

РОСЖЕЛДОР

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)**

В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам

Ростов-на-Дону
2017

УДК 621.313(07) + 06

Рецензент – кандидат технических наук, доцент С.Д. Мрыхин

Соломин, В.А.

Специальные электрические машины: учебно-методическое пособие к лабораторным работам / В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин; ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – 33 с. : ил. – Библиогр.: с. 31.

Приводятся сведения об особенностях характеристик специальных электрических машин и порядок выполнения лабораторных работ.

Исследуются свойства электрических машин, предназначенных для систем автоматического управления и регулирования, промышленных роботов и манипуляторов, а также для электрифицированного инструмента.

Предназначено для студентов очной и заочной формы обучения по направлению «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электромеханика».

Одобрено к изданию кафедрой «Электрические машины и аппараты».

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ТЯГОВЫХ И ТОРМОЗНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Общие сведения

Линейные асинхронные двигатели (ЛАД) предназначены для преобразования электрической энергии в поступательное движение индуктора или вторичного элемента. Индуктор ЛАД содержит трехфазную обмотку, размещенную в пазах сердечника. Вторичным элементом может служить рельс при использовании индукторов ЛАД в качестве дополнительных тяговых и тормозных устройств на современном подвижном составе. На перспективном высокоскоростном транспорте с магнитным подвешиванием экипажа вторичным элементом линейного асинхронного двигателя является электропроводящая часть путевой структуры. Применение индукторов ЛАД для целей тяги и торможения позволит повысить безопасность и скорость движения поездов.

Принцип действия линейного асинхронного двигателя основан на взаимодействии бегущего магнитного поля с токами вторичного элемента. При подключении обмотки индуктора к источнику трехфазного напряжения возбуждается бегущее магнитное поле, пересекающее рельс и индуцирующее в нем электродвижущие силы. Электродвижущие силы вызывают протекание вихревых токов в рельсе. В результате взаимодействия бегущего магнитного поля с токами в рельсе создаются тяговое и нормальное усилия. Индукторы ЛАД многофункциональны и могут развивать тяговые, тормозные и догружающие усилия. Кроме того, индукторы линейных асинхронных двигателей способны работать в качестве электромагнитных рельсовых тормозов. Для этого их зубцовая зона снабжается сменными тормозными башмаками.

Цель работы – изучить конструкцию и принцип действия линейного асинхронного двигателя. Определить основные параметры линейного асинхронного двигателя на основе опытов холостого хода и короткого замыкания.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с испытательным стендом, выписать паспортные данные исследуемого двигателя.

2 Собрать электрическую схему, изображенную на рис. 1. Измерить активное сопротивление фазы индуктора r_1 .

3 Произвести опыт холостого хода.

Опыт холостого хода проводится при отсутствии вторичного элемента. Данные измерений сводятся в табл. 1. Изменяя подводимое напряжение при помощи автотрансформатора, сделать 5–7 замеров.

Таблица 1

| № п/п | U_0, B | I_0, A | $P_0, Вт$ | $\cos \varphi$ |
|-------|----------|----------|-----------|----------------|
| | | | | |

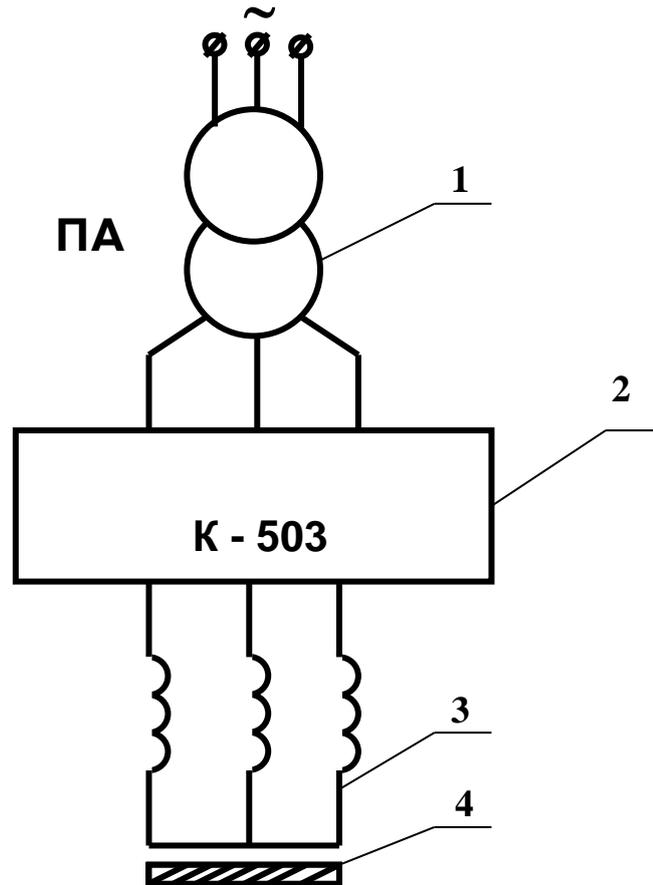


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки:

- 1 – поворотный автотрансформатор;
- 2 – трехфазный прибор К-503;
- 3 – индуктор ЛАД;
- 4 – вторичный элемент

4 Выполнить опыт короткого замыкания.

Вторичный элемент следует затормозить при помощи динамометра, позволяющего регистрировать величину пускового тягового усилия. Изменяя величину подводимого напряжения, сделать 5–7 замеров. Результаты измерений сводятся в табл. 2.

Таблица 2

| № п/п | $U_{к}, В$ | $I_{к}, А$ | $P_{к}, Вт$ | $\cos \varphi$ | $F_T, Н$ |
|-------|------------|------------|-------------|----------------|----------|
| | | | | | |

При выполнении опыта к.з. во избежание перегрева обмотки индуктора, индуктор не должен находиться более 10–15 с подряд под напряжением.

5 Определить параметры ЛАД на основании данных опытов х.х и к.з.

5.1 Параметры холостого хода.

5.1.1 Коэффициент мощности х.х. $\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{m U_0 I_0}$, где U_0, I_0 – фазные значения напряжения и тока.

5.1.2 Полное сопротивление х.х. $z_0 = \frac{U_0}{I_0}$.

5.1.3 Активное сопротивление х.х. $r_0 = \frac{P_0}{m I_0^2}$.

5.1.4 Индуктивное сопротивление рассеяния х.х. $x_0 = \sqrt{z_0^2 - r_0^2}$.

5.2 Параметры короткого замыкания

5.2.1 Коэффициент мощности к.з. $\cos\varphi_k = \frac{P_k}{m U_k I_k}$.

5.2.2 Полное сопротивление к.з. $z_k = \frac{U_k}{I_k}$.

5.2.3 Активное сопротивление к.з. $r_k = \frac{P_k}{m I_k^2}$.

5.2.4 Индуктивное сопротивление рассеяния к.з. $x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}$.

5.3 Главное индуктивное сопротивление фазы индуктора ЛАД.

5.3.1 Индуктивное сопротивление рассеяния, определенное на основании опыта х.х., можно представить в виде $x_0 = x_1 + x_{Г1}$,

где x_1 – индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки индуктора ЛАД;

$x_{Г1}$ – главное индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки индуктора.

5.3.2 Индуктивное сопротивление рассеяния x_k , найденное из опытов холостого хода, определяется, в основном, величиной сопротивления x_1 . т.к. ферромагнитный вторичный элемент имеет весьма малое индуктивное сопротивление x_2' . В этой связи главное индуктивное сопротивление $x_{Г1}$ составит $x_{Г1} = x_0 + x_k$.

Вторичный элемент: комбинированный

| | | | | | | | | | | | |
|---------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|
| <i>t, мин</i> | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| <i>T, °C</i> | | | | | | | | | | | |

Вопросы для контроля и самопроверки

- 1 Какие части линейного асинхронного двигателя являются наиболее напряженными в тепловом отношении?
- 2 Что такое «постоянная времени нагревания электрической машины»?
- 3 Каким образом изменяется постоянная времени нагревания электрической машины с возрастанием ее мощности?
- 4 Какими способами можно измерить температуру отдельных частей электрической машины?

Лабораторная работа № 3

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВАНИЯ ОБМОТКИ ИНДУКТОРА ЛИНЕЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы – ознакомиться с методами определения температуры обмотки индуктора линейного асинхронного двигателя для различных вариантов исполнения вторичного элемента, установить закономерности ее нагревания при работе машины.

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с конструкцией исследуемой машины, выписать ее паспортные данные и собрать схему экспериментальной установки в соответствии с рис. 3.
- 2 Установить в обмотку хромель-копелевые термопары. Выводы термопар, встроенных в обмотку, подключаются к тарированному милливольтметру.
- 3 Осуществить пуск машины, предварительно измерив температуру окружающей среды при помощи термометра.
- 4 Измерить до включения машины сопротивление обмоток методом амперметра и вольтметра.
- 5 Измерить температуру нагревания обмотки при электропроводящем вторичном элементе в течении сорока минут. Данные измерений занести в табл.1.

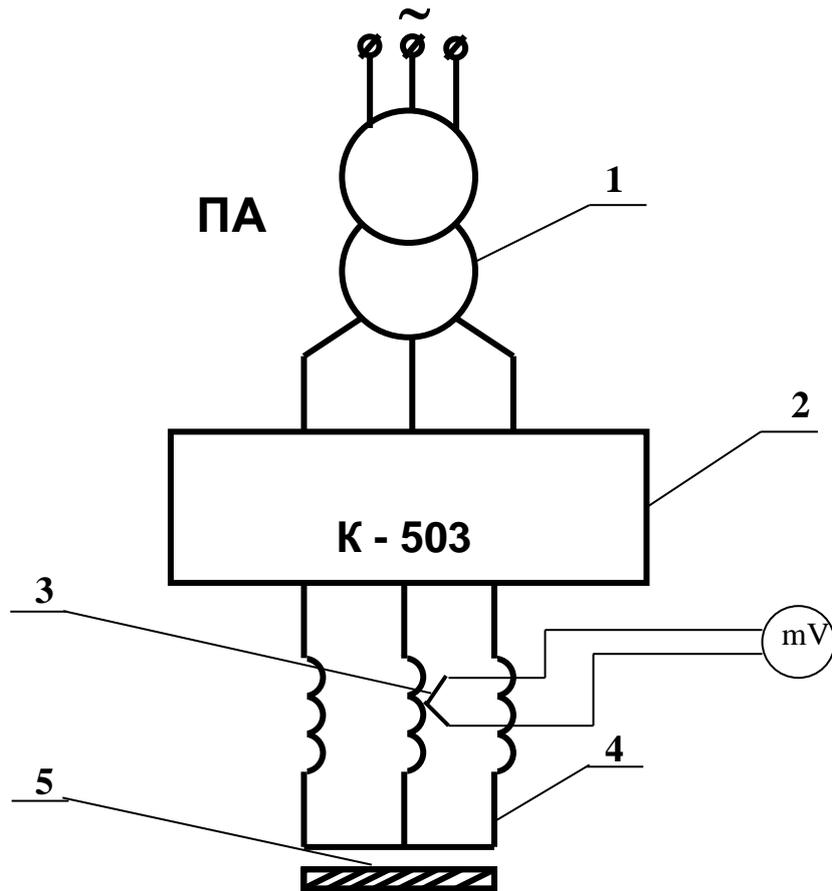


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема экспериментальной установки:

- 1 – поворотный автотрансформатор;
- 2 – трехфазный прибор К-503;
- 3 – термопара;
- 4 – индуктор ЛАД;
- 5 – вторичный элемент

Таблица 1

Вторичный элемент: электропроводящий, немагнитный

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| $t, \text{ мин}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| $T, ^\circ\text{C}$ | | | | | | | | | | | | | |

Расчет температуры, определяемой по методу сопротивления, проводят по формуле

$$t = \frac{R_T - R_X(1 - \alpha \cdot t_0)}{R_X \cdot \alpha},$$

где R_T – сопротивление нагретой обмотки;

R_x – сопротивление холодной обмотки;

α – температурный коэффициент сопротивления (для медных обмоток $\alpha = 0,004$);

t_0 – начальная температура обмотки до включения машины в момент времени $t=0$.

Таблица 2

Вторичный элемент: ферромагнитный

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| $t, \text{ мин}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| $T, ^\circ\text{C}$ | | | | | | | | | | | | | |

Таблица 3

Вторичный элемент: комбинированный

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| $t, \text{ мин}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| $T, ^\circ\text{C}$ | | | | | | | | | | | | | |

6 Аналогичным образом произвести измерения температуры нагревания обмотки индуктора ЛАД для каждого из вариантов исполнения вторичного элемента. Данные измерений занести соответственно в табл. 2 и табл. 3. По данным измерений рассчитать температуру обмотки, построить кривые нагревания обмотки для каждого из вариантов исполнения вторичного элемента и определить постоянные времени ее нагрева.

Вопросы для контроля и самопроверки

- 1 Каким образом происходят процессы нагревания и охлаждения электрической машины, работающей в повторно-кратковременном режиме?
- 2 Определить графическим способом постоянную времени нагревания электрической машины:
 - а) по кривой ее нагревания;
 - б) по кривой ее охлаждения.
- 3 Назовите классы изоляции электрических машин. Каковы допустимые превышения температуры для каждого класса изоляции?

ИСПЫТАНИЕ ОДНОФАЗНОГО РЕПУЛЬСИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы – ознакомиться с конструкцией и принципом действия двигателя, снять его характеристики.

Порядок выполнения работы

1 Ознакомиться с конструкцией исследуемой машины, выписать ее паспортные данные и собрать схему экспериментальной установки в соответствии с рис. 4.

2 Измерить коэффициент трансформации при различном положении щеток на коллекторе. Найти положения, соответствующие холостому ходу (х.х.) и короткому замыканию (к.з.).

В этом опыте рубильник P_2 разомкнут. Цепь щеток якоря также разомкнуть, в ее разрыв включить вольтметр $U_{я}$. Подать на статор номинальное напряжение $U_{ст}$. Поворачивая ось щеток якоря относительно оси обмотки статора на угол α , снять показания вольтметров и определить

$K = \frac{U_{ст}}{U_{я}}$ при различных значениях угла α от 0 до 90°. Результаты опытов занести в табл. 1.

Таблица 1

| № п/п | α , град. | $U_{ст}, В$ | $U_{я}, В$ | K |
|-------|------------------|-------------|------------|-----|
|-------|------------------|-------------|------------|-----|

3 Осуществить пуск и реверс двигателя. Для этого щетки установить в положение х.х. и замкнуть накоротко. Рубильник P_2 замкнуть. Сдвинуть щетки с положения х.х. – двигатель начнет вращаться. Для реверсирования двигателя повернуть щетки в обратную сторону от положения х.х.

4 Снять и построить рабочие характеристики двигателя: $n = f(P_2)$, $I = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$, $\cos \varphi = f(P_2)$ для двух значений угла.

В начале опыта установить номинальную нагрузку при номинальной частоте вращения; затем постепенно снижать нагрузку.

Расчеты производить по формулам: $P_Г = U_2 \cdot I_2$, [Вт]; $P_2 = \frac{P_Г}{\eta_Г}$ [Вт];

$\eta = \frac{P_2}{P_1}$; $M = 9,55 \cdot \frac{P_2}{n}$, [Н·м]; $\cos \varphi = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}$. КПД генератора задается преподавателем.

Результаты опыта занести в табл. 2.

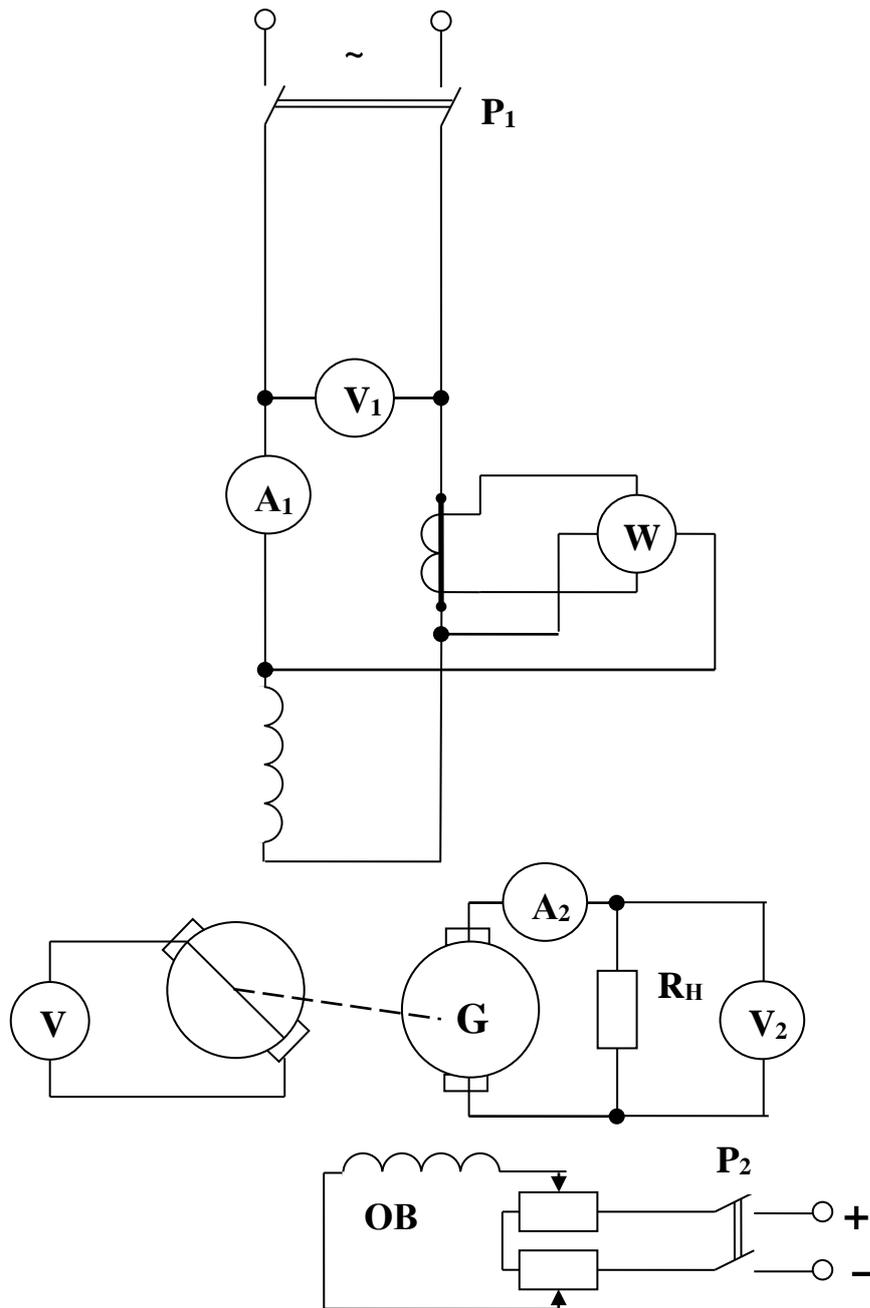


Рис. 4. Схема испытания репульсионного двигателя

Таблица 2

| № П/П | U_1 | I_1 | P_1 | n | U_2 | I_2 | $P_Г$ | P_2 | M | $\cos\varphi$ | $\eta_д$ |
|----------|----------|----------|-----------|---------------|----------|----------|-----------|-----------|------------|---------------|----------|
| | <i>B</i> | <i>A</i> | <i>Bт</i> | <i>об/мин</i> | <i>B</i> | <i>A</i> | <i>Bт</i> | <i>Bт</i> | <i>Н·м</i> | — | — |

5 Дать заключение по результатам испытаний.

Вопросы для контроля и самопроверки

- 1 Опишите конструкцию репульсионного двигателя.
- 2 Поясните пуск в ход репульсионного двигателя?

- 3 Почему максимальный момент репульсионного двигателя имеет место при $\alpha \neq 45^\circ$?
- 4 Каков способ пуска репульсионного двигателя под нагрузкой?
- 5 Каковы основные достоинства и недостатки репульсионного двигателя?
- 6 Каковы особенности рабочих характеристик репульсионного двигателя?
- 7 За счет чего в якоре репульсионного двигателя появляется ток?
- 8 Имеет ли место ток в якоре двигателя в режиме холостого хода?
- 9 Каковы особенности коммутации репульсионного двигателя.

Лабораторная работа № 5 ИСПЫТАНИЕ ОДНОЯКОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Цель работы – ознакомиться с принципом действия, с конструкцией и методикой испытания одноякорного преобразователя.

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с установкой, выписать ее паспортные данные.
- 2 Осуществить пуск преобразователя на постоянном токе.

Собрать схему, изображенную на рис. 5. Включить рубильник P_c . Запуск преобразователя производится, как запуск двигателя постоянного тока параллельного возбуждения. Изменением сопротивления регулировочного реостата достигается увеличение частоты вращения до значения близкого к синхронной. Когда лампы, включенные на «погасание света», погаснут, замкнуть рубильник P_2 , при этом рубильник P_1 разомкнуть, отключив преобразователь от сети постоянного тока.

3 Осуществить регулирование напряжения одноякорного преобразователя. Собрать схему, изображенную на рис. 5. Изменяя напряжение переменного тока с помощью индукционного регулятора, изменять напряжение постоянного тока.

Данные опыта занести в табл. 1.

Таблица 1

| | | | | | | |
|------------|-----|--|--|--|--|--|
| U_{\sim} | B | | | | | |
| $U_{=}$ | B | | | | | |

4 Снять характеристику холостого хода одноякорного преобразователя $E=f(I_B)$ при $n = n_H = \text{const}$. Для этого собрать схему, изображенную на рис. 6.

Одноякорный преобразователь запустить как двигатель параллельного возбуждения постоянного тока.

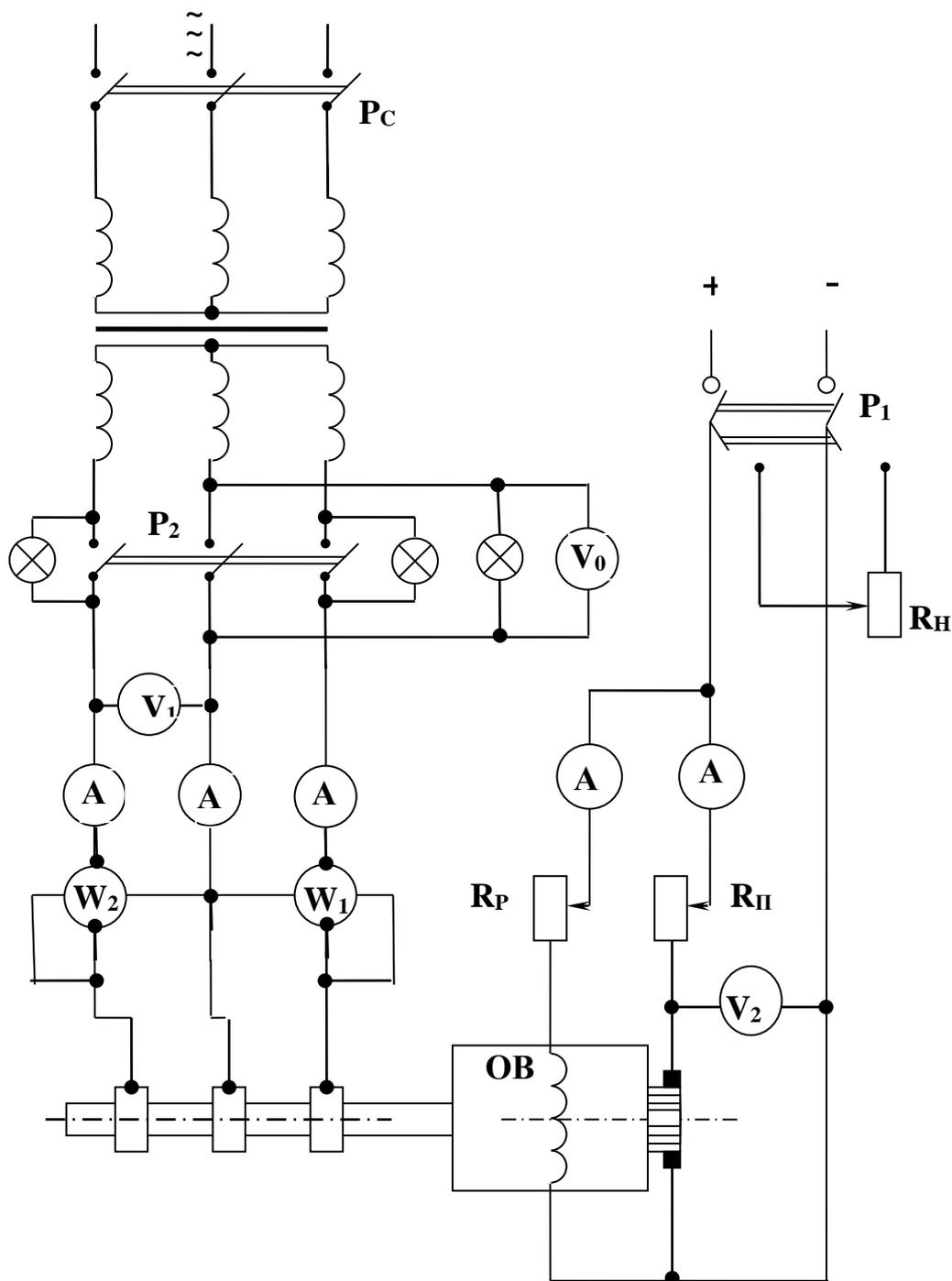


Рис. 5. Схема испытания однофазного преобразователя

При изменении тока возбуждения I_B необходимо изменять напряжение, регулируемое реостатом R_{II} таким образом, чтобы частота вращения n_H оставалась постоянной. Результаты опыта занести в табл. 2.

Таблица 2

| № | U_{\sim} | $U_{=}$ | $I_{Я}$ | I_B | n | E_0 |
|-----|------------|---------|---------|-------|--------|-------|
| П/П | B | B | A | A | об/мин | B |

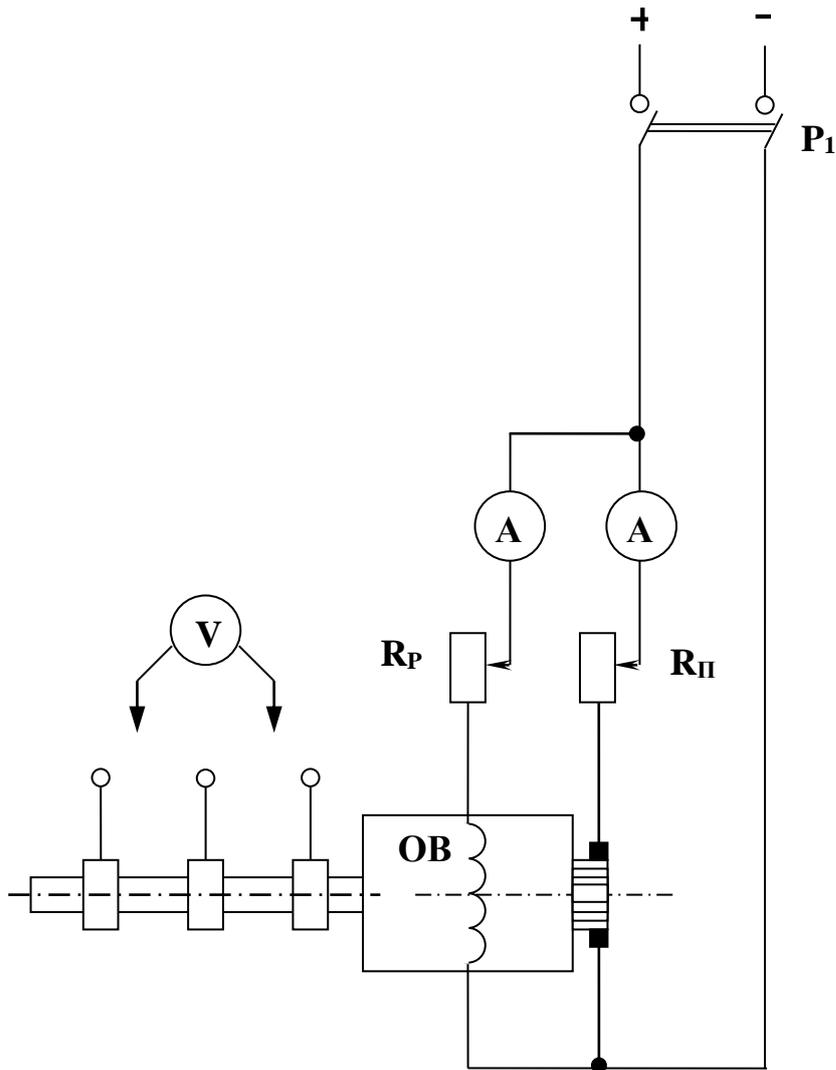


Рис. 6. Схема для снятия характеристики холостого хода одноякорного преобразователя

ЭДС, индуктируемая в обмотке якоря, $E_{\sim} = E_0 - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$. Значение $R_{\text{я}}$ задается преподавателем.

По данным опыта и вычислениям построить зависимость $U_{\sim} = E_{\sim} = f(I_{\text{в}})$ и $E_{\sim} = f(I_{\text{в}})$.

5 Снять рабочие характеристики одноякорного преобразователя U_{\sim} ; η ; $\cos \varphi$; P_1 ; $P_{\text{х}}$; $I_{\sim} = f(I_{\text{я}})$ при $U_{\sim} = \text{const}$; $f = \text{const}$; $R_{\text{в}} = \text{const}$.

Собрать схему, изображенную на рис. 7. Рабочие характеристики необходимо снять при двух режимах:

а) когда сопротивление цепи возбуждения остается неизменным и равным такой величине, при которой переменный ток I_{\sim} имеет наименьшее значение при номинальной нагрузке. При этом необходимо запустить преобразователь и нагрузить его до номинальной нагрузки. Сопротивление в цепи возбуждения отрегулировать так, чтобы величина переменного тока была минимальной, ос-

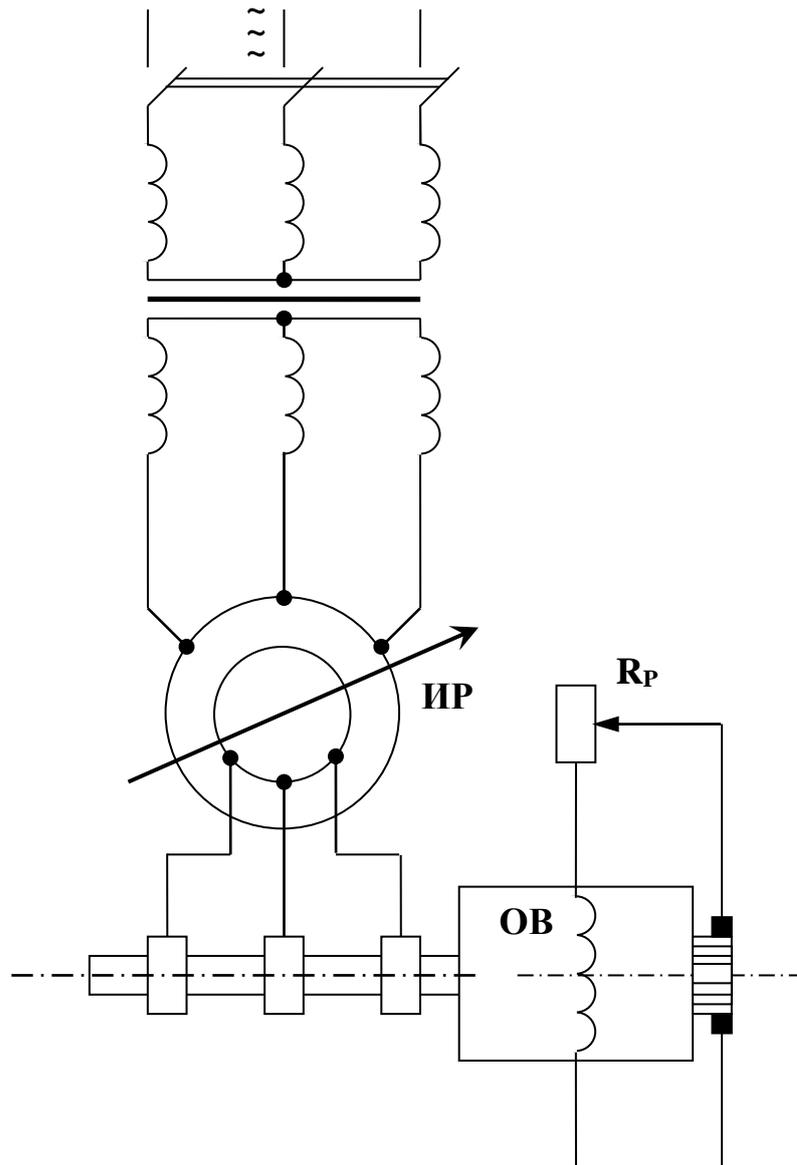


Рис. 7. Схема для снятия U-образных кривых
одноякорного преобразователя

ставляя затем величину сопротивления неизменной. Изменяя постоянный ток $I_{\text{я}}$, записывать показания приборов. Напряжение и частоту переменного тока поддерживать постоянными и равными номинальным значениям. Произвести опыт, изменяя нагрузку от номинальной до холостого хода;

б) ток возбуждения преобразователя регулируется так, что при всех нагрузках переменный ток имеет наименьшее значение, т.е. $\cos\varphi = 1$. В этом случае необходимо запустить преобразователь и при холостом ходе установить такой ток возбуждения, когда переменный ток будет наименьшим, т.е. $\cos\varphi = 1$. Затем необходимо постепенно увеличивать нагрузку преобразователя до номинальной, изменяя сопротивление нагрузочного реостата на стороне постоянного тока. При этом номинальное напряжение и частота переменного тока, а также сопротивление цепи возбуждения поддерживаются неизменными.

В обоих случаях результаты опытов занести в табл. 3.

Таблица 3

| № п/п | U_{\sim} | I_1 | I_2 | I_3 | P_I | P_{II} | f | $U_{=}$ | $I_{Я}$ | I_B | n | I_{\sim} | P_1 | P_2 | $\cos \varphi$ | η |
|----------|------------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|---------------|------------|-----------|-----------|----------------|--------|
| | <i>B</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | <i>Bm</i> | <i>Bm</i> | <i>Гц</i> | <i>B</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | <i>об/мин</i> | <i>A</i> | <i>Bm</i> | <i>Bm</i> | – | – |

$$P_2 = U_{=} \cdot I_{Я}; \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad \cos \varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot I_1 \cdot U_1}; \quad P_I = P_I + P_{II}.$$

Таблица 4

| № п/п | U_{\sim} | I_{\sim} | I_B | f | $U_{=}$ | $I_{Я}$ | P_I | P_{II} | n | P_1 | $\cos \varphi$ |
|----------|------------|------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|-----------|---------------|-----------|----------------|
| | <i>B</i> | <i>A</i> | <i>A</i> | <i>Гц</i> | <i>B</i> | <i>A</i> | <i>Bm</i> | <i>Bm</i> | <i>об/мин</i> | <i>Bm</i> | |

$$P_I = P_I + P_{II}.$$

На основании полученных данных построить зависимости: $I_{\sim} = f(I_B)$;
 $\cos \varphi = f(I_B)$.

Вопросы для контроля и самопроверки

- 1 Опишите конструкцию одноякорного преобразователя.
- 2 Опишите принцип действия одноякорного преобразователя при питании его постоянным током.
- 3 Каков принцип действия одноякорного преобразователя при питании его переменным током?
- 4 Поясните вид U - образных кривых одноякорного преобразователя.
- 5 Назовите возможные области применения одноякорных преобразователей.

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНДУКЦИОННОГО РЕГУЛЯТОРА

Цель работы – ознакомиться с конструкцией и принципом действия трехфазного индукционного регулятора.

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с установкой и выписать паспортные данные.
- 2 Собрать схему, изображенную на рис. 8.
- 3 Снять кривую зависимости напряжения U_2 от угла поворота α ротора: $U_2 = f(\alpha)$, где α – выражается в электрических градусах.
Изменяя угол поворота ротора от 0 до 360° при помощи поворотного устройства, записываем показания приборов.

4 Построить кривую $U_2=f(\alpha)$.

5 Построить векторную диаграмму сложения ЭДС индукционного регулятора.

6 Снять данные и построить внешнюю характеристику индукционного регулятора $U_2=f(I_2)$.

Установить на выходе индукционного регулятора линейное напряжение $U_{л}=220$ В.

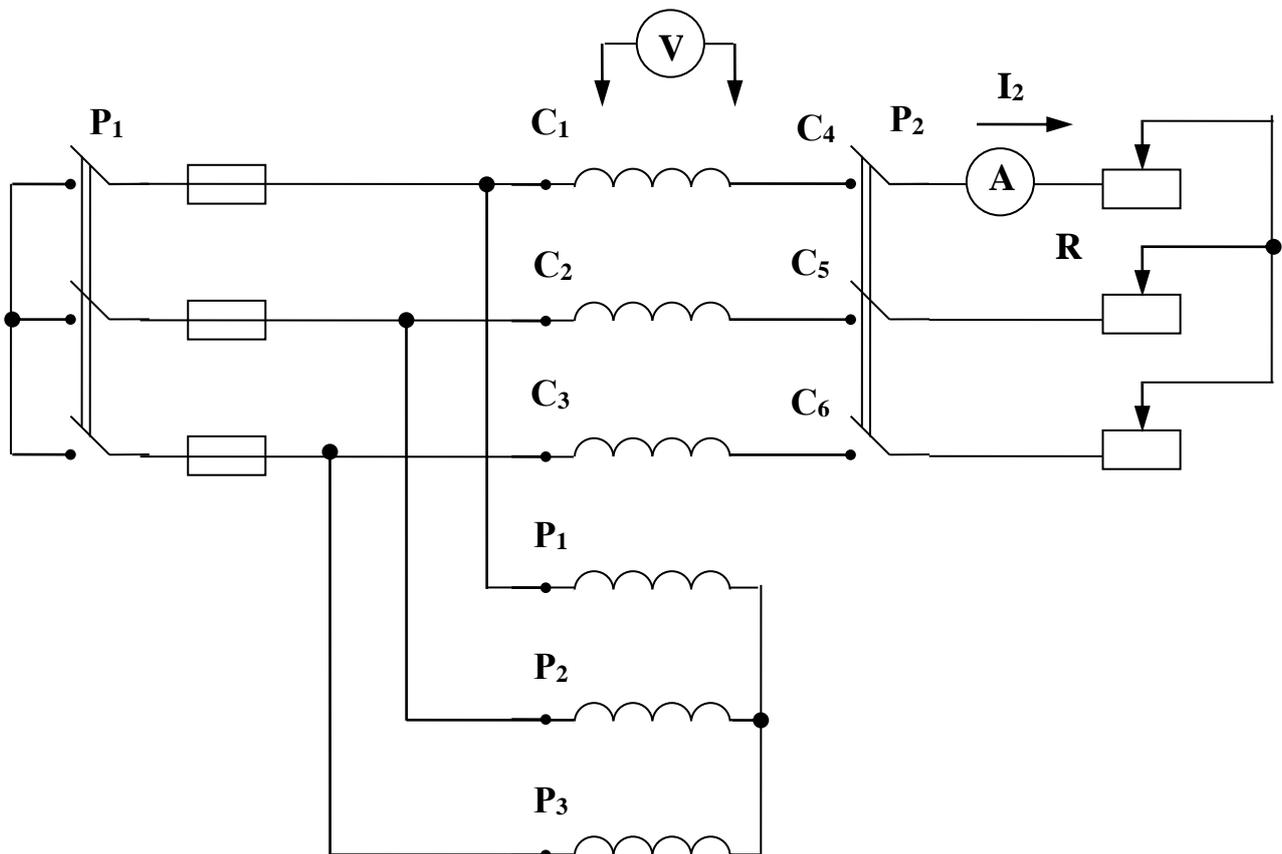


Рис. 8. Схема испытания индукционного регулятора

Замкнуть рубильник P_2 и, изменяя сопротивление, постепенно нагружать регулятор. По данным опыта построить зависимость $U_2=f(I_2)$.

Вопросы для контроля и самопроверки

- 1 Для чего предназначен индукционный регулятор?
- 2 Опишите конструкцию индукционного регулятора.
- 3 Что представляет собой индукционный регулятор при отсутствии нагрузки?
- 4 Изобразите векторную диаграмму ЭДС и напряжений индукционного регулятора.

Лабораторная работа № 7
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО КОНДЕНСАТОРНОГО
ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы – ознакомиться с конструкцией и паспортными данными машины. Снять необходимые параметры и построить характеристики: холостого хода (х.х.), короткого замыкания (к.з.) и рабочие асинхронного конденсаторного двигателя.

Порядок выполнения работы

1 Экспериментальные исследования. Исследование асинхронного конденсаторного двигателя выполняется на стенде, принципиальная электрическая схема которого дана на рис.9. К сети двигатель подключается через автотрансформатор, а механическая нагрузка на валу машины создается при помощи специального устройства изображенного на рис. 10. Возможно использование тарированного генератора постоянного тока малой мощности. Для измерения частоты вращения двигателя следует применять строботаксометр.

1.1 Опыт холостого хода

Собрать электрическую схему изображенную на рис. 9, и запустить двигатель.

Изменяя подводимое к двигателю напряжение при помощи автотрансформатора от 0 до U_H , снять 5–7 замеров. Данные опыта свести в табл. 1.

Таблица 1

| №, п/п | U_0, B | I_0, A | P_0, Bm | $\cos\varphi_0$ |
|--------|----------|----------|-----------|-----------------|
| | | | | |

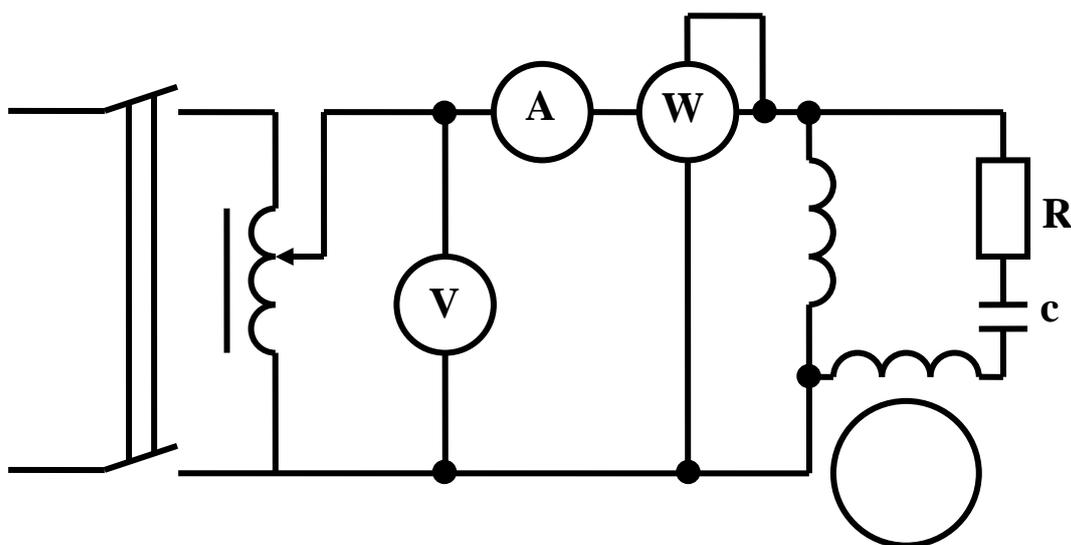


Рис. 9. Принципиальная схема асинхронного конденсаторного двигателя

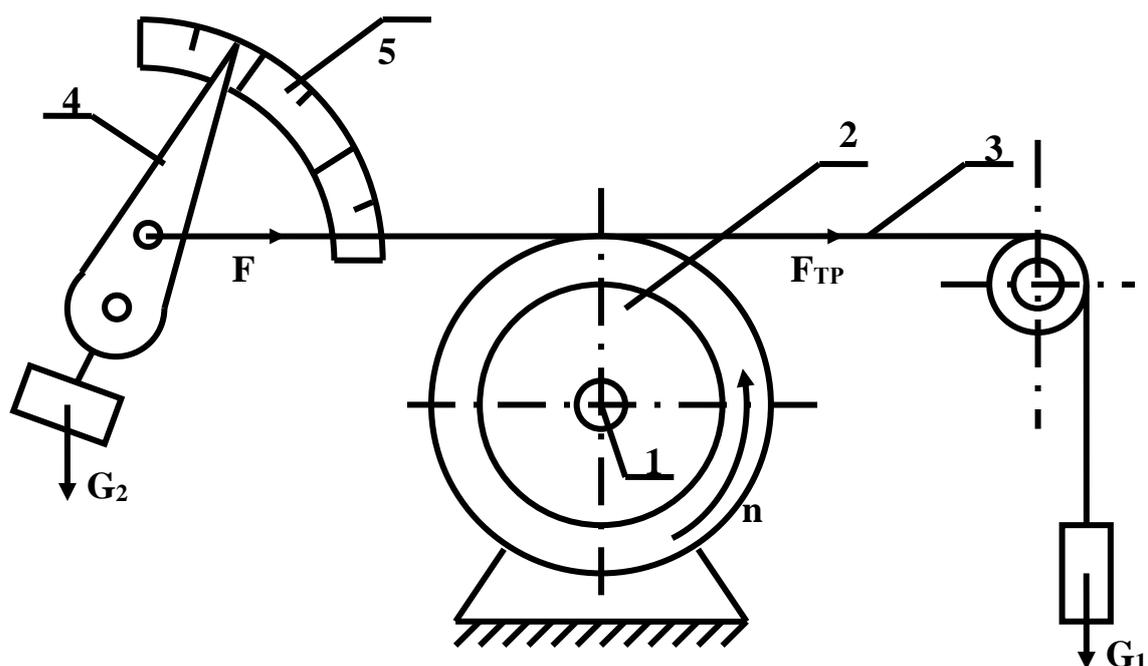


Рис. 10. Устройство для определения момента:
1 – двигатель; 2 – шкив; 3 – шнур; 4 – рычаг; 5 – шка-

Построить характеристики холостого хода

$$I_0 = f(U_0); \cos \varphi_0 = f(U_0); P_0 = f(U_0).$$

1.2 Опыт короткого замыкания

Для выполнения данного опыта ротор двигателя следует затормозить и изменять подводимое напряжение при помощи автотрансформатора. Снять 5–7 замеров. Ротор двигателя малой мощности может быть заторможен рукой, причем делать это следует до включения рубильника. Заметим, что при заторможенном роторе двигатель не должен находиться под напряжением более 10...15 с. подряд. Данные измерений сводят в табл. 2.

Таблица 2

| №, п/п | U_k, B | I_k, A | P_k, Bm | $\cos \varphi_k$ |
|--------|----------|----------|-----------|------------------|
| | | | | |

Затем строят характеристики короткого замыкания

$$I_k = f(U_k); \cos \varphi_k = f(U_k); P_k = f(U_k).$$

1.3 Рабочие характеристики двигателя

Данные для определения рабочих характеристик снимают при номинальном напряжении. Для изменения нагрузки на валу следует изменять величину груза. Измеренные значения сводят в табл. 3.

По результатам опытов и расчетов характеристики двигателя: I , M , P_1 , S , $\cos\varphi$, $\eta = f(P_2)$.

Таблица 3

| №, п/п | U , B | I , A | G_1 , $г$ | F_{TP} , $г$ | M , $г\cdot см$ | n , $об/мин$ | P_1 , $Вт$ | S | $\cos\varphi$ | P_2 , $Вт$ | η |
|-----------|--------------|--------------|----------------|-------------------|----------------------|-------------------|-----------------|-----|---------------|-----------------|--------|
| | | | | | | | | | | | |

Определение момента на валу двигателя поясняется рис. 10. На валу двигателя установлен шкив диаметром d , который охватывается шнуром, соединяющим груз G_1 и рычаг измерителя с грузом G_2 . При вращении ротора двигателя между шкивом и шнуром возникает сила трения, действующая против вращения и воспринимаемая двигателем как усилие сопротивления. Поэтому на шкале, отградуированной в граммах, будет регистрироваться разность усилий $F = G_1 - F_{mp}$. Определив силу трения, рассчитываем момент на валу двигателя ($г\cdot см$):

$$M = \frac{d}{2}(G_1 - F), г\cdot см.$$

Затем находим скольжение, КПД и полезную мощность P_2 (Вт) на основании следующих соотношений:

$$\cos\varphi = \frac{P_1}{U \cdot I}; S = \frac{n_1 - n}{n_1}, \text{ где } n_1 = \frac{60f}{p};$$

$$P_2 = 0,1045 \cdot M \cdot n, \text{ где } M \text{ в Н}\cdot\text{м.}$$

Вопросы для контроля знаний и самопроверки

- 1 Поясните принцип действия конденсаторного асинхронного двигателя.
- 2 Каковы условия получения кругового вращающегося поля в конденсаторном двигателе?
- 3 Как реверсировать асинхронный конденсаторный двигатель?
- 4 Какое влияние на работу двигателя оказывает обратно вращающееся магнитное поле?
- 5 Каковы условия получения максимального кругового вращающегося магнитного поля в конденсаторном двигателе?
- 6 Каковы энергетические характеристики асинхронного конденсаторного двигателя?

Лабораторная работа № 8
**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО
 МИКРОДВИГАТЕЛЯ**

Цель работы – ознакомиться с конструкцией и паспортными данными машины. Снять необходимые параметры и построить следующие характеристики: холостого хода (х.х.), короткого замыкания (к.з.) и рабочие характеристики двигателя. Построить круговую диаграмму и, задаваясь значениями токов статора, построить по ней рабочие характеристики.

Порядок выполнения работы

1 Экспериментальные исследования. Исследование трехфазного асинхронного микродвигателя выполняется на стенде, электрическая схема которого показана на рис. 11. Механическая нагрузка на валу двигателя создается при помощи тарированного генератора постоянного тока. Из-за малой мощности двигателя частоту его вращения необходимо измерять бесконтактным способом, например, строботачомером. Сопоставить рабочие характеристики, полученные опытным путем, с характеристиками, построенными с помощью круговой диаграммы.

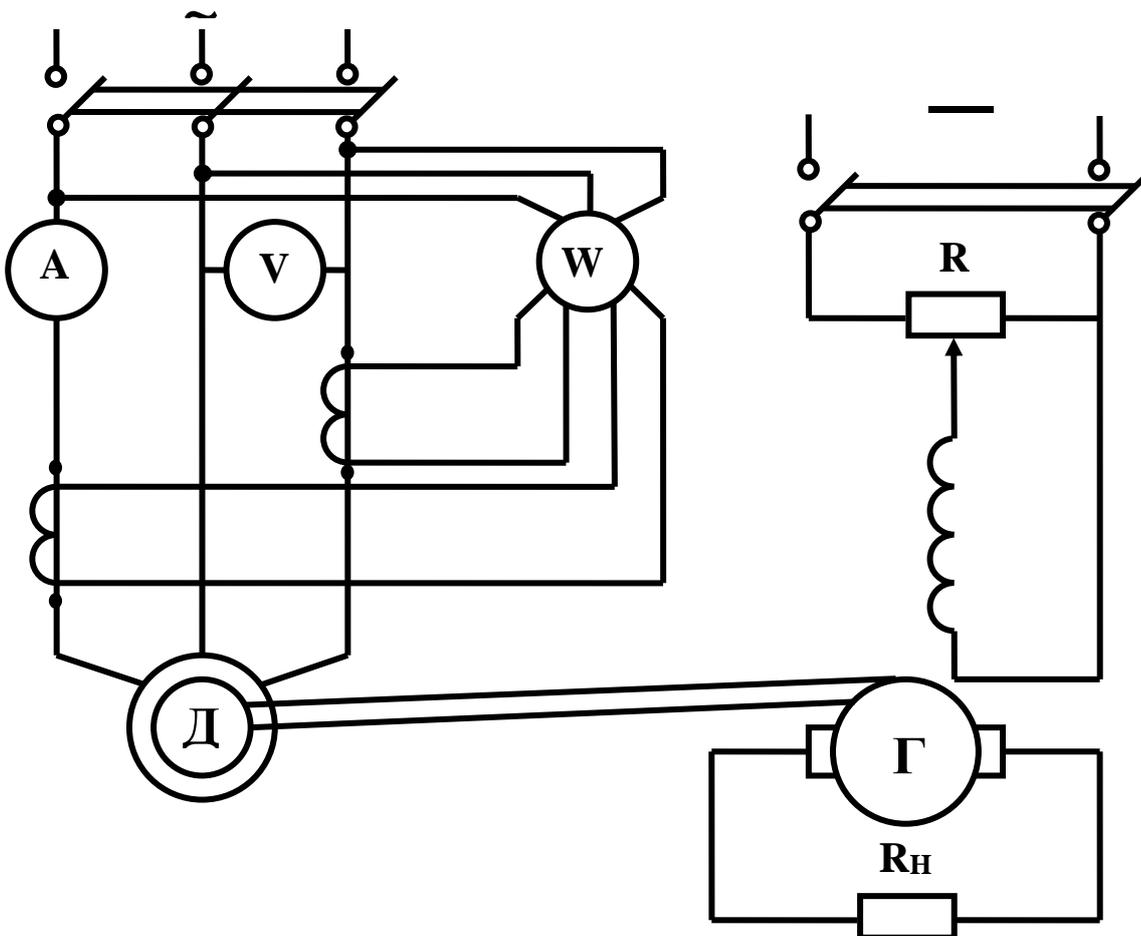


Рис. 11. Принципиальная схема
 трехфазного асинхронного микродвигателя

1.1 Опыт холостого хода

Собирается схема (рис. 11). Двигатель подключают к источнику с номинальным напряжением, при этом измеряют ток и мощность х.х. и определяют коэффициент мощности. Эти величины используются для построения круговой диаграммы. Затем при помощи индукционного регулятора уменьшают напряжение до половины номинального и снимают данные для построения характеристик холостого хода.

Результаты измерений сводятся в табл. 4.

Таблица 4

| №, п/п | $U_0, В$ | $I_0, А$ | $P_0, Вт$ | $\cos\varphi_0$ |
|--------|----------|----------|-----------|-----------------|
| | | | | |

По данным этой таблицы строятся характеристики холостого хода:

$$I_0 = f(U_0); \cos\varphi_0 = f(U_0); P_0 = f(U_0).$$

1.2 Опыт короткого замыкания

При опыте к.з. ротор двигателя должен быть заторможен, а к обмотке статора подводится пониженное напряжение (порядка $0.25U_H$). При этом ток статора не должен превышать $I_k = 1.25I_H$. Ротор двигателя затормаживается рукой до подачи напряжения на обмотку статора. Снимаются замеры для нескольких значений пониженного напряжения, результаты сводятся в табл. 5.

Таблица 5

| №, п/п | $U_k, В$ | $I_k, А$ | $P_k, Вт$ | $\cos\varphi_k$ |
|--------|----------|----------|-----------|-----------------|
| | | | | |

По результатам табл. 5 строятся характеристики к.з.:

$$I_k = f(U_k); \cos\varphi_k = f(U_k); P_k = f(U_k).$$

Значения $P_{кн}$ и $I_{кн}$, соответствующие номинальному напряжению и необходимые для построения круговой диаграммы, можно получить из характеристик к.з., но проще и точнее эти значения могут быть найдены на основании отношений

$$I_{кн} = I_k \frac{U_H}{U_k} \quad \text{и} \quad P_{кн} = P_k \frac{U_H^2}{U_k^2}.$$

Значение сопротивления фазы статора задается преподавателем или измеряется самостоятельно. Сопротивление короткого замыкания r_k определяется расчетом. Затем строится круговая диаграмма трехфазного асинхронного микродвигателя и по ней рассчитываются рабочие характеристики машины.

1.3 Рабочие характеристики

Данные для построения рабочих характеристик двигателя определяют, нагружая машину при помощи генератора постоянного тока. Для увеличения момента на валу двигателя увеличивают ток возбуждения генератора. Значение момента находят по шкале, установленной на стенде. Данные измерений и расчетов сводят в табл. 6.

Таблица 6

| №, п/п | $U, В$ | $I, А$ | $P_1,$ $Вт$ | $n,$ $об/мин$ | $M,$ $Н·м$ | $P_2,$ $Вт$ | S | $\cos\varphi$ | η |
|-----------|--------|--------|----------------|------------------|---------------|----------------|-----|---------------|--------|
| | | | | | | | | | |

Рассчитывают скольжение, коэффициент мощности, КПД и полезную мощность:

$$S = \frac{n_1 - n}{n}; \quad \cos\varphi = \frac{P_1}{\sqrt{3}UI}; \quad \eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad P_2 = 0,1045 \cdot M \cdot n.$$

Строят рабочие характеристики $I, M, P_1, S, \cos\varphi, \eta=f(P_2)$ и сопоставляют их с данными, полученными ранее при помощи круговой диаграммы.

Вопросы для контроля знаний и самопроверки

- 1 Поясните принцип действия и конструкции двигателя.
- 2 Каковы отличия в соотношениях геометрических размеров у асинхронных микромашин и машин средней и большой мощности?
- 3 Каковы отличия круговых диаграмм асинхронных микродвигателей и асинхронных машин средней и большой мощности?
- 4 Почему частоту вращения микродвигателя нельзя измерять механическим тахометром?

Лабораторная работа № 9

ИССЛЕДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы – ознакомиться с конструкцией и паспортными данными универсального коллекторного двигателя. Измерить сопротивления обмоток двигателя и привести их к температуре 75 °С. Снять необходимые данные и построить рабочие характеристики двигателя:

- при питании обмоток постоянным током;
- при питании обмоток переменным током.

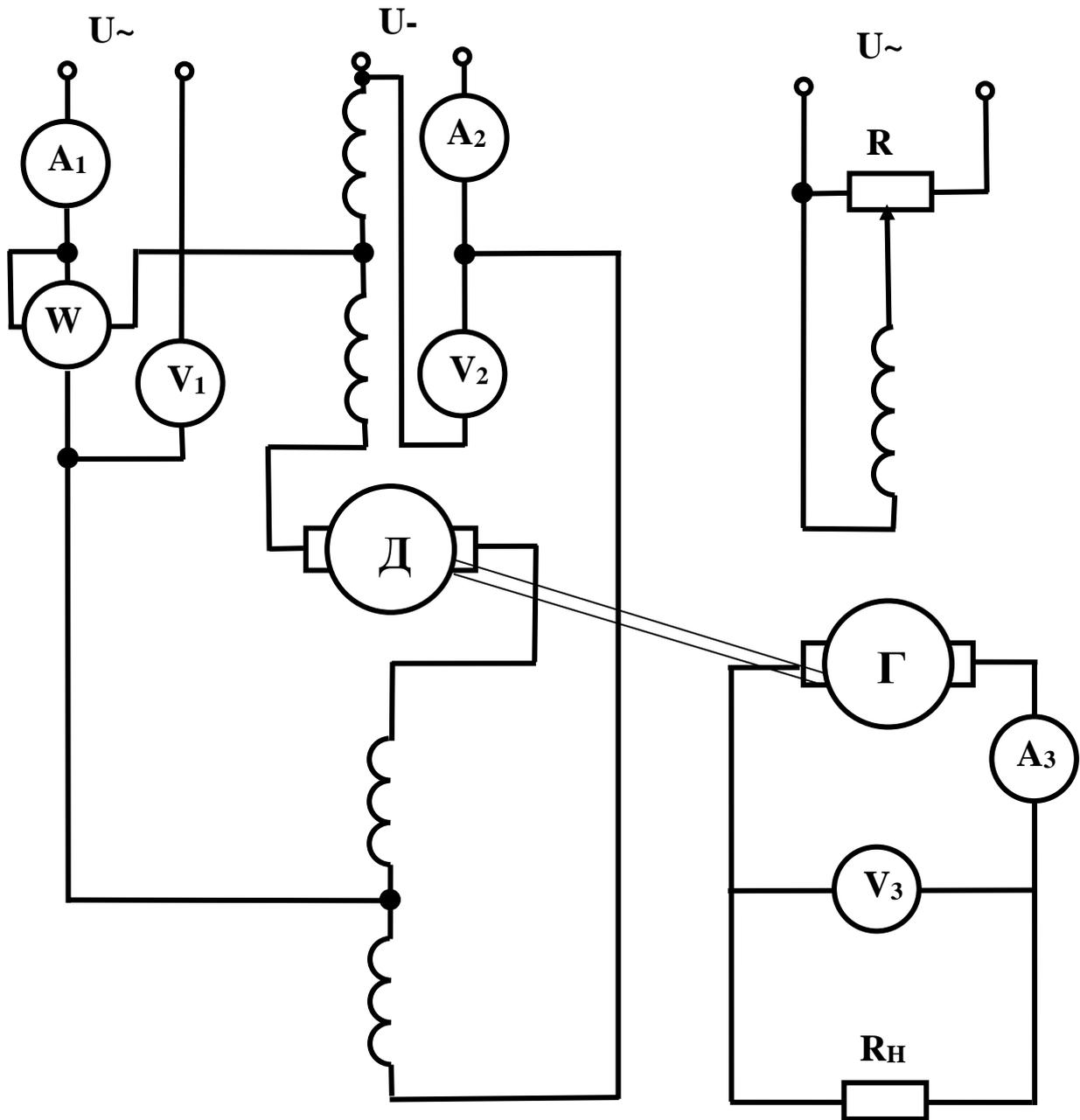


Рис. 12. Принципиальная схема универсального коллекторного двигателя

Порядок выполнения работы

1 Экспериментальные исследования

Исследование универсального коллекторного двигателя осуществляется на стенде, электрическая принципиальная схема которого показана на рис. 12. Двигатель нагружается при помощи генератора постоянного тока. Частота вращения машины измеряется строботаксометром. Заметим, что универсальный коллекторный двигатель с последовательным возбуждением при включении без нагрузки может пойти в разнос. Кроме того, следует иметь в виду, что такие

Мощность, потребляемая двигателем из сети, при работе на переменном токе определяется по ваттметру. В остальном для расчетов используются вышеприведенные формулы.

По данным табл. 8 строят рабочие характеристики двигателя, питаемого от источника переменного напряжения.

2 Сопоставить характеристики двигателя при питании обмоток постоянным и переменным током.

Вопросы для контроля знаний и самопроверки

- 1 Поясните принцип действия универсального коллекторного двигателя (УКД).
- 2 Какова конструкция универсального коллекторного двигателя?
- 3 Каковы достоинства и недостатки УКД?
- 4 Каковы способы улучшения коммутации УКД?
- 5 Для чего выполняется секционирование обмотки возбуждения УКД?
- 6 Чем отличается момент УКД при работе на переменном токе от момента машины при работе на постоянном токе?
- 7 Как реверсировать УКД?
- 8 Какими способами можно регулировать частоту вращения УКД?
- 9 Почему УКД выдерживает прямой пуск?
- 10 Каковы причины фазового сдвига между током и потоком при работе УКД на переменном токе?
- 11 Почему КПД двигателя при работе на постоянном токе выше, чем при работе на переменном токе? Как сблизить характеристики УКД при работе на постоянном и переменном токе?
- 12 Почему коммутация УКД на переменном токе хуже, чем на постоянном?

Лабораторная работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНЫХ СЕЛЬСИНОВ

Цель работы – ознакомиться с конструкцией сельсинов с их паспортными данными. Исследовать работу однофазных сельсинов в индикаторном режиме и трансформаторном режиме.

Порядок выполнения работы

1 Экспериментальные исследования

Исследование свойств сельсинов проводится на стенде, на котором могут быть собраны схемы (рис. 13 и рис. 14). Напряжение к зажимам обмотки возбуждения сельсина-датчика подводится от автотрансформатора.

1.1 Исследование однофазных сельсинов в индикаторном режиме работы.

Собрать схему (рис. 13) и измерить величину удельного синхронизирующего момента, который создается внешним моментом на валу сельсина-приемника.

Для этого ротор сельсина-датчика закрепляется в нулевом положении. Поворачивая корпус сельсина-приемника, устанавливают его ротор в нулевое положение, согласованное с сельсином-датчиком. На оси сельсина-приемника

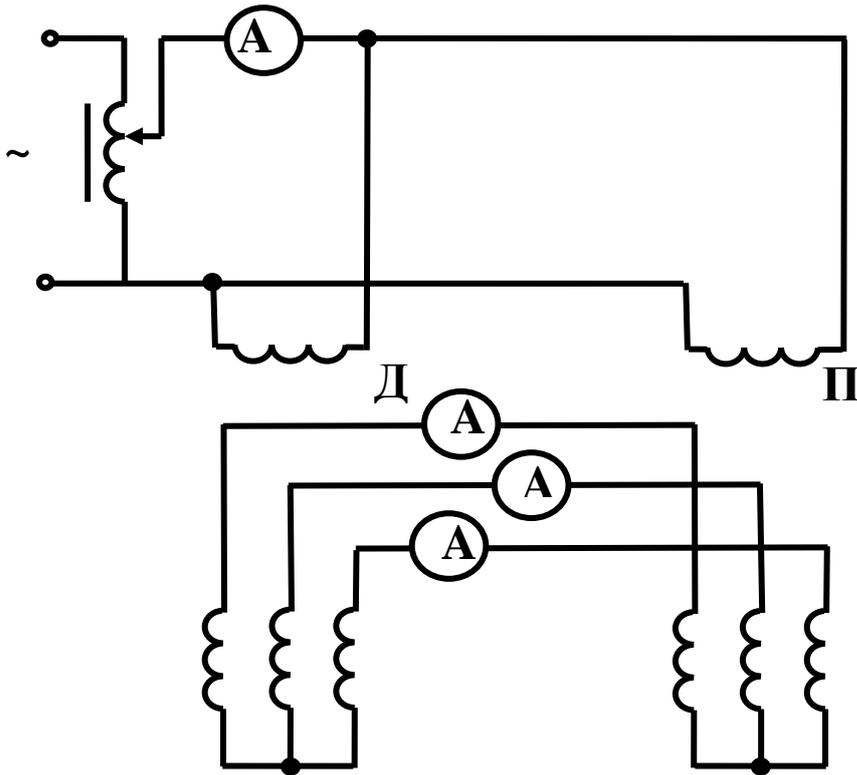


Рис. 13. Схема работы сельсина в режиме синхронной связи

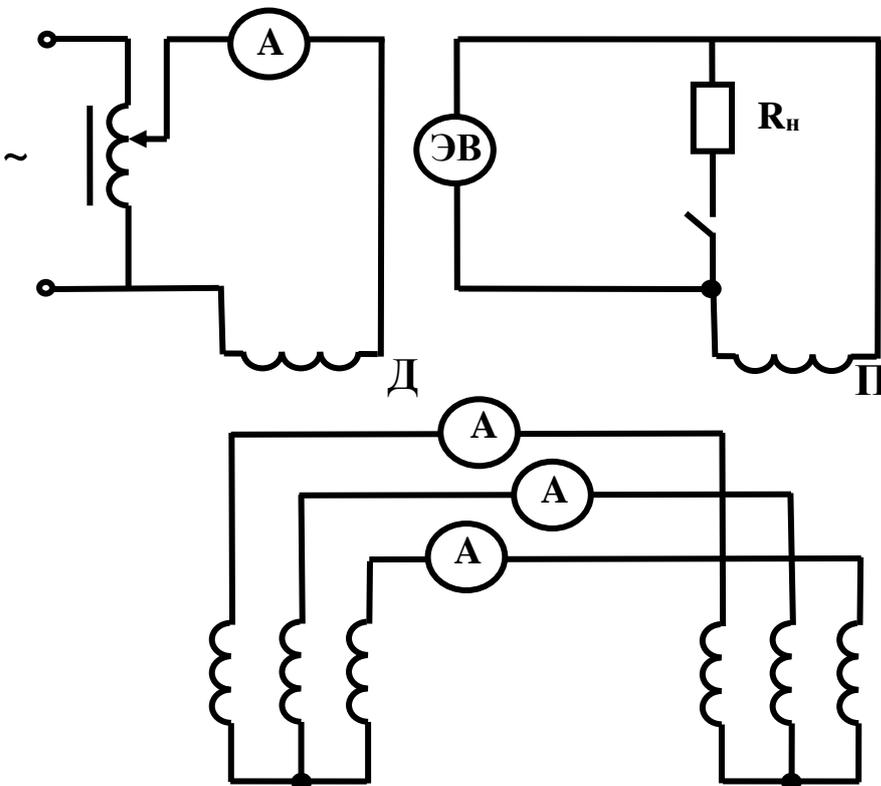


Рис. 14. Схема работы сельсина в трансформаторном режиме

устанавливается шкив. Вокруг шкива наматывается нить, на которой подвешивается груз. Посредством груза ротор приемника выводится из согласованного положения до отклонения на $5-7^{\circ}$.

Синхронизирующий момент определяется на основании соотношения

$$M_{\text{синхр}} = \frac{G \cdot r}{\theta},$$

где G – масса груза; r – радиус шкива; θ – угол рассогласования.

Далее снимается кривая ошибок. Для этого роторы обоих сельсинов устанавливаются так, чтобы нулю шкалы датчика соответствовал нуль шкалы приемника. Поворачивая ротор сельсина-датчика на угол $20-30^{\circ}$, записывают величину угла поворота сельсина приемника. Погрешность находится как разность поворота приемника и датчика: $\Delta\theta = \theta_{\text{Д}} - \theta_{\text{П}}$.

Кривая ошибок снимается дважды: при вращении ротора датчика по часовой стрелке и против нее. Результаты измерений сводятся в табл. 9.

Таблица 9

| | |
|------------------------------|--|
| $\theta_{\text{Д}},^{\circ}$ | |
| $\theta_{\text{П}},^{\circ}$ | |
| $\Delta\theta,^{\circ}$ | |

Затем строятся кривые ошибок сельсинов в индикаторном режиме работы: сплошной линией – при вращении ротора датчика по часовой стрелке; штриховой линией – при вращении ротора против часовой стрелки.

1.2 Исследование работы сельсинов в трансформаторном режиме

Собрать электрическую схему (рис. 14). Подсчитывается величина остаточного напряжения и ошибка асимметрии. Для этого роторы датчика и приемника устанавливают в нулевое положение и поворачивают корпус сельсина-приемника до тех пор, пока $U_{\text{вых}}$ не будет равно U_{min} . В этом положении корпус сельсина-приемника закрепляется. Величину минимального остаточного напряжения определяют еще раз, поворачивая ротор приемника на угол, близкий к 180° , и находят угол, при котором $U_{\text{вых}}$ опять будет иметь минимальное значение.

Ошибка асимметрии составит

$$\theta_a = \theta_{\text{П}} - 180.$$

Затем снимают зависимости $U_{\text{вых}}$ сельсина-приемника, токов линии связи I_1, I_2, I_3 и тока $I_{\text{вд}}$ от угла рассогласования при различных нагрузках $R_{\text{н}} = \infty$ и $R_{\text{н}} = 5 \text{ кОм}$.

Измерения следует начинать при разомкнутой обмотке возбуждения приемника. $U_{\text{вых}}$ измеряется при помощи высокоомного вольтметра.

Ротор сельсина-датчика устанавливается в нулевое положение. Корпус сельсина-приемника фиксируется в нулевое положение, при котором будет ми-

нимум выходного напряжения. Затем ротор датчика поворачивают на 20, 40, 60, 80, ... 360°, при этом регистрируются показания приборов. Результаты измерений сводят в табл.10.

Таблица 10

| $R_n = \infty$ | | | | | | $R_n = 5 \text{ кОм}$ | | | | | |
|------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| θ град | $I_{вд},$ А | $I_1,$ А | $I_2,$ А | $I_3,$ А | $U_{вых},$ В | θ град | $I_{вд},$ А | $I_1,$ А | $I_2,$ А | $I_3,$ А | $U_{вых},$ В |
| | | | | | | | | | | | |

Вопросы для контроля знаний и самопроверки

- 1 Опишите конструкцию сельсина.
- 2 Что называется электрической системой синхронной связи?
- 3 Какие системы синхронной связи используются и с помощью каких электрических машин они реализуются?
- 4 Назовите недостатки контактных сельсинов.
- 5 Каков принцип действия индикаторной системы синхронной связи?
- 6 Как устроен бесконтактный сельсин?
- 7 Каков принцип действия сельсинов в трансформаторной системе синхронной связи?

Библиографический список

1. **Юферов, Ф.М.** Электрические машины автоматических устройств / Ф.М. Юферов. – М. : Высшая школа, 1988. – 479 с.
2. **Хрущев, В.В.** Электрические машины систем автоматики / В.В. Хрущев. – Л. : Энергоатомиздат, 1985. – 479 с.
3. Соломин, В.А. Специальные электрические машины: учебное пособие , ч. 1/ В.А. Соломин, Л.Л. Замшина. – Ростов н/Д: РГУПС, 2009. – 44 с.
4. Соломин, В.А. . Специальные электрические машины: учебное пособие, ч. 2/ В.А. Соломин, Л.Л. Замшина, А.В. Соломин. – Ростов н/Д: РГУПС, 2010. – 74 с.

С о д е р ж а н и е

| | |
|--|----|
| Лабораторная работа № 1. Исследование линейного асинхронного двигателя для тяговых и тормозных устройств подвижного состава..... | 3 |
| Лабораторная работа № 2. Исследование процесса нагревания вторичного элемента линейного асинхронного двигателя | 6 |
| Лабораторная работа № 3. Исследование процесса нагревания обмотки линейного асинхронного двигателя | 8 |
| Лабораторная работа № 4. Исследование однофазного репульсионного двигателя..... | 11 |
| Лабораторная работа № 5. Испытание одноякорного преобразователя..... | 13 |
| Лабораторная работа № 6. Исследование индукционного регулятора..... | 17 |
| Лабораторная работа № 7. Исследование асинхронного конденсаторного двигателя..... | 19 |
| Лабораторная работа № 8. Исследование трехфазного асинхронного микродвигателя..... | 22 |
| Лабораторная работа № 9. Исследование универсального коллекторного двигателя..... | 24 |
| Лабораторная работа № 10. Исследование однофазных сельсинов..... | 27 |
| Библиографический список..... | 31 |

Учебное издание

Соломин Владимир Александрович
Замшина Лариса Леонидовна
Соломин Андрей Владимирович

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Печатается в авторской редакции
Технический редактор Т.М. Чеснокова

Подписано в печать 17.11.17. Формат 60×84/16.
Бумага газетная. Ризография. Усл. печ. л. 1,86.
Тираж экз. Изд. № 90525. Заказ .

Редакционно-издательский центр ФГБОУ ВО РГУПС.

Адрес университета: 344038, г. Ростов н/Д, пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, д. 2.