

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:  
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fd4564089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра механики, мехатроники и робототехники



О.Г. Локтионова  
2016 г.

### ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ НА БАЗЕ КОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

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»

Курс 2016

УДК 621.(076.1)

Составители: Мальчиков А.В., Лушников Б.В.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент Е.Н. Политов

**Исследование работы электропривода на базе коллекторного двигателя постоянного тока: методические указания к выполнению лабораторной работы / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. А.В. Мальчиков, Б.В. Лушников. – Курск, 2016. – 14 с., 7 ил. – Библиограф.: 14 с.**

Содержат сведения по вопросам работы электроприводов на базе коллекторных двигателей постоянного тока. Приводятся пример выполнения лабораторной работы, краткие теоретические положения и контрольные вопросы для защиты работы.

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 5.08.16. Формат 60x84 1/16

Усл.печ.л. 2,6 Уч.-изд.л. 0,5 Тираж 20 экз. Заказ .Бесплатно. #33

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
4. Описание лабораторного стенда .....	12
5. Ход работы.....	13
Библиографический список .....	14

## 1 Цель и задачи работы

Целью работы является освоение студентами принципов построения и функционирования управляемого электропривода на базе двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Данная работа входит в состав модуля «Электрические и гидравлические приводы мехатронных и робототехнических устройств», выполняется в ходе лабораторного занятия «Исследование работы электропривода на базе коллекторного двигателя постоянного тока».

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

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

## **2 Задание на лабораторную работу**

В рамках настоящей лабораторной работы требуется выполнить следующее:

1. Ознакомиться с конструкцией двигателя постоянного тока
2. Освоить принципы регулирования угловой скорости стенда
3. Получить зависимости угловой скорости от величины питающего напряжения при различных значениях нагрузки
4. Занести полученные данные в таблицу, построить графики
5. Получить механическую характеристику привода, выполнить ее анализ.

### 3. Краткие теоретические сведения

Электродвигатели постоянного тока применяют в тех электроприводах, где требуется большой диапазон регулирования скорости, большая точность поддержания скорости вращения привода, регулирования скорости вверх от номинальной.

Работа электрического двигателя постоянного тока основана на явлении электромагнитной индукции. Из основ электротехники известно, что на проводник с током, помещенный в магнитное поле, действует сила, определяемая по правилу левой руки:

$$F = BIL,$$

где  $I$  — ток, протекающий по проводнику,  $B$  — индукция магнитного поля;  $L$  — длина проводника.



Рис. 1. Схема действия сил электромагнитной индукции

При пересечении проводником магнитных силовых линий машины в нем наводится электродвижущая сила, которая по отношению к току в проводнике направлена против него, поэтому она называется обратной или противодействующей (противо-ЭДС). Электрическая мощность в двигателе преобразуется в механическую и частично тратится на нагревание проводника.

Конструктивно все электрические двигатели постоянного тока состоят из индуктора и якоря, разделенных воздушным зазором.

Индуктор электродвигателя постоянного тока служит для создания неподвижного магнитного поля машины и состоит из станины, главных и добавочных полюсов. Станина служит для крепления основных и добавочных полюсов и является элементом магнитной цепи машины. На главных полюсах расположены обмотки возбуждения, предназначенные для создания магнитного поля машины, на добавочных полюсах - специальная обмотка, служащая для улучшения условий коммутации.

Якорь электродвигателя постоянного тока состоит из магнитной системы, собранной из отдельных листов, рабочей обмотки, уложенной в пазы, и коллектора служащего для подвода к рабочей обмотке постоянного тока.

Коллектор представляет собой цилиндр, насаженный на вал двигателя и избранный из изолированных друг от друга медных пластин. На коллекторе имеются выступы-петушки, к которым припаяны концы секций обмотки якоря. Съем тока с коллектора осуществляется с помощью щеток, обеспечивающих скользящий контакт с коллектором. Щетки закреплены в щеткодержателях, которые удерживают их в определенном положении и обеспечивают необходимое нажатие щетки на поверхность коллектора. Щетки и щеткодержатели закреплены на траверсе, связанной с корпусом электродвигателя.

### **Коммутация в электродвигателях постоянного тока**

В процессе работы электродвигателя постоянного тока щетки, скользя по поверхности вращающегося коллектора, последовательно переходят с одной коллекторной пластины на другую. При этом происходит переключение параллельных секций обмотки якоря и изменение тока в них. Изменение тока происходит в то время, когда виток обмотки замкнут щеткой накоротко. Этот процесс переключения и явления, связанные с ним, называются коммутацией.

В момент коммутации в короткозамкнутой секции обмотки под влиянием собственного магнитного поля наводится э. д. с. самоиндукции. Результирующая ЭДС. вызывает в короткозамкнутой секции дополнительный ток, который создает неравномерное распределение плотности тока на контактной поверхности щеток. Это обстоятельство считается основной причиной искрения коллектора под щеткой. Качество коммутации оценивается по степени искрения под сбегающим краем щетки и определяется по шкале степеней искрения.

### **Способы возбуждения электродвигателей постоянного тока**

Под возбуждением электрических машин понимают создание в них магнитного поля, необходимого для работы электродвигателя. Схемы возбуждения электродвигателей постоянного тока показаны на рисунке 2.

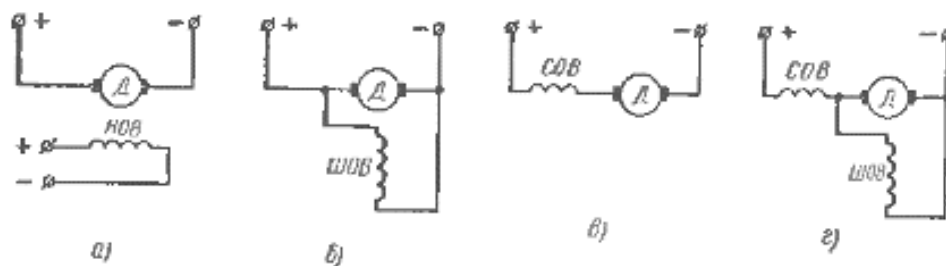


Рис. 2. Схемы возбуждения электродвигателей постоянного тока: а - независимое, б - параллельное, в - последовательное, г – смешанное

По способу возбуждения электрические двигатели постоянного тока делят на четыре группы:

1. С независимым возбуждением, у которых обмотка возбуждения НОВ питается от постороннего источника постоянного тока.

2. С параллельным возбуждением (шунтовые), у которых обмотка возбуждения ШОВ включается параллельно источнику питания обмотки якоря.

3. С последовательным возбуждением (серийные), у которых обмотка возбуждения СОВ включена последовательно с якорной обмоткой.

4. Двигатели со смешанным возбуждением (компаундные), у которых имеется последовательная СОВ и параллельная ШОВ обмотки возбуждения.

### **Пуск двигателей постоянного тока**

В начальный момент пуска двигателя якорь неподвижен и противо-ЭДС. и напряжение в якоре равна нулю, поэтому  $I_{\text{п}} = U / R_{\text{я}}$ .

Сопротивление цепи якоря невелико, поэтому пусковой ток превышает в 10 - 20 раз и более номинальный. Это может вызвать значительные электродинамические усилия в обмотке якоря и чрезмерный ее перегрев, поэтому пуск двигателя производят с помощью пусковых реостатов - активных сопротивлений, включаемых в цепь якоря.

Двигатели мощностью до 1 кВт допускают прямой пуск.

Величина сопротивления пускового реостата выбирается по допустимому пусковому току двигателя. Реостат выполняют ступенчатым для улучшения плавности пуска электродвигателя.

В начале пуска вводится все сопротивление реостата. По мере увеличения скорости якоря возникает противо-э. д. с, которая



ограничивает пусковые токи. Постепенно выводя ступень за ступенью сопротивление реостата из цепи якоря, увеличивают подводимое к якору напряжение.

### Регулирование частоты вращения электродвигателя постоянного тока

Частота вращения двигателя постоянного тока:

$$n = \frac{U - I_a R_a}{k_c \Phi},$$

где  $U$  — напряжение питающей сети;  $I_a$  — ток якоря;  $R_a$  — сопротивление цепи якоря;  $k_c$  — коэффициент, характеризующий магнитную систему;  $\Phi$  — магнитный поток электродвигателя.

Из формулы видно, что частоту вращения электродвигателя постоянного тока можно регулировать тремя путями: изменением потока возбуждения электродвигателя, изменением подводимого к электродвигателю напряжения и изменением сопротивления в цепи якоря.

Наиболее широкое применение получили первые два способа регулирования, третий способ применяют редко: он неэкономичен, скорость двигателя при этом значительно зависит от колебаний нагрузки. Механические характеристики, которые при этом получаются, показаны на рисунке.

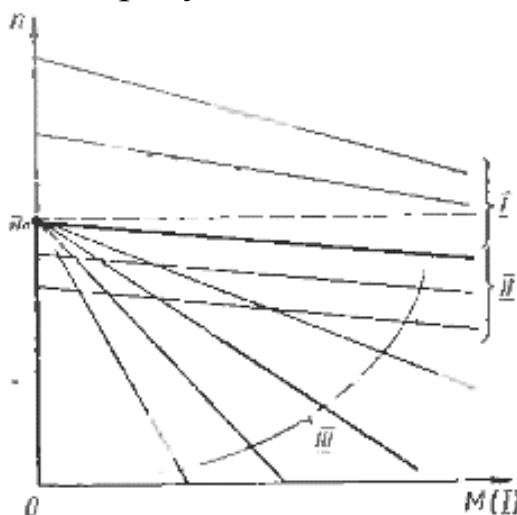


Рис. 3. Механические характеристики электродвигателя постоянного тока при различных способах регулирования частоты вращения

Жирная прямая — это естественная зависимость скорости от момента на валу, или, что то же, от тока якоря. Прямая естественной механической характеристики несколько отклоняется от горизонтальной штриховой линии. Это отклонение называют

нестабильностью, нежесткостью, иногда статизмом. Группа непараллельных прямых I соответствует регулированию скорости возбуждением, параллельные прямые II получаются в результате изменения напряжения якоря, наконец, веер III — это результат введения в цепь якоря активного сопротивления.

Величину тока возбуждения двигателя постоянного тока можно регулировать с помощью реостата или любого устройства, активное сопротивление которого можно изменять по величине, например транзистора. При увеличении сопротивления в цепи ток возбуждения уменьшается, частота вращения двигателя увеличивается. При ослаблении магнитного потока механические характеристики располагаются выше естественной (т. е. выше характеристики при отсутствии реостата). Повышение частоты вращения двигателя вызывает усиление искрения под щетками. Кроме того, при работе электродвигателя с ослабленным потоком уменьшается устойчивость его работы, особенно при переменных нагрузках на валу. Поэтому пределы регулирования скорости таким способом не превышают 1,25 - 1,3 от номинальной.

### Способы регулирования подводимой мощности

ШИМ - это широтно-импульсная модуляция. т.е. модуляция (управление) напряжением или током путем изменения ширины импульсов при неизменной их величине.

На экране осциллографа ШИМ сигнал выглядит следующим образом:

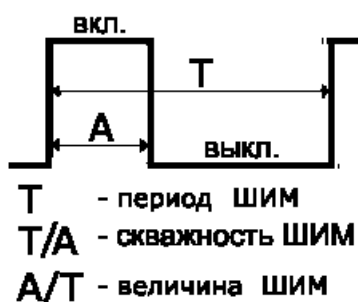


Рис. 4. Схема сигнала при широтно-импульсной модуляции

Данный цифровой сигнал имеет 2 состояния - либо включено (на ножке МК это лог. "1"), либо выключено (на ножке МК это лог. "0"). Для создания ШИМ сигнала используются различные ключи — например, встроенные в МК или внешние транзисторы или реле.

ШИМ (англ. PWM) сигнал имеет следующие основные параметры:

- период ШИМ - это время между фронтами (или спадами) соседних импульсов - обозначается  $T$  - обычно он постоянен по времени. С периодом связана обратная величина - частота ШИМ равная  $1 / T$  в Гц.

- величина ШИМ - это отношение  $A / T$  умноженное на 100 - получаем проценты (англ. X % duty cycle).

- размах ШИМ - это разность между значениями вкл. и выкл. Значение выкл. может быть и ненулевым.

Применение ШИМ позволяет:

1) *регулировать мощность в нагрузке.*

Регулирование мощности осуществляется изменением среднего времени подачи питания в нагрузку. При этом коммутирующий (включающий - выключающий) нагрузку транзисторный ключ работает в ключевом режиме и поэтому на нем выделяется минимум тепла.

Вот пример регулирования мощности в электродвигателе:

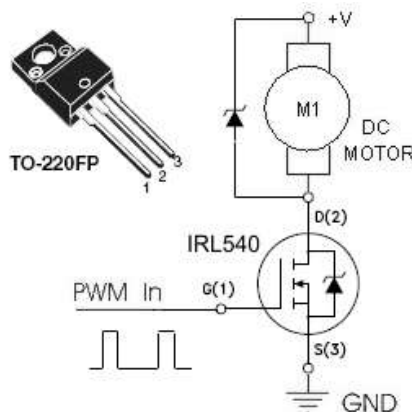


Рис. 5. Схема реализации электронного ключа на базе полевого транзистора

Мотор подключается к питанию +V когда напряжение "PWM In". Мощные полевые и IGBT транзисторы правильно переключать с помощью специальных драйверов – например, IRS2110.

Если частота переключений невысокая (до 2-3 КГц), то можно управлять полевыми транзисторами MOSFET серии IRL ножкой МК через резистор 100 Ом, но лучше использовать транзистор IRLZ44 .

Управляя полевым транзистором одной ножкой МК, можно переключать ток 50 -100А. Вместо электродвигателя может быть

другой тип нагрузки, например, лампа, нагревательный элемент или смешанная нагрузка - т.е. комбинация R, C и L.

2) ШИМ позволяет выполнить цифро-аналоговое преобразование, т.е. с помощью ШИМ можно выводить аналоговый сигнал. Нужно лишь добавить ФНЧ - фильтр низких частот.

ФНЧ может быть простейшим - к выводу МК, на который выводится ШИМ подключается резистор, а другой вывод резистора заземляется конденсатором - на этом конденсаторе будет результат ЦА преобразования PWM сигнала. Но лучше использовать более надежный фильтр низких частот – ФНЧ на основе операционных усилителей.

#### 4. Описание лабораторного стенда

Внешний вид стенда для исследования работы двигателя постоянного тока показан на рис. 6.

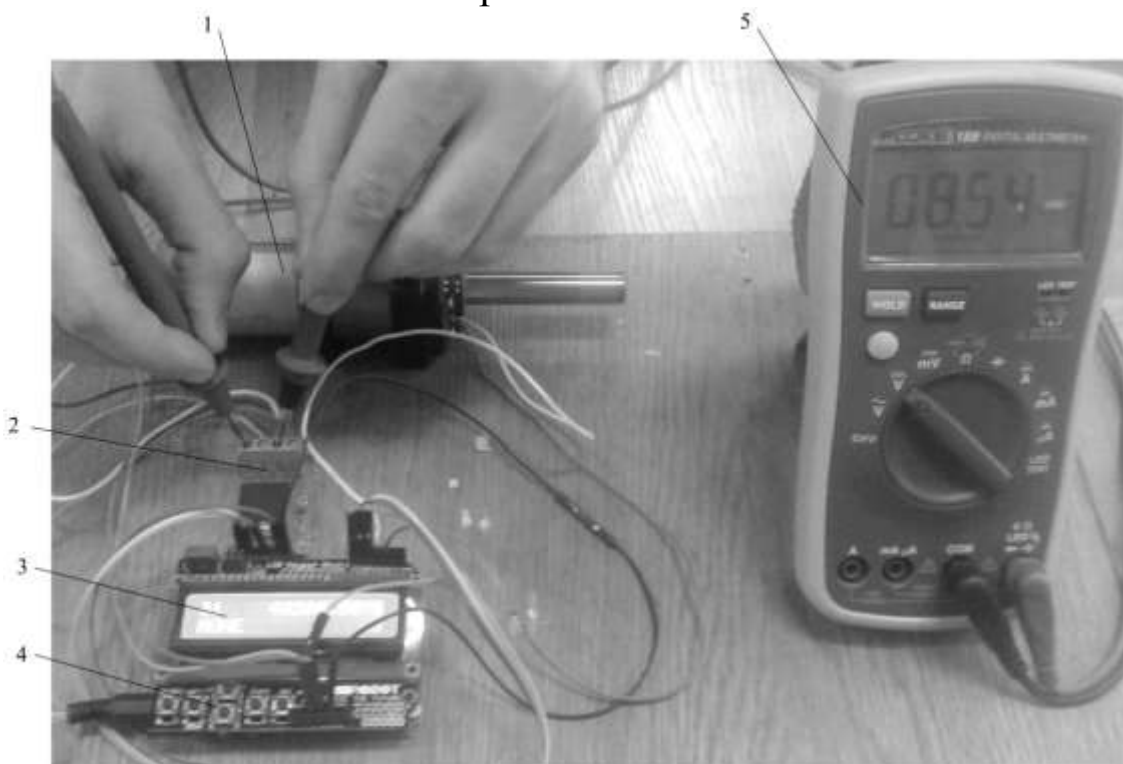


Рис. 6. Внешний вид стенда в процессе измерений

На данном фото показаны:

- 1 – электропривод: двигатель постоянного тока независимого возбуждения с планетарным редуктором;
- 2 – драйверная схема – усилитель мощности;
- 3 – микроконтроллер с ЖКИ-дисплеем;

- 4 – клавиатура для ввода параметров вращения вала привода;
- 5 – цифровой мультиметр, для измерения напряжения и тока.



Рис. 7. Внешний вид микроконтроллера

На рисунке 7 показан внешний вид ЖКИ-дисплея микроконтроллера с отображением значения ШИМ-сигнала в %, значение скорости вращения, индикация нажатия клавиш на клавиатуре.

### 5. Ход работы

1. Подробно изучить краткие теоретические сведения и ход выполнения работы, изложенные в настоящем методическом руководстве.

2. Подключить стенд к источнику питания 12В с соблюдением полярности

3. Задавая параметры вращения вала с помощью клавиатуры выполнить необходимые измерения, занести показания измерительных приборов в таблицу:

Значение ШИМ, %	Напряжения, В	Сила тока, А	Нагрузка. Нм	Частота вращения, об/мин

4. Построить зависимости скорости вращения от напряжения при различных нагрузочных моментах, зависимость скорости вращения от крутящего момента при различных напряжениях питания.

5. Провести анализ полученных результатов, сделать выводы.

## **Библиографический список**

1. Беспалов В.Я. Электрические машины: учебник. М. Академия, 2013.
2. Робототехника и ГАП, кн.2 "Приводы робототехнических систем", под ред. Макарова И.М., М.: Высшая школа, 1986.
3. Карнаухов Н.Ф. Электромеханические и мехатронные системы. Ростов н/Д: Феникс, 2006.
4. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. М.: Издательский центр "Академия", 2004.
5. Волков Н.И., Миловзоров В.П. Электромашинные устройства автоматики. М.: Высшая школа, 1986.
6. Ключев В.И. Теория электропривода. М.: Энергоатомиздат, 1998.
7. Хорьков К.А., Хорьков А.К. Электромеханические системы. Томск, Изд-во ТПУ, 1999.
8. Егоров. Конструирование мехатронных модулей. — М. : ИЦ МГТУ Станкин, 2004.
9. Москаленко В.В. Системы автоматизированного управления электропривода. М.: Инфра-м, 2004.

## **Используемое оборудование**

Лабораторный стенд "Мехатронный привод на базе двигателя постоянного тока", Блок питания GPD-73303D, Мультиметр Fluke 18b.