Новосибирский ГАУ

Инженерный институт

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Методические указания к лабораторной работе

Новосибирск 2017

УДК 621.34: 63 (075.8)
ББК 40.76, Я76
Э 453

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

Составители: канд. техн. наук, доц. ***А.Ю. Кузнецов;***
П.В. Зонов;
Д.С. Болотов

Рецензент доцент, канд. техн. наук ***А.Т. Калюжный***

Автоматизированный электропривод. Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором: метод. указания к лаб. раб. / Новосиб. гос. аграр. ун-т, Инженер. ин-т; сост.: А.Ю. Кузнецов, П.В. Зонов, Д.С. Болотов. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2017. – 21 с.

В методических указаниях приведены основные теоретические сведения о конструкции и работе асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, порядок выполнения и контрольные вопросы к защите лабораторной работы.

Предназначены для студентов всех форм обучения по направлению подготовки 35.03.06 – Агроинженерия, по профилю - Электрооборудование и электротехнологии в агропромышленном комплексе.

Утверждены и рекомендовано к изданию учебно-методическим советом Инженерного института (протокол №8 от 28 марта 2017 г.).

© Новосибирский ГАУ, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы – ознакомление студентов с устройством и принципом действия асинхронного двигателя, теоретическое и экспериментальное исследование его свойств.

Программа работы

1. Ознакомиться с лабораторным стендом и схемой его электрической цепи (рис. 1).

2. Рассчитать и построить по паспортным данным механическую характеристику $n(M)$ асинхронного двигателя.

3. Снять экспериментально-механическую $n(M)$ и рабочие характеристики асинхронного двигателя.

4. По экспериментальным данным построить графики механической $n(M)$ и рабочих $I_1(P_2), \eta(P_2), \cos\varphi(P_2)$ характеристик асинхронного двигателя.

5. Подготовить ответы на контрольные вопросы.

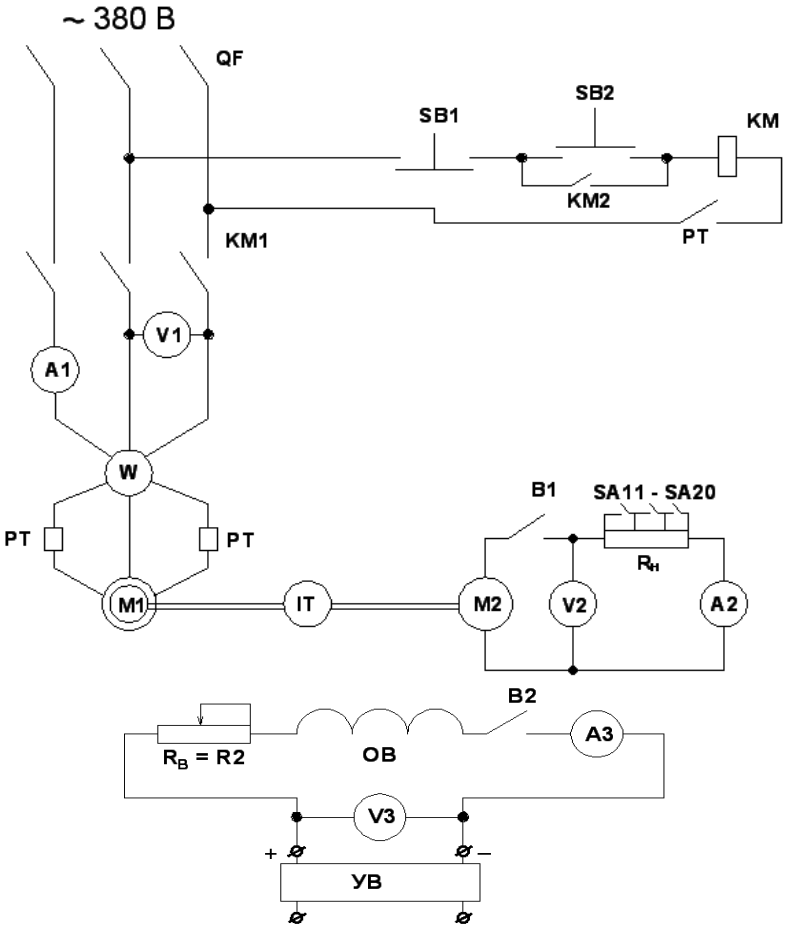


Рис. 1. Схема электрической цепи лабораторного стенда

Пояснения к работе

Механические свойства двигателя при работе в различных режимах отражаются механическими характеристиками, представляющими зависимость угловой скорости ω (или частоты вращения *n*) от вращающего момента *M* двигателя: ω (*M*) или *n*(*M*).

Для расчета и построения механической характеристики $n(M)$ используются следующие данные:

$P_{н}$ – номинальная мощность на валу двигателя, кВт;

$n_{н}$ – номинальная частота вращения, об/мин;

f – частота питающей сети, Гц;

$\lambda = \frac{M_{кр}}{M_{н}}$ – коэффициент перегрузочной способности асинхронного двигателя.

Паспортные и справочные данные двигателей лабораторного стенда приведены в прил. 1, образец оформления титульного листа лабораторной работы – в прил. 2.

1.ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Великим российским учёным и инженером Михаилом Осиповичем Доливо-Добровольским 8 марта 1889 г. был изобретён трёхфазный асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором и обмоткой типа «беличья клетка».

Современные трёхфазные асинхронные двигатели являются преобразователями электрической энергии в механическую. Благодаря своей простоте, низкой стоимости и высокой надёжности асинхронные двигатели получили широкое применение. Они присутствуют повсюду, это самый распространённый тип двигателей, их выпускается 90% от общего числа двигателей в мире. Асинхронный электродвигатель поистине совершил технический переворот во всей мировой промышленности.

Огромная популярность асинхронных двигателей связана с простотой, дешевизной и надежностью их эксплуатации.

Слово «асинхронный» означает неодновременный. При этом имеется в виду, что у асинхронных двигателей частота

вращения магнитного поля статора всегда больше частоты вращения ротора. Работают асинхронные двигатели, как понятно из определения, от сети переменного тока.

Принцип работы АД. При подаче к обмотке статора напряжения в каждой фазе создаётся магнитный поток, который изменяется с частотой подаваемого напряжения. Эти магнитные потоки сдвинуты относительно друг друга на 120°, как во времени, так и в пространстве. Результирующий магнитный поток Ф оказывается при этом вращающимся. Результирующий магнитный поток статора вращается и тем самым создаёт ЭДС в проводниках ротора. Так как обмотка ротора имеет замкнутую электрическую цепь, то в ней возникает ток, который, в свою очередь, взаимодействуя с магнитным потоком статора, создаёт пусковой момент двигателя, стремящийся повернуть ротор в направлении вращения магнитного поля статора. Когда он достигает значения тормозного момента ротора, а затем превышает его, ротор начинает вращаться. При этом возникает так называемое скольжение.

Скольжение s – это величина, которая показывает, насколько синхронная частота n_1 магнитного поля статора больше, чем частота вращения ротора n_2, в процентном соотношении:

$$s = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1} \cdot 100\% .$$

Скольжение – это крайне важная величина. В начальный момент времени она равна единице, но по мере возрастания частоты вращения n_2 ротора относительная разность частот n_1–n_2 становится меньше, вследствие чего уменьшаются ЭДС и ток в проводниках ротора, что влечёт за собой уменьшение вращающего момента. В режиме холостого хода, когда двигатель работает без нагрузки на валу, скольжение минимально, но с увеличением статического момента оно возрастает до величины $s_{кр}$ – критического скольжения.

Если двигатель превысит это значение, то может произойти так называемое опрокидывание двигателя, приводящее ВОследствии к его нестабильной работе. Значения скольжения лежат в диапазоне от 0 до 1, для асинхронных двигателей общего назначения они составляют в номинальном режиме 1-8 %.

Как только наступит равновесие между электромагнитным моментом, вызывающим вращение ротора, и тормозным моментом, создаваемым нагрузкой на валу двигателя, процессы изменения величин прекратятся.

Из вышеизложенного следует вывод о том, что принцип работы асинхронного двигателя заключается во взаимодействии вращающегося магнитного поля статора и токов, которые наводятся этим магнитным полем в роторе. Причём вращающий момент может возникнуть только в том случае, если существует разность частот вращения магнитных полей.

Устройство АД. На рис. 2 приведена конструкция АД.

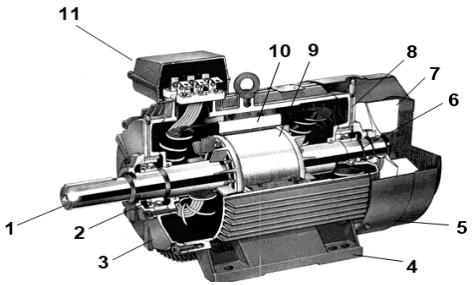


Рис. 2. Устройство АД:

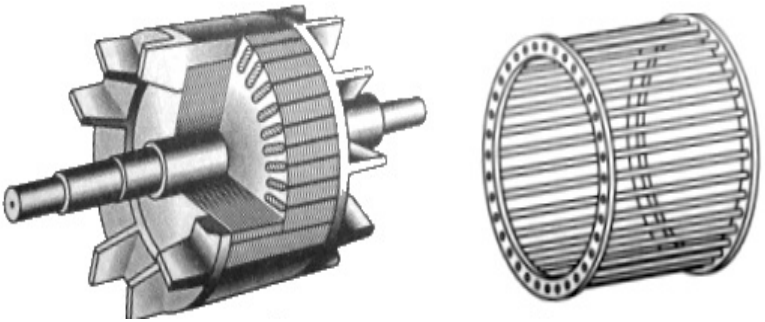
1 – вал; 2, 6 – подшипники; 3, 8 – подшипниковые щиты; 4 – лапы; 5 – кожух вентилятора; 7 – крыльчатка вентилятора; 9 – короткозамкнутый ротор; 10 – статор; 11 – коробка выводов

Основными частями асинхронного двигателя являются статор *10* и ротор *9*.

Статор имеет цилиндрическую форму и собирается из листов стали. В пазах сердечника статора уложены обмотки статора, которые выполнены из обмоточного провода. Оси обмоток сдвинуты в пространстве относительно друг друга на угол 120°. В зависимости от подаваемого напряжения концы обмоток соединяются треугольником или звездой.

Роторы асинхронного двигателя бывают двух типов: короткозамкнутые и фазные.

Короткозамкнутый ротор (рис.3,*а*) представляет собой сердечник, набранный из листов стали. В пазы этого сердечника заливается расплавленный алюминий, в результате чего образуются стержни, которые замыкаются накоротко торцевыми кольцами. Эта конструкция называется обмоткой типа «беличья клетка» (см. рис.3,*б*). В двигателях большой мощности вместо алюминия может применяться медь. «Беличья клетка» представляет собой короткозамкнутую обмотку ротора.



а) *б*)

Рис. 3. Короткозамкнутый ротор (*а*)
и обмотка типа «беличья клетка» (*б*)

Определение параметров производится по следующим пунктам.

1. Синхронная частота вращения $n_{\text{о}}$ (частота вращения магнитного поля) зависит от частоты питающей сети f и числа пар полюсов p:

$$n_{\text{о}} = \frac{60 \cdot f}{p} \qquad (1)$$

2. Число пар полюсов можно определить из выражения (1), заменив $n_{\text{о}}$ и $n_{\text{н}}$, с последующим округлением результата до целого числа, либо воспользоваться рядом синхронных частот вращения, учитывая, что $n_{\text{о}} > n_{\text{н}}$:

$$n = n_{\text{о}} \cdot (1 - s).$$

Синхронные чистоты вращения асинхронных двигателей приведены в табл. 1.

Таблица 1. Ряд синхронных частот вращения асинхронных двигателей

p	1	2	3	4	5	6	…
$n_{\text{о}}$, об./мин	3000	1500	1000	750	600	500	…

3. Номинальное скольжение $s_{\text{н}}$ – относительная скорость пересечения обмотки ротора вращающимся магнитным полем статора при номинальном моменте:

$$\text{s}_{\text{н}} = \frac{n_{\text{о}} - n_{\text{н}}}{n_{\text{о}}}. \qquad (2)$$

4. Критическое скольжение, соответствующее максимальному моменту $M_{кр}$:

$$s_{кр} = s_{н} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) . \quad (3)$$

5. Номинальный момент:

$$M_{н} = 9{,}55 \cdot \frac{P_{н}}{n_{н}} . \quad (4)$$

6. Критический момент:

$$M_{кр} = \lambda \cdot M_{н} . \quad (5)$$

7. Номинальный ток в обмотке статора определяется по формуле

$$I_{н} = \frac{p_{1н}}{\sqrt{3} \cdot U_{н} \cdot \cos\varphi_{н}} , \quad (6)$$

где $P_{1н}$ – номинальная электрическая мощность, потребляемая двигателем из сети, Вт.

Номинальная электрическая мощность, потребляемая из сети, определяется из соотношения для КПД в номинальном режиме

$$\eta_{н} = \frac{P_{н}}{P_{1н}} . \quad (7)$$

Паспортные данные и результаты вычислений заносятся в бланк отчета (табл. 2).

Таблица 2. Паспортные и вычисленные значения основных величин

Задано						Вычислено					
$P_н$, кВт	$U_н$, В	$n_н$, об/мин	$\eta_н$	$\cos\varphi_н$	λ	$I_н$ А	$s_н$	$s_{кр}$	$M_н$	$M_{кр}$	p
									Н·м		

Для теоретического расчета и построения механической характеристики двигателя по паспортным данным используется упрощенная эмпирическая формула Клосса:

$$M = \frac{2 \cdot M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}, \qquad (8)$$

где s – текущее значение скольжения.

Задаваясь текущими значениями скольжения s от 0 до 1 с обязательным включением значений $s_н$ и $s_{кр}$, определяют по формуле (8) соответствующие значения момента M. Рассчитанные значения момента и частоты вращения необходимо записать в табл. 3.

Таблица 3. Данные для построения расчетной естественной механической характеристики

s	0	$s_н$	0,1	$s_{кр}$	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
M, Н·м												
n, об/мин												

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Питание стенда осуществляется через автоматический выключатель *QF* от трехфазной четырехпроводной сети переменного тока с линейным напряжением 380 В, частотой 50 Гц. Подключение стенда к розетке ~380 В установленного на стене щитка выполняется с помощью соединительного шнура и четырехштырьковой штепсельной вилки.

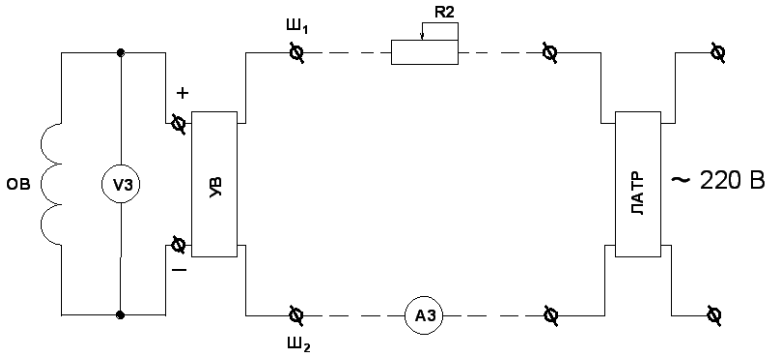


Рис. 4. Электрическая схема соединения обмотки возбуждения нагрузочной машины

Напряжение на стенд подается включением автоматического выключателя *QF*, после чего загораются индикаторные лампочки, сигнализирующие о наличии питающего напряжения на всех трех фазах стенда.

Напряжение на обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя 1*M* подается с помощью магнитного пускателя *KM* при нажатии кнопки *SB*2 (Пуск), отключается двигатель нажатием кнопки *SB*1 (Стоп). Способ соединения фазных обмоток статора выбирается с учетом линейного напряжения питающей сети ($U_{л}$ = 380 В) и номинального фазного напряжения обмоток статора (при $U_{н}$ = 220/380 В $U_{ф}$ = 220 В). В цепь обмотки статора включаются: переключатель способа подключения обмоток статора *SA*2 («звезда» – положение *Y* или «треугольник» – положение Δ) с

выводами $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$, расположенными на панели переключателей; измерительные приборы *PW* (киловаттметр – для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сети), *PA*1 (амперметр – для измерения величины тока, потребляемого двигателем), *PV*2 (вольтметр – для измерения линейного напряжения электрической сети).

Механическая нагрузка на валу асинхронного двигателя осуществляется генератором постоянного тока 2*M* серии ПБСТ-23М, вал которого соединен с валом двигателя муфтой. Частота вращения вала двигателя измеряется расположенным над регулировочным реостатом на пульте стенда стрелочным тахометром, датчик которого установлен на валу спаренных машин.

Нагрузочная машина (генератор постоянного тока) 2*M* имеет две электрические цепи: цепь якоря (главная цепь) и цепь возбуждения. В цепь якоря (выводы Я1 и Я2 на панели выводов обмоток электрических машин) включается выключатель, подсоединяющий к зажимам генератора внешнюю электрическую цепь, нагрузочный реостат $R_н$ с выключателями *SA*10 – *SA*20 для изменения тока нагрузки генератора, измерительные приборы *A*2 (амперметр) и *V*2 (вольтметр).

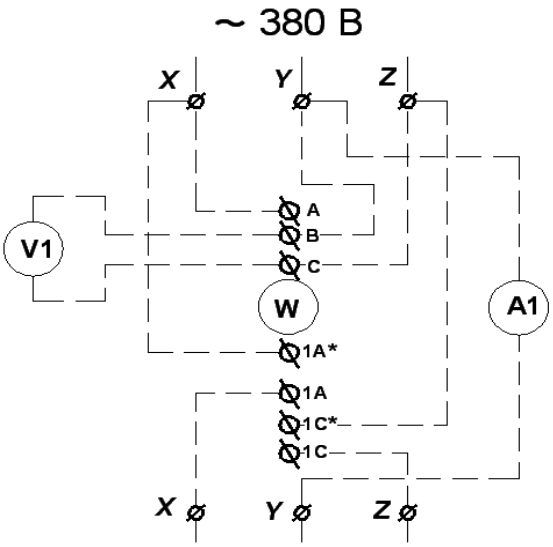


Рис. 5. Схема подключения ваттметра

В цепь обмотки возбуждения (выводы Ш1 и Ш2 на панели выводов панели выводов) включаются регулировочный реостат $R2(R_в)$ для изменения тока возбуждения (приводящего к изменению магнитного потока) и амперметр $A3$. Электрическая схема соединения обмотки возбуждения нагрузочной машины приведена на рис. 4.
Схема включения ваттметра в цепи АД приведена на рис. 5.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовить стенд к проведению эксперимента:

1.1. Убедиться, что все устройства отключены от сети электропитания (все выключатели отключены).

1.2. Собрать электрическую цепь в соответствии с рис. 3-5. При выборе измерительных приборов учитывать род тока и номинальные значения измеряемых величин (ток в цепи возбуждения нагрузочной машины не более 1 А, в цепи якоря более 10 А).

1.3. Реостат в цепи обмотки возбуждения двигателя постоянного тока полностью ввести (*R*2).

2. Осуществить пуск асинхронного двигателя (АД).

2.1. Подать напряжение на стенд включением автоматического выключателя *QF* (380 В).

2.2. Подать питание на обмотку статора АД, включив магнитный пускатель *KM* кнопкой «Пуск» (*SB*2). Записать в табл. 4 значение тока, потребляемого АД при соединении обмоток статора «звездой», мощность холостого хода, частоту вращения вала.

3. Снять механическую характеристику АД.

3.1. Не выключая АД, возбудить ДПТ, включив выключатель *B*2 и увеличив ток возбуждения выведением реостата *R*2. Если ДПТ не возбуждается, необходимо изменить направление магнитного потока, для чего после переключения выключателя *B*2 в положение «Откл.» поменять местами провода, соединенные с выводами Ш1 и Ш2 обмотки возбуждения.

3.2. После возбуждения ДПТ включить выключатель *B*1 и увеличить нагрузку на валу двигателя последовательным включением выключателей *SA*11 – *SA*20, записывая результаты измерений в табл. 4.

Таблица 4. Определение механической характеристики АД *n*(*M*)

Номер опыта	Снято					Вычислено			
	P_1, кВт	I_1, А	n, об/мин	U_2, В	I_2, А	P_2, Вт	M, Н·м	η, о.е.	cos φ
1									
2									
…									
10									

3.3. После завершения эксперимента разгрузить двигатель, введя реостат *R*2 и отключив выключатель *SA*11 – *SA*20 и *B*1. Отключить АД нажатием кнопки «Стоп» *SB*1 и автоматический выключатель *QF*.

4. По полученным опытным данным построить механическую характеристику $n(M)$ и рабочие характеристики: $I_1(P_2)$, $\eta(P_2)$ и $\cos\varphi(P_2)$.

5. Мощность на валу АД определяется через электрическую мощность и потери нагрузочной машины *M*2 – генератора постоянного тока (ГПТ):

$$P_2 = (U_2 \cdot I_2 + I_2^2 \cdot R_2) + I_{2н}^2 \cdot R_2, \text{ Вт.} \qquad (9)$$

При холостом ходе $(I_2 = 0)$ принять мощность $P_2 = 0$.

6. Момент на валу АД определяется: $M = 9{,}55 \cdot \frac{P_2}{n}$, Н·м (где P_2, Вт).

7. Коэффициент полезного действия $\eta = \frac{P_2}{P_1}$.

8. Коэффициент мощности $\cos\varphi = \frac{P_1}{S}$,

где $S = \sqrt{3} \cdot I_1 \cdot U_1$, ВА – полная мощность АД.

4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Титульный лист.
2. Цель и программа лабораторной работы.
3. Принципиальная электрическая схема лабораторного стенда в соответствии с рис.1.
4. Табл. 2 – 4 с внесенными в них данными измерений и вычислений по результатам опытов.
5. Основные расчетные формулы и примеры расчетов механических и скоростных характеристик в каждом режиме.
6. Графики механических и скоростных характеристик АД – отдельно; на каждом из графиков приводятся характеристики всех режимов двигателя, полученные опытным и расчетным методами. Опытные и расчетные характеристики должны отличаться между собой расцветкой или типом линий. Выполнение графической части должно удовлетворять требованиям ЕСКД.
7. Заключение по работе.

Контрольные вопросы

1. Устройство асинхронного двигателя и назначение его основных узлов.
2. Получение вращающегося магнитного поля.
3. Принцип работы асинхронного двигателя.
4. Способы пуска асинхронных двигателей и их особенности.
5. Способы подключения асинхронных двигателей и их осуществление.
6. Что такое скольжение *s*, как оно определяется и какова его роль в работе двигателя?
7. Объясните механические свойства асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, используя его механическую характеристику.
8. Как построить естественную механическую характеристику асинхронного двигателя?
9. Процесс саморегулирования асинхронного двигателя при изменении нагрузки на валу.
10. Характер и причины изменения I_1, η и $\cos\varphi$ при изменении нагрузки на валу асинхронного двигателя.
11. Отличие асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором от асинхронного двигателя с фазным ротором.
12. Поясните механические свойства асинхронного двигателя с фазным ротором и назначение реостата, вводимого в цепь ротора, с использованием механических характеристик.
13. Объясните процессы при пуске асинхронного двигателя с фазным ротором в случае, когда отсутствует контакт между щетками и кольцами.

Библиографический список

1. *Ильинский Н.Ф.* Основы электропривода: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: МЭИ, 2003. – 224 с.

2. *Москаленко В.В.* Электрический привод: учеб. для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2007. – 368 с.

3. *Алексеев В.В.* Электрический привод: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Алексеев, А.Е. Козярук. – М.: Академия, 2008. – 200 с.

4. *Епифанов А.П.* Электропривод в сельском хозяйстве: учеб. для вузов. – СПб.: Лань, 2010. – 224 с.

5. *Драчев Г.И.* Теория электропривода: учеб. пособие. – Челябинск: ЮУрГУ, 2005. – Ч.1– 209 с.

6. *Ключев В.И.* Теория электропривода: учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 697 с.

7. *Дюбей Гопал К.* Основные принципы устройства электроприводов. – М.: Техносфера, 2009. – 480 с.

8. *Фролов Ю.М.* Основы электрического привода. Краткий курс / Ю.М. Фролов, В.П. Шелякин. – М.: КолосС, 2007. – 252 с.

9. *Епифанов А.П.* Основы электропривода. – СПб.: Лань, 2008. – 192 с.

Содержание

Введение 3
1.Теоретическое обоснование лабораторной работы 5
2.Описание лабораторного стенда 12
3.Порядок выполнения работы……14
4.Содержание отчета……..17
Контрольные вопросы 18
Библиографический список..... 19
Приложения 20

Приложение 1

Паспортные и справочные данные электродвигателей лабораторного стенда

Двигатель М1		**Двигатель М2**	
Тип		Тип	ПБСТ-23М
Мощность	0,65 кВт	Мощность	1,9 кВт
$n_н$	980 об/мин	$n_н$	2500 об/мин
$U_н$	110 В	$U_н$	110 В
$I_н$	7,4 А	$I_н$	21 А
$\eta_н$	80%	$\eta_н$	80%
$r_в$	100 Ом	$r_в$	700 Ом

Приложение 2

Образец титульного листа

Министерство сельского хозяйства РФ
ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ
Инженерный институт

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий
Дисциплина «Автоматизированный электропривод»

Лабораторная работа №1

Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Выполнил: студент ___ группы
Помыткин Ю.С.
Зачетная книжка №: _____
Проверил: Кузнецов А.Ю.

Новосибирск 2017

Кузнецов Андрей Юрьевич

Зонов Павел Владимирович

Болотов Денис Сергеевич

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД

Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Методические указания к лабораторной работе

Редактор Т.К. Коробкова

Компьютерная верстка Т.А. Измайлова

Подписано к печати_____2017 г.

Объем 1,0 уч.-изд. л., 1,0 усл. печ. л. Формат $60\times84^{1/16}$

Тираж 100 экз. Изд. № Заказ №

Отпечатано в издательском центре «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160