синхронных мехатронных систем // Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. — СПб.: КОРОНА-Век, 2008. — 368 с.
7. Микеров А.Г. Управляемые вентильные двигатели малой мощности: Учебное пособие. — СПб: СПбГЭТУ, 1997. — 64 с.
8. Розанов Ю.К., Электронные устройства электромеханических систем: Учебное пособие для студентов высш. учеб. заведений. — М.: Изд. центр «Академия», 2004. — 272с.