



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**Laboriseadme väljatöötamine
kolmefaasilise asünkroonmootori töö uurimiseks
Development of laboratory equipment
for the study of a three-phase asynchronous motor
ENERGIATEHNIKA ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ**

Üliõpilane: Ljubov Antonova
Üliõpilaskood: 124320
Juhendaja: Aleksei Hõbesaar,
nooremlektor



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**Разработка лабораторной установки
для исследования работы
трехфазного асинхронного двигателя**
ENERGIATEHNIKA ÕPPEKAVA LÕPUTÖÖ

Üliõpilane: Ljubov Antonova
Üliõpilaskood: 124320
Juhendaja: Aleksei Hõbesaar,
nooremlektor

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"...." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab rakenduskõrgharidusõppe lõputööle/magistritööle esitatud nõuetele

"...." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"...." 20.....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

LIHTLITSENTS LÕPUTÖÖ ÜLDSUSELE KÄTTESAADAVAKS TEGEMISEKS JA REPRODUTSEERIMISEKS

Mina Ljubov Antonova (sünnikuupäev: 20.11.1985)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Laboriseadme väljatöötamine kolmefaasilise asünkroonmootori töö uurimiseks, mille juhendaja on Aleksei Hõbesaar,
 - 1.1. reprodutseerimiseks säilitamise ja elektroonilise avaldamise eesmärgil, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta kolmandate isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ja teistest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

TalTech Inseneriteaduskond Virumaa kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Ljubov Antonova, 124320RDPR

Õppekava, peeriala: RDPR06/09, Energiatehnika

Juhendaja(d): Nooremlektor, Aleksei Hõbesaar, aleksei.hobesaar@taltech.ee

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Laboriseadme väljatöötamine kolmefaasilise asünkroonmootori töö uurimiseks.

(inglise keeles) Development of laboratory equipment for the study of a three-phase asynchronous motor.

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Laboriseadmete uurimine
2. Laboritööde teostamine
3. Metoodika väljatöötamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

| Nr | Ülesande kirjeldus | Tähtaeg |
|----|--|----------|
| 1. | Inventuuri tegemine. Seadmete nimetus ja arv | 26.02.21 |
| 2. | Tehniline dokumentatsioon. Instruktsioonide, <i>jooniste ja muu</i> vajaliku dokumentatsiooni otsimine | 05.03.21 |
| 3. | Eksplutatsiooni instruktsioonide koostamine | 12.03.21 |
| 4. | Seadmete paigaldus, käivitus, mõõtmistulemuste lugemine | 26.03.21 |
| 5. | Laboratorsete katsete metoodika koostamine | 26.04.21 |

Töö keel: vene keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: 26.mai 2021a.

Üliõpilane:
/allkiri/

"....."..... 20.....a

Juhendaja:
/allkiri/

"....."..... 20.....a

Programmijuht:
/allkiri

"....."..... 20.....a

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 7 |
| ВВЕДЕНИЕ..... | 8 |
| 1. ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ ... | 9 |
| 1.1 Устройство | 9 |
| 1.2 Принцип работы..... | 10 |
| 1.3 Сферы применения..... | 11 |
| 2. РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ | 12 |
| 2.1 Необходимые приборы и компоненты | 13 |
| 2.1.1 Управляющее устройство для сервомотора | 13 |
| 2.1.2 Источник питания для электрических машин | 14 |
| 2.1.3 Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором..... | 15 |
| 2.1.4 Асинхронный серводвигатель | 15 |
| 2.1.5 Аналого-цифровой мультиметр, измеритель мощности и косинуса фи..... | 16 |
| 2.1.6 Переключатель звезда/треугольник | 17 |
| 2.2 Возможные лабораторные работы..... | 17 |
| 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ | 19 |
| 3.1 Лабораторная работа "Нагрузочные характеристики" | 19 |
| 3.1.1 Цели лабораторной работы..... | 19 |
| 3.1.2 Техника безопасности | 19 |
| 3.1.3 Необходимые приборы и оборудование | 20 |
| 3.1.4 Порядок выполнения работы | 20 |
| 3.1.5 Вопросы к лабораторной работе..... | 23 |
| 3.2 Выводы по результатам работы лабораторной установки..... | 24 |
| ВЫВОД | 25 |
| КОККУVÖТЕ | 26 |
| SUMMARY..... | 27 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ..... | 28 |
| Дополнение 1: Руководство к лабораторной работе | 29 |

ПРЕДИСЛОВИЕ

Тему данной дипломной работы предложил лектор Jüri Utt, преподаватель лектората управления процессами технологий машиностроения и энергетики инженерного факультета Таллиннского Технического Университета.

Руководитель дипломной работы - младший лектор Aleksei Hõbesaar, преподаватель лектората управления процессами технологий машиностроения и энергетики инженерного факультета Таллиннского Технического Университета. Под руководством Aleksei Hõbesaar проходило знакомство с оборудованием, были проведены лабораторные работы, а также составлено руководство к лабораторной работе.

Большую помощь в проведении лабораторных работ оказала старший лектор Татьяна Барашкова, преподаватель лектората управления процессами технологий машиностроения и энергетики инженерного факультета Таллиннского Технического Университета.

Исследования для данной дипломной работы проводились в лабораторном комплексе Taltech Virumaa Kolledž, в частности были использованы лабораторные стенды для изучения работы электрических машин.

Ключевые слова:

Трехфазный асинхронный двигатель, управляющее устройство для сервомотора, лабораторная установка, руководство, Taltech Virumaa Kolledž, rakenduskoõrgharidusõppe lõputöö

ВВЕДЕНИЕ

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором является одним из наиболее распространенных типов электрических машин в промышленности. Это обусловлено высокой надежностью и легкостью в эксплуатации, простотой устройства, а также относительной дешевизной данного типа двигателя. Наиболее широкое применение трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором получил в электроприводе различных механизмов, например, в различных подъемных механизмах, станках, вентиляторах и т.д.

Основная цель данной дипломной работы – разработка лабораторной установки для исследования работы трехфазного асинхронного двигателя в Taltech Virumaa Kollidž. Для реализации основной цели были поставлены следующие задачи: во-первых, подключить и испытать комплексное управляющее устройство для сервомотора SO3636-6R, которое не входит в стандартную комплектацию лабораторного стенда “EEM41 Трехфазные асинхронные машины”. Во-вторых, составить руководство к проведению лабораторных работ.

В ходе осуществления данного проекта использовалось лабораторное оборудование на базе учебного курса “EEM 41 Трехфазные асинхронные машины”. Были проведены работы на различных стендах, исследованы возможности оборудования для изучения трехфазных асинхронных машин.

При написании дипломной работы использовалась различная учебная литература, научные публикации. В качестве исходных данных была использована инструкция по эксплуатации оборудования “EEM Electric Machines”.

В первой части данной работы будет рассмотрено устройство, принцип работы и сферы применения трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Во второй части будет представлена идея лабораторной установки, необходимое оборудование и компоненты. Также будет рассмотрено, какие лабораторные работы можно осуществить с помощью данного лабораторного стенда.

В третьей части работы будет приведена экспериментальная проверка лабораторной установки.

Данная дипломная работа даст возможность студентам Вирумааского колледжа по специальности “Управление процессами технологий машиностроения и энергетики” изучать трехфазные асинхронные машины в различных режимах работы, а также проводить другие лабораторные работы, которые повысят уровень теоретических и практических знаний будущих специалистов.

1. ТРЕХФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С КОРТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

1.1 Устройство

Трехфазный асинхронный двигатель состоит из двух основных частей – неподвижного статора и вращающегося ротора. Каждая из этих частей имеет сердечник и обмотку. Ротор размещается внутри статора. Между ротором и статором имеется воздушный зазор, обычно от 0,5 до 2 мм. [1] На рисунке 1.1 представлен асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором в разрезе.



Рисунок. 1.1 Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором в разрезе [2]

Статор двигателя состоит из корпуса и сердечника с трехфазной обмоткой. Корпус двигателя отливают из алюминиевого сплава или из чугуна, либо делают сварным. Сердечник статора собирается из тонколистовой электротехнической стали толщиной обычно 0,5 мм, покрытой изоляционным лаком. Шихтованная конструкция сердечника способствует значительному снижению вихревых токов, возникающих в процессе перемагничивания сердечника вращающимся магнитным полем. Обмотки статора располагаются в пазах сердечника. [1]

Ротор состоит из сердечника с короткозамкнутой обмоткой и вала. Сердечник ротора также имеет шихтованную конструкцию. Обмотка ротора выполняется из металлических (алюминиевых или медных) стержней, расположенных в пазах сердечника ротора. Торцевые концы стержней замыкают металлическими кольцами. Такая обмотка получила название "беличья клетка". В большинстве двигателей стержни обмотки с металлическими кольцами и вентиляционные лопасти заливают алюминием. [1]

1.2 Принцип работы

Принцип работы асинхронного двигателя основан на свойстве трехфазного тока, который способен создавать вращающееся магнитное поле в обмотках статора. В результате действия вращающегося магнитного поля в роторе индуцируются токи, которые согласно закону электромагнитной индукции заставляют ротор вращаться. [3]

Частота вращения магнитного поля выражается формулой:

$$n_1 = \frac{60f}{p}, \quad (1.1)$$

где

n_1 – частота вращения магнитного поля статора, min^{-1} ;

f – частота переменного тока, Hz;

p – число пар полюсов (зависит от числа катушек обмотки статора) [3]

Магнитное поле и ротор вращаются в одном направлении с разными скоростями, как правило, скорость вращения ротора асинхронного двигателя меньше скорости вращения магнитного поля статора. Данная разность, являющаяся необходимым условием для появления электромагнитного вращающегося момента в асинхронном двигателе, называется скольжением S и выражается формулой [3]:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \times 100\%, \quad (1.2)$$

где

S – скольжение асинхронного электродвигателя;

n_1 – частота вращения магнитного поля статора, min^{-1} ;

n_2 – частота вращения ротора, min^{-1} [3]

Скольжение асинхронного двигателя может изменяться в диапазоне от 0 до 100%. Если скольжение находится около нуля, ротор двигателя практически не испытывает противодействующего момента, данный режим соответствует режиму холостого хода двигателя; если $S=1$ – ротор двигателя неподвижен ($n_2=0$),

наступает режим короткого замыкания. Скольжение зависит от механической нагрузки на валу двигателя и с ее ростом увеличивается. Обычно скольжение находится в диапазоне от 2% до 8%. [3]

Направление вращения ротора определяется направлением вращения магнитного поля. Чтобы изменить направление вращения ротора двигателя, необходимо изменить порядок чередования фаз путем переключения любых двух фаз обмотки статора. [4]

Таким образом, принцип работы асинхронного двигателя основан на 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. [5]

1.3 Сферы применения

Трёхфазные асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором получили широкое применение благодаря весомым преимуществам, таким как простота устройства, лёгкость в эксплуатации, а тем самым относительной дешёвизной устройства. Данный тип электрических машин стабильно работает на оптимальных нагрузках, имеет высокие показатели КПД, не требует постоянного обслуживания.

Трёхфазные асинхронные машины находят свое применение в основном в качестве двигателей, реже в качестве генераторов.

Сферы применения трёхфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором весьма широкие. Наиболее часто данные электрические машины используются в электроприводах различных станков, подъёмных механизмах, в вентиляторах, бытовых электроприборах, экскаваторах, в дробильных установках и т.д.

2. РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Идея создания лабораторной установки возникла в Вирумааском Колледже Таллиннского Технического Университета. Данный учебный стенд (представлен на рисунке 2.1) позволит студентам Колледжа изучать работу трехфазных асинхронных машин в различных режимах работы в ходе практических лабораторных работ.

Основные задачи: подключить и испытать комплексное цифровое управляющее устройство для сервомотора SO3636-6R, которое не входит в стандартную комплектацию лабораторного стенда "EEM41 Трехфазные асинхронные машины", а также составить руководство к лабораторной работе.

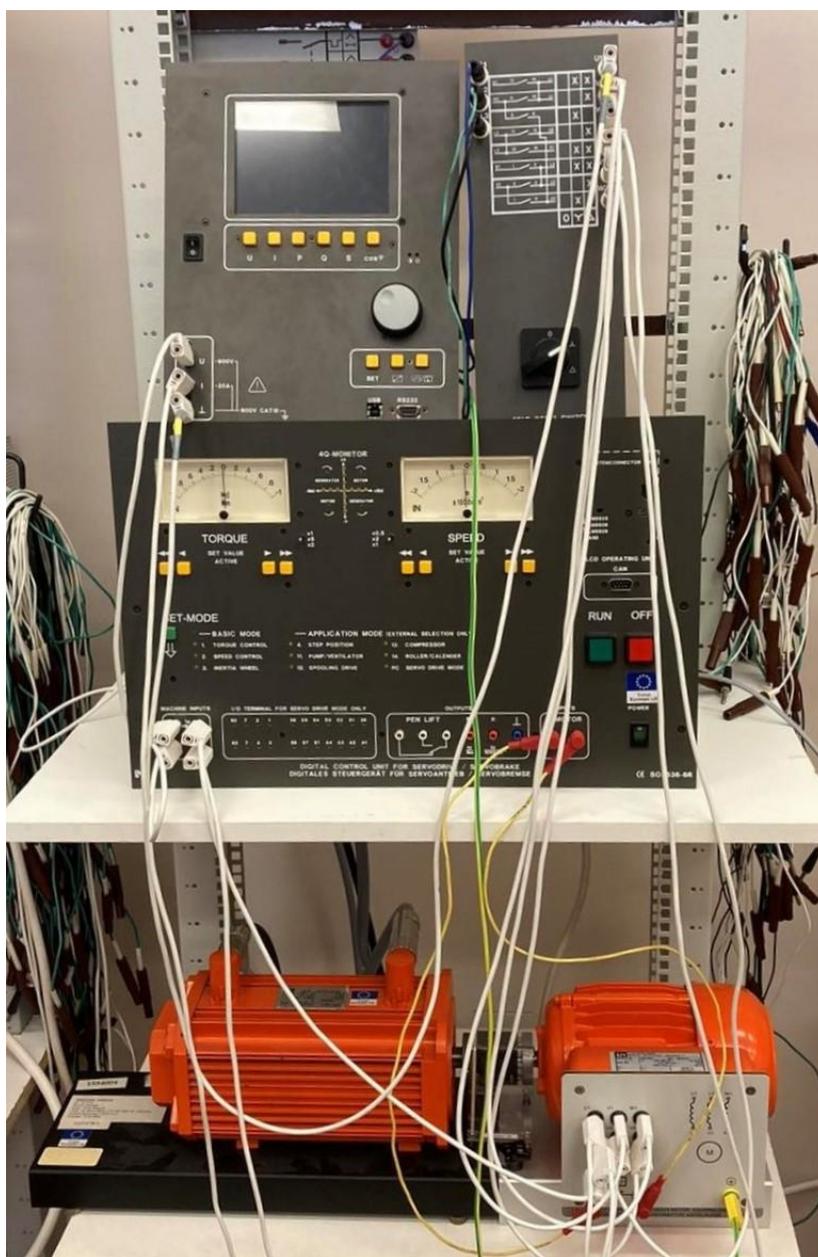


Рисунок 2.1 Лабораторный стенд

2.1 Необходимые приборы и компоненты

Лабораторный стенд представляет собой комплексную систему, состоит из следующих приборов и компонентов:

- комплексное цифровое управляющее устройство для сервомотора, 300W;
- источник питания для электрических машин;
- трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, 0,3 kW;
- асинхронный серводвигатель, 0,3 kW;
- предохранительное устройство для муфты, 300W;
- аналого-цифровой мультиметр, измеритель мощности и косинуса фи;
- переключатель звезда/треугольник;
- 4-х полюсный выключатель On/off;
- комплект безопасных соединительных проводов.

2.1.1 Управляющее устройство для сервомотора

Данное комплексное цифровое управляющее устройство (представлено на рисунке 2.2) предназначено для проведения учебных лабораторных работ с сервомотором. Устройство может быть подключено к компьютеру, а также возможна работа без подключения к компьютеру. Соединение происходит с помощью ключа безопасности (специального предохранителя). Устройство позволяет регулировать крутящий момент (TORQUE) и скорость (SPEED) подключенной электрической машины путем выбора режима управления. Данные выводятся на двух аналоговых табло управляющего устройства. Также можно видеть, в каком квадранте работает электрическая машина в данный момент времени, при заданных значениях (4Q-MONITOR). [6]



Рисунок 2.2 Комплексное управляющее устройство для сервомотора SO3636-6R

Основные характеристики устройства:

- номинальное напряжение: 320/528V, 45...65Hz;
- выходная мощность: 4,8 kVA;
- номинальный ток: 7,0 A;
- импульсный ток: 10,5 A [6]

2.1.2 Источник питания для электрических машин

Источник питания SO3212-5U (представлен на рисунке 2.3) специально разработан для использования с электрическими двигателями. [7]

Основные технические характеристики:

- на выходе: 4 мм защищенная трехфазная розетка с контактом заземления, изменяемый постоянный ток в диапазоне 0...240 V, с электронным управлением и защитой от перегрузки и короткого замыкания. Выходной ток: 3...10A (регулируемое ограничение тока);
- вторичный источник постоянного тока 210 V с ограничением 6 A;
- защитные системы: защитный выключатель двигателя, регулируемый от 6,3 ... 16 A. Защитное отключение при пониженном напряжении;
- подключение питания: 3x230/400 V, 50/60 Гц через штекер CEE с кабелем питания длиной 1,8 м [7]

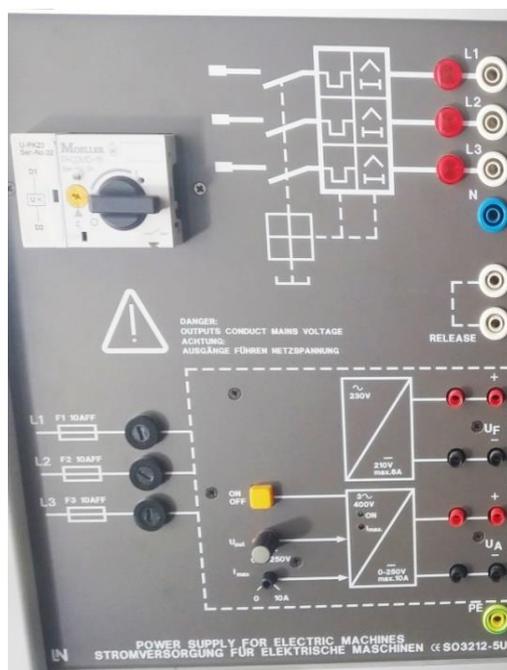


Рисунок 2.3 Источник питания для электрических машин SO3212-5U

2.1.3 Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором

Основные технические характеристики:

- номинальное напряжение: 690/400V, 50Hz;
- номинальный ток: 0,6A/1A;
- номинальная скорость: 2800 min⁻¹;
- номинальная мощность: 0,37 kW;
- коэффициент мощности: 0,83 [6]



Рисунок 2.4 Трехфазный асинхронный двигатель SE2672-3G [8]

2.1.4 Асинхронный серводвигатель

Асинхронный серводвигатель SE2663-6A (рисунок 2.5) имеет достаточный резерв для крутящего момента, надежного торможения, движения или удержания в состоянии покоя во всех четырех квадрантах работы. Соединение с двигателем происходит с помощью зубчатой муфты. Встроенный резольвер абсолютно точно показывает положение и скорость ротора. Сервомотор имеет контроль тепловой нагрузки через датчик температуры КТУ. Система не имеет дрейфа и не требует калибровки. [6]

Основные характеристики:

- крутящий момент: 4,0 Nm, max 13,0 Nm 45...65Hz;
- номинальная мощность: 1,7 kW;
- номинальный ток: 4,4 A;
- скорость: min 4050 min⁻¹ max 8000 min⁻¹ [6]

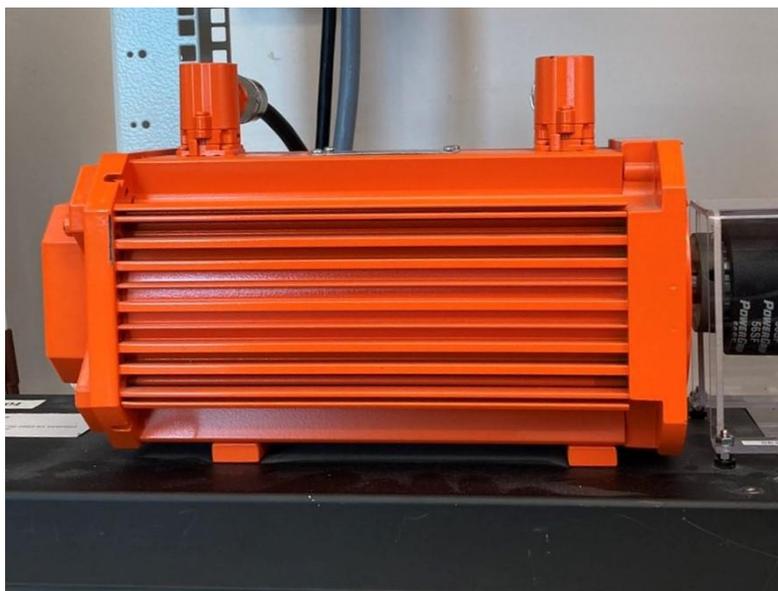


Рисунок 2.5 Асинхронный серводвигатель SE2663-6A

2.1.5 Аналого-цифровой мультиметр, измеритель мощности и косинуса фи

Данный измерительный прибор (представлен на рисунке 2.6) с большим графическим дисплеем может показывать до четырех измерительных параметров, таких как напряжение, ток, активную мощность, реактивную мощность, полную мощность и коэффициент мощности. Измеряемые значения отображаются с соответствующими единицами измерений. Может быть подключен к компьютеру через USB или RS-232 порт. Работает от сети. [6]



Рисунок 2.6 Аналого-цифровой мультиметр, измеритель мощности и косинуса фи SO5127-1Z

2.1.6 Переключатель звезда/треугольник

На рисунке 2.7 представлен переключатель звезда/треугольник.

Основные характеристики:

- положения переключателя: О–Y– Δ. (поворотный переключатель);
- максимально допустимая мощность включения или отключения контактов: 660V, 20A [6]



Рисунок 2.7 Переключатель звезда/треугольник SO3212-2D

2.2 Возможные лабораторные работы

Данный лабораторный стенд предназначен для изучения работы трехфазных асинхронных машин. Экспериментальное исследование в рамках учебной программы позволит студентам Вирумааского Колледжа изучать конструкцию, принцип работы и особенности функционирования трехфазных асинхронных машин.

С помощью лабораторного стенда можно осуществить следующие учебные работы:

- подключение и запуск асинхронного двигателя;
- исследование нагрузочных характеристик асинхронного двигателя;
- реверсирование направления вращения асинхронного двигателя.

В ходе проведения лабораторных работ на данном учебном стенде студенты научатся:

- самостоятельно собирать лабораторную установку согласно электрической

и монтажной схемам;

- снимать нагрузочные характеристики при различных схемах подключения;
- исследовать режимы работы асинхронной машины;
- по снятым экспериментальным данным строить нагрузочные характеристики асинхронной машины;
- анализировать полученные данные, сравнивать с техническими данными, делать выводы по результатам работы.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Для оценки работоспособности лабораторной установки были проведены пробные испытания.

3.1 Лабораторная работа “Нагрузочные характеристики”

3.1.1 Цели лабораторной работы

Основные цели проведения лабораторной работы:

- практическое ознакомление студентов с устройством и работой трехфазного асинхронного двигателя;
- формирование умений собирать лабораторную установку согласно прилагаемой принципиальной схеме подключения;
- формирование практических знаний по снятию нагрузочных характеристик трехфазного асинхронного двигателя и умение проводить анализ полученных данных.

3.1.2 Техника безопасности

Основные указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы:

- при проведении экспериментов под нагрузкой используется высокое напряжение, опасное для жизни;
- при сборке установки используйте только безопасные провода, которые входят в комплект стенда. Убедитесь в целостности проводов. Следите за тем, чтобы не возникло короткое замыкание;
- все приборы, которые требуют заземления, должны быть заземлены с помощью проводов желто-зеленого цвета;
- убедитесь, что в установке использованы защитные приспособления для вращающихся частей двигателя и проверьте, прочно ли они закреплены. Также следует проверить надежность крепления опорных винтов на ножках мотора и соединительной муфты на валу мотора;
- следует учитывать, что длительная работа под нагрузкой приводит к нагреву мотора. Убедитесь, что контакты теплового реле машины соединены с соответствующими штекерами на блоке управления;

- также следует избегать неподвижного состояния двигателя при включенном питании, т.н. экстремального режима. Данный режим допустим только на короткий срок;
- перед включением напряжения питания убедитесь в правильности соединения используемого оборудования. Позвольте преподавателю проконтролировать правильность соединения и только после этого приступайте к экспериментам;
- соблюдайте общие правила и инструкции по использованию электротехнического оборудования. [10]

3.1.3 Необходимые приборы и оборудование

В таблице 3.1 представлены необходимые приборы и оборудование для проведения лабораторной работы.

Таблица 3.1

| Код | Описание |
|-----------|---|
| SO3636-6R | Комплексное цифровое управляющее устройство для сервомотора, 300W |
| SO3212-5U | Источник питания для электрических машин |
| SE2672-3G | Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, 0,3 kW |
| SE2663-6A | Асинхронный серводвигатель, 0,3 kW |
| SE2662-7B | Предохранительное устройство для муфты, 300W |
| SO5127-1Z | Аналого-цифровой мультиметр, измеритель мощности и косинуса фи |
| SO3212-2D | Переключатель звезда/треугольник |
| SO3212-1W | 4-х полюсный выключатель On/off |
| SO5148-1F | Комплект безопасных соединительных проводов 4 mm (47 штук) |

3.1.4 Порядок выполнения работы

Ход выполнения лабораторной работы:

- 1) собрать установку согласно прилагаемой принципиальной схеме подключения (рисунок 3.1);
- 2) включить напряжения питания на асинхронный двигатель, обмотки которого соединены по схеме "звезда";
- 3) включить на управляющем устройстве SO3636-6R режим Basic mode: Torque control;

- 4) пошагово, регулируя крутящий момент (Torque control) на управляющем устройстве, снять нагрузочные характеристики асинхронного двигателя. Вписать данные в таблицу 3.2;
- 5) включить на управляющем устройстве SO3636-6R режим Basic mode: Speed control;
- 6) пошагово, регулируя частоту вращения (Speed control) на управляющем устройстве, снять нагрузочные характеристики асинхронного двигателя. Вписать данные в таблицы 3.3 и 3.4;
- 7) построить графики по снятым характеристикам (рисунок 3.2, рисунок 3.3)

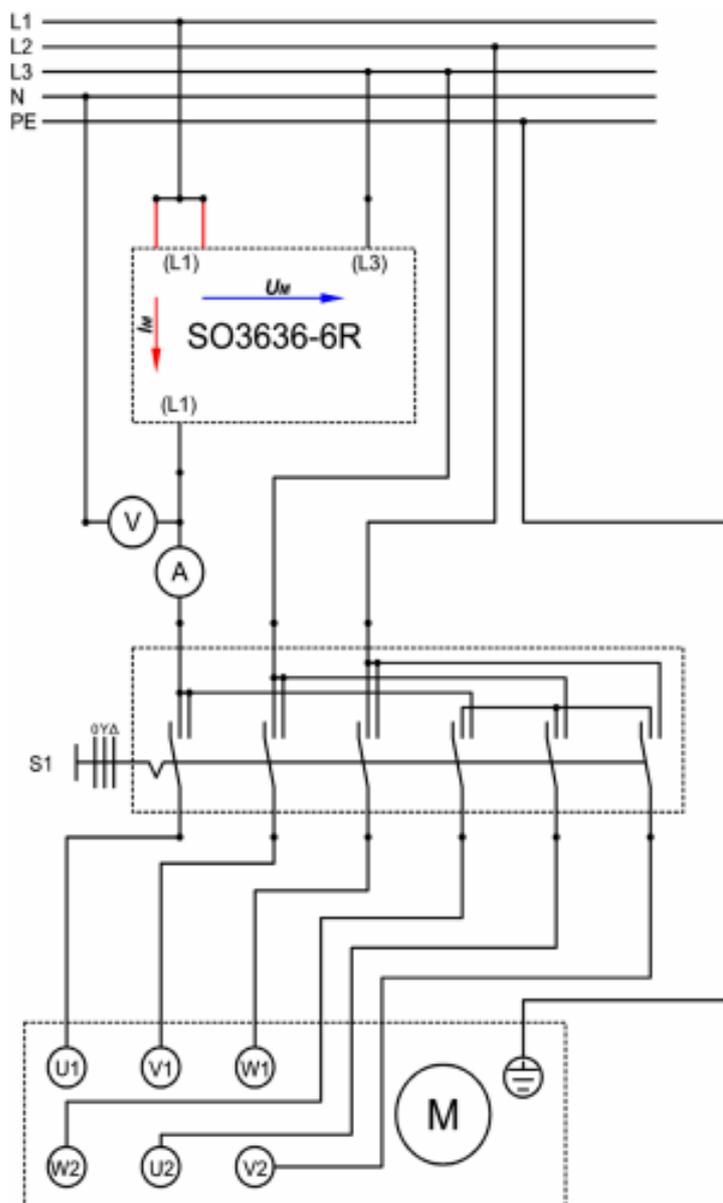


Рисунок 3.1 Принципиальная схема подключения [9]

Таблица 3.2 Нагрузочные характеристики асинхронного двигателя по схеме «звезда». Регулирование крутящего момента

| | | | | | | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--------|------|
| M/Nm | 0 | 0,01 | 0,1 | 0,19 | 0,21 | 0,22 | 0,31 | 0,41 |
| n/min ⁻¹ | 2800 | 2800 | 2700 | 2620 | 2600 | 2420 | 2400 | 2240 |
| U _{фаз} /V | 228 | 228,7 | 228,6 | 228 | 228,2 | 227 | 228,5 | 228 |
| I _{фаз} /A | 0,16 | 0,21 | 0,27 | 0,38 | 0,37 | 0,53 | 0,51 | 0,69 |
| P ₂ /W | 42,4 | 32,48 | 49,37 | 67,02 | 75,44 | 109 | 106,73 | 142 |
| Cos φ | 0,411 | 0,719 | 0,839 | 0,872 | 0,886 | 0,91 | 0,909 | 0,9 |

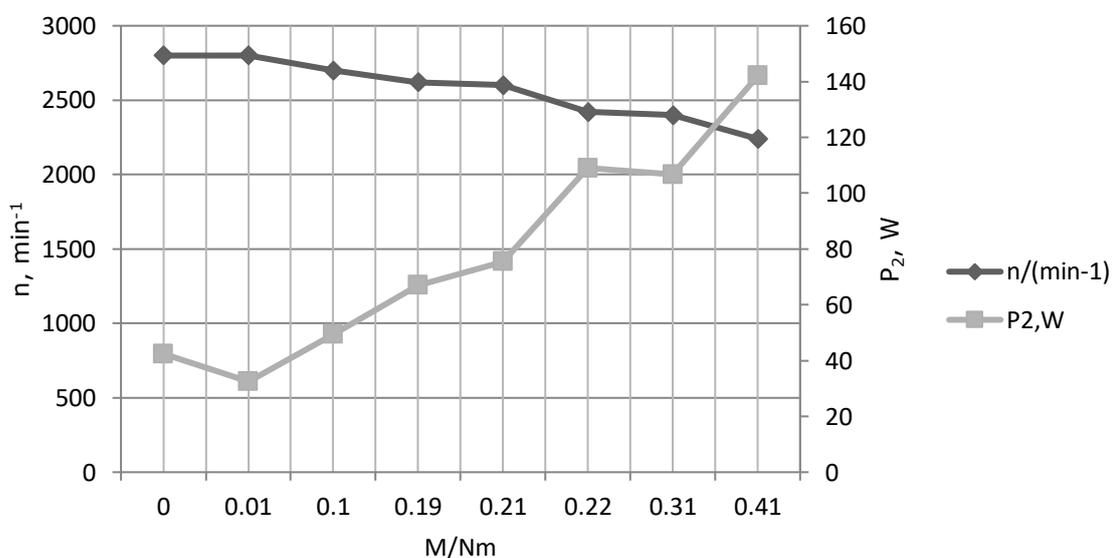


Рисунок 3.2 График нагрузочных характеристик (регулирование крутящего момента)

Таблица 3.3 Нагрузочные характеристики асинхронного двигателя по схеме «звезда». Регулирование скорости вращения

| | | | | | |
|---------------------|--------------|---------------------------|-------|-------|-------|
| n/min ⁻¹ | 2800 | 2700 | 2600 | 2420 | 2200 |
| M/Nm | 0 | 0,1 | 0,29 | 0,38 | 0,4 |
| U _{фаз} /V | 228 | 228,7 | 229,2 | 227 | 227 |
| I _{фаз} /A | 0,16 | 0,25 | 0,43 | 0,56 | 0,68 |
| P ₂ /W | 41,8 | 47,51 | 88,3 | 115 | 140 |
| Cos φ | 0,721 | 0,811 | 0,904 | 0,913 | 0,913 |
| Режим работы | Генераторный | Двигательный режим работы | | | |

Таблица 3.4 Нагрузочные характеристики асинхронного двигателя по схеме «звезда». Регулирование скорости вращения

| | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| n/min^{-1} | 2800 | 3000 | 3000 | 3000 | 3040 | 3160 | 3200 |
| M/Nm | 0 | -0,2 | -0,2 | -0,3 | -0,2 | -0,12 | -0,08 |
| $U_{\text{фаз}}/\text{V}$ | 227 | 228,2 | 228 | 227,7 | 229,8 | 228,2 | 228 |
| $I_{\text{фаз}}/\text{A}$ | 0,21 | 0,16 | 0,3 | 0,38 | 0,28 | 0,21 | 0,17 |
| P_2/W | 36 | 11,35 | 51,6 | 77,31 | 53,14 | 35,4 | 19,95 |
| $\cos \phi$ | 0,7 | 0,322 | 0,756 | 0,892 | 0,8 | 0,21 | 0,17 |
| Режим работы | Двигательный | Генераторный режим работы | | | | | |

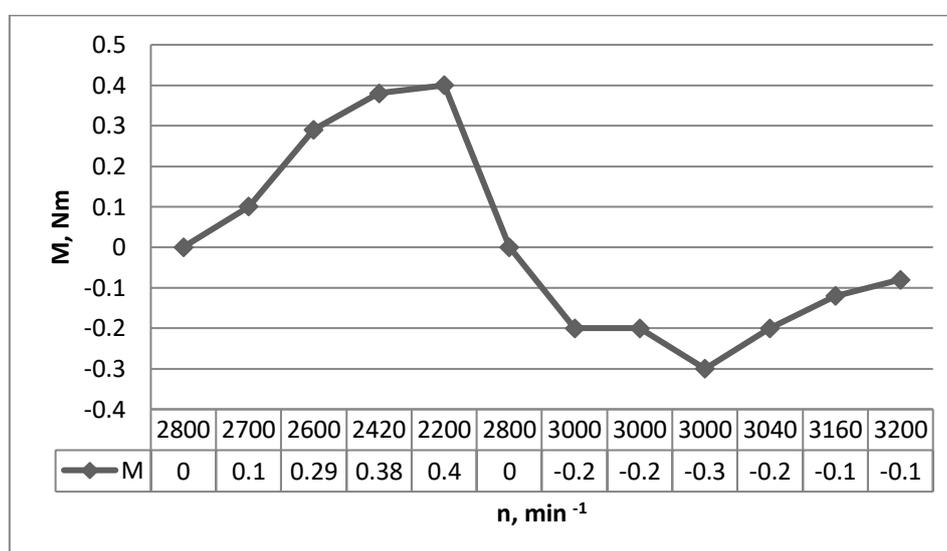


Рисунок 3.3 График нагрузочных характеристик (регулирование скорости вращения)

3.1.5 Вопросы к лабораторной работе

1. Какой КПД у асинхронного двигателя, подключенного звездой при номинальной скорости вращения? [10]

$$\eta = \frac{P}{\sqrt{3}UI\cos\phi}, \quad (3.1)$$

где

η – коэффициент полезного действия двигателя (КПД)

P – номинальная мощность двигателя, W

U — номинальное напряжение, V

I — номинальный ток двигателя, A

$\cos \phi$ — коэффициент мощности

Ответ:

$$\eta = \frac{370W}{\sqrt{3} \times 690V \times 0,6A \times 0,83}$$

$$\eta = 0,62$$

2. Какой момент развивает асинхронный двигатель, подключенный звездой, при номинальной скорости вращения? [10]

Ответ: $M_N = 0,41 \text{ Nm}$

3. Каким образом можно изменить направление вращения трехфазной асинхронной машины? [10]

Ответ: Поменять местами две соседние фазы

3.2 Выводы по результатам работы лабораторной установки

В ходе экспериментальной проверки лабораторной установки были проведены опыты по регулированию крутящего момента двигателя и по регулированию скорости вращения двигателя. Также были проведены опыты по реверсированию направления вращения, результаты которых не вошли в данную работу.

При проведении опыта по регулированию скорости вращения удалось посмотреть работу электрической машины в двигательном режиме (I квадрант работы в системе электропривода) и в генераторном режиме (II квадрант работы). При проведении опыта по реверсированию направления вращения, путем изменения местами двух соседних фаз V1 и W2, наблюдали работу электрической машины в двигательном режиме при отрицательном направлении скорости вращения (III квадрант работы в системе работы электропривода).

Таким образом, можно сказать, что управляющее устройство для сервомотора SO3636-6R работает исправно, и с помощью данного оборудования можно видеть в каком квадранте системы электропривода работает электрическая машина при заданных значениях в данный момент времени.

Результаты проведенных работ показали, что испытываемая лабораторная установка готова к работе.

ВЫВОД

В ходе реализации данного проекта, во-первых, была проведена инвентаризация всего необходимого оборудования. Во вторых была изучена техническая документация, руководства по эксплуатации и обслуживанию оборудования. В-третьих, прошло ознакомление с похожими лабораторными стендами, которые представлены в лабораторном комплексе Вирумааского Колледжа. В-четвертых, был проведен пробный запуск оборудования, в ходе которого было выявлено, какие необходимые компоненты нужны для полноценного проведения работ. В-пятых был проведен финальный запуск оборудования: проведены эксперименты, считаны параметры, построены графики, сделаны выводы. Заключительным этапом было составлено руководство к лабораторной работе.

Не удалось провести все необходимые лабораторные работы, которые предполагалось сделать в начале, но запуск оборудования и осуществление лабораторных экспериментов прошли достаточно результативно. Снятие характеристик при проведении лабораторных работ показало, что используемое оборудование работает исправно и данный лабораторный стенд готов к работе.

Возможности проведения лабораторных работ на исследуемом лабораторном стенде в дальнейшем можно улучшить, с помощью подключения управляющего устройства для сервомотора SO3636-6R к программному обеспечению ActiveDrive/ActiveASMA. Таким образом, управление устройством и снятие характеристик будет осуществляться через компьютер.

Основные цели и задачи, поставленные в начале данной дипломной работы, были выполнены. Подключено и испытано комплексное цифровое управляющее устройство для сервомотора SO3636-6R, которое позволит студентам Вирумааского Колледжа Таллиннского Технического Университета в дальнейшем изучать трехфазные асинхронные машины в ходе проведения различных лабораторных работ. Составлено руководство к лабораторной работе "Исследование нагрузочных характеристик трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором", которое также может использоваться студентами Колледжа в ходе учебной практической работы.

KOKKUVÕTE

Selle projekti elluviimisel kõigepealt viidi läbi kogu vajaliku varustuse inventuuri. Teiseks uuriti tehnilist dokumentatsiooni, seadmete kasutamise ja hooldamise instruksioone. Kolmandaks tutvuti sarnaste laboristendidega, mis on esitatud Taltech Virumaa Kolledži laborikompleksis. Neljandaks viidi läbi seadmete katse, mille käigus selgus, milliseid vajalikke komponente on vaja täisjõuliseks tööks. Viidendaks viidi läbi seadmete lõpliku käivitamise: viidi läbi katseid, loeti parameetreid, koostati graafikuid, tehti järeldusi. Viimaseks etapiks oli laboritöö juhendi koostamine.

Kõiki vajalikke laboratoorseid töid, mida algul plaanitud teha, ei olnud võimalik lõpetada, kuid seadmete käivitamine ja laborikatsete teostamine olid üsna tõhusad. Laboratoorsete tööde tulemusi näitavad, et kasutatavad seadmed töötavad korralikult ja see laboriseadme on töövalmis.

Laboritööde teostamise võimalusi on võimalik tulevikus parandada, ühendades servomootori juhtimisseade SO3636-6R tarkvaraga ActiveDrive/ActiveASMA. Seega toimub seadme juhtimine ja tulemuste analüüs arvuti kaudu.

Lõputöö alguses püstitatud peamised eesmärgid ja ülesanded on täidetud. Ühendati ja katsetati servomootori juhtimisseade SO3636-6R, mis võimaldab Taltech Virumaa Kolledži tudengitele uurida kolmefaasilisi asünkroonmasinaid erinevate laboritööde käigus. Koostatud laboritöö juhend "Kolmefaasilise lühisrootoriga asünkroonmootori koormatuste iseloomustusi uurimine", mida Kolledži üliõpilased saavad kasutada ka praktiliste õpingute käigus.

SUMMARY

During the implementation of this project, first, an inventory of all the necessary equipment was carried out. Secondly, the technical documentation, operating and maintenance manuals of the equipment were studied. Thirdly, we got acquainted with similar laboratory stands, which are presented in the laboratory complex of Taltech Virumaa College. Fourthly, a trial run of the equipment was carried out, during which it was revealed what necessary components are needed for full-fledged work. Fifthly, the final launch of the equipment was carried out: experiments were conducted, parameters were read, graphs were constructed, and conclusions were drawn. Finally, the manual for the laboratory work was written.

It was not possible to carry out all the necessary laboratory work that was supposed to be done at the beginning, but the launch of the equipment and the implementation of laboratory experiments were quite effective. Characteristics taken during the laboratory work showed that the equipment used is working properly and this laboratory stand is ready for operation.

The ability to perform laboratory work on the laboratory stand can be further improved by connecting the control device for the SO3636-6R servomotor to the ActiveDrive/ActiveASMA software. Thus, the device will be controlled and the measurements will be taken with the computer.

The main goals and objectives set at the beginning of this thesis were fulfilled. A comprehensive digital control unit for the servo drive for the SO3636-6R servomotor has been connected and tested, which will allow students of the Taltech Virumaa College to further study three-phase asynchronous machines during various laboratory work. A manual for the laboratory work "Study of the load characteristics of a three-phase asynchronous motor with a short-circuited rotor" has been compiled, which can also be used by College students in the course of educational practical work.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кацман, М. Электрические машины. Москва: Издательский центр "Академия", 2013.
2. Коротун, В. Асинхронный электродвигатель: устройство, принцип работы, виды. [Online] <https://www.asutpp.ru/asinhronnyj-elektrodivigatel.html> (03.04.2021)
3. Левкин, Д. Трехфазный асинхронный двигатель [Online] <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/induction3ph/> (05.04.2021)
4. Руководство к проведению лабораторных работ "Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором" [Online] <https://portal.tpu.ru/SHARED/I/LENAOLYA/job/Tab2/AD.pdf> (10.04.2021)
5. Асинхронный двигатель: принцип работы и устройство [Online] <https://electroandi.ru/elektricheskie-mashiny/asdvig/asinkhronnyj-dvigatel-printsip-raboty-i-ustrojstvo.html> (05.04.2021)
6. EEM Electric Machines [Online] https://www.ujaen.es/departamentos/ingele/sites/departamento_ingele/files/uploads/especificacionesmaquinas.pdf (26.04.2021)
7. User manual. EUG2 Automatic synchronizing, automatic power control <https://manualzz.com/doc/46056823/eug-2-automatic-synchronising-circuits--automatic-power-c...> (03.05.2021)
8. Three-phase asynchronous motor <https://www.lucas-nuelle.us/2769/pid/22657/apg/11311/Three-phase-asynchronous-motor,-037-kW-230V-400V-.htm> (20.02.2021)
9. EEM 41 Three-phase asynchronous machines [Online] <https://pdfcoffee.com/phases-pdf-free.html> (17.04.2021)
10. Germeroth, M Учебный курс "EEM 41 Трехфазные асинхронные машины". Kerpen: Lucas-Nuelle GmbH, 2007.

**Дополнение 1: Руководство к
лабораторной работе**

**TAL
TECH**

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Virumaa kolledž

**Исследование нагрузочных характеристик
трехфазного асинхронного двигателя**

РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Введение

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором является одним из наиболее распространенных типов электрических машин в промышленности. Это обусловлено высокой надежностью и легкостью в эксплуатации, простотой устройства, а также относительной дешевизной данного типа двигателя.

2. Цель работы

- практическое ознакомление с устройством и работой трехфазного асинхронного двигателя;
- формирование умений собирать лабораторную установку согласно прилагаемой принципиальной схеме подключения;
- формирование практических знаний по снятию нагрузочных характеристик трехфазного асинхронного двигателя и умение проводить анализ полученных данных.

3. Основные указания по технике безопасности при выполнении лабораторной работы

- при проведении экспериментов под нагрузкой используется высокое напряжение, опасное для жизни;
- при сборке установки используйте только безопасные провода, которые входят в комплект стенда. Убедитесь в целостности проводов. Следите за тем, чтобы не возникло короткое замыкание;
- все приборы, которые требуют заземления, должны быть заземлены с помощью проводов желто-зеленого цвета;
- убедитесь, что в установке использованы защитные приспособления для вращающихся частей двигателя и проверьте, прочно ли они закреплены. Также следует проверить надежность крепления опорных винтов на ножках мотора и соединительной муфты на валу мотора;
- следует учитывать, что длительная работа под нагрузкой приводит к нагреву мотора. Убедитесь, что контакты теплового реле машины соединены с соответствующими штекерами на блоке управления;
- также следует избегать неподвижного состояния двигателя при включенном питании, т.н. экстремального режима. Данный режим допустим только на короткий срок;
- перед включением напряжения питания убедитесь в правильности соединения используемого оборудования. Позвольте преподавателю

- проконтролировать правильность соединения и только после этого приступайте к экспериментам;
- соблюдайте общие правила и инструкции по использованию электротехнического оборудования. [1]

4. Необходимые приборы и оборудование

В таблице 4.1 представлены необходимые приборы и компоненты для подключения лабораторной установки.

Таблица 4.1

| Код | Описание | Количество, шт. |
|-----------|---|-----------------|
| SO3636-6R | Комплексное цифровое управляющее устройство для сервомотора, 300W | 1 |
| SO3212-5U | Источник питания для электрических машин | 1 |
| SE2672-3G | Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, 0,3 kW | 1 |
| SE2663-6A | Асинхронный серводвигатель, 0,3 kW | 1 |
| SE2662-7B | Предохранительное устройство для муфты, 300W | 1 |
| SO5127-1Z | Аналого-цифровой мультиметр, измеритель мощности и косинуса фи | 1 |
| SO3212-2D | Переключатель звезда/треугольник | 1 |
| SO3212-1W | 4-х полюсный выключатель On/off | 1 |
| SO5148-1F | Комплект безопасных соединительных проводов, 4 mm | 47 |

5. Порядок выполнения работы

1. соберите установку согласно прилагаемой принципиальной схеме подключения (схема 1);
2. включите напряжения питания на асинхронный двигатель, обмотки которого соединены по схеме "звезда";
3. включите на управляющем устройстве SO3636-6R режим Basic mode: Torque control;
4. пошагово, регулируя крутящий момент (Torque control) на управляющем устройстве, снимите нагрузочные характеристики асинхронного двигателя. Впишите данные в таблицу 5.1;

5. включите на управляющем устройстве SO3636-6R режим Basic mode: Speed control;
6. пошагово, регулируя скорость (Speed control) на управляющем устройстве, снимите нагрузочные характеристики асинхронного двигателя. Впишите данные в таблицу 5.2;
7. постройте графики по снятым характеристикам;

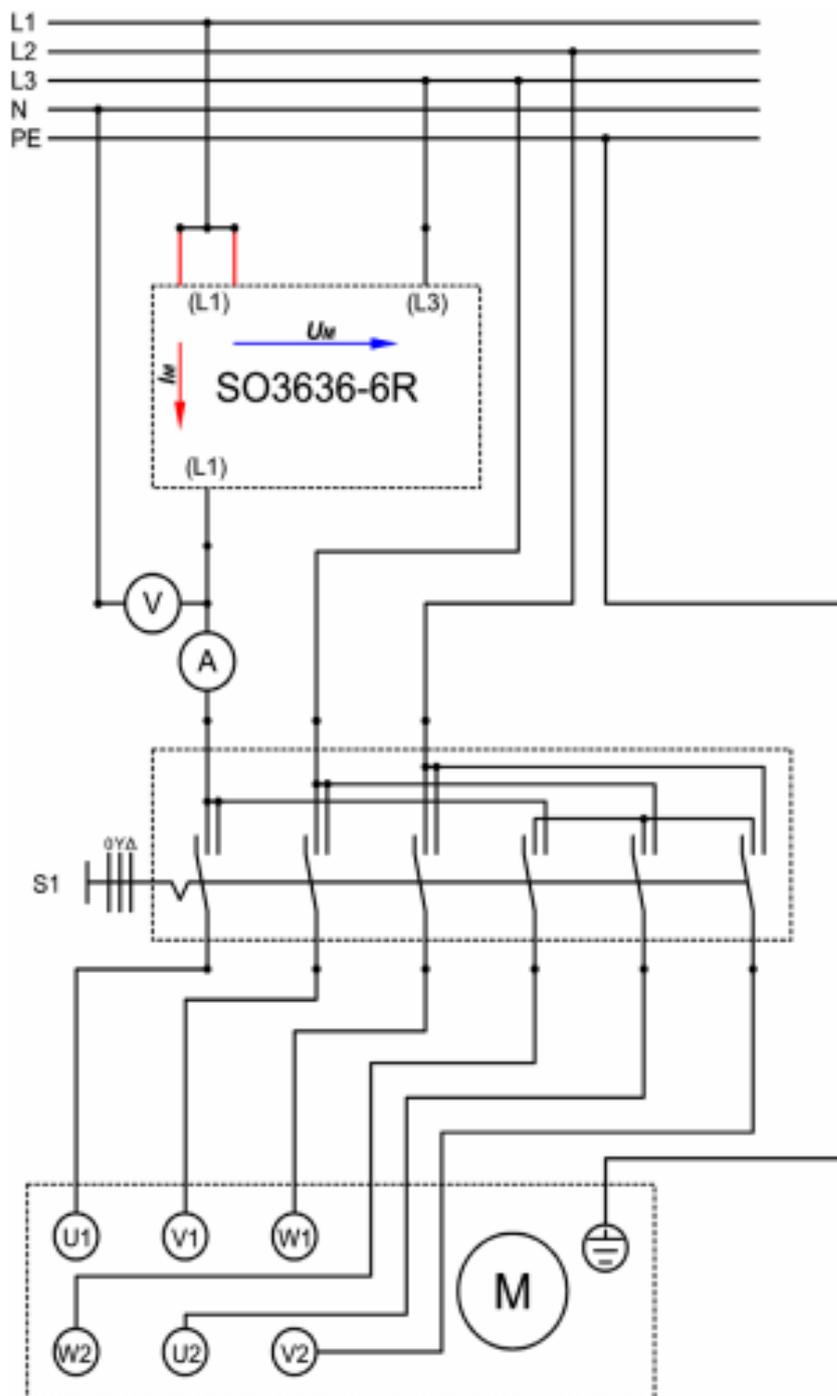


Рисунок 1.1 Принципиальная схема подключения [1]

Таблица 5.1 Нагрузочные характеристики асинхронного двигателя по схеме «звезда». Регулирование крутящего момента

| | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|
| M/Nm | | | | | | |
| n/min ⁻¹ | | | | | | |
| U _{фаз} /V | | | | | | |
| I _{фаз} /A | | | | | | |
| P ₂ /W | | | | | | |
| Cos φ | | | | | | |

Таблица 5.2 Нагрузочные характеристики асинхронного двигателя по схеме «звезда». Регулирование скорости

| | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|
| M/Nm | | | | | | |
| n/min ⁻¹ | | | | | | |
| U _{фаз} /V | | | | | | |
| I _{фаз} /A | | | | | | |
| P ₂ /W | | | | | | |
| Cos φ | | | | | | |
| Режим работы | | | | | | |

8. включите напряжения питания на асинхронный двигатель, обмотки которого соединены по схеме "треугольник";
9. включите на управляющем устройстве SO3636-6R режим Basic mode: Torque control;
10. пошагово, регулируя крутящий момент (Torque control) на управляющем устройстве, снимите нагрузочные характеристики асинхронного двигателя. Впишите данные в таблицу 5.3;
11. включите на управляющем устройстве SO3636-6R режим Basic mode: Speed control;
12. пошагово, регулируя скорость (Speed control) на управляющем устройстве, снимите нагрузочные характеристики асинхронного двигателя. Впишите данные в таблицу 5.4;
13. постройте графики по снятым характеристикам.

Таблица 5.3. Нагрузочные характеристики асинхронного двигателя по схеме «треугольник». Регулирование крутящего момента

| | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|
| M/Nm | | | | | | |
| n/min ⁻¹ | | | | | | |
| U _{фаз} /V | | | | | | |
| I _{фаз} /A | | | | | | |
| P ₂ /W | | | | | | |
| Cos φ | | | | | | |

Таблица 5.4 Нагрузочные характеристики асинхронного двигателя по схеме «треугольник». Регулирование скорости

| | | | | | | |
|---------------------|--|--|--|--|--|--|
| M/Nm | | | | | | |
| n/min ⁻¹ | | | | | | |
| U _{фаз} /V | | | | | | |
| I _{фаз} /A | | | | | | |
| P ₂ /W | | | | | | |
| Cos φ | | | | | | |
| Режим работы | | | | | | |

6. Вопросы к лабораторной работе

- Какой КПД у асинхронного двигателя, подключенного звездой/треугольником при номинальной скорости вращения? [1]
- Какой момент развивает асинхронный двигатель, подключенный звездой/треугольником при номинальной скорости вращения? [1]
- При какой схеме подключения двигателя пусковой ток меньше? [1]
- Какой вывод можно сделать о различии работы асинхронного двигателя по схеме «звезда» и по схеме «треугольник» согласно полученным нагрузочным характеристикам?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Germeroth, M Учебный курс "EEM 41 Трехфазные асинхронные машины".
Kerpen: Lucas-Nuelle GmbH, 2007.