

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

---

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

---

М. В. СОЧАВА, Н. А. ХОМИЦЕВИЧ

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Методические рекомендации  
для подготовки к лабораторным работам по курсу

Санкт-Петербург  
2020

УДК 621.313

Сочава М.В., Хомицевич Н.А. Электрические машины: Методические рекомендации для подготовки к лабораторным работам по курсу – СПб, 2020, 29 с.

Методические рекомендации предназначены для студентов Института Энергетики изучающих курс «Электрические машины» по программе подготовки бакалавров по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и Электротехника».

Кратко описаны методы и виды испытания электрических машин разных типов в лаборатории «Электрические машины», приведена общая информация об используемых при проведении лабораторных работ устройствах, применяемых для нагрузки электрических машин, и об источниках регулируемого трехфазного напряжения.

Даны рекомендации по подготовке к проведению лабораторной работы. По каждой работе приведены контрольные вопросы для самопроверки.

Содержание		Стр.
Введение		4
1. Общие вопросы испытаний электрических машин в лаборатории		5
1.1. Параметры и режимы работы электрической машины.		5
Термины и определения.		8
1.2. Виды испытаний электрических машин.		8
Способы и устройства нагружения электрических машин		13
1.3. Регулирование напряжения при испытаниях		16
2. Подготовка к выполнению лабораторных работ		16
2.1. Испытание электрических машин постоянного тока		20
2.2. Испытание трансформаторов		22
2.3. Испытание электрических машин переменного тока.		22
Синхронные машины		26
2.4. Испытание электрических машин переменного тока.		26
Асинхронные машины		29
Список литературы		29

## **Введение**

Учебные испытания основных типов электрических машин и трансформаторов являются важным и эффективным средством их изучения и представляют необходимый этап освоения программы курса «Электрические машины». Проведение цикла лабораторных работ позволяет, с одной стороны, возможно полнее объяснить физические процессы, происходящие в электрических машинах и подтвердить основные теоретические положения, изучаемые в соответствующих разделах курса. С другой стороны, в процессе лабораторных испытаний студенты знакомятся с техникой и методологией проведения эксперимента, способами измерения отдельных электрических и неэлектрических величин, методикой обработки результатов эксперимента и анализа полученных данных, т.е. приобретают некоторые навыки исследователя-экспериментатора. Кроме того, на основании полученных результатов, студенты могут определить основные параметры электрических машин и оценить влияние на них различных факторов, таких как конструкция активной части машины, свойства используемых электротехнических материалов и т.п. Результаты испытаний позволяют также оценить характеристики данной электрической машины и установить количественные соотношения между отдельными величинами, определяющими тот или иной эксплуатационный режим.

# 1. Общие вопросы испытаний электрических машин в лаборатории

## 1.1. Параметры и режимы работы электрической машины.

### Термины и определения.

Чрезвычайно широкая область применения электрических машин потребовала стандартизации основных понятий, характеризующих режимы работы электрической машины, определение параметров и проведение испытаний. Российские стандарты (ГОСТы) содержат более 200 терминов и определений в этой области. Приведем определения терминов, наиболее часто употребляемых в лабораторном практикуме.

*Номинальными данными* электрических машин называют основные энергетические показатели, параметры и переменные величины, характеризующие режим работы, для которого она предназначена заводом-изготовителем. К ним относят мощность, напряжение, род, частоту и силу тока, частоту вращения машины, коэффициент полезного действия (КПД), коэффициент мощности, режим работы и ряд других. Номинальные данные указывают на ограничения в использовании электрической машины по условиям термической, электрической и механической прочности.

Термин «номинальный» применяют как к переменным, указанным в табличке паспортных данных, так и к величинам, не приведенным в паспортной табличке, но относящимся к её номинальному режиму. Например, номинальный вращающий момент, номинальное скольжение и др. Кроме номинальных величин в табличке паспортных данных указывается завод-изготовитель, год выпуска электрической машины, класс изоляции и др.

*Режим работы* электрической машины – установленный порядок чередования и продолжительности нагрузки, холостого хода, отключения, пуска, торможения и реверса (изменения направления вращения), определяющий выделение тепла в машине и её нагрев. Большинство

выпускаемых промышленностью электрических машин имеет длительный режим работы S1, при котором допускается сколь угодно длительная их работа с режимными переменными, не превышающими номинальные величины. Классификация выделяет всего десять режимов работы, обозначаемых знаками S1...S10

С другой стороны, под режимом работы понимают характер преобразования энергии в электрической машине. В этом случае говорят о генераторном, двигательном режиме работы, режиме электромагнитного тормоза, динамического торможения, холостого хода, короткого замыкания.

*Номинальная мощность* – мощность, для работы с которой в номинальном режиме предназначена электрическая машина. Под номинальной мощностью всегда понимается отдаваемая полезная мощность машины. Для трансформаторов и генераторов номинальной является отдаваемая электрическая мощность (мощность на выводах вторичной или якорной обмотки). Для электродвигателей номинальной является механическая мощность на валу. Для синхронных генераторов и трансформаторов эта мощность выражается в вольт-амперах [ВА] или киловольт-амперах [кВА], а для генераторов и двигателей постоянного тока и асинхронных двигателей – в ваттах [Вт] или киловаттах [кВт].

*Номинальное напряжение и номинальный ток* – напряжение и ток машины или трансформатора, на которые они рассчитаны заводом-изготовителем при работе в номинальном режиме. Для трехфазных электрических машин и трансформаторов в паспорте указывается *линейное напряжение*.

*Коэффициент мощности* машин переменного тока характеризует отношение активной мощности к её полной электрической мощности.

*Нагрузка* – мощность, которую развивает электрическая машина в рассматриваемый момент времени, выраженная в единицах выходной мощности или в процентах или долях номинальной мощности. Для автономных генераторов и трансформаторов нагрузку составляют

подключенные к ним электроприёмники; для электродвигателя это рабочая или нагрузочная испытательная машина, присоединенная к её валу. Нагрузка может характеризоваться током машины, выраженным в процентах или долях номинального тока. Номинальная нагрузка – нагрузка, равная номинальной мощности машины.

*Параметрами электрических машин* являются активные и индуктивные сопротивления, собственные и взаимные индуктивности, индуктивности рассеяния и полные индуктивности обмоток, момент инерции. Параметрами являются коэффициенты перед независимыми переменными в уравнениях напряжений и уравнении движения электрической машины.

Вследствие разнообразия конструкций электрических машин и сложности математического описания электромагнитных и электромеханических процессов в статических и динамических режимах работы, электрическая машина характеризуется достаточно большим числом параметров. Часть параметров используется для описания и статических, и динамических режимов работы, например, активное сопротивление обмотки. Другая часть характеризует только один из режимов, например, переходные и сверхпереходные сопротивления синхронной машины. Измерение или опытное определение параметров является важной составной частью испытаний электрической машины и предметом изучения в лабораторном практикуме.

*Переменными величинами,* характеризующими энергетическое состояние электрической машины, являются токи в обмотках, электрические напряжения на разных элементах её конструкции, ЭДС обмоток, магнитный поток, вращающий момент, частота вращения и другие величины, изменяющие своё значение при изменении условий работы электрической машины. Часть параметров и переменных величин поддается прямому измерению, другие определяются расчетным путем по результатам испытания электрической машины.

## 1.2. Виды испытаний электрических машин.

### Способы и устройства нагружения электрических машин

Целью промышленных испытаний электрических машин является проверка их пригодности к предназначенной работе и оценка соответствия качества изделия предъявляемым требованиям. Лабораторные испытания проводятся с целью определения параметров машин и изучения характеристик электрических машин, раскрывающих их свойства.

Виды промышленных испытаний электрических машин регламентируются ГОСТами. Для серийных электрических машин проводят следующие виды испытаний: приемочные, приемо-сдаточные, периодические, типовые, специальные и исследовательские испытания. Каждый вид испытаний проводится по утвержденным программам. Определение основных характеристик машины повторяется в испытаниях разного вида.

Лабораторные исследовательские испытания во многих случаях повторяют промышленные испытания, однако нередко в них включают особые опыты, выходящие за рамки стандартных программ промышленных испытаний и позволяющие установить определенные закономерности взаимного влияния переменных величин машины.

Свойства электрических машин выявляют их характеристики, представляющие в графической или табличной форме закономерности такого взаимного влияния переменных. При проведении испытаний электрических машин, студенту следует анализировать как получаемые характеристики электрических машин, так и методику проведения испытаний.

По технике выполнения испытания электрических машин разделяют на *испытания неподвижных машин* и *испытания вращающихся машин*.

По способу приведения электрических машин во вращение различают *испытания в режиме генератора* или тормоза, когда электрическая машина приводится во вращение каким-либо первичным двигателем, как правило, электрическим, и *испытания в режиме двигателя*, при которых машина

подключается к источнику электроэнергии, отвечающему требованиям данного вида испытания.

В качестве приводного двигателя при испытаниях генератора могут использоваться электродвигатели любого типа, однако наиболее часто используются двигатели постоянного тока и синхронные двигатели. Синхронные двигатели позволяют поддерживать постоянную скорость при проведении испытаний, что позволяет студенту сосредоточить внимание на работе исследуемого генератора и испытательного оборудования. Двигатели постоянного тока применяют при необходимости регулирования частоты вращения машины при испытании. Номинальные данные приводных двигателей должны соответствовать задачам данного испытания.

В качестве нагрузки генератора в опыте могут использоваться различные электроприемники, но обычно эту роль выполняют реостаты с плавным или ступенчатым регулированием сопротивления (регуляторы активной мощности) и электромашинные (индукционные) регуляторы тока (регуляторы реактивной мощности). Номинальные ток и мощность таких регуляторов должны быть согласованы с соответствующими номинальными данными генератора и задачами эксперимента.

Многие испытания двигателей сопровождаются регулированием его нагрузки (мощности на валу). Этим целям служат так называемые *нагрузочные устройства*. Наиболее часто используются нагрузочные устройства на базе генераторов постоянного тока параллельного или независимого возбуждения, а также специальные нагрузочные тормоза электромагнитного или механического типа.

Испытания электрической машины требуют затрат энергии, которая может поглощаться самой испытуемой машиной или передаваться через нее внешним устройствам. К испытаниям без значительных затрат энергии относятся опыты холостого хода и короткого замыкания генераторов; к энергозатратным испытаниям с отдачей энергии внешним устройствам относятся опыты по определению внешних, регулировочных и рабочих

характеристик. Промежуточное положение занимают испытания генераторов переменного тока и трансформаторов при реактивной нагрузке, когда машина нагружается реактивным током, сопоставимым с номинальным током машины, без больших затрат механической и активной электрической мощности.

Испытания с отдачей энергии подразделяют на испытания с *безвозвратным поглощением энергии*, когда вся отдаваемая машиной энергия поглощается в нагрузочных устройствах – реостатах (для генераторов) или тормозах (для двигателей), и испытания с *возвратом энергии*, когда потребляемая при испытании энергия, за вычетом потерь, возвращается источнику энергии (в питающую сеть). Испытания с возвратом энергии требуют применения сложного оборудования, что часто нежелательно в учебных лабораториях, поскольку затрудняет понимание электромагнитных и электромеханических процессов в испытываемой машине. С другой стороны, устройства с возвратом энергии потребляют меньше электроэнергии и потому экономичнее.

#### *Нагрузочные устройства без возврата энергии*

Наиболее простым способом нагрузки генератора является включение его на нагрузочный резистор с регулируемым или нерегулируемым сопротивлением. Для генераторов переменного тока широко применяются регулируемые индуктивные сопротивления, нагружающие генератор реактивным током.

Регулируемую нагрузку двигателей без возврата энергии можно создавать тормозными устройствами различного принципа действия. В качестве таких устройств в лаборатории используются *электромагнитные тормоза* (рис.1.). Их принцип действия основан на тормозящем действии вихревых токов, наводимых при вращении в магнитном поле электромагнита в металлическом (стальном, медном или алюминиевом) диске, закрепленном на валу испытуемого электродвигателя. Вихревые токи при взаимодействии с магнитным полем электромагнита создают тормозной момент, передаваемый

на вал двигателя. Равный ему крутящий момент прикладывается к конструкции электромагнита, благодаря чему последний отклоняется на угол, при котором крутящий момент уравнивается моментом массивного маятника, жестко соединенного с электромагнитом. О величине момента судят по углу отклонения маятника. Регулирование момента на валу испытываемого двигателя производится изменением тока электромагнита.

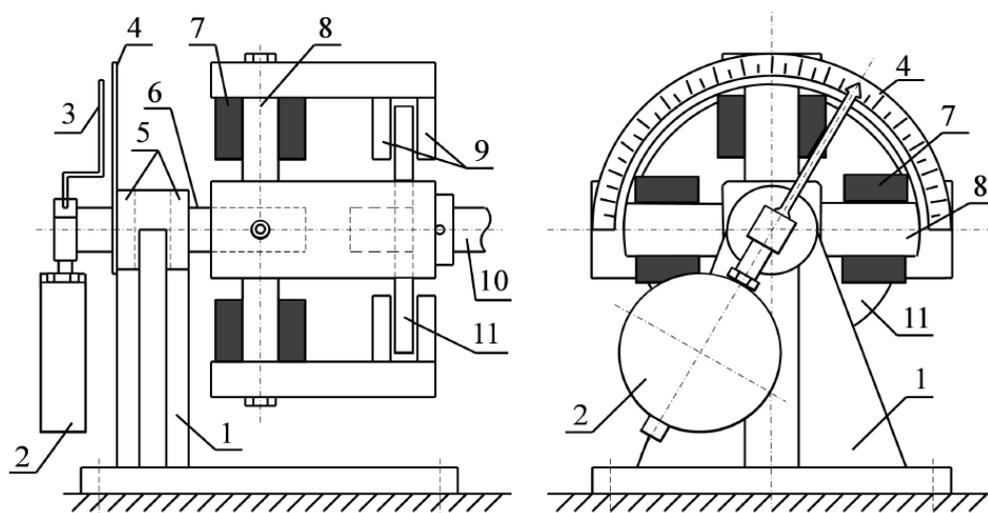


Рис. 1. Электромагнитный тормоз

1-стойка, 2-груз, 3 -стрелка, 4-шкала, 5- подшипники, 6- ось электромагнита, 7-обмотка электромагнита, 8-электромагнит, 9-полюсные наконечники электромагнита, 10 –вал испытываемого двигателя, 11- металлический диск

Для снятия механических характеристик двигателей постоянного тока и асинхронных машин в двигательном режиме в качестве нагрузочной машины также используются генераторы постоянного тока независимого или параллельного возбуждения (рис.2). Номинальная мощность генератора должна быть несколько большей, чем у испытываемого двигателя, поскольку нагружать вал необходимо в большом диапазоне при большом диапазоне изменения частоты вращения. Электромагнитный момент  $M$ , развиваемый генератором постоянного тока, пропорционален току якоря  $I_a$  и магнитному потоку  $\Phi$  ( $M = kI_a\Phi$ ). Магнитный поток ненасыщенной машины в первом

приближении можно считать зависящим только от тока возбуждения

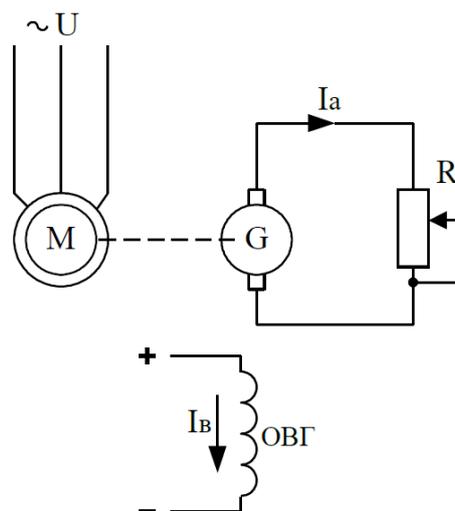


Рис. 2. Схема нагрузки без возврата энергии

(пренебрегаем влиянием реакции якоря). При этом момент будет прямо пропорциональным току якоря и, регулируя последний реостатом  $R$ , можно соответствующим образом регулировать момент генератора. При жестком соединении валов испытываемого двигателя и нагрузочного генератора, согласно закону сохранения энергии, в установившемся режиме имеет место равновесие моментов, при котором момент двигателя численно равен моменту нагрузочного генератора. Измеряя (или вычисляя) момент генератора, определяют величину момента двигателя.

#### *Нагрузочные стенды с возвратом энергии*

Возврат источнику части энергии, передаваемой через испытываемую машину, позволяет эффективно решить ряд задач, главными из которых являются сокращение затрат электроэнергии на испытание (энергосбережение) и улучшение микроклимата в испытательной лаборатории за счет исключения нагрузочных устройств нагревательного типа. Разновидностью схем возвратной работы являются схемы *взаимной нагрузки* электрических машин (рис.3), где одна машина, работая в режиме двигателя, отдает энергию нагрузочному генератору, который, в свою очередь, вырабатываемую электрическую энергию передает указанному

двигателю. Приток энергии извне требуется только на покрытие потерь энергии в обеих машинах.

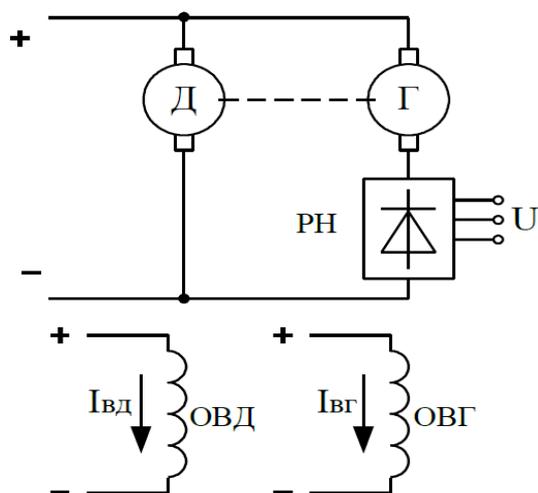


Рис. 3. Схема взаимной нагрузки ЭМ

### 1.3. Регулирование напряжения при испытаниях

При проведении испытаний электрических машин требуются источники регулируемого трехфазного напряжения. В качестве таких источников наиболее часто используются *трехфазные регулируемые автотрансформаторы и индукционные регуляторы*

Принцип действия однофазных регулируемых автотрансформаторов реализован в широко известном лабораторном автотрансформаторе (ЛАТР). В трехфазном регулируемом автотрансформаторе скользящие контакты (щетки) параллельно перемещаются по трем обмоткам трехфазного стержневого трансформатора. Такие регуляторы напряжения снабжаются ручным приводом с поворотной рукояткой и червячным редуктором. Индукционный регулятор мощностью до 10 кВА изготавливают на базе серийного фазорегулятора ФРО (фазорегулятор обдуваемый). Конструктивно индукционный регулятор представляет собой асинхронную машину с фазным ротором, снабженную устройством регулирования положения ротора относительно статора и удержания ротора в этом положении (затормаживания). Как разновидность асинхронной машины с

заторможенным ротором индукционный регулятор изучается в теоретической части курса «Электрические машины».

Схемы соединения обмоток индукционного регулятора (ИР) могут быть различными. Наиболее часто применяется автотрансформаторная схема соединения обмоток, представленная на рис.4. Соединенная в звезду, обмотка ротора является первичной обмоткой, и подключается к питающей сети. Намагничивающий ток этой обмотки создает вращающееся магнитное поле, которое, в свою очередь, наводит ЭДС в обмотках статора и ротора. Статорная обмотка включается как проходная последовательно с нагрузкой (электроприемником). При изменении углового положения ротора изменяется начальная фаза ЭДС обмотки статора, вследствие чего изменяется выходное напряжение регулятора (на зажимах С4, С5, С6), являющееся векторная сумма напряжения сети и ЭДС обмотки статора.

Диапазон регулирования выходного напряжения регулятора зависит от коэффициента трансформации машины. Обычно этот коэффициент близок к единице и напряжение регулируется от нуля до двойного напряжения сети.

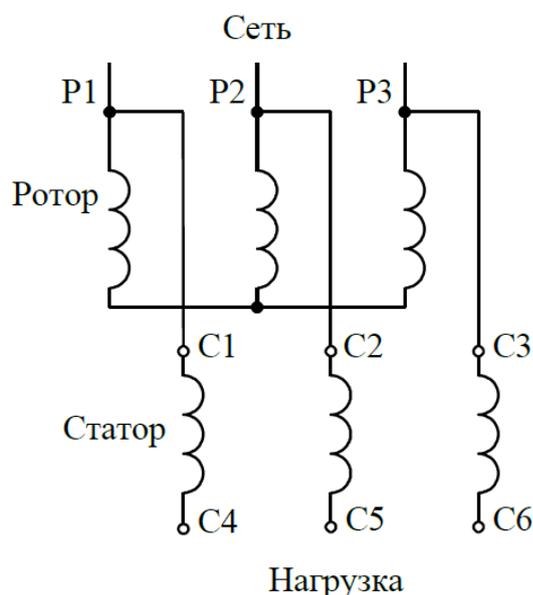


Рис. 4. Схема соединения обмоток ИР напряжения

Индукционный регулятор легко трансформируется в *регулируемое индуктивное сопротивление*, используемое для нагрузки синхронного генератора или трансформатора реактивным током. Для этого обмотки

машины включаются, как показано на рис. 5. Общее реактивное сопротивление обмоток определяется сопротивлениями самоиндукции и взаимной индукции обмоток статора и ротора. Изменение величины результирующего индуктивного сопротивления достигается изменением взаимного положения магнитных осей фазных обмоток статора и ротора и происходит за счет изменения коэффициента взаимной индукции.

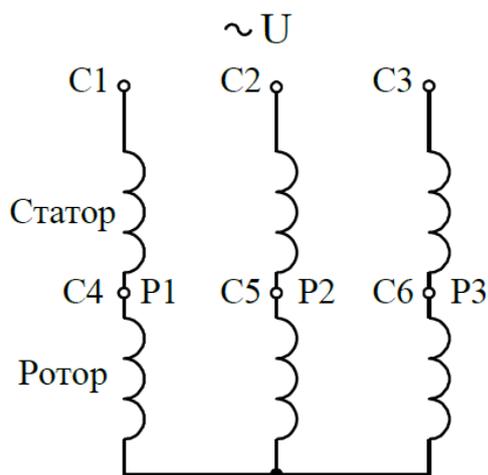


Рис. 5. Схема соединения обмоток регулируемого индукционного сопротивления

## **2. Подготовка к выполнению лабораторных работ**

Каждая лабораторная работа состоит из следующих взаимосвязанных этапов:

- домашняя подготовка к лабораторной работе, изучение соответствующей литературы, ответ на контрольные вопросы;
- ознакомление с техникой проведения эксперимента; определение диапазона изменения значений измеряемых величин;
- организация и подготовка испытания на рабочем месте в лаборатории (подбор измерительных приборов, сборка и апробирование схемы);
- допуск к лабораторной работе, заключающийся в собеседовании с преподавателем и ответе на теоретические вопросы и вопросы, связанные с организацией и проведением эксперимента;
- проведение испытаний машины и контрольная обработка результатов во время испытания;
- домашняя обработка результатов испытания, оформление отчета и оценка полученных данных.

### **2.1. Испытание электрических машин постоянного тока**

При подготовке к циклу лабораторных работ по испытанию МПТ необходимо изучить соответствующие главы учебника [1] и учебного пособия [3], разобраться в схемах, знать устройство, принципы действия, виды основных характеристик изучаемых машин.

После изучения необходимо, в качестве самопроверки, ответить на контрольные вопросы.

#### **Работа 1. Испытание двигателя параллельного возбуждения (ДПТ)**

1. Чем определяется величина тока якоря двигателя?
2. Что является нагрузкой двигателя, каким образом она создается в лабораторных условиях?

3. Чем опасен обрыв в цепи возбуждения ?
4. Как выбираются измерительные приборы и реостаты в цепи якоря двигателя в зависимости от исследуемой характеристики?
5. Каково назначение пускового реостата?
6. Чему равен пусковой ток при прямом пуске ДПТ?
7. Для чего применяется последовательная (стабилизирующая) обмотка и как она должна быть включена в цепь якоря?
8. Где располагается обмотка последовательного возбуждения?
9. Как можно изменить направление вращения ДПТ?
10. Как опытным путем определить номинальные значения момента  $M_{2н}$  и тока возбуждения  $i_{вн}$ ?
11. Как определить значение номинального момента расчетным путем по номинальным данным машины?
12. Какие существуют способы регулирования частоты вращения двигателя?
13. Что такое естественная и искусственные механические характеристики?
14. В каком диапазоне можно регулировать скорость вращения ДПТ при якорном и полюсном управлении, при управлении с помощью реостата в цепи якоря. Каковы достоинства и недостатки каждого из перечисленных способов?

## **Работа 2. Испытание двигателя последовательного возбуждения**

1. Чем определяется величина тока якоря двигателя?
2. Что является нагрузкой двигателя, каким образом она создается в лабораторных условиях?
3. Чем определяется величина магнитного потока в двигателе?
4. Каковы особенности пуска двигателя последовательного возбуждения?
5. Каково исходное положение реостатов в цепях обмотки якоря и электромагнитного тормоза перед пуском двигателя?

6. Как опытным путем определить номинальные значения момента  $M_{2н}$  и частоты вращения  $n_n$  двигателя?
7. Какими способами регулируется частота вращения двигателя?
8. Как изменить направление вращения двигателя?
9. Чем объясняется увеличение скорости вращения двигателя последовательного возбуждения при уменьшении нагрузки на валу?
10. Укажите достоинства, недостатки и область применения двигателей последовательного возбуждения.
11. При каком способе регулирования частоты вращения возможен режим холостого хода?
12. Что такое шунтирование обмоток, как оно влияет на вид механических характеристик?

### **Работа 3. Испытание генератора постоянного тока**

1. Как генераторы постоянного тока различаются по виду возбуждения?
2. Каково соотношение между номинальными значениями токов возбуждения  $i_{вн}$  и якоря  $I_{ан}$  генератора независимого возбуждения?
3. Каким образом регулируется и поддерживается постоянная скорость вращения генератора при снятии его характеристик?
4. Что может являться нагрузкой генератора? Как ее можно регулировать?
5. Как выбираются измерительные приборы и реостаты в цепях возбуждения и якоря генератора?
6. Как можно регулировать нагрузку генератора?
7. Как опытным путем найти номинальный ток возбуждения генератора?
8. Каковы условия самовозбуждения генератора параллельного и смешанного возбуждения?
9. Что такое остаточное напряжение и остаточная намагниченность? Как можно размагнитить генератор?

10. Чем различаются условия определения внешних характеристик генераторов независимого и параллельного возбуждения?
11. Как опытным путем определить правильность включения последовательной обмотки в генераторе смешанного возбуждения?
12. Что такое согласное и встречное включение последовательной обмотки?
13. Каковы причины изменения напряжения генератора независимого возбуждения при изменении тока нагрузки при постоянном возбуждении?
14. Почему внешняя характеристика генератора при параллельном возбуждении падает более круто, чем при независимом возбуждении?

#### **Работа 4. Параллельная работа генераторов параллельного возбуждения**

1. Каковы условия включения генераторов постоянного тока на параллельную работу? Чем опасно их невыполнение?
2. Как определить величину уравнивающих токов, возникающих при невыполнении каждого из условий включения генераторов на параллельную работу?
3. Как можно контролировать выполнение условий включения генераторов на параллельную работу?
4. В чем различие параллельной работы генераторов в режимах внешней и регулировочной характеристик?
5. Какова последовательность действий при осуществлении параллельной работы генераторов в режиме регулировочной характеристики при увеличении и уменьшении нагрузки?
6. Как осуществляется перевод нагрузки с одного генератора на другой?
7. Какой из двух генераторов будет разгружаться быстрее при их параллельной работе в режиме внешней характеристики?

## **Работа 5. Потери и коэффициент полезного действия**

1. Какие виды потерь существуют в машине постоянного тока?
2. Какие потери относятся к потерям холостого хода, а какие к потерям короткого замыкания?
3. Какие существуют методы определения составляющих потерь холостого хода? На чем основаны эти методы?
4. Какие опыты необходимо провести для определения потерь холостого хода по методу вспомогательного двигателя?
5. Почему в опыте определения потерь по способу вспомогательного нетарированного двигателя следует поддерживать постоянный ток в обмотке возбуждения и частоту вращения двигателя?
6. Какие существуют способы определения КПД? В чем их достоинства и недостатки?
7. В чем сущность способа определения КПД по методу взаимной нагрузки?
8. Каков порядок регулирования режима работы системы генератор-двигатель при определении КПД методом взаимной нагрузки?

## **2.2. Испытание трансформаторов**

При подготовке к циклу лабораторных работ по испытанию трансформаторов необходимо изучить соответствующие главы учебника [2] и учебного пособия [4], разобраться в схемах, знать устройство, принципы действия, виды основных характеристик изучаемых устройств.

После изучения необходимо, в качестве самопроверки, ответить на контрольные вопросы.

### **Работа 1. Трехфазный двухобмоточный трансформтор**

#### **Опыты холостого хода и короткого замыкания**

1. Что означают термины «холостой ход» и «короткое замыкание» трансформатора?

2. Как проводится опыт холостого хода трансформатора?
3. Каково соотношение между номинальными значениями тока холостого хода и нагрузки?
4. Чем вызвана несимметрия фазных токов в трехстержневом трансформаторе, наблюдаемая в опыте холостого хода?
5. Какие способы измерения мощности трехфазной цепи переменного тока вы знаете? В чем сущность метода двух ваттметров?
6. Чем объясняется вид характеристики холостого хода?
7. Как проводится опыт короткого замыкания трансформатора?
8. Каково соотношение между номинальными
9. Как определяются параметра схемы замещения по данным опыта холостого хода и короткого замыкания?
10. Что такое коэффициент трансформации? Как его можно определить экспериментально?
11. Что такое напряжение короткого замыкания трансформатора и как оно определяется?
12. Почему с ростом нагрузки трансформатора изменяется вторичное напряжение  $U_2$ ? От чего зависит характер этого изменения?
13. Что представляют собой потери холостого хода и потери короткого замыкания? Как экспериментально определить эти потери?
14. При каких условиях КПД трансформатора будет максимальным?

### **Несимметричные режимы**

15. Какие существуют виды несимметричных коротких замыканий в трансформаторе?
16. Какая из групп трансформатора  $0$  или  $II$  предпочтительнее при наличии значительной несимметрии нагрузки и почему?
17. В чем сущность метода определения сопротивления нулевой последовательности
18. В каких случаях при несимметричной нагрузке появляется ток нулевой последовательности, а в каких он отсутствует?

19. Что является причиной несимметрии вторичных напряжений 3-х трансформаторов при несимметричной нагрузке?
20. Почему при схеме соединения  $\Delta/Y_0$  при несимметричной нагрузке вторичные фазные напряжения трансформатора практически симметричные?

## **Работа 2. Параллельная работа трехфазных двухобмоточных трансформаторов**

1. Что понимается под группой соединения обмоток трансформатора?
2. Каким образом можно изменить группу соединения обмоток трансформатора?
3. Как экспериментально определить группу соединения?
4. Какие условия должны быть соблюдены при включении трансформаторов на параллельную работу?
5. Что произойдет, если включить на параллельную работу трансформаторы с разными группами соединения?
6. Каковы физические причины возникновения уравнительного тока? Как определить его величину?
7. Какое влияние оказывает неравенство напряжений короткого замыкания на распределение тока нагрузки между параллельно работающими трансформаторами?
8. Как проверяют одинаковость групп перед включением двух трансформаторов на параллельную работу?

### **2.3. Испытание электрических машин переменного тока.**

#### **Синхронные машины**

При подготовке к циклу лабораторных работ по испытанию синхронных машин необходимо изучить соответствующие главы учебника

[2] и учебного пособия [6], разобраться в схемах, знать устройство, принципы действия, виды основных характеристик изучаемых машин.

После изучения необходимо, в качестве самопроверки, ответить на контрольные вопросы.

### **Работа 1. Трехфазный синхронный генератор**

1. Как регулируется частота вращения синхронного генератора? Как ее можно контролировать?
2. Что является нагрузкой синхронного генератора? Как она регулируется?
3. Как можно установить и контролировать требуемое значение  $\cos \varphi$ ?
4. Каковы цели и в чем особенности снятия характеристик холостого хода и нагрузочной индукционной характеристики синхронного генератора?
5. Почему при снятии характеристики холостого хода синхронного генератора изменение тока возбуждения производят плавно и только в одном направлении?
6. Для чего снимают характеристики короткого замыкания генератора и какие их виды вы знаете?
7. Какое из коротких замыканий является самым опасным и почему?
8. Каковы особенности определения внешних и регулировочных характеристик синхронного генератора? Поясните вид этих характеристик.
9. Что понимается под номинальным значением тока возбуждения?
10. Почему при изменении тока статора синхронного генератора для поддержания постоянного напряжения необходимо регулировать ток возбуждения?
11. Можно ли регулировать напряжение синхронного генератора изменением частоты вращения ротора?

12. Почему для явнополюсных синхронных машин синхронные индуктивные сопротивления по продольной  $x_d$  и по поперечной  $x_q$  осям имеют разные значения?
13. С помощью каких опытов можно определить синхронное продольное индуктивное сопротивление  $x_d$ ?
14. Как проводится опыт по определению сопротивлений обратной последовательности  $r_2$  и  $x_2$  синхронной машины?
15. В чем сущность нахождения значений сверхпереходных сопротивлений и сопротивлений нулевой последовательности синхронного генератора статическим методом? Как контролируется положение ротора при их определении?
16. Что такое диаграмма Потье? Какие данные нужны для ее построения?

## **Работа 2. Трехфазный синхронный двигатель**

1. Какие существуют способы пуска синхронного двигателя?
2. Каковы условия точной синхронизации синхронной машины с сетью? Как необходимо контролировать выполнение этих условий?
3. Как работает ламповый синхроноскоп?
4. Что произойдет, если попытаться включить синхронную машину на работу параллельно с сетью при неравенстве напряжений на зажимах якорной обмотки машины и сети?
5. Как осуществить перевод вспомогательного двигателя постоянного тока в генераторный режим?
6. В чем сущность асинхронного пуска? Почему при асинхронном пуске синхронного двигателя обмотку возбуждения необходимо замыкать на сопротивление?
7. Каким образом можно регулировать активную и реактивную составляющую тока статора синхронного двигателя?
8. Как установить номинальное значение тока возбуждения синхронного двигателя при снятии его рабочих характеристик?

9. Что такое U–образные характеристики? Объясните их вид.
10. Как обеспечить требуемое значение момента на валу синхронного двигателя при снятии U–образных характеристик?
11. Как регулировать потребление или отдачу в сеть реактивной мощности
12. Что такое режим синхронного компенсатора?

### **Работа 3. Потери и коэффициент полезного действия синхронной машины**

1. Перечислите виды основных потерь в синхронных машинах. Как их величина связана с режимом работы машины?
2. Каковы достоинства и недостатки прямых и косвенных методов определения КПД синхронных машин?
3. Какие косвенные методы определения КПД синхронной машины вы знаете?
4. Какие опыты необходимо провести для определения потерь синхронной машины по методу вспомогательного двигателя? Как обеспечивается постоянство частоты вращения синхронной машины в этих опытах?
5. В чем сущность определения потерь по методу самоторможения?
6. Как производится разделение потерь холостого хода?

### **Работа 4. Параллельная работа синхронной машины с сетью бесконечной мощности**

1. Как включить машину в сеть методом точной синхронизации
2. Что такое режим нормального возбуждения
3. Как перевести синхронную машину, работающую параллельно с сетью в режим пере- и недовозбуждения?
4. Что нужно сделать для того, чтобы машина перешла в режим генератора

5. Объясните вид регулировочных характеристик в режимах чисто индуктивной, чисто емкостной и чисто активной нагрузки. Как проводятся соответствующие опыты?
6. Как проводится опыт при постоянном токе возбуждения и переменном моменте на валу синхронной машины

## **2.4. Испытание электрических машин переменного тока.**

### **Асинхронные машины**

При подготовке к циклу лабораторных работ по испытанию асинхронных машин необходимо изучить соответствующие главы учебника [2] и учебного пособия [5], разобраться в схемах, знать устройство, принципы действия, виды основных характеристик изучаемых машин. После изучения необходимо, в качестве самопроверки, ответить на контрольные вопросы.

#### **Работа 5. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором**

1. Какова конструкция статорной и роторной обмотки асинхронного двигателя с фазным ротором?
2. Что такое скольжение асинхронной машины? Как оно может быть измерено?
3. Что понимается под коэффициентом трансформации обмоток асинхронного двигателя и в чем особенность его определения?
4. Чему равна кратность пускового тока асинхронного двигателя с фазным ротором?
5. Как осуществляется пуск асинхронного двигателя?
6. Каково соотношение между номинальными значениями тока холостого хода  $I_{10n}$  и нагрузки  $I_{1n}$  асинхронного двигателя?
7. Каковы основные цели опытов холостого хода и короткого замыкания?
8. Как проводится опыт короткого замыкания?

9. Что является нагрузкой асинхронного двигателя? Как она регулируется?
10. Как перевести асинхронную машину из двигательного режима в генераторный режим?
11. В каких границах изменяется скольжение в генераторном режиме?
12. Что такое режим противовключения асинхронного двигателя? Как его можно осуществить?
13. Почему при равенстве скоростей вращения поля статора и ротора ток в статоре не равен нулю?
14. Что такое кратность пускового тока и пускового момента?

### **Работа 6. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором**

1. Какова конструкция статорной и роторной обмотки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
2. Что такое скольжение асинхронной машины? Как оно может быть измерено?
3. Каково соотношение между номинальными значениями тока холостого хода  $I_{10н}$  и нагрузки  $I_{1н}$  асинхронного двигателя?
4. Чему равна кратность пускового тока асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
5. Какие способы пуска асинхронного двигателя вы знаете? Каковы их достоинства и недостатки?
6. Что является нагрузкой асинхронного двигателя? Как она регулируется?
7. Что такое скольжение асинхронной машины? Как оно может быть измерено?
8. Каковы основные цели опытов холостого хода и короткого замыкания?
9. Как проводится опыт короткого замыкания?
10. В чем состоит особенность снятия рабочих характеристик при соединении обмоток статора в треугольник и в звезду?

11. Как реализуется однофазный режим работы асинхронного двигателя?

Какую нагрузку при этом может нести двигатель?

12. Чему равен пусковой момент двигателя в однофазном режиме?

## Список литературы

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы: Учебник для вузов. – СПб.:Питер, 2007. – 320 с.: ил.
2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. – СПб.:Питер, 2007. – 350 с.: ил.
3. Сочава М.В., Хомицевич Н.А. Испытание электрических машин постоянного тока. Учебное пособие. – СПб., 2018. – 106 с.  
URL:<http://elib.spbstu.ru/dl/2/s18-22.pdf>
4. Егорова Т.И., Кокунов Ю.Ф., Малиновский С.С., Сочава М.В., Чернышев Н.Н. Электрические машины. Трансформаторы. Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. - 115 с.
5. Боронина Л.Ф., Кокунов Ю.Ф., Солдатенкова Н.А., Чернышев Н.Н. Испытание асинхронных машин. Учебное пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. - 71 с.
6. Гуревич Э.И., Егорова Т.И., Сидельников Б.В., Солдатенкова Н.А., Сочава М.В., Чернышев Н.Н. Испытание синхронных машин. Учебное пособие – СПб.:Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 105 с.