

Министерство образования Российской Федерации

Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий



Кафедра электротехники

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ЭЛЕКТРОПРИВОД

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по курсу “Электротехника и основы электроники”
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург 2000

УДК 621.3

Батяев А.А., Новотельнова А.В., Русанов А.В. Электрические машины и электропривод: Метод. указания к выполнению лабораторных работ по курсу “Электротехника и основы электроники” для студентов всех спец. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2000. – 30 с.

Приводится описание лабораторных работ по разделу “Электрические машины и электропривод”, выполняемых при изучении курса “Электротехника и основы электроники”.

Рецензент

Канд. техн. наук, доц. А.И. Васильев

Одобрены к изданию советом факультета техники пищевых производств

© Санкт-Петербургский государственный
университет низкотемпературных
и пищевых технологий, 2000

Введение

В настоящих методических указаниях даются описание и методика выполнения лабораторных работ, выполняемых студентами всех специальностей при изучении курса "Электротехника и электроника".

Лабораторные работы № 16 и 17 посвящены изучению рабочих характеристик и методов регулирования частоты вращения электродвигателей постоянного тока типа ДПР. Лабораторная работа № 18 посвящена определению момента инерции (махового момента) асинхронного электродвигателя. Лабораторная работа № 19 знакомит студентов с методами компенсации реактивной мощности асинхронных электроприводов.

Лабораторная работа № 16

Испытание электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения типа ДПР

Цель работы

1. Изучить устройство микромашин постоянного тока.
2. Приобрести практические навыки по испытанию электродвигателя постоянного тока.
3. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и самостоятельных занятиях.

Общие сведения

В промышленных роботах, автоматизированных электроприводах, гибких автоматизированных производствах и других системах автоматического управления широкое распространение получили электродвигатели постоянного тока серии ДПР. Это микродвигатели (мощностью до нескольких сот ватт) с полым немагнитным якорем (ротором) и возбуждением от постоянных магнитов (рис. 1). Якорь электродвигателя выполняется в виде полого пластмассового цилиндра, в который запрессована обмотка из медного провода. Полый якорь вращается в зазоре между внешним и внутренним статорами. Внутренний статор выполняется в виде цилиндрического постоянного магнита и служит для создания магнитного потока возбуждения.

Эти электродвигатели имеют целый ряд положительных свойств. Из-за малого момента инерции якоря они обладают хорошим быстродействием.

вием. Они имеют небольшую индуктивность обмотки якоря. Из-за малой индуктивности обмотки якоря двигатели обладают хорошей (практически безискровой) коммутацией. Так как якорь не содержит ферромагнитных материалов, у этих двигателей отсутствуют потери в стали. Механические потери этих двигателей малы, так как якорь не испытывает радиальных сил тяжести. Двигатели ДПР могут использоваться в качестве тахогенераторов.

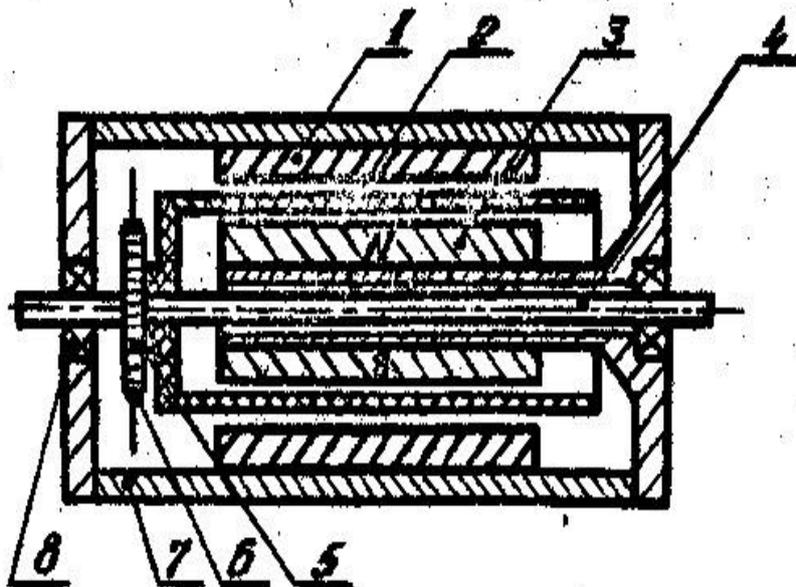


Рис. 1. Схема конструкции двигателя постоянного тока с полым немагнитным ротором типа ДПР:

- 1 – внешняя магнитная система; 2 – якорь; 3 – внутренняя магнитная система;
 4 – вал якоря; 5 – коллектор, 6 – щетки; 7 – корпус электродвигателя;
 8 – подшипник

Лабораторные работы № 16 и 17 строятся на базе электродвигателя типа ДПР-72-Н1-03, имеющего следующие номинальные данные:

- напряжение питания $U_H = 27$ В;
- номинальный ток якоря $I_{я.н} = 1,3$ А;
- вращающий момент $M = 40$ мН·м;
- номинальная частота вращения $n_H = 4500$ об/мин;
- ток якоря холостого хода $I_{я.х.х} = 0,12$ А;
- коэффициент полезного действия $\eta = 83\%$;
- пусковой ток $I_{я.пуск} = 13,3$ А.

Схема лабораторной установки

На рис. 2 приведена электрическая схема лабораторной установки. В работе испытывается микродвигатель постоянного тока ти-па ДПР. Напряжение к испытываемому двигателю подводится от автотрансформатора ЛАТР через выпрямитель Выпр. 2. Величина подводимого напряжения измеряется с помощью вольтметра постоянного тока pV с пределом измерения $150 В^*$. Ток в обмотке якоря измеряется амперметром pA постоянного тока с пределом измерения $3A$.

Нагрузкой испытываемого электродвигателя служит электромагнитный тормоз ЭТ**. Питание обмоток тормоза производится через выпрямитель Выпр. 1 и магазин емкостей C от сети напряжением $220 В$. Пределы изменения ёмкости от 0 до $3,5 мкФ$. Частота вращения измеряется фототахометром ФТ с масштабным коэффициентом, равным 5 .

Программа работы

1. Изучить устройство машин постоянного тока и особенности конструкции испытываемого электродвигателя.
2. Произвести пуск электродвигателя и его реверсирование.
3. Снять рабочие характеристики двигателя.
4. На основании полученных данных произвести расчёт:
 - полезной мощности на валу двигателя P_2 ;
 - потребляемой двигателем мощности из сети P_1 ;
 - коэффициента полезного действия η .
5. Построить рабочие характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения в одной координатной системе: M , $I_{я}$, n и η в функции полезной мощности P_2 .
6. Построить механическую характеристику двигателя постоянного тока независимого возбуждения $n = f(M)$.
7. Сделать выводы по работе.

* Регулирование питающего напряжения якорной цепи с помощью автотрансформатора производится лаборантом.

** Схема электромагнитного тормоза собирается лаборантом предварительно

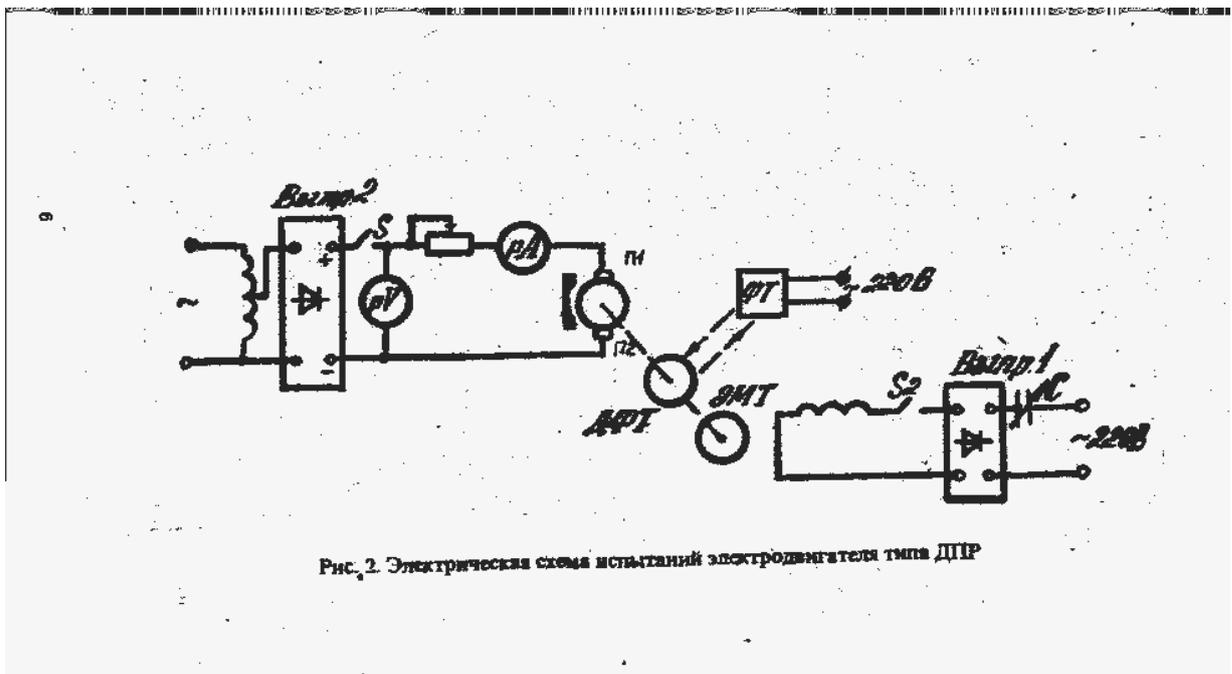


Рис. 2. Электрическая схема испытаний электродвигателя типа ДПР

Порядок выполнения работы

1. Используя стенд “Машины постоянного тока”, изучить устройство и особенности конструкции двигателей постоянного тока.
2. Записать в отчёт технические данные испытуемого электродвигателя и приборов.
3. Собрать электрическую схему (рис. 2) и предъявить её для проверки преподавателю.
4. Отключить цепь якоря выключателем S и установить рукоятку пускового реостата R_d в крайнее положение по часовой стрелке, соответствующее его максимальному значению.
5. После получения разрешения преподавателя на проведение опытов включить пакетный выключатель S и, плавно поворачивая рукоятку реостата R_d против часовой стрелки, осуществить пуск электродвигателя.
6. Измерить и записать в табл. 1 данные опыта холостого хода электродвигателя: ток якоря $I_{я0}$ и частоту вращения n_0 .
7. Снять данные, необходимые для построения рабочих и механической характеристик. Для этого с помощью магазина емкостей C регулируют величину тока в обмотке электромагнитного тормоза, изменяя тем самым момент нагрузки на валу электродвигателя. Нагрузку двигателя контролируют по величине тока якоря. Ток якоря изменяют

ступенями через 0,2–0,3 А до величины 1,2 А. Частота вращения электродвигателя измеряется фототахометром ФТ с масштабным коэффициентом, равным 5.

Данные измерений заносятся в табл. 1.

Таблица 1

Номер опыта	Измеряемые величины				Вычисляемые величины			
	$U_{\text{я}}$, В	M , мН·м	$I_{\text{я}}$, А	n , об/мин	P_1 , Вт	P_2 , Вт	η , %	$D_{\text{в}}$, мм
	27							
	27							
	27							

8. По данным, полученным при снятии рабочих характеристик, рассчитывают следующие величины :

– мощность, потребляемую двигателем из сети, Вт

$$P_1 = U \cdot I_{\text{я}};$$

– полезную мощность на валу двигателя, Вт

$$P_2 = M \cdot n \cdot 10^{-1};$$

где M – момент нагрузки на валу, мН·м; n – частота вращения якоря, об/мин; η – коэффициент полезного действия двигателя, %

$$\eta = (P_2/P_1) \cdot 100;$$

– сопротивление якоря, Ом

$$R_{\text{я}} = U_{\text{н}} \cdot (n_0 - n_{\text{н}}) / I_{\text{я.н}} \cdot n_0;$$

– потери мощности в якорной цепи, Вт

$$P_{\text{я}} = I_{\text{я}}^2 \cdot R_{\text{я}}.$$

9. Произвести реверс (изменение направления вращения) двигателя. Для этого, отключив цепь якоря с помощью выключателя S , изменить полярность подключения якоря к выпрямителю Выпр. 1. Установить рукоятку реостата $R_{\text{д}}$ в крайнее положение по часовой стрелке. Подать питающее напряжение на якорную цепь, включив выключатель S . Убедиться, что двигатель вращается в противоположную сторону.

10. Предъявить данные опыта и предварительных расчётов преподавателю и с его разрешения разобрать схему.

Содержание отчёта

В отчёте должны быть представлены:

1. Номинальные данные испытуемого двигателя и электроизмерительных приборов.
2. Электрическая схема установки.
3. Программа работы.
4. Результаты измерений и расчётов, необходимых для построения соответствующих характеристик двигателя, а также формулы, по которым производились расчёты.
5. Рабочие и механическая характеристики, построенные по опытным данным. Все рабочие характеристики могут быть нанесены на один график, поскольку они имеют одну и ту же независимую переменную P_2 .
6. Краткие выводы по работе. Сопоставление опытных и расчётных данных с положениями теории.

Контрольные вопросы

I. При допуске к лабораторной работе.

1. Цель и программа работы.
2. На чем основан принцип действия электродвигателя постоянного тока?
3. Что такое противо-э.д.с и отчего она зависит?
4. Почему при пуске двигателя постоянного тока потребляют большой ток?
5. В чём особенности магнитной системы электродвигателей типа ДПР?
6. Что понимают под рабочими характеристиками электродвигателя и что они показывают?
7. Какова роль коллектора в машинах постоянного тока?
8. Почему уменьшается частота вращения двигателя с независимым возбуждением при увеличении нагрузки на валу?
9. Что понимают под процессом коммутации в машинах постоянного тока?
10. Как классифицируются двигатели постоянного тока по способу возбуждения?

II. При защите лабораторной работы.

Все вопросы п. I и, кроме того:

1. Каким образом создается магнитный поток возбуждения в двигателях постоянного тока типа ДПР?
2. Почему можно пренебречь потерями в стали в двигателях типа ДПР?
3. Какие потери мощности существуют в двигателях постоянного тока?
4. Что понимают под термином “реакция якоря”? Как компенсируют реакцию якоря в машинах постоянного тока различной мощности?
5. Чем определяется вращающий момент двигателей постоянного тока?
6. Какими способами можно изменить направление вращения двигателя постоянного тока? В чём особенность реверсирования двигателей типа ДПР ?

Лабораторная работа № 17

Исследование способов регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока

Цель работы

1. Изучить способы регулирования частоты вращения машин постоянного тока независимого возбуждения.
2. Приобрести практические навыки по испытанию машин постоянного тока.
3. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и самостоятельных занятиях.

Схема лабораторной установки

На рис. 2 приведена электрическая схема лабораторной установки. В работе исследуются способы регулирования частоты вращения двигателя типа ДПР. Напряжение к якорю подводится от автотрансформатора ЛАТР через выпрямитель Выпр. 2* и реостат R_d сопротивлением 15 Ом, мощностью 50 Вт. Этот реостат может использоваться как пусковой и как регулировочный. Контроль за величиной подводимого напряжения производится вольтметром постоянного тока pV с пределом измерения 150 В. Ток в якоре $I_{я}$ измеряется амперметром pA с пределом измерения 3 А. Нагрузкой исследуемого электродвигателя является электромагнитный тормоз ЭТ**. Величина нагрузки определяется током в обмотках тормоза и регулируется магазином емкостей C . При испытаниях электродвигателя величина ёмкости изменяется в пределах от 0 до 3,5 мкФ. Ток в обмотки тормоза подаётся через выпрямитель Выпр. 1.

Частота вращения электродвигателя измеряется фототахометром ФТ с масштабным коэффициентом, равным 5.

Программа работы

1. Изучить устройство машин постоянного тока и особенности конструкции испытуемого электродвигателя. _____

* Регулирование питающего напряжения якорной цепи с помощью автотрансформатора производится лаборантом.

** Схема электромагнитного тормоза собирается лаборантом предварительно.

2. Произвести пуск и регулирование частоты вращения двигателя различными способами.

3. Снять механические характеристики двигателя при регулировании частоты вращения изменением напряжения и изменением сопротивления в цепи якоря.

4. На основании полученных данных произвести расчёт сопротивления якорной обмотки $R_{\text{я}}$ и сопротивлений, вводимых в цепь якоря для получения заданной частоты вращения.

5. Произвести расчет мощности, потребляемой из сети, при различных способах регулирования частоты вращения

$$P_1 = U \cdot I_{\text{я}}.$$

6. Построить семейства механических характеристик $n = f(M)$ при различных способах регулирования частоты вращения.

7. Произвести сравнительный анализ изученных методов регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока.

Порядок выполнения работ

1. Используя стенд “Машины постоянного тока”, изучить устройство и особенности конструкции двигателей постоянного тока.

2. Ознакомиться с электрической схемой, измерительными приборами, аппаратами и другим оборудованием экспериментальной установки.

Записать в бланк отчёта технические данные испытуемого двигателя и измерительных приборов.

3. Собрать электрическую схему (рис. 2) и предъявить её для проверки преподавателю.

4. Отключить цепь якоря выключателем S . Ввести полностью реостат $R_{\text{д}}$, повернув рукоятку реостата по часовой стрелке в крайнее положение. Отключить ёмкости C в цепи электромагнитного тормоза.

5. После получения разрешения преподавателя на проведение опытов, включить питание стенда.

6. Замкнуть выключатель S и, по мере разгона двигателя вывести пусковой реостат ($R_{\text{д}} = 0$).

7. Снять регулировочные характеристики двигателя, при изменении напряжения питания U^* . Для этого при нескольких фикси-

* Регулирование питающего напряжения якорной цепи с помощью автотрансформатора производится лаборантом.

рованных значениях напряжения U_1, U_2, U_3 снимают данные для построения механических характеристик $n = f(M)$. Момент нагрузки M на валу двигателя изменяют, регулируя ток в обмотках электромагнитного тормоза с помощью магазина емкостей C . При этом изменяют ток в обмотке электромагнитного тормоза так, чтобы ток якоря двигателя не превышал значения $I_{я.н} = 1,3$ А. Данные опыта заносятся в табл. 2.

Таблица 2

$U_1 = 27$ В			$U_2 = 20$ В			$U_3 = 15$ В		
$I_{я},$ А	$n,$ об/мин	$M,$ мН·м	$I_{я},$ А	$n,$ об/мин	$M,$ мН·м	$I_{я},$ А	$n,$ об/мин	$M,$ мН·м

8. Снять характеристики двигателя при различных значениях добавочного сопротивления R_d в цепи якоря. Для этого поворотом рукоятки реостата устанавливают несколько значений этого сопротивления – R_1, R_2, R_3 . При постоянном напряжении питания $U = 27$ В при фиксированном значении сопротивления R , снимают механическую характеристику двигателя $n = f(M)$. Момент нагрузки M на валу двигателя изменяют величиной тока в обмотках электромагнитного тормоза таким образом, чтобы максимальный ток якоря не превышал 1,3 А. Полученные данные заносят в табл. 3.

Таблица 3

R_1			R_2			R_3		
$I_{я},$ А	$n,$ об/мин	$M,$ мН·м	$I_{я},$ А	$n,$ об/мин	$M,$ мН·м	$I_{я},$ А	$n,$ об/мин	$M,$ мН·м

9. Предъявить данные опытов для проверки преподавателю и с его разрешения разобрать схему. Привести рабочее место в исходное состояние.

10. Рассчитать величину сопротивления якоря, Ом

$$R_{я} = U_{н} \cdot (n_0 - n_{н}) / I_{в.н} \cdot n_0.$$

11. Построить скоростные характеристики $n = f(I_{\text{я}})$ и определить по ним масштаб сопротивления при номинальном токе якоря, Ом / мм

$$m_R = R_{\text{я}} / ab,$$

где ab – отрезок, заключённый между горизонталью, проходящей через точку идеального холостого хода и скоростной характеристикой при номинальном токе якоря $I_{\text{я.н}} = 1,3 \text{ А}$ (рис. 3).

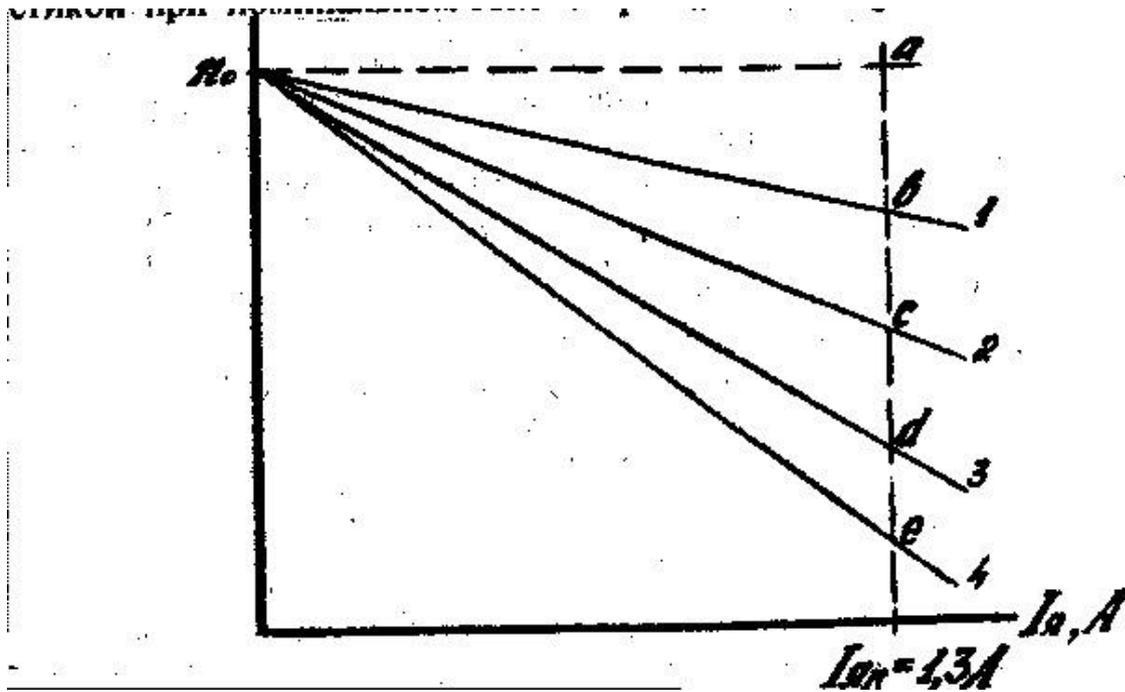


Рис. 3. Скоростные характеристики двигателя постоянного тока:
 1 – естественная характеристика $R_{\text{д}} = 0$; 2, 3, 4 – искусственные характеристики:
 2 – $R_{\text{д}} = R_1$; 3 – $R_{\text{д}} = R_2$; 4 – $R_{\text{д}} = R_3$

12. Для регулировочных характеристик, построенных при различных сопротивлениях в цепи якоря (R_1, R_2, R_3), рассчитать величину этих сопротивлений при номинальной нагрузке двигателя, пользуясь данными пп. 10–11, Ом

$$R_1 = m_R \cdot bc;$$

$$R_2 = m_R \cdot bd;$$

$$R_3 = m_R \cdot be.$$

Здесь bc , bd и be – отрезки, заключенные между естественной скоростной характеристикой и соответствующими искусственными.

Содержание отчёта

В отчёте должны быть приведены:

1. Номинальные данные исследуемого электродвигателя и измерительных приборов.
2. Электрическая схема лабораторной установки.
3. Программа работы.
4. Таблицы с измеренными величинами.
5. На основании опытных данных на двух отдельных графиках, в масштабе, строятся семейства механических характеристик.
6. На основании построенных скоростных характеристик определяется частота вращения идеального холостого хода n_0 при номинальном напряжении на якоре (27 В), а также номинальная частота вращения n_N , соответствующая номинальному току якоря $I_{я.н.}$

7. По данным, полученным из опытов необходимо вычислить:
– мощность, потребляемую из сети постоянного тока, Вт

$$P_1 = U \cdot I;$$

- полезную мощность на валу электродвигателя, Вт

$$P_2 = M \cdot n \cdot 10^{-1};$$

- коэффициент полезного действия схемы регулирования, %

$$\eta = P_2 / P_1 \cdot 100.$$

8. Сделать краткие выводы по работе: сопоставить изученные способы регулирования частоты вращения по жесткости характеристик, по пределам регулирования, по коэффициенту полезного действия схем.

Контрольные вопросы

- I. При допуске к лабораторной работе.
 1. Цель и программа работы.
 2. Назначение и роль пускового реостата в цепи якоря. Как можно рассчитать величину его сопротивления?
 3. Что называется скоростной характеристикой ДПТ?
 4. Что называется регулировочной характеристикой ДПТ?
 5. Перечислите все возможные способы регулирования частоты вращения ДПТ.

6. Можно ли увеличить частоту вращения ДПТ изменением сопротивления в цепи якоря?

7. Возможно ли увеличение частоты вращения ДПТ выше номинальной при регулировании напряжения на якоре ?

8. Как изменяется частота вращения ДПТ при регулировании потока возбуждения?

9. Возможно ли увеличение магнитного потока в ДПТ выше номинального? Поясните ваш ответ.

10. Какой из способов регулирования частоты вращения ДПТ является наименее энергоёмким?

II. При защите лабораторной работы.

Все вопросы п. I и, кроме того:

1. Какими выражениями определяются э.д.с. якоря и вращающий момент?

2. Как определить частоту вращения идеального холостого хода ДПТ?

3. Чем ограничивается регулирование частоты вращения ДПТ введением добавочного сопротивления в цепь якоря ?

4. Какими методами можно уменьшить пусковой ток ДПТ?

5. Как можно рассчитать сопротивление якоря, пользуясь скоростной характеристикой?

6. Почему нельзя увеличивать магнитный поток выше номинального в ДПТ и вообще нельзя регулировать его в электродвигателях типа ДПР ?

7. Как можно рассчитать величину добавочного сопротивления в цепи якоря для получения заданной частоты вращения ?

Лабораторная работа № 18

Определение момента инерции ротора асинхронного электродвигателя

Цель работы

1. Изучить конструктивные особенности асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

2. Произвести расчет момента инерции ротора на основании конструктивных данных.

3. Приобрести практические навыки в определении момента инерции методом выбега.

4. Экспериментально подтвердить теоретические знания, полученные на лекциях и практических занятиях.

Общие сведения

Внедрение автоматизированных технологических линий требует оценки качества и длительности переходных процессов. Эти характеристики в значительной степени зависят от инерционности звеньев, составляющих автоматизированную систему и, в частности, от инерционности исполнительных электродвигателей. Лабораторная работа № 18 посвящена практическим методам оценки момента инерции ротора асинхронного двигателя. Работа строится на базе асинхронного электродвигателя типа АО42-4, характеризующегося значительной инерционной массой ротора.

Номинальные параметры двигателя АО 42-4:

- номинальная мощность $P_H = 2,8$ кВт;
- напряжение питания $V/Y - 220/380$ В;
- номинальная частота вращения $n_H = 1420$ об/мин;
- к.п.д $\eta = 83,5\%$;
- $\cos \varphi = 0,84$.

Программа работы

1. Изучить конструктивные особенности испытуемого электродвигателя.

2. Ознакомиться с имеющимися паспортными данными двигателя и определить синхронную частоту вращения – n_0 , номинальный момент вращения – M_H , потребляемую из сети мощность – P_1 .

3. Измерить величину активного сопротивления обмоток статора (методом амперметра и вольтметра).

4. Произвести расчет момента инерции ротора на основании конструктивных данных.

5. Собрать схему и произвести необходимые испытания для определения момента инерции ротора методом выбега.

6. Сравнить результаты расчетного и экспериментального методов. Сделать выводы по работе.

А. Геометрический расчет момента инерции ротора асинхронного электродвигателя

Исходными для расчета являются геометрические размеры ротора: диаметр ротора $d = 90$ мм и длина ротора $l = 140$ мм (рис. 4). Удельный вес стали ротора $\gamma = 7,5$ кг/дм³.

Предполагая конструкцию ротора в виде однородного цилиндра, момент инерции (кг·м²) относительно оси вращения может быть рассчитан по формуле

$$J = \frac{mr^2}{2},$$

где m – масса ротора, кг; r – радиус вращения, м.

Объем ротора (дм³) $V = \pi r^2 \cdot l$, а его масса (кг) $m = V \cdot \gamma$.

На основании имеющихся данных с учетом принятых допущений произвести геометрический расчет J .

произвести геометрический расчет J .

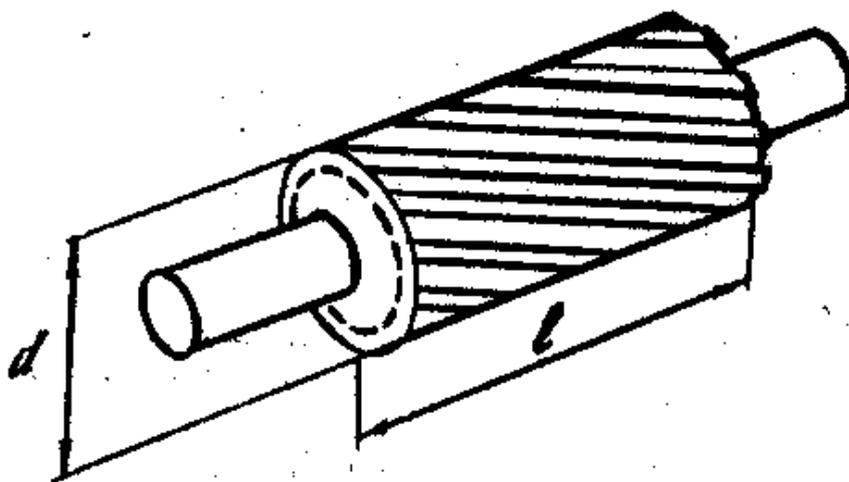


Рис. 4. Габаритный чертеж ротора асинхронного электродвигателя

Б. Определение момента инерции ротора экспериментально

1. Напряжение питания на испытуемый электродвигатель подается со щита с помощью автоматического выключателя SF . Управление прямым пуском осуществляется через реверсивный тиристорный пускатель ТПР. На боковой стенке стенда выведены клеммы U, V, W, n , позволяющие осуществить подключение измерительных приборов: амперметра рА и ваттметра рW. К клеммам ТГ тахогенератора подключается вольтметр, показав-

ния которого пропорциональны частоте вращения ротора асинхронного двигателя.

Величина подводимого напряжения измеряется с помощью вольтметра переменного тока pV_1 с пределом измерения 150 В.

Ток в обмотке статора измеряется амперметром переменного тока с пределом измерения 5 А.

Мощность, потребляемая одной фазой, измеряется ваттметром с токовой обмоткой, включенной на 1 А и обмоткой напряжений на 150 В.

Напряжение тахогенератора измеряется вольтметром постоянного тока pV_2 с пределом измерения 30 В.

Собрать схему, изображенную на рис. 5. Произвести измерение сопротивления обмоток статора методом амперметра и вольтметра. Для этого в схеме рис. 5 при отключенной сети переменного тока устанавливают напряжение постоянного тока $U = 0$ и замыкают выключатель S . Плавно увеличивают напряжение постоянного тока до показаний амперметра 1,5 А. Записывают в табл. 4 величины измеренных напряжения и тока, а затем определяют сопротивление между фазами

$$R_{M.\Phi} = U / I.$$

Таблица 4

Номер измерения	$U, В$	$I, А$	$R_{M.\Phi}, Ом$
1			
2			
3			

Для получения более точного значения $R_{M.\Phi}$ производят несколько измерений и определяют среднее значение $R_{M.\Phi ср}$:

$$R_{M.\Phi ср} = (R_{M.\Phi 1} + R_{M.\Phi 2} + R_{M.\Phi 3}) / 3$$

3. Отключить выключатель S . Разобрать схему рис. 5.

4. Собрать схему по рис. 6. Предъявить ее на проверку преподавателю. Замкнуть SF и произвести запуск исследуемого асинхронного электродвигателя на холостом ходу. Произвести измерения: тока холостого хода – I_0 , мощности, потребляемой на холостом ходу – P_0 , показания вольтметра $U_{ТГ}$ – тахогенератора, напряжение сети U_C . Результаты измерений занести в таблицу.

Таблица 5

I_0, A	$P_0, Вт$	$U_{ТГ}, В$	$U_C, В$

С помощью тиристорного реверсивного пускателя отключить двигатель от сети. Для этого установить рукоятку на пульте управления тиристорного пускателя в положение "Стоп" и определить время полного торможения t . В период торможения фиксировать частоту вращения (через напряжение тахогенератора $U_{ТГ}$) каждые 10 с. Данные записывать в табл. 6.

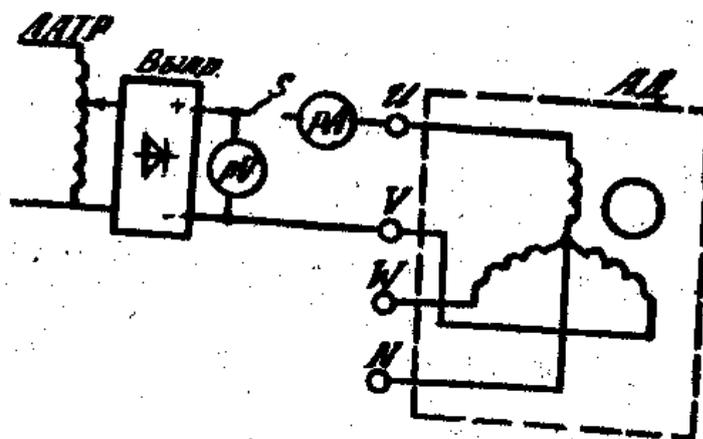


Рис. 5. Электрическая схема измерения сопротивления обмоток статора асинхронного электродвигателя

Рис. 5. Электрическая схема измерения сопротивления обмоток статора асинхронного электродвигателя

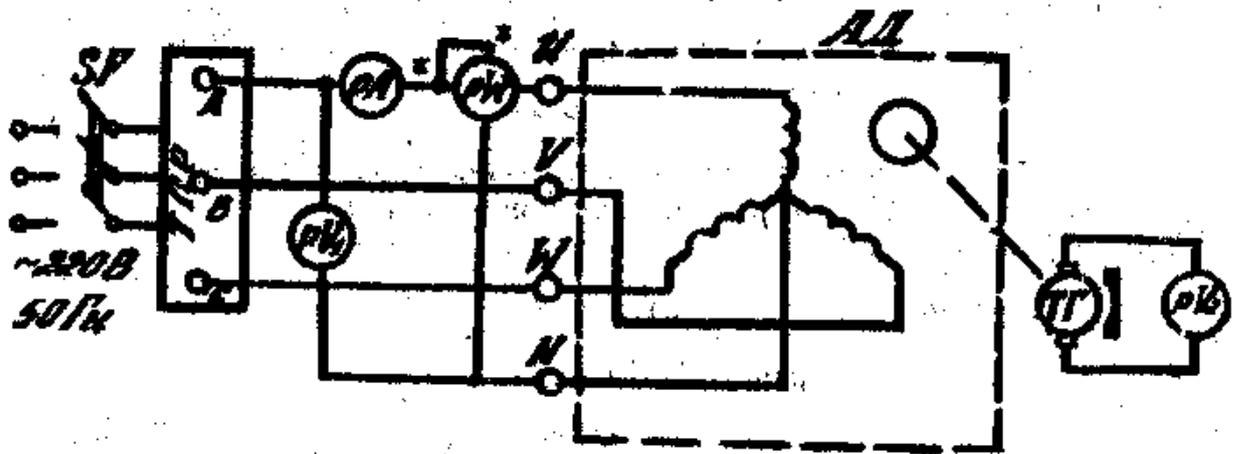


Рис. 6. Электрическая схема измерения потерь холостого хода асинхронного электродвигателя

Таблица 6

t, c	0	5	10	15	20	25	30
U_{TG}, B							
$n, об/мин$	1495						

По результатам измерений строится график выбега $n = f(t)$.

$$n = U_{TG} K_{TG},$$

где K_{TG} – масштабный коэффициент тахогенератора, равный 55,2 об/В.

Обработка результатов измерений

Мощность, потребляемая асинхронным электродвигателем на холостом ходу, имеет следующие составляющие:

$$P_0 = P_M + P_{СТ} + P_{МЕХ},$$

где P_M – потери в обмотках статора и ротора, $P_{СТ}$ – потери в стали магнитопровода, $P_{МЕХ}$ – механические потери на трение.

При отключении электродвигателя от сети ($U_C = 0$) из этой суммы остаются только механические потери – $P_{МЕХ}$, а электрические потери от-

сутствуют ($P_M + P_{СТ} = 0$). Механические потери осуществляют торможение электродвигателя.

Потери в обмотках (в меди) определяются выражением, Вт

$$P_M = R_{М.Ф} I_0^2.$$

Обычно принимают, что механические потери равны постоянным потерям в стали $P_{МЕХ} = P_C$ и, следовательно, могут быть определены выражением, Вт

$$P_{МЕХ} = 0,5(P_0 - P_M) = 0,5(P_0 - 1,5 R_{М.Ф} I_0^2).$$

2. Из основного уравнения движения электропривода

$$J d\omega / dt = M_{ДВ} - M_C,$$

при отключении двигателя от сети имеем

$$J d\omega / dt = -M_C.$$

Здесь J – момент инерции ротора, ω – угловая частота вращения ротора, M_C – момент сопротивления, определяемый механическими потерями

$$M_C = P_{МЕХ} / \omega_0.$$

Тогда момент инерции исследуемого двигателя

$$J = -M_C / (d\omega / dt) = -M_C / (\Delta\omega / \Delta t),$$

где Δt – время торможения (время выбега), $\Delta\omega$ – изменение частоты вращения от начального значения ω_0 до 0 (полная остановка), т. е.

$$\Delta\omega = 0 - \omega_0 = -\pi n_0 / 30.$$

Значение n_0 берется из табл. 6 в момент времени $t = 0$. Окончательно момент инерции определяется выражением, кг·м²

$$J = 9,12 \cdot P_{МЕХ} \cdot \Delta t / n_0^2.$$

Полученный результат следует сравнить с результатом геометрического расчета.

Содержание отчета

В отчете должны быть приведены:

1. Номинальные данные исследуемого электродвигателя и электроизмерительных приборов.
2. Эскиз с геометрическими размерами ротора.
3. Программа работы.
4. Электрическая схема лабораторной установки.
5. Таблицы с измеренными величинами.
6. Расчеты всех необходимых параметров для определения момента инерции ротора.
7. Выводы по различным методам оценки момента инерции ротора.

Контрольные вопросы

I. При допуске к лабораторной работе.

1. Что такое момент инерции электродвигателя, от каких конструктивных элементов он зависит?
2. Как можно измерить активное сопротивление обмоток статора асинхронного двигателя?
3. От каких величин зависит частота вращения холостого хода АД?
4. Какие потери мощности имеют место в АД?
5. Как можно подсчитать потери в обмотках АД?
6. Что такое тахогенератор, на основе каких электрических машин он может быть построен?
7. Что такое основное уравнение движения электропривода, от каких параметров оно зависит?

II. При защите отчета по лабораторной работе.

Все вопросы п. I и, кроме того:

1. Почему напряжение на якоре тахогенератора пропорционально его частоте вращения?
2. Как и с какой точностью определяется частота вращения холостого хода асинхронного двигателя?
3. Почему при измерении сопротивления обмоток статора между двумя клеммами, независимо от схемы соединения обмоток (звезда или треугольник), мощность потерь в обмотках определяется одним и тем же выражением?
4. Какое значение при практических расчетах имеет знание момента инерции электродвигателя?

5. Как определить момент инерции ротора, зная его геометрические размеры?

6. Как определить момент инерции ротора методом выбега (свободного торможения)?

7. Какой вид имеет уравнение движения электропривода при свободном торможении?

8. Каким образом можно определить механические потери в асинхронном электродвигателе?

9. Как можно определить электрические потери в асинхронном электродвигателе?

10. Из чего складываются электрические потери в асинхронном электродвигателе?

Лабораторная работа № 19

Изучение методов компенсации реактивной мощности электрических машин

Цель работы

1. Измерить реактивную мощность, потребляемую асинхронным электродвигателем и трансформатором.

2. Экспериментально подтвердить возможность снижения потребляемой реактивной мощности.

3. Закрепить теоретические знания, полученные на лекциях и практических занятиях.

Общие сведения

Электрические установки переменного тока всегда содержат потребители реактивной мощности, такие как электродвигатели, трансформаторы, сварочные аппараты и др. Реактивная мощность – Q является непродуктивной. Она необходима для создания в этих потребителях магнитного поля, без которого их работа невозможна.

Таким образом, установки переменного тока характеризуются активной мощностью – P , реактивной – Q и полной – S . Эти параметры связаны известными соотношениями

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2};$$

$$P = S \cos \varphi;$$

$$Q = S \sin \varphi.$$

В отличие от активной мощности, преобразующейся в механическую работу или тепло, непроизводительная реактивная мощность увеличивает затраты на производство электроэнергии (дополнительные потери в сетях, снижение напряжения, уменьшение располагаемой мощности питающих трансформаторов и т. д.). Поэтому в установках переменного тока возникает задача уменьшения или компенсации реактивной мощности.

Схема лабораторной установки

Лабораторная установка предусматривает возможность измерения коэффициента мощности и токов у различных потребителей электроэнергии при изменении нагрузки.

На рис. 7 приведена электрическая схема лабораторной трехфазной установки в однолинейном изображении. Питание схемы осуществляется от сети переменного трехфазного тока через автоматический выключатель и пакетный выключатель S_0 . Монтаж схемы выполнен стационарно. Студенты при выполнении лабораторной работы подключают сосредоточенные нагрузки с помощью пакетных выключателей $S_{АД}$, $S_{ТР}$, $S_{К}$, $S_{Л}$ в соответствии с программой работы.

Нагрузкой являются:

- асинхронный трехфазный двигатель АД мощностью 0,27 кВт;
- трехфазный понижающий трансформатор Тр 220 / 12 В с активной нагрузкой (лампами накаливания 5 ламп по 40 Вт в каждой фазе);
- статические конденсаторы C по 4 мкФ в каждой фазе.

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100

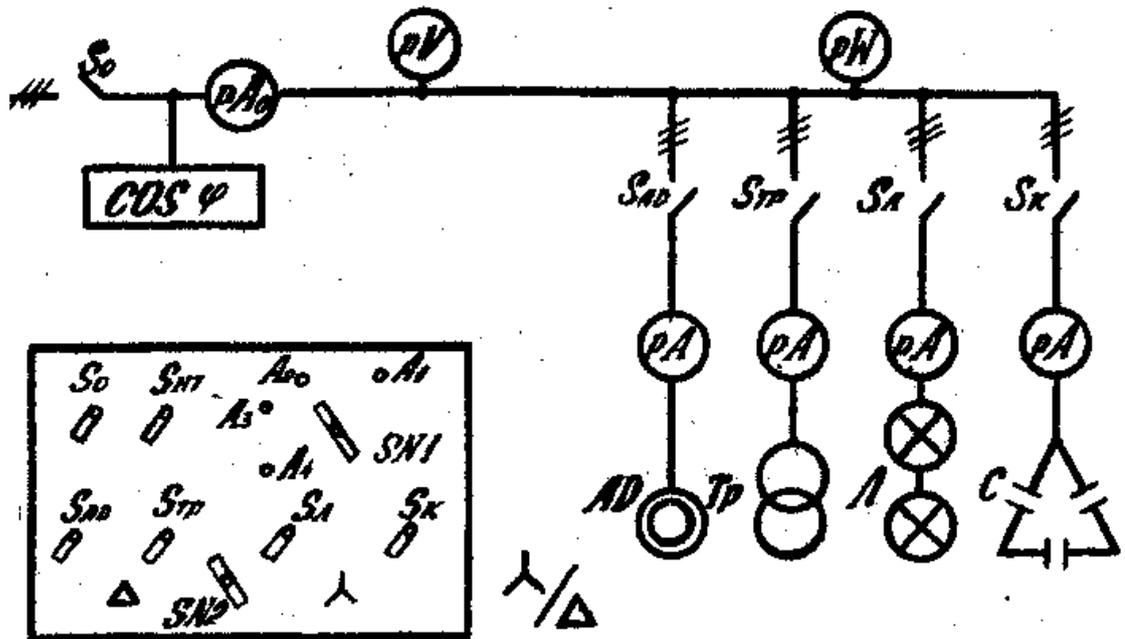


Рис. 7. Однолинейная схема лабораторной установки

Общий линейный ток измеряется с помощью амперметра pA_0 с пределом измерений, напряжение – вольтметром pV с пределом измерений, мощность – ваттметром pW с пределом измерений, сдвиг по фазе и коэффициент мощности – фазометром $\cos \varphi$ с пределом измерений. Ток, потребляемый каждой из нагрузок, может быть также измерен амперметром pA с пределом измерений, подключаемым в соответствующую цепь переключателем $SN1$. Нагрузка трансформатора изменяется выключателем S_{HT} , а схема включения обмоток асинхронного двигателя – переключателем $SN2(\Delta / Y)$.

Программа работы

1. Измерить коэффициент мощности приемников при различных нагрузках.
2. Исследовать влияние подключения статических конденсаторов на потребление реактивной мощности.
3. Построить векторную диаграмму токов (в масштабе для одной фазы) при различных характерах нагрузки.
4. Сделать выводы по работе.

Порядок выполнения работы

1. Изучить теоретический материал по потреблению реактивной мощности приемниками и влиянию характера и величины нагрузки на коэффициент мощности.
2. Ознакомиться с принципиальной электрической схемой лабораторной установки, приборами, аппаратами и прочим оборудованием и вписать их технические данные в отчет.
3. Убедиться, что выключатели $S_{АД}$, $S_{ТР}$, $S_{К}$, $S_{Л}$ находятся в положении “отключено”.
4. Включить автоматический выключатель на щитке. О наличии напряжения сигнализирует лампа, установленная на щите рядом с автоматическим выключателем.
5. Включить пакетный выключатель S_0 . Вольтметр pV , включенный на шины, показывает величину линейного напряжения.
6. Установить переключатель схемы соединения обмоток электродвигателя $SN2(\Delta / Y)$ в положение “треугольник” – Δ .
7. Подключить асинхронный двигатель к питающим шинам выключателем $S_{АД}$. Записать ток в линии, коэффициент мощности. Рассчитать величины потребляемых из сети активной и реактивной мощностей

$$P = \sqrt{3}IU_{л} \cos \varphi; \quad Q = \sqrt{3}IU_{л} \sin \varphi,$$

где $U_{л} = 220$ В. Данные занести в табл. 7 (строка 1).

8. Отключить электродвигатель от сети и установить переключатель $SN2(\Delta / Y)$ в положение “звезда” – Y . Повторить опыт по п. 7. Данные занести в табл. 7 (строка 2).

9. Отключить электродвигатель от сети. Нагрузить его механическим тормозом. Включить электродвигатель и повторить опыт по пп. 6–8. Данные занести в табл. 7 (строка 3).

10. Отключить электродвигатель от сети выключателем $S_{АД}$. Подключить трехфазный трансформатор к сети выключателем $S_{ТР}$. Трансформатор включается на холостой ход. Записать данные холостого хода в табл. 7 (строка 4).

11. Подключить к трансформатору активную нагрузку выключателем $S_{НТ}$. Записать результаты опыта в табл. 7 (строка 5).

12. Подключить параллельно нагруженному трансформатору батарею конденсаторов C выключателем $S_{К}$. Записать результаты опыта в табл. 7 (строка 6). Отключить трансформатор, нагрузку и батарею конденсаторов C от сети.

13. Соединить обмотки статора электродвигателя “треугольником”. Нагрузить его. Подключить к линии нагруженный активной нагрузкой (лампы накаливания) трансформатор. Произвести измерения и записать результаты опыта в табл. 7 (строка 7).

14. При полностью включенной нагрузке (лампах накаливания) подключить батарею конденсаторов C и вновь записать параметры линии в табл. 7 (строка 8).

15. Привести установку в исходное состояние: все выключатели $S_{АД}$, $S_{ТР}$, $S_{К}$, $S_{Л}$ и $S_{О}$ должны находиться в положении “отключено”.

По окончании опыта отключить питание установки на щитке.

Таблица 7

Номер опыта	Потребитель	Измеряемые параметры		Вычисляемые параметры		
		$I, А$	$\cos \varphi$	$P, Вт$	$\sin \varphi$	$Q, вар$
1	АД на холостом ходу (Δ)					
2	АД на холостом ходу (Y)					
3	АД (Δ) с нагрузкой					
4	Трансформатор на холостом ходу					

Номер опыта	Потребитель	Измеряемые параметры		Вычисляемые параметры		
		$I, \text{А}$	$\cos \varphi$	$P, \text{Вт}$	$\sin \varphi$	$Q, \text{вар}$
5	Трансформатор с активной нагрузкой					
6	Трансформатор с активной нагрузкой + батарея C					
7	АД с нагрузкой + трансформатор с нагрузкой					
8	АД с нагрузкой + трансформатор с нагрузкой + батарея C					

Содержание отчета

1. Номинальные данные асинхронного двигателя, трансформатора, измерительных приборов.
2. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки.
3. Таблицы с измеренными и вычисленными величинами.
4. Векторные диаграммы, иллюстрирующие влияние компенсирующего устройства.

Контрольные вопросы

I. При допуске к лабораторной работе.

1. По какому измерительному прибору определяется величина коэффициента мощности электроустановки?
2. Какие способы компенсации реактивной мощности применяются в электроустановках?
3. По каким формулам определяется мощность компенсирующего устройства?
4. От каких параметров зависит величина коэффициента мощности у асинхронного двигателя?

II. При защите лабораторной работы.

Все вопросы п. I и, кроме того:

1. Как можно определить реактивную мощность асинхронного двигателя по паспортным данным?
2. Какие методы повышения коэффициента мощности применяются для асинхронных двигателей?
3. Какие способы снижения потребления реактивной мощности на предприятиях вы знаете?
4. Какие причины обуславливают низкое значение коэффициента мощности электроустановок с асинхронными электроприводами?
5. Как определяется мощность и емкость конденсаторной батареи, применяемой в качестве компенсирующего устройства?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Арменский Е.В., Прокофьев П.А., Фалк Г.Б.** Автоматизированный электропривод: Учеб. пособие для сред. ПТУ. – М.: Высш. шк., 1987. – 143 с.
2. **Иванов И.И., Равдоник В.С.** Электротехника. – М.: Высш. шк., 1984. – 357 с.
3. **Касаткин А.С., Немцов М.В.** Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 430 с.
4. **Ковчин С.А., Сабинин Ю.А.** Теория электропривода. – СПб.: Энергоатомиздат, 1994. – 496 с.
5. **Чиликин М.Г., Сандлер А.С.** Общий курс электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 576 с.

Содержание

Введение.....	3
Лабораторная работа № 16. Испытание электродвигателя постоянного тока независимого возбуждения типа ДПР.....	3
Лабораторная работа № 17. Исследование способов регулиро- вания частоты вращения двигателей постоянного тока.....	10
Лабораторная работа № 18. Определение момента инерции ротора асинхронного электродвигателя.....	15
Лабораторная работа № 18. Изучение методов компенсации реактивной мощности электрических машин	22
Список литературы	28

**Батяев Анатолий Алексеевич
Новотельнова Анна Владимировна
Русанов Александр Викторович**

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ЭЛЕКТРОПРИВОД

Методические указания
к выполнению лабораторных работ
по курсу “Электротехника и основы электроники”
для студентов всех специальностей

Редактор М. Б. Кановская

Корректор Н. И. Михайлова

ЛР № 020414 от 12. 02. 97

Подписано в печать 4.12.2000. Формат 60×84 1/16. Бум.писчая

Печать офсетная Усл. печ. л. 1,86. Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,5

Тираж 500 экз. Заказ № С 32

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИПЦ СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9