



**УДК 621.3.011(07)**

**ББК 31.21**

Рецензенты:

д.т.н., профессор ФГБОУ ВО Казанского государственного  
энергетического университета

А.И. Рудаков

д.т.н., профессор кафедры физики и математики  
ФГБОУ ВО Казанский ГАУ

Р.И. Ибятков

Практикум рассмотрен и одобрен:

Решением заседания кафедры машин и оборудования в агробизнесе  
Казанского ГАУ (протокол № 2 от 20.09.2018 г.)

Решением методической комиссии ИМ и ТС Казанского ГАУ (протокол  
№ 2 от 29.10.2018г.)

**Зиганшин Б.Г., Лукманов Р.Р., Лушнов М.А., Нафиков И.Р.,  
Халиуллин Д.Т., Дмитриев А.В.** Практикум для выполнения лабораторных  
работ по дисциплине «Электротехника и электроника» / Казань: Изд-во  
Казанск. ГАУ, 2018. – 51 с.

Практикум предназначен для выполнения лабораторных работ по дисциплине  
«Электротехника и электроника», студентам бакалавриата очной и заочной  
форм обучения по направлению 35.03.06 – Агроинженерия, также данный  
практикум можно использовать по дисциплинам «Электроника и  
электротехника» по направлению 20.03.01 – Техносферная безопасность,  
«Электротехника и электроника технологических машин и комплексов» по  
направлению 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и  
комплексов, «Электротехника, электроника и электропривод» по  
специальности 23.05.01 – Наземные транспортно-технологические средства.

Изучение дисциплины формирует элементы профессиональных компетенций в  
соответствии с ФГОС ВО

Практикум для выполнения лабораторных работ написан в соответствии  
с типовой программой и предназначен для студентов очного и заочного  
отделений института механизации и технического сервиса.

**УДК 621.3.011(07)**

**ББК 31.21**

©ФГБОУ ВО Казанский государственный аграрный университет, 2018 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

Правила работы в лаборатории электротехники и требования техники безопасности.....	4
Содержание отчета.....	5
<i>Лабораторная работа №1. Изучение и проверка электроизмерительных приборов.....</i>	6
<i>Лабораторная работа №2. Измерение сопротивлений методом амперметра – вольтметра.....</i>	17
<i>Лабораторная работа №3. Изучение и проверка однофазного счетчика активной энергии .....</i>	21
<i>Лабораторная работа №4. Компенсация реактивной энергии. Повышение коэффициента мощности .....</i>	24
<i>Лабораторная работа №5. Исследование однофазного трансформатора .....</i>	29
<i>Лабораторная работа №6. Исследование асинхронного электродвигателя .....</i>	34
<i>Лабораторная работа №7. Исследование шунтового генератора постоянного тока с самовозбуждением .....</i>	42
<i>Лабораторная работа №8. Исследование компаундного генератора постоянного тока с самовозбуждением .....</i>	47
Литература .....	51

## **ПРАВИЛА РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ И ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ**

Целью выполнения лабораторных работ является изучение конструкций, принципов действия и схем включения электрических приборов, машин и аппаратов, исследование их характеристик, а также элементов эксплуатации.

Лабораторные работы предусматривают как закрепление и углубление лекционного курса, так и самостоятельное изучение отдельных тем и вопросов программы. В процессе выполнения работ студенты получают навыки в составлении и сборке электрических схем, выборе и правильном использовании измерительных приборов и оборудования, овладевают техникой и методикой проведения эксперимента, а также оценки полученных результатов.

Учебная группа (подгруппа) разбивается на бригады по 2-3 человека, состав которых комплектуется студентами добровольно. Для успешного выполнения лабораторных работ и составления отчетов в каждой бригаде должны быть чертежный инструмент, вычислительные устройства. Перед началом лабораторных занятий студенты изучают правила работы и получают инструктаж по технике безопасности, который проводит преподаватель, затем расписываются в журнале подтверждая, что с правилами ознакомлены и обязуются их выполнять. Журнал хранится на кафедре. Студенты не прошедшие инструктажа к занятиям не допускаются. Электрический ток при не правильном использовании может стать источником пожара, несчастного случая, а также привести к повреждению оборудования и приборов. Основной причиной поражения током является прикосновение к токоведущим частям электроустановок в результате невнимательности, неаккуратности и пренебрежения требований техники безопасности. Степень поражения зависит от многих факторов – условий окружающей среды (помещений), состояния здоровья и кожи человека, величины напряжения и других. Опасны токи как высокого, так и низкого напряжения. В лаборатории электротехники приняты все меры удовлетворения требований техники безопасности – помещение сухое, отапливаемое, пол и лабораторные столы деревянные – не проводящие ток, используется пониженное линейное напряжение – 220 В и 380 В, применяемые на производстве, имеется соответствующее нормам защитное заземление.

Перед началом цикла лабораторных работ преподаватель знакомит студентов со схемой электроснабжения лаборатории, правилами пользования коммутационной аппаратурой и электрооборудованием.

При выполнении работ в лаборатории электротехники необходимо соблюдать следующие правила:

1. Внимательно изучить методическую разработку, уяснить цель работы и ее содержание, подготовить формы таблиц и отчета.

2. Ознакомиться с приборами и оборудованием, проверить исправность предохранительных, сигнальных устройств и ограждений, о замеченных неполадках сообщить преподавателю или лаборанту.

3. Собранную схему или установку дать проверить преподавателю, при получении разрешения можно включать в сеть.

4. Выполнение каких-либо переключений в схеме, замену сгоревших предохранителей, смену приборов можно производить только после отключения напряжения.

5. Не загромождать рабочее место посторонними предметами, бережно относиться к приборам, лабораторному и аудиторному оборудованию.

6. На занятии выполнять только заданную работу, не оставлять без наблюдения свое рабочее место и не отвлекать внимание товарищей.

7. Включать схему под напряжение только на время проведения экспериментов и измерений, после их завершения отключать от сети.

8. При возникновении несчастного случая из-за поражения электрическим током немедленно отключить силовой выключатель на рабочем столе или общий выключатель лаборатории, оказать помощь пострадавшему, при необходимости вызвать медицинскую службу и сообщить на кафедру.

9. После завершения лабораторной работы студенты сдают зачет преподавателю, разбирают схему, приводят в порядок рабочее место.

По отдельным работам разрешается обработку результатов и расчеты выполнять самостоятельно со сдачей зачета на следующем занятии (по согласованию с преподавателем).

## **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет составляется студентами по каждой работе, оформляется в процессе ее выполнения и представляется преподавателю для зачета. Студенты, не сдавшие зачет по выполненной работе, к следующей не допускаются. Рекомендуется для отчетов иметь отдельную тетрадь.

Отчет должен содержать следующее:

- номер и наименование работы;
  - краткую характеристику изучаемых приборов, оборудования, установок (название, тип, напряжение, мощность, назначение и т.п.);
  - принципиальные схемы, которые собираются и изучаются в работе;
  - таблицы измерений и расчетов;
  - все расчетные формулы с объяснением их назначения и расшифровкой элементов;
  - графики, диаграммы, построенные по экспериментальным данным;
- закключение и выводы.

Ответы на контрольные вопросы включаются в вышеперечисленные пункты или приводятся отдельно в конце отчета.

## *Лабораторная работа №1*

### **ИЗУЧЕНИЕ И ПРОВЕРКА ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ**

#### **Цель работы:**

1. Изучить устройство и принцип действия приборов электромагнитной, магнитоэлектрической и электродинамической систем (амперметр, вольтметр, ваттметр), способы их включения.
2. Изучить принцип работы мультиметра и способы его включения.
3. Изучить условные обозначения электроизмерительных приборов .
4. Изучить способы проверки приборов.

#### **Оборудование рабочего места**

1. Амперметры, вольтметры, ваттметры.
2. Мультиметр DT9203A.
3. Автотрансформатор (ЛАТР).
4. Реостат ползунковый.
5. Плакат с условными обозначениями, плакаты по приборам, экспонаты.
6. Диоды, транзисторы, резисторы, конденсаторы,

#### **Приборы электромагнитной системы**

Работа приборов электромагнитной системы основана на принципе электромагнита, поэтому основными конструктивными элементами измерительного механизма являются катушка и сердечник.

В настоящее время отечественной промышленностью изготавливаются приборы с круглой катушкой, внутри которой помещаются два сердечника в виде тонких пластин из магнитного материала.

При протекании измеряемого тока по катушке создается магнитное поле, которое намагничивает обе пластины (сердечники) одноименной полярностью, в результате чего подвижная пластина отталкивается от неподвижной, поворачивая ось и скрепленную с ней указательную стрелку. Создаваемый вращающий момент, а, следовательно, и угол поворота подвижной системы (указательной стрелки) пропорциональны квадрату силы тока:

$$M_{вр} = \kappa \cdot I^2, \quad (1)$$

где  $M_{вр}$  – вращающий момент,

$I$  – сила тока в катушке,

$\kappa$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от конструктивных параметров прибора.

Для того чтобы подвижная система под действием вращающего момента не вращалась, а только отклонялась на определенный угол, создается противодействующий момент ( $M_{пр}$ ) спиральной противодействующей

пружиной. Подвижная система прибора (и стрелка) отклоняется на такой угол, когда наступает равенство вращающего и противодействующего моментов.  $M_{вр} = M_{пр}$  – условие равновесия системы. Квадратичная зависимость  $M_{вр} = \kappa \cdot I^2$  определяет неравномерность (квадратичность) шкалы, а также не одинаковую чувствительность на всем диапазоне измерений. Особенно мала чувствительность электромагнитных приборов в начале шкалы, поэтому рабочая ее часть начинается только с 20% от наибольшего значения измеряемой величины.

При подключении электромагнитного прибора в цепь переменного тока при изменениях направления тока происходит перемагничивание всей системы (магнитного поля катушки, а также подвижного и неподвижного сердечников), поэтому направление вращающего момента ( $M_{вр}$ ) не изменяется. Следовательно, приборы этой системы пригодны как для постоянного, так и переменного токов.

Для быстрого гашения колебаний стрелки (успокоения) в приборах имеются успокоители (демпферы). Они бывают воздушные и магнитные. В данных приборах установлены магнитные успокоители, которые состоят из маленьких круглых магнетиков и тонкого алюминиевого лепестка, скрепленного со стрелкой. При движении в лепестке от поля магнетиков индуцируется слабый ток и он слегка примагничивается к неподвижным магнетикам, тем самым затормаживая, успокаивая стрелку.

Корректор служит для установки стрелки на нуль при отключенном состоянии прибора. В электромагнитных приборах нет стального магнитопровода, поэтому магнитное поле данных приборов относительно слабое, т.к. силовые линии замыкаются в большей части по воздуху и рассеиваются, поэтому имеется влияние посторонних магнитных полей создающих дополнительные погрешности. Для уменьшения этих влияний применяется экранирование приборов (внутренний кожух из магнитномягкой стали или пермаллоя). Другим более эффективным способом устранения влияния внешних магнитных полей является астатическое исполнение.

Катушка в астатических приборах делится на две равные части, включенные последовательно-встречно. ЭДС в полукатушках, создаваемые под действием внешних магнитных полей, имеют равную величину и направлены встречно, поэтому погашаются, в результате чего влияние внешних полей на работу прибора устраняется. Астатические приборы имеют повышенный класс точности. Приборы электромагнитной системы изготавливаются в качестве вольтметров и амперметров (типа Э30). Разница между амперметром и вольтметром заключается только в исполнении катушек. У амперметра катушка наматывается из провода большого сечения при малом числе витков, у

вольтметра – из провода малого сечения и большого числа витков.

### Приборы магнитоэлектрической системы

Приборы магнитоэлектрической системы предназначены для измерения силы тока и напряжения в цепях постоянного тока, то есть используются в качестве амперметров и вольтметров.

Магнитоэлектрический прибор состоит из подвижной и неподвижной частей. Неподвижная часть состоит из постоянного магнита, который создает сильное магнитное поле, неподвижного цилиндрического сердечника и полюсных наконечников, обеспечивающих более равномерное распределение магнитных силовых линий и, тем самым, постоянство магнитной индукции в воздушном зазоре, что способствует увеличению точности измерений. Постоянные магниты бывают подковообразной или кольцевой формы.

Подвижной частью является катушка из тонкой медной проволоки, намотанная на легкую алюминиевую рамочку и закрепленная на двух полуосях. Ток к катушке подводится через спиральные пружины, которые одновременно выполняют функции противодействующих пружин. Подвижная рамка может свободно поворачиваться вокруг неподвижного стального цилиндра. К ней крепится указательная стрелка. Для установки стрелки приборов в нулевое положение применяется корректор, который связан с пружиной.

Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы основан на взаимодействии магнитных полей постоянного магнита и катушки с током. Когда по катушке проходит измеряемый ток, то вокруг нее создается магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита, в результате чего создается вращающий момент, который может быть выражен формулой:

$$M_{вр} = k \cdot \Phi \cdot I, \quad (2)$$

где  $k$  – постоянная (коэффициент);

$\Phi$  – магнитный поток магнита;

$I$  – сила тока в катушке.

Под действием вращающего момента подвижная система поворачивается, преодолевая сопротивление противодействующей пружины. Подвижная катушка и стрелка останутся тогда, когда момент вращения уравнивается противодействующим моментом спиральной пружины. Угол поворота катушки (и стрелки) прямо пропорционален измеряемому току или напряжению. Приборы магнитоэлектрической системы работают только на постоянном токе, имеют равномерную шкалу.

В обозначении типа приборов магнитоэлектрической системы имеется буква М, например М-362.

## Приборы электродинамической системы

Измерительный механизм приборов состоит из неподвижной катушки, обычно разделенной на две равные части, подвижной очень легкой катушки, которая жестко связана с осью; к этой же оси (или двум полуосям) крепятся две спиральные пружины, изолированные друг от друга и предназначенные для создания противодействующего момента и подведения тока; на оси также закреплены' алюминиевая стрелка, крыло успокоителя (воздушного или магнитного) и грузики для уравнивания.

Приборы электродинамической системы в основном применяются в качестве ваттметров. Принцип действия ваттметра: неподвижная катушка служит токовой и включается последовательно, она создает магнитное поле, пропорциональное величине измеряемого тока  $\Phi_i \equiv I$  (катушка разделена на две полукатушки для получения более равномерного поля).

Подвижная катушка включается параллельно, сила тока в ней и создаваемое ею магнитное поле ( $\Phi_u$ ) пропорциональны подведенному напряжению ( $U$ ):

$$\Phi_u \equiv U. \quad (3)$$

В результате взаимодействия двух токов, вернее двух магнитных полей ( $\Phi_i, \Phi_u$ ), созданных этими токами, между катушками возникает механическая сила, которая создает вращающий момент ( $M$ ) на подвижной катушке:

$$M = k \cdot \Phi_i \cdot \Phi_u = k \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi = k \cdot P. \quad (4)$$

Показания ваттметра зависят от произведения  $I \cdot U \cdot \cos \varphi$ , т.е. от активной мощности ( $P$ ). (Этими же ваттметрами можно измерять реактивную мощность  $Q = I \cdot U \cdot \sin \varphi$  применяя специальную схему соединения).

Направление отклонения стрелки и правильность измерений зависят от взаимного направления токов в катушках, поэтому для правильного включения ваттметра в цепь один зажим последовательной и один параллельной катушек отмечают буквой «Г» (генераторный) или звездочкой «\*», этими зажимами прибор должен подключаться со стороны источников тока.

Переносные приборы выполняются обычно многопредельными, поэтому на каждой ступени переключателей требуется определять постоянную ваттметра ( $C$ ) (или цену деления) по формуле:

$$C = \frac{U_n \cdot I_n}{\alpha_n}, \quad (5)$$

где  $U_n, I_n$  – номинальные значения напряжения и тока, на которые установлены переключатели прибора,

$\alpha_n$  – верхний предел измеряемой величины по шкале прибора

(наибольшее число делений).

В приборах применяются экраны для защиты от влияния внешних магнитных полей.

Для усиления магнитного поля (индукции) приборы изготавливаются со стальным магнитопроводом, это дает возможность получить больший вращающий момент, что особенно важно для самопишущих приборов. Такие приборы называются ферродинамическими.

### **Цифровой мультиметр DT9203A**

#### ***Данные по безопасности***

Во избежание возможного электрического шока или иного причинения вреда здоровью, а также во избежание возможных повреждений мультиметра или тестируемого оборудования соблюдайте следующие правила:

1. Не работайте прибором, если он находится в неисправном состоянии. Перед началом работы убедитесь в исправности прибора. Обратите особое внимание на изоляцию токоведущих частей.

2. Осмотрите щупы на предмет поврежденной изоляции и открытых металлических частей. Проверьте проводимость щупов. Отключите поврежденные щупы перед началом работы с прибором.

3. Не используйте мультиметр, если вы выявили какие-либо признаки неисправности при работе с ним. Если вы сомневаетесь в правильности работы прибора, обратитесь в сервисный центр.

4. Запрещается работать мультиметром во взрывоопасных средах, в условиях повышенной влажности и пыли.

5. Во избежание повреждения прибора при измерениях не превышайте предельно допустимые значения измерений.

6. Чтобы убедиться в правильности измерений, измерьте напряжение или ток у известного источника.

7. Перед измерением силы тока обесточьте цепь.

8. Для замены используйте только оригинальные части. Используйте прибор только для целей, указанных в инструкции.

9. Будьте осторожны при работе с напряжением свыше 30 В среднеквадратического переменного тока, 42 В максимального и 60В постоянного тока.

10. Держите пальцы за защитными упорами на щупах.

11. При подключении щупов сначала подключите черный щуп, затем красный. При отключении, первым необходимо отсоединить красный.

12. Перед снятием крышки мультиметра или при замене батареи необходимо отсоединить оба щупа.

13. Перед снятием крышки мультиметра отсоедините измерительные провода.

14. Не используйте мультиметр при отсутствии съемной крышки.

15. Во избежание получения неточных показателей батарейку следует заменить, как только на дисплее загорится индикатор «разряжена батарея» («»).

## *Методы измерения*

**Внимание:** На входных клеммах может присутствовать опасное напряжение, которое может не отображаться на дисплее.

### 1 Измерение постоянного и переменного напряжения

1) Установите поворотный переключатель диапазонов в требуемую позицию.

2) Присоедините черный и красный щупы к гнездам «COM» и «VΩ» соответственно.

3) Соедините щупы с исследуемой цепью и считайте значение, отобразившееся на дисплее. Полярность красного щупа отобразится вместе с напряжением.

#### *Примечание:*

а) Если диапазон измеряемого напряжения заранее неизвестен, установите переключатель диапазонов в наибольший диапазон и затем уменьшайте его.

б) Отображение на экране только цифры «1» указывает на превышение диапазона, что говорит о необходимости установки переключателя в более высокий диапазон.

в) Никогда не пытайтесь измерять напряжение выше 1000В! Несмотря на то, что отображение значений в этом случае возможно, есть опасность повреждения внутренней схемы.

### 2 Измерение силы постоянного и переменного тока

1) Соедините черный щуп с гнездом «COM», а красный щуп – с «mA» для максимального тока 0.5А.

2) Установите поворотный переключатель диапазонов в требуемую позицию.

3) Соедините щупы с исследуемой цепью и считайте значение, отобразившееся на дисплее. Полярность красного щупа отобразится вместе со значением силы тока.

#### *Примечание:*

а) Если диапазон измеряемого тока заранее неизвестен, установите переключатель диапазонов в наибольший диапазон и затем уменьшайте его.

б) Отображение на экране только цифры «1» указывает на превышение диапазона, что говорит о необходимости установки переключателя в более высокий диапазон.

в) Чрезмерная сила тока может вывести из строя предохранитель. Тип предохранителя – 0.5А.

г) Максимальное время непрерывного измерения тока, сила которого достигает 10А, должна быть менее 15 секунд.

### 3 Измерение сопротивления

**Внимание:** Во избежание поражения током или повреждения прибора, при измерении сопротивления или проверки цепи, удостоверьтесь, что питание схемы отключено и все конденсаторы разряжены.

1) Присоедините черный и красный щупы к гнездам «СОМ» и «VΩ» соответственно.

2) Установите поворотный переключатель диапазонов в позицию «Ω».

3) Подключите щупы к измеряемому сопротивлению и считайте значение, отобразившееся на дисплее.

#### **Примечание:**

а) Полярность красного щупа «+».

б) Когда нет подключения, то есть цепь разомкнута, на дисплее будет отображена цифра «1», что свидетельствует о превышении диапазона.

в) Если измеряемое значение сопротивления превысит максимальное значение выбранного диапазона, то на дисплее будет отображена цифра «1» и переключатель диапазонов необходимо установить в более высокий диапазон.

г) Диапазон 200MΩ имеет константу 10 (1MΩ), обозначающую состояние короткого замыкания, которую необходимо вычесть из результата измерения, например: при измерении сопротивления 100MΩ, на дисплее будет отображено 101.0, и последние цифры (10) должны быть вычтены.

### 4 Измерение емкости

**Внимание:** Во избежание повреждения прибора, перед измерением, отключите питание цепи и разрядите все высоковольтные конденсаторы.

1) Установите переключатель диапазонов в позицию «Сх». Перед подсоединением конденсатора, дисплей может автоматически с небольшой задержкой обнулиться.

2) Соедините конденсатор с клеммами «mA» и «СОМ». Снимайте показания дисплея.

**Примечание:** Измеряемый конденсатор должен быть разряжен перед измерением. Никогда не подавайте напряжение на клемму «mA» во избежание серьезного повреждения.

### 5 Измерение частоты

1) Установите переключатель диапазонов в позицию «Hz».

2) Соедините щупы с исследуемой цепью и считайте значение, отобразившееся на дисплее.

**Примечание:** Не подключайте более 250В действующего значения напряжения к входу. Отображение значений напряжения выше 100V возможно, но такие измерения не предусмотрены спецификацией.

## **6 Измерение температуры**

- 1) Установите переключатель диапазонов в позицию «TEMP».
- 2) Подключите термопару к гнездам «mAT» и «COM», убедитесь, что красный щуп термопары вставлен в гнездо «mAT».
- 3) Рабочий конец (тестовый конец) подключите к испытываемому объекту.
- 4) Значение температуры отображается на дисплее в градусах по шкале Цельсия (°C).

### **Примечание:**

- а) Измеряемая температура показывается автоматически при подключении термопары к гнездам.
- б) Окружающая температура показывается при отключенной цепи сенсора.
- в) Предельная температура, измеряемая термопарой и отображаемая на дисплее прибора, составляет 250°C-300°C. Измерение такой температуры допустимо в пределах короткого периода времени.

## **7 Тестирование диода и целостности цепи**

- 1) Установите переключатель диапазонов в позицию «».
- 2) Присоедините черный и красный щупы к гнездам «COM» и «VΩ» соответственно; (Примечание: полярность красного щупа «+»).
- 3) Данный диапазон предусматривает функцию «AUDIBLE CONTINUITY TEST». Встроенный динамик сигнализирует, если сопротивление между двумя щупами меньше 50±20Ω.
- 4) Подсоедините щупы к диоду и считайте значение, отобразившееся на дисплее.

### **Примечание:**

- а) При отсутствии подключения (разомкнутой цепи), на дисплее отобразится цифра «1».
- б) Условие тестирования: Передаваемый постоянный ток около 1 мА. Обратное постоянное напряжение около 2.8 В.
- в) Прибор показывает падение напряжения и на дисплее при перегрузке, когда диод перевернут, отображается цифра «1».

## **8 Измерение коэффициента усиления частот транзистора**

- 1) Установите переключатель диапазонов в позицию «hFE».
- 2) Определите тип транзистора – «NPN» или «PNP».
- 3) Вставьте правильно транзистор в разъем E.V.C.
- 4) Считайте приблизительное значение коэффициента усиления частот транзистора, отобразившееся на дисплее.

### **Примечание:**

Условие тестирования: Ток около 10μА. VCE ≈2.8V

### **9 Проверка логического уровня сигналов (только для модели DT9208A)**

1) Установите переключатель диапазонов в позицию «LOGIC».

2) Присоедините черный и красный щупы к гнездам «COM» и «VΩ/Hz» соответственно.

3) Проверьте напряжение логической цепи, обратите внимание на то, что проверка логической схемы выполняется только при 5В логическом уровне.

4) Соедините черный щуп с отрицательной полярностью источника питания логической схемы. Соедините красный щуп тестового провода с тестируемой точкой логической схемы.

5) Если тестовый уровень > 2.4 В, логический уровень выше 1 на дисплее отобразится символ «▲». Если тестовый уровень ≤0.7 В, логический уровень ниже 0 на дисплее отобразится символ «▼», прозвучит сигнал. Если тестовые провода не подключены, на дисплее отобразится символ «▲».

Примечание: При установке переключателя диапазонов в позицию «LOGIC», при превышении диапазона и подключения внутренней схемы отобразится цифра «1».

### **Погрешности, способы проверки приборов**

Точность электроизмерительного прибора характеризуется величиной его погрешности, которая зависит от степени совершенства приборов.

Абсолютной погрешностью ( $\Delta A$ ) называют разность между показанием прибора ( $A_n$ ) и действительным значением измеряемой величины ( $A_d$ ).

$$\Delta A = A_n - A_d, \quad (6)$$

Приведенной погрешностью прибора ( $\gamma_{np}$ ) называется выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к номинальной величине прибора (т.е. к верхнему пределу измерения проверяемого прибора).

$$\gamma_{np} = \frac{\Delta A}{A_n} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где  $A_n$  - номинальное значение измеряемой величины (верхний предел измерения прибора).

По величине наибольшей приведенной погрешности электроизмерительные приборы разделяются на следующие классы точности: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 1,0; 1,5; 2,5 (цифра класса точности показывает наибольшую допустимую приведенную погрешность в процентах).

Погрешности прибора могут быть выявлены в результате проверки при сравнении показаний данного прибора с показаниями образцового прибора. При этом показания образцового прибора принимаются за действительные

значения измеряемой величины ( $A_0$ ).

Проверку прибора производят в следующем порядке.

Предварительно путем внешнего осмотра проверяют исправность прибора.

При помощи корректора устанавливают стрелку на нулевое деление шкалы (если это требуется).

Затем проверяют уравновешенность подвижной системы (при повороте прибора вокруг его оси, расположенной горизонтально, стрелка должна оставаться на нулевом делении).

После этого проверяемый и образцовый приборы включаются в электрическую цепь. Приборы устанавливают в горизонтальное или вертикальное положение соответственно установленному знаку, имеющемуся на шкале.

При проверке ток (или напряжение) постепенно увеличивается от нуля. Сравнение показаний проверяемого и образцового приборов производят на каждой числовой отметке шкалы проверяемого прибора.

Дойдя до конца шкалы проверяемого прибора, производят проверку на тех же делениях шкалы проверяемого прибора при плавном уменьшении измеряемой величины до нуля.

Абсолютная погрешность проверяемого прибора на том или ином делении шкал определяется по формуле – (6), причем за действительное значение измеряемой величины принимается среднее арифметическое показание образцового прибора на возрастание и на убывание измеряемой величины. По наибольшему значению приведенной погрешности оценивают класс точности прибора, а для использования прибора с учетом его погрешности вычерчивают кривую. Поправка – это величина, обратная абсолютной погрешности по знаку, но равная по величине:  $\delta A = -\Delta A$

Поправочная кривая – это зависимость поправки от измеряемой величины:  $\delta A = f(A)$ .

### **Порядок выполнения работы**

1. Перед работой с электроизмерительными приборами необходимо изучить условные обозначения применяемые на шкалах приборов, что позволит точно распознать все характеристики приборов, без чего невозможно их применение.

2. Произвести проверку вольтметра. Напряжение при проверке регулировать при помощи лабораторного автотрансформатора (ЛАТР), согласно схеме рисунка 1.1.

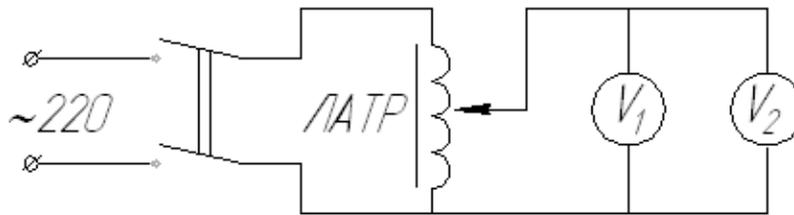


Рисунок 1.1 – Электрическая схема проверки вольтметра

На основании измерений вычислить абсолютные и приведенные погрешности и поправки проверяемого прибора. Результаты измерений и расчетов свести в таблицу.

Таблица 1.1 - Показания измерений

№	Показания проверяемого приборов	Показания образцов прибора			Абсолютная погрешность, $\Delta U$	Приведенная погрешность, $\gamma\%$	Поправки $\delta U$
		при возрастании	при убывании	ср. значение $U_0$			

По данным таблицы:

а) дать заключение – соответствует ли проверяемый прибор указанному на нем классу точности;

б) построить поправочную кривую  $\delta U = f(U)$  и уметь пользоваться ею.

3. Схема включения ваттметра активной мощности.

Собрать схему ваттметра (рисунок 1.2).

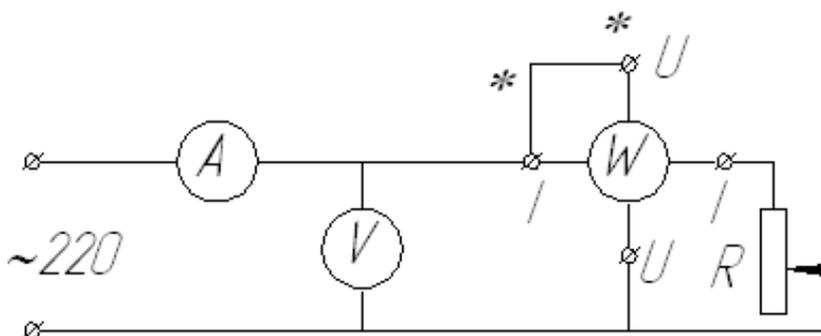


Рисунок 1.2 – Схема включения ваттметра активной мощности

Определить постоянную (цену деления) по формуле (1), согласовав с преподавателем параметры схемы – значение нагрузочного сопротивления –  $R$ , ожидаемые значения силы тока и напряжения, соответствующие им ступени

переключателей ваттметра. Произвести измерения.

Мощность по показаниям амперметра и вольтметра можно определить

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (8)$$

где  $\varphi$  - угол сдвига фаз между током и напряжением; т.к. в схеме в качестве нагрузочного сопротивления принят реостат, т.е. чисто активное сопротивление, то принять  $\cos \varphi = 1$ .

Изучив характеристики приборов определить в каком случае точнее измерение и почему – по ваттметру или амперметру – вольтметру?

4. Используя цифровой мультиметр DT9203A измерить емкость конденсатора, сопротивление резистора, тестировать имеющийся диод и целостность цепи и измерить коэффициент усиления частот транзистора.

#### Контрольные вопросы

1. Назначение и типы успокоителей (демпферов).
2. Способы защиты приборов от влияния внешних магнитных полей.
3. Почему магнитоэлектрическая система не может быть использована на переменном токе?
4. Что такое абсолютная и относительная, приведенная погрешности?
5. Что такое класс точности?
6. Как определить цену деления многопредельного ваттметра?
7. Какую величину нельзя измерить мультиметром DT9203A, и почему?

### *Лабораторная работа №2* **ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ МЕТОДОМ АМПЕРМЕТРА – ВОЛЬТМЕТРА**

**Цель работы:** изучить метод амперметра – вольтметра измерения сопротивления катушек и проводников постоянному и переменному токам, определения индуктивности обмоток.

#### Оборудование рабочего места

1. Катушка со стальным сердечником.
2. Проволочное активное сопротивление на 1 – 2 кОм (реостат).
3. Амперметр постоянного тока на 10 А.
4. Миллиамперметр на 100 – 200 мА.
5. Вольтметр постоянного тока на 15 – 30 В.
6. Амперметры переменного тока на 3 и 10 А.
7. Вольтметры переменного тока на 30 – 150 В.
8. Выпрямитель.
9. ЛАТР.

## Теоретические сведения

Метод амперметра-вольтметра является довольно простым, не требует сложных дорогостоящих приборов, позволяет получить удовлетворительную точность измерений, можно использовать в цепях постоянного и переменного тока и, поэтому, наиболее часто применяется. Он основан на использовании закона Ома:

- для постоянного тока:

$$R_x = \frac{U}{I}, \quad (1)$$

где  $R_x$  – искомое сопротивление;

- для переменного тока:

$$z = \frac{U}{I}, \quad (2)$$

где  $z$  – искомое полное или кажущееся сопротивление.

Подключив вольтметр и амперметр замеряют напряжение  $U$  и силу тока  $I$ , затем определяют значение искомого сопротивления.

В целях уменьшения погрешности измерений применяются две схемы включения измерительных приборов (рисунки 2.1 и 2.2).

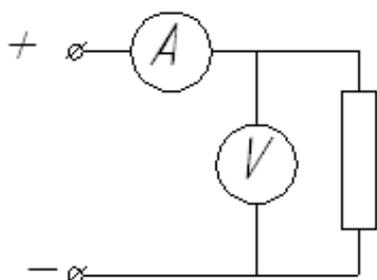


Рисунок 2.1 – Схема №1 для измерения малых сопротивлений

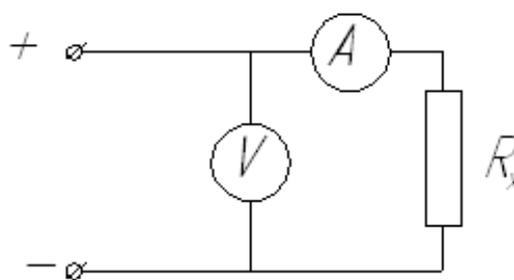


Рисунок 2.2 – Схема №2 для измерения больших сопротивлений

По схеме №1 вольтметр покажет напряжение на искомом сопротивлении, амперметр измерит ток –  $I$ , равный сумме двух токов; тока в искомом сопротивлении –  $I_x$  и тока вольтметра –  $I_B$  (они соединены параллельно).

$$I = I_x + I_B. \quad (3)$$

Эти токи определяется:

$$I_x = \frac{U}{R_x}; \quad (4)$$

$$I_B = \frac{U}{R_B}; \quad (5)$$

но так как,  $R_B \gg R_x$  (сопротивление катушки вольтметра во много раз больше), то  $I_B \ll I_x$ . Поэтому, пренебрегая током вольтметра ( $I_B \approx 0$ ) можно считать, что

амперметр показывает силу тока в искомом сопротивлении –  $I_x = I$  и подсчитать это сопротивление:

$$R_x = \frac{U}{I}. \quad (6)$$

Таким образом, схема №1 дает более точные результаты при измерении малых сопротивлений, которые значительно меньше сопротивлений вольтметра ( $R_x \ll R_B$ ): она применяется для измерения сопротивлений примерно до 100 Ом.

При включении приборов по схеме №2 амперметр покажет силу тока в искомом сопротивлении, вольтметр измерит сумму падений напряжения на сопротивлении амперметра ( $R_a$ ) и искомом сопротивлении ( $R_x$ ), т.к. они между собой соединены последовательно.

$$U = U_a + U_x = I \cdot R_a + I \cdot R_x, \quad (7)$$

но искомое сопротивление велико (таково заданное условие применения схемы) оно много больше сопротивления амперметра ( $R_x \gg R_a$ ). Поэтому пренебрегая падением напряжения на амперметре ( $U_a \approx 0$ ) можно считать, что вольтметр показывает напряжение на искомом сопротивлении  $U = U_x$  и

определить его  $R_x = \frac{U}{I}$ .

### Сопротивление переменного тока

Сопротивления катушек, обмоток машин и аппаратов состоят из двух видов – активного –  $R$  и индуктивного –  $X_L$ .

Активное сопротивление переменного тока по физическому смыслу представляет то же, что и сопротивление постоянного тока; при малых частотах (десятки герц) переменного тока эти сопротивления равны и по значению  $R_{пер} = R_{пост}$ . При повышенных частотах (сотни и тысячи герц)  $R_{пер}$  возрастает за счет эффекта вытеснения тока из центральной части на поверхность внутри сечения проводника из-за влияния магнитного поля тока. Для промышленной частоты  $f = 50$  Гц и можно принять  $R_{пер} = R_{пост}$ .

Индуктивное сопротивление –  $X_L$  возникает в цепях переменного тока благодаря явлению самоиндукции. Оно заключается в том, что переменное магнитное поле, создаваемое этим током, индуцирует в цепи (катушке, обмотке) согласно закона электромагнитной индукции по Максвеллу, ЭДС, направленную против тока (закон Ленца), благодаря чему создается дополнительное сопротивление току, которое и называется индуктивным. Оно зависит от индуктивности цепи –  $L$ , и частоты тока –  $f$ .

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L, \quad (8)$$

Действие активного и индуктивного сопротивлений эквивалентно полному или кажущемуся сопротивлению:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}, \quad (9)$$

Собрав схему амперметра-вольтметра можно определить сопротивления  $Z$ ,  $X_L$  (формулы 2 и 9) приняв  $R$  из измерения на постоянном токе.

Индуктивность катушек, обмоток зависит от параметров магнитной цепи и магнитной проницаемости среды (материала, магнитопровода):

$$L = \frac{\mu \cdot W^2 \cdot S}{l}, \quad (10)$$

где  $W$  - число витков;

$S$  - сечение магнитопровода;

$l$  – длина пути магнитной силовой линии;

$\mu$  - магнитная проницаемость.

Для ферромагнитных материалов, (сталь, чугун, специальные сплавы) магнитная проницаемость велика  $\mu = 10 \dots 100$  тыс.ед., для неферромагнитных (воздух и все материалы, кроме черных металлов) около единицы  $\mu \approx 1$ .

Таким образом катушка без стального сердечника будет иметь малую индуктивность и меньшее индуктивное сопротивление, чем катушка со стальным сердечником. Определить индуктивность катушки можно по данным измерений пользуясь соотношением (10), откуда:

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f}. \quad (11)$$

### Порядок выполнения работы

а) Измерение сопротивление на постоянном токе.

Собрать схему № 1 (рисунок 2.1). Путем измерения и расчета определить сопротивление катушки для двух случаев – без стального сердечника, и с сердечником. Выявить, - влияет-ли стальной сердечник на сопротивление.

Собрать схему № 2 (рисунок 2.2). Определить значение сопротивления реостата.

б) Измерение сопротивления переменному току.

Собрать схему № 3 (рисунок 2.3).

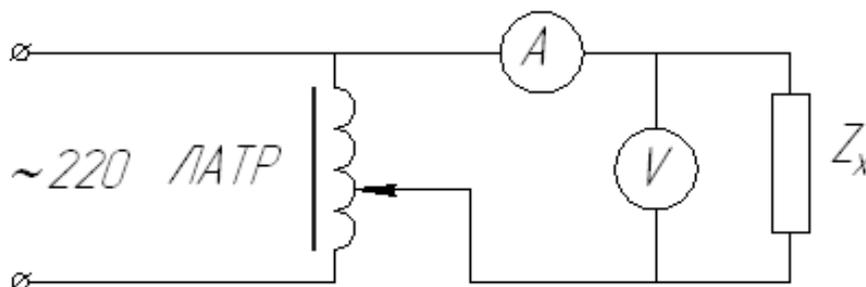


Рисунок 2.3 – Схема измерения сопротивления в переменном токе

Путем измерений и расчета определить сопротивление катушки активное, индуктивное, полное (кажущееся) для двух случаев – без стального сердечника и с сердечником. Выявить влияние стального сердечника. Построить треугольники сопротивлений. Определить индуктивность катушки.

### **Контрольные вопросы**

1. Имеет ли катушка индуктивность и индуктивное сопротивление на постоянном токе?
2. Влияет ли стальной сердечник на сопротивление катушки постоянному току.
3. Изменится ли сопротивление катушки на переменном токе, если вместо стального сердечника вставить алюминиевый?

## ***Лабораторная работа №3*** ***ИЗУЧЕНИЕ И ПРОВЕРКА ОДНОФАЗНОГО СЧЕТЧИКА*** ***АКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ***

### **Цель работы:**

1. Изучить устройство, принцип действия и схему включения электрического счетчика индукционной системы для измерения активной энергии переменного тока.
2. Изучить способы проверки счетчика (определение чувствительности, погрешности, самохода).

### **Оборудование рабочего места**

1. Счетчик электрической энергии однофазный индукционной системы - 1 шт.
2. Амперметр, вольтметр - 2 шт.
3. Плакат по счетчикам, экспонат - 2 шт.

### **Устройство, принцип действия и определение характеристик счетчиков**

Электрические счетчики предназначаются для учета электрической энергии. Они бывают однофазными и трехфазными, для учета активной и реактивной энергии.

Электрический однофазный счетчик индукционной системы состоит из двух электромагнитов, на одном из которых располагается токовая катушка, включаемая последовательно, с малым числом витков из провода большого сечения, а другом – катушка напряжения включаемая параллельно, с большим числом витков из провода малого сечения, алюминиевого диска, постоянного

тормозного магнита, счетного механизма и клеммника.

При включении счетчика в цепь переменного тока по его последовательной обмотке будет протекать ток нагрузки ( $I$ ) потребителей электроэнергии, благодаря чему в сердечнике создается магнитный поток  $\Phi_i$ , пропорциональный току. Этот поток пронизывая в двух местах алюминиевый диск, будет индуцировать в нем вихревые токи –  $I_1$ . Под воздействием приложенного напряжения –  $U$  по параллельной обмотке будет протекать ток который создает магнитный поток  $\Phi_u$ , который также, будет индуцировать в диске вихревой ток  $I_2$ .

В результате взаимодействия вихревых токов  $I_1, I_2$  и магнитных потоков ( $\Phi_i, \Phi_u$ ) создается вращающий момент, который пропорционален активной мощности:

$$M_{ep} = \kappa_1 \cdot I \cdot U \cdot \cos \varphi = \kappa_1 \cdot P, \quad (1)$$

где  $\kappa_1$  – коэффициент пропорциональности;

$P$  – мощность потребителя.

Под, действием этого момента диск счетчика придет во вращение. При вращении диска в нем за счет потока постоянного тормозного магнита ( $\Phi_m$ ), индуцируется вихревой ток ( $I_m$ ), в результате чего создается тормозной момент ( $M_m$ ):

$$M_m = \kappa_2 \cdot I_m \cdot \Phi_m, \quad (2)$$

где  $\kappa_2$  – коэффициент пропорциональности.

Так как поток  $\Phi_m$  постоянен, то  $M_m$  пропорционален скорости вращения диска:

$$M_m = \kappa'_2 \cdot n.$$

Для определенного значения мощности (или тока) нагрузки устанавливается равновесие  $M_{ep} = M_m$  или  $\kappa_1 \cdot P = \kappa'_2 \cdot n$  откуда

$$\eta = \frac{\kappa_1}{\kappa'_2} \cdot P = c' \cdot P, \text{ т.е. скорость вращения диска пропорциональна мощности}$$

или току нагрузки.

Если в течение времени  $t$  по цепи проходит мощность  $P$ , то расход электроэнергии ( $W$ ) определится:

$$W = P \cdot t = c \cdot n \cdot t = c \cdot N, \quad (3)$$

где  $N$  – число оборотов диска;

$n$  – скорость вращения,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$c$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от конструкции счетного механизма. Он является для данного счетчика неизменной величиной и называется номинальной постоянной счетчика:

$$C_n = \frac{W}{N}, \left[ \frac{Вт \cdot с}{оборот} \right] \quad (4)$$

и определяется по паспортным данным счетчика, указанным на шкале.

В реальных условиях параметры цепи: напряжение ( $U$ ), ток нагрузки ( $I$ ), частота ( $f$ ), коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ ), меняются и, поэтому, определяют, действительную постоянную по формуле:

$$C_d = \frac{U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot t}{N}, \left[ \frac{Вт \cdot с}{оборот} \right] \quad (5)$$

и вычисляют относительную погрешность счетчика:

$$\beta = \frac{C_n - C_d}{C_n} \cdot 100\% \quad (6)$$

Важной характеристикой счетчика является чувствительность. Для определения чувствительности подают номинальное напряжение на параллельную обмотку, плавно увеличивают ток нагрузки, начиная от нуля, и фиксируют наименьшее значение тока, при котором диск начинает вращаться. Чувствительность определяется по формуле:

$$S = \frac{I_{min}}{I_n} \cdot 100\% \quad (7)$$

где  $I_{min}$  – наименьший ток, при котором диск начинает вращаться;

$I_n$  - номинальный ток счетчика по паспортным данным.

Если, при подключении к сети, диск счетчика вращается даже при отсутствии нагрузки, то это называется самоходом. Самоход в счетчиках должен отсутствовать. При наличии самохода определить чувствительность невозможно.

### Порядок проведения работы

Собрать схему однофазного счетчика для измерения активной энергии (рисунок 3.1).

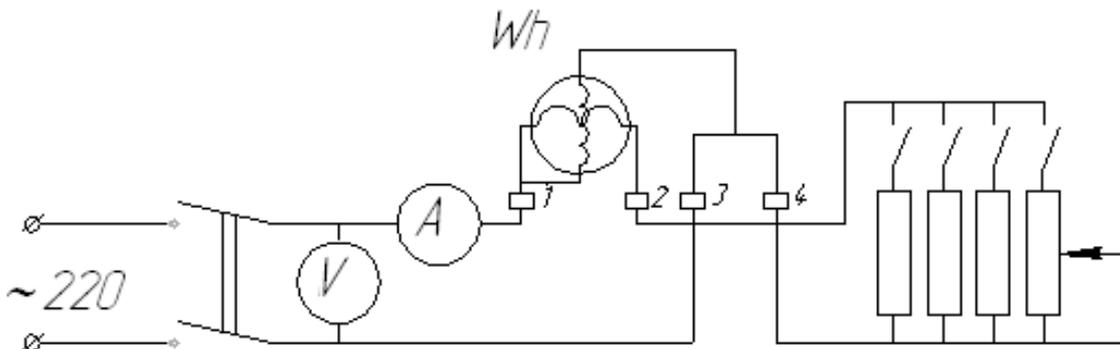


Рисунок 3.1 – Схема однофазного счетчика для измерения активной энергии

1. Проверить счетчик на самоход до включения нагрузки и при отключении нагрузки.
2. Если отсутствует самоход, определить чувствительность.
3. Давая различные нагрузки определить погрешности для каждой ступени нагрузки (для 3-4-х точек).
4. Построить кривую  $\beta = f(I)$ .
5. Дать заключение о соответствии счетчика классу точности по наибольшей погрешности, пользуясь вышеприведенной таблицей допустимых погрешностей.

### Контрольные вопросы

1. Принцип действия индукционного счетчика.
2. Что такое номинальная и действительная постоянные?
3. В каких пределах допускается самоход?
4. Как определяется чувствительность?
5. Как определяется погрешность счетчика?
6. Что произойдет если перепутать клеммы 1 и 2, 3 и 4?

### Лабораторная работа №4

#### КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ.

#### ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ( $\cos \varphi$ )

**Цель работы:** Изучить и проверить экспериментально метод компенсации реактивной энергии для повышения коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ); овладеть расчетом и построением векторных диаграмм и определения параметров схемы.

### Оборудование рабочего места

- |  |            |
|--|------------|
| 1. Трехфазный асинхронный электродвигатель | - 1 шт.    |
| 2. Трехфазный ваттметр                     | - 1 шт.    |
| 3. Батарея конденсаторов                   | - 1 компл. |
| 4. Вольтметр на 250 В                      | - 1 шт.    |
| 5. Амперметр на 5 А                        | - 1 шт.    |

### Элементы теории

Полная (или кажущаяся) потребляемая мощность установок переменного тока ( $S$ ) складывается из активной ( $P$ ) и реактивной ( $Q$ ) мощностей:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}, \quad (1)$$

Активная мощность затрачивается на полезную работу (превращение электрической энергии в механическую в электродвигателях, в тепловую в электропечах и т.д.).

Реактивная, которая может быть индуктивной ( $Q_L$ ) или емкостной ( $Q_C$ ), идет на создание магнитных и электрических полей. Потребителями индуктивной мощности являются электродвигатели, трансформаторы, все элементы эл.установок, в которых имеются катушки или обмотки. Емкостная мощность потребляется конденсаторами.

Реактивная мощность не создает полезной работы, в то же время она, циркулируя по цепи, загружает генераторы, сети, создает дополнительные потери и ведет к увеличению сечения проводов; поэтому в электроустановках стараются уменьшить величину реактивной мощности.

Отношение активной мощности ( $P$ ) к полной или кажущейся ( $S$ ) получило название коэффициента мощности ( $\cos \varphi$ ):

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}, \quad (2)$$

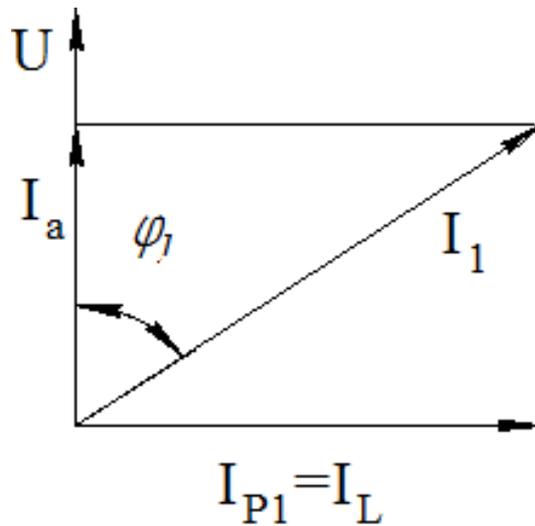
он показывает степень полезного использования энергии в электроустановках.

Как видно из формул (1) и (2) этот показатель можно повысить, уменьшив потребление реактивной мощности ( $Q$ ). На практике это достигается двумя путями: улучшением эксплуатации электроустановок (правильным выбором мощности электродвигателей, исключением работы на холостом ходу, качественным ремонтом и т.д.), а также путем компенсации реактивной мощности, которая заключается в следующем.

Реактивная мощность, потребляемая из сети, складывается из индуктивной ( $Q_L$ ) и емкостной ( $Q_C$ ), которые при параллельном соединении этих потребителей погашают, компенсируют друг друга (создается колебательный контур индуктивность – емкость с циркуляцией энергии между ними), в результате чего общая реактивная мощность, потребляемая из сети, оказывается равной их разности:  $Q = Q_L - Q_C$ . На практике большинство электроустановок потребляют индуктивную мощность (это электродвигатели, трансформаторы, катушки различных приборов и т.д.), поэтому для компенсации реактивной мощности нужно подключать параллельно емкостную нагрузку (конденсаторы или специальные машины – синхронные компенсаторы).

Рассмотрим метод компенсации на векторной диаграмме.

А) До компенсации, при включении индуктивно-активной нагрузки, диаграмма имеет вид (рисунок 4.1):



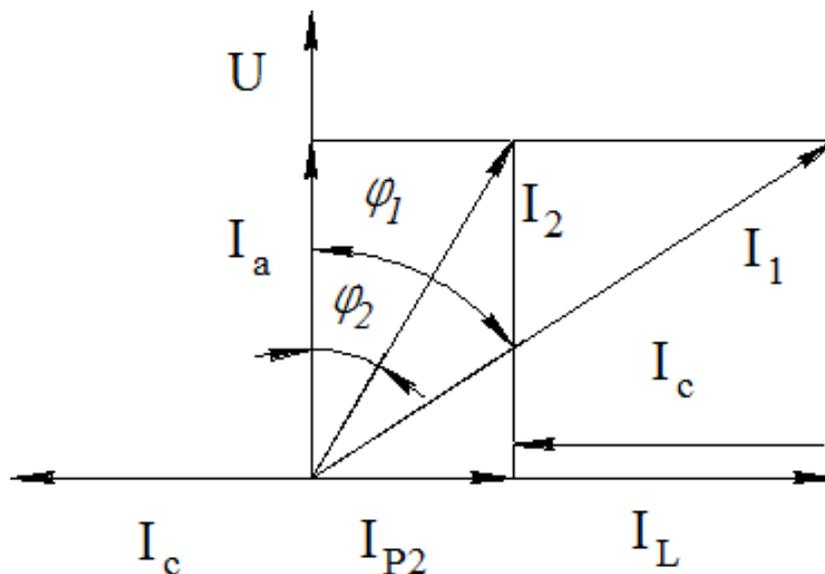
$U$  - напряжение сети;  $I_1$  - полный (или кажущийся) ток потребляемой из сети (он соответствует полной мощности  $S_1$ );  $I_a$  - активная составляющая тока (соответствует активной мощности  $P$ );  $I_{p1} = I_L$  - индуктивная составляющая тока (соответствует индуктивной мощности  $Q_I$ )

Рисунок 4.1 – Диаграмма токов при включении индуктивно-активной нагрузки

$\cos \varphi = \frac{I_a}{I_1}$  - коэффициент мощности до компенсации, где

$$I_1 = \sqrt{I_a^2 + I_{p1}^2} . \quad (3)$$

При параллельном подключении конденсаторов диаграмма получит вид (рисунок 4.2):



$I_c$  – ток конденсатора (соответствует емкостной мощности –  $Q_C$ )

Рисунок 4.2 – Векторная диаграмма токов и напряжений при компенсации

Реактивный ток после компенсации:

$$I_{P2} = I_L - I_C. \quad (4)$$

Полный ток после компенсации:

$$I_2 = \sqrt{I_a^2 + (I_L - I_C)^2}. \quad (5)$$

За счет компенсации (погашения) индуктивного тока емкостным током результирующий реактивный ток ( $I_P$ ), а, следовательно, и полный (кажущийся) ток ( $I$ ), уменьшаются, угол сдвига фаз уменьшается ( $\varphi_2 < \varphi_1$ ), увеличивается коэффициент мощности ( $\cos\varphi_2 > \cos\varphi_1$ ) при сохранении активного тока ( $I_a = \text{const}$ ) то есть активной мощности ( $P = \text{const}$ ).

Таблица 1 – Изменение величин при компенсации реактивной энергии

До компенсации	При компенсации	РЕЗУЛЬТАТ
$I_a (P)$	$I_a (P)$	$I_a = \text{const}, P = \text{const}$
$I_{P1} (Q_1)$	$I_{P2} (Q_2)$	уменьшаются $I_{P2} < I_{P1}, Q_2 < Q_1$ .
$I_1 (S_1)$	$I_2 (S_2)$	уменьшаются $I_2 < I_1, S_2 < S_1$ .
$\varphi_1$	$\varphi_2$	уменьшается $\varphi_2 < \varphi_1$
$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$	увеличивается $\cos \varphi_2 > \cos \varphi_1$

Расчетом и подбором конденсаторов можно достичь частичной или полной компенсации.

Для практических расчетов емкость конденсаторов ( $c$ ), необходимая для достижения сдвига фаз от начального значения  $\varphi_1$  ( $\cos \varphi_1$ ) до нового -  $\varphi_2$  ( $\cos \varphi_2$ ), можно определить из выражения:

$$c = \frac{P}{U^2 \cdot \omega} \cdot (\text{tg} \varphi_1 - \text{tg} \varphi_2), \quad (6)$$

где  $P$  - активная мощность, Вт;

$U$  - напряжение, В;

$\omega$  - угловая частота,  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$  ;

$f$  - частота тока.

Мощность конденсатора:

$$Q_C = Q_1 - Q_2, \quad (7)$$

Полная (или кажущаяся) мощность:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I, \quad (8)$$

а также активная мощность ( $P$ ) определяются по результатам измерений.

Реактивная мощность до и после компенсации ( $Q_1, Q_2$ ) из формулы (1).

## Порядок проведения работы

а) Собрать схему установки (рисунок 4.3).

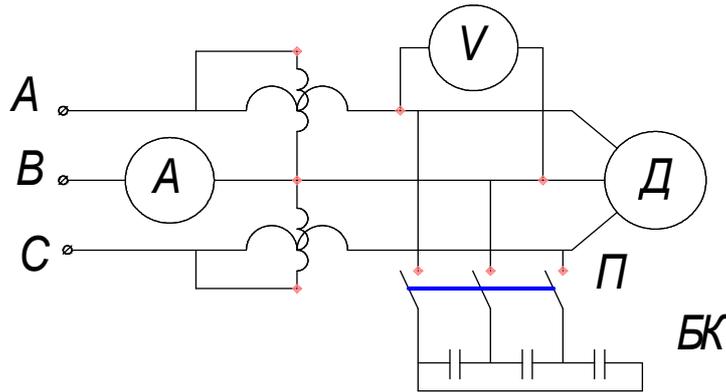


Рисунок 4.3 – Электрическая схема лабораторной установки

б) отключить блок конденсаторов (БК) пускателем «П» и произвести измерение до компенсации;

в) включить блок конденсаторов и произвести замер при компенсации.

Таблица 2 – Результаты измерений

Наименование	U, (В)	I, (А)	P, (Вт)
До компенсации			
При компенсации			

Таблица 3 – Расчетная таблица

Наименование	S, (ВА)	Q, (ВАР)	cosφ	φ	I <sub>a</sub> , (А)	I <sub>L</sub> , (А)	I <sub>C</sub> , (А)	C, (Ф)	Q <sub>C</sub> , (ВАР)
До компенсации							—	—	—
При компенсации (эксперимент)									
Полная компенсация (расчет)									

Пользуясь данными измерений, выполнить расчеты для трех режимов: до компенсации, при частичной (эксперимент) и полной компенсации (расчет) при заданном  $\cos\varphi_2 = 1$ .

Построить векторную диаграмму токов и напряжений при компенсации по данным измерений (в масштабе).

Токи ( $I_a$ ,  $I_L$ ,  $I_C$ ) можно определять расчетным путем или графически из векторной диаграммы.

### Контрольные вопросы

1. Что такое коэффициент мощности  $\cos\varphi$ ?
2. В чем заключается принцип компенсации?
3. Как определить емкость и мощность конденсатора для повышения  $\cos\varphi$ ?

## Лабораторная работа №5

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

**Цель работы:** Изучить устройство и принцип действия трансформатора, методы испытания, снятия характеристик и построения векторной диаграммы,

#### Оборудование рабочего места

1. Однофазный трансформатор 220/12 В	1 шт.
2. Латр 220В 9 А	1 шт.
3. Амперметры на 1 и 5 А	2 шт.
4. Ваттметр многопредельный 300 В, 10 А	1 шт.
5. Вольтметры на 250 и 30 В	2 шт.
6. Реостат ползунковый	1 шт.
7. Плакаты, экспонат.	

#### Устройство и принцип действия трансформатора

Трансформатор представляет собой электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования электрической энергии переменного тока одного напряжения в другое напряжение при сохранении частоты тока.

Трансформатор состоит из стального замкнутого сердечника (магнитопровода) и двух, размещенных на нем, обмоток: первичной –  $W_1$ , к которой подводится напряжение питающей сети –  $U_1$ , и вторичной обмотки –  $W_2$ , с которой снимается вторичное напряжение –  $U_2$  или ЭДС. Магнитопровод предназначается для прохождения магнитного потока и изготавливается из листовой трансформаторной стали с изолировкой листов бумагой или лаком, что необходимо для уменьшения потерь в стали от перемагничивания (гистерезиса) и вихревых токов и, тем самым, уменьшения нагрева сердечника. Обмотки (катушки) изготавливается из обмоточных проводов с бумажной или хлопчатобумажной изоляцией круглого или прямоугольного сечения (последнее при больших токах); обмотки изолируются друг от друга и от магнитопровода; особенно надежной изготавливается изоляция высоковольтной обмотки.

Работа трансформатора основана на явлении взаимной индукции. Под действием приложенного к первичной обмотки напряжения по ней протекает ток  $I_1$  и создается магнитный поток  $\Phi$ , который замыкается по стальному сердечнику, пересекает витки вторичной обмотки –  $W_2$  и индуцирует в ней ЭДС  $E_2$ , также за счет самоиндукции ЭДС в первичной обмотке  $E_1$ .

Действующие значения ЭДС определяются

$$E_1 = 4,44 \cdot f \cdot W_1 \cdot \Phi, \text{ [В];} \quad (1)$$

$$E_2 = 4,44 \cdot f \cdot W_2 \cdot \Phi, \text{ [В].} \quad (2)$$

Коэффициент трансформации определяется отношением:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{W_1}{W_2} = \frac{I_2}{I_1} = K. \quad (3)$$

При холостом ходе трансформаторы (вторичная обмотка разомкнута, и ток в ней отсутствует) вторичное напряжение равно ЭДС ( $U_{20} = E_2$ ).

Ток холостого хода ( $I_0$ ) также очень мал ( $2 \div 6\%$  от номинального); поэтому, пренебрегая падением напряжения ( $\Delta U_1 \approx 0$ ) можно считать для холостого хода  $U_{10} = E_1$ . Таким образом, коэффициент трансформации можно определить из отношения напряжений при холостом ходе:

$$K = \frac{U_{10}}{U_{20}}. \quad (4)$$

Примечание: все величины, имеющие индекс «нуль» ( $I_0$ ;  $U_{10}$ ;  $U_{20}$  и т.д.) относятся к режиму холостого хода; имеющие индекс «к» – к режиму или опыту короткого замыкания ( $I_{1к}$ ;  $U_{1к}$  и т.д.), имеющие индекс «н» – к номинальному, т.е. 100%-ному нагрузочному режиму, индекс «1» – к первичной обмотке, индекс «2» – ко вторичной обмотке.

### Коэффициент полезного действия.

#### Опыты холостого хода и короткого замыкания

К.п.д. трансформатора ( $\eta$ ) определяется:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \quad (5)$$

где  $P_2$  – активная мощность, отдаваемая со вторичной обмотки;

$P_1$  – активная мощность, потребляемая первичной обмоткой из сети;

$\Delta P$  – потери мощности в трансформаторе.

При работе трансформатора различают потери мощности электрические - в обмотках  $\Delta P_s$ , которые идут на нагрев обмоток и пропорциональны квадрату силы тока:  $\Delta P_s = I^2 \cdot R$ , (6) и потери магнитные - в стали  $\Delta P_m$ , которые идут на нагрев стали (обусловлены перемагничиванием и вихревыми токами в стали магнитопровода).

Таким образом

$$\Delta P = \Delta P_m + \Delta P_s. \quad (6)$$

В режиме (или опыте) холостого хода ток во вторичной обмотке равен нулю, в первичной обмотке имеет очень малое значение, следовательно, потери в обмотках при холостом ходе будут очень малы  $\Delta P_s = I_0^2 \cdot R \approx 0$  (ими можно пренебречь) и потребляемая мощность –  $P_0$  идет на покрытие потерь в стали:

$$P_0 = \Delta P_m. \quad (7)$$

Потери в обмотках определяются из опыта короткого замыкания. В опыте короткого замыкания вторичную обмотку замыкают накоротко, а к первичной подводит пониженное напряжение  $U_{1к}$  такой величины, чтобы токи в обмотках были равны номинальным  $I_{1н}$ ;  $I_{2н}$ . При таком небольшом напряжении ( $U_{к} = 0,03 \div 0,05 U_{н}$ ) магнитный поток в сердечнике очень мал и потери в стали также незначительны, ими можно пренебречь ( $\Delta P_{\sigma} \approx 0$ ), поэтому мощность, потребляемая трансформатором  $P_{к}$ , идет на покрытие потерь в обмотках:

$$P_{к} = \Delta P_{\sigma} . \quad (8)$$

Таким образом, потери мощности трансформатора при номинальном напряжении  $U_1 = U_{н}$  и номинальных токах  $I_{1н}$ ;  $I_{2н}$  равны сумме потерь в стали и обмотках, полученных из опытов холостого хода и короткого замыкания:

$$\Delta P = \Delta P_{\sigma} + \Delta P_{M} = P_{к} + P_0 . \quad (9)$$

Потери в стали для нормальных режимов работы трансформатора являются постоянными:

$$\Delta P_{\sigma} = P_0 = const . \quad (10)$$

Потери в обмотках для расчета характеристик удобнее определять по формуле

$$\Delta P_{\sigma} = \beta^2 \cdot P_{к} , \quad (11)$$

где  $\beta = \frac{I_1}{I_{1н}}$ ; - степень нагрузки трансформатора;

$I_1$  - ток нагрузки, при котором нужно определить потери в обмотках;

$I_{1н}$  - номинальный ток;

$P_{к}$  - потери мощности в обмотках, соответствующие номинальному току (из опыта к.з.).

Величина  $\bar{U}_{к}$  (или  $e_{к}$ ) полученная из опыта короткого замыкания, называется напряжением короткого замыкания трансформатора и выражается обычно в процентах от номинального напряжения:

$$U_{к} = \frac{U_{к}}{U_{1н}} \cdot 100\% . \quad (12)$$

Для трансформаторов небольшой мощности (до 100 – 320 кВА)  $U_{к} = 3 - 5\%$ .

### Порядок выполнения работы.

#### 1. Записать паспортные данные трансформатора.

Тип	Число фаз	Номинальная мощность, кВт	Номинальное напряжение		Номинальные токи		Назначение	Способ охлаждения
			Первич. $U_{1н}$ , В	Вторич. $U_{2н}$ , В	Первич. $I_{1н}$ , А	Вторич. $I_{2н}$ , А		

2. Собрать схему испытания трансформатора рисунок 5.1.

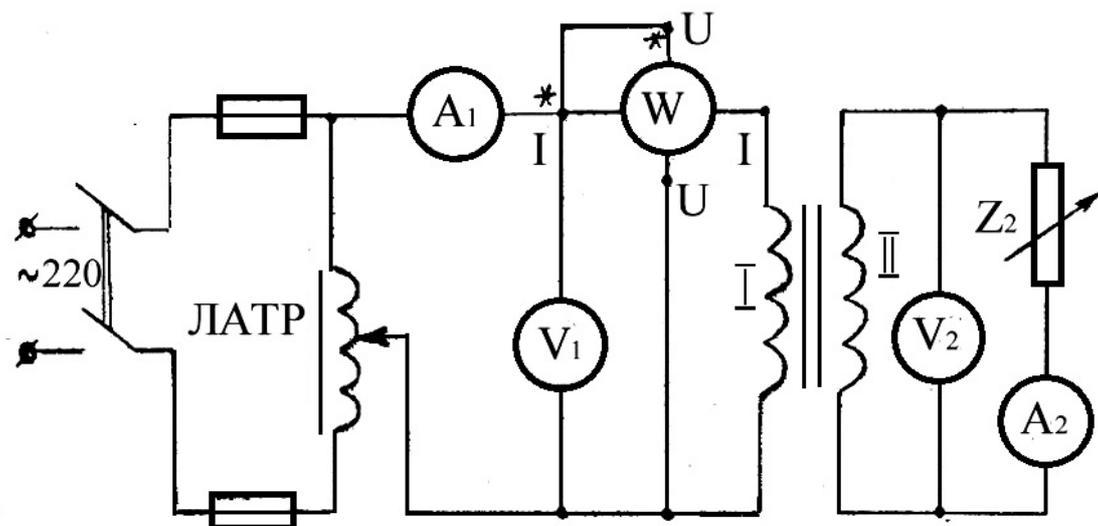


Рисунок 5.1 – Схема испытания трансформатора

### 3. Опыт холостого хода

Во вторичной цепи (рисунок 5.1) отсоединить амперметр  $A_2$  и нагрузку  $Z_2$ , оставить только вольтметр  $V_2$ . Включить схему и установить ЛАТРОм номинальное напряжение  $U_{1н}$ . Произнести замер и записать в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений и расчетов

Измерено				Вычислено			
$I_0, A$	$U_{10}, B$	$U_{20}, B$	$P_0, Вт$	$K = \frac{U_{10}}{U_{20}}$	$\cos \varphi_0$	$\varphi_0, град$	$S, ВА$

$$\text{Расчетные формулы: } \cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{10} \cdot I_0}; S = I_0 U_{10}.$$

### 4. Опыт короткого замыкания

В схеме рисунка 5.1 отсоединить вольтметр и нагрузку  $Z_2$ , оставив только амперметр  $A_2$ . Таким образом, вторичная обмотка замкнута накоротку, т.к. сопротивление амперметра очень мало  $R_A \approx 0$ .

а) предварительно перед включением схемы в сеть регулятором напряжения (ЛАТР) установить его выходное напряжение на нуль;

б) включить сеть и постепенно повышать напряжение регулятором (начиная от нуля), наблюдая за показаниями амперметров; при установлении в обмотках номинальных токов  $I_{1н}$ ,  $I_{2н}$  прекратить повышение напряжения и произвести измерения.

Примечание: Значения номинальных токов трансформатора, установленного в лаборатории, принимаются по паспортным данным.

Таблица 2 – Таблица измерений и расчетов

Измерено				Вычислено										
U <sub>к</sub> , В	I <sub>1к</sub> А	I <sub>2к</sub> А	P <sub>1к</sub> Вт	Сопротивление, Ом										
				Z <sub>к</sub>	R <sub>к</sub>	X <sub>к</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>		

Расчетные формулы:

Сопротивления обеих обмоток трансформатора:

$$Z_{к} = \frac{U_{к}}{I_{1к}}; \quad R_{к} = \frac{P_{1к}}{I_{1к}^2}; \quad X_{к} = \sqrt{Z_{к}^2 - R_{к}^2}$$

Сопротивление первичной обмотки

$$Z_{1к} = \frac{Z_{к}}{2}; \quad R_1 = \frac{R_{к}}{2}; \quad X_1 = \frac{X_{к}}{2}$$

Сопротивление вторичной обмотки

$$Z_{2к} = \frac{Z_{к}}{2K}; \quad R_2 = \frac{R_{к}}{2K}; \quad X_2 = \frac{X_{к}}{2K}$$

где K – коэффициент трансформации.

### 5. Снятие нагрузочной характеристики

Во вторичной цепи трансформатора соединять все приборы согласно схеме (рисунок 5.1).

Движок нагрузочного реостата установить на наибольшее сопротивление. Схему включить в сеть, ЛАТРОМ установить номинальное напряжение U<sub>1н</sub> (только для начальной точки, в дальнейшем напряжение не регулировать).

Произвести замеры (4 – 5 точек), меняя ток нагрузки реостатом от нуля до номинального.

Таблица 3 – Таблица измерений и расчетов

Измерено					Вычислено				
U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В	I <sub>1</sub> , А	I <sub>2</sub> , А	P <sub>1</sub> , Вт	ΔP <sub>9</sub> , Вт	P <sub>2</sub> , Вт	η	cos φ <sub>1</sub>	cos φ <sub>2</sub>

Расчетные формулы

$$P_2 = P_1 - \Delta P; \quad \cos \varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 \cdot I_1}; \quad \cos \varphi_2 = \frac{P_2}{U_2 \cdot I_2}$$

$$S_H = U_H \cdot I_H, [\text{ВА}]; \quad Q_H = U_H \cdot I_H \cdot \sin \varphi, [\text{ВАр}].$$

Определить номинальные значения активной ( $P_H$ ), реактивной ( $Q_H$ ) и полной ( $S_H$ ) мощностей трансформатора.

Построить кривые зависимости  $U_2$ ,  $\Delta P_{\Sigma}$ ,  $\eta$ ,  $\Delta P_M$ , от  $I_2$  и векторную диаграмму нагрузочного режима трансформатора.

### Контрольные вопросы

1. Почему сердечник (магнитопровод) изготавливается из тонколистовой стали с изоляцией листов?
2. Что такое коэффициент трансформации, объяснить его значение для повышающего и понижающего трансформатора?
3. Дайте определение к.п.д. трансформатора.
4. При каком значении нагрузки ( $I_2$  в % от  $I_{1H}$ ) наступает наибольшее значение к.п.д. трансформатора (экономический режим)? Каково соотношение потерь в меди и стали в этой точке?
5. В чем достоинство метода опытов холостого хода и короткого замыкания при определении параметров и характеристик трансформатора? Рассмотрите, анализируя затрачиваемые мощности.

### Лабораторная работа №6

#### ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

##### Цель работы:

1. Изучить устройство и принцип действия электродвигателя.
2. Изучить маркировку и способ определения выводных концов обмотки, статора.
3. Изучить способ подключения на «звезду» и «треугольник».
4. Изучить способ измерения частоты вращения стробоскопическим методом.
5. Изучить методику снятия характеристик.

##### Оборудование рабочего места

- |   |             |
|---|-------------|
| 1. Разобранный электродвигатель           | 2 Вт.       |
| 2. Испытуемый электродвигатель 1,7 кВт    | 1 шт.       |
| 3. Плакаты                                |             |
| 4. Строботахометр СТ – 5                  | 1 шт.       |
| 5. Комплект электроизмерительных приборов | 1 комплект. |

## Устройство электродвигателя

Асинхронный электродвигатель трехфазного переменного тока состоит из двух основных узлов: неподвижной части – СТАТОРА и вращающейся – РОТОРА.

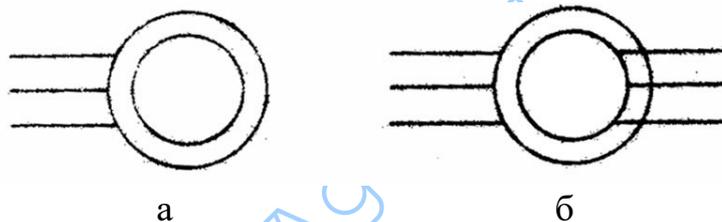
Корпус статора изготавливается из чугуна, стали или алюминия, и служит для крепления всех элементов конструкции двигателя. В расточку корпуса запрессован сердечник статора (или активное железо статора), который собран из отдельных листов (толщиной 0,3...0,5 мм) электротехнической стали, изолированных между собой (в качестве изоляции используется лаковая пленка или окалина на листах стали – в двигателях малой мощности). Изолировка листов применяется для устранения вихревых токов и нагрева сердечника.

В пазах статора уложена трехфазная обмотка статора, от которой сделаны шесть выводов.

Роторы выполняют двух типов (рисунок 6.1):

1 – с короткозамкнутой обмоткой типа "белочье колесо";

2 – с трехфазной обмоткой, соединенной в "звезду", выводы которой присоединяются к контактным кольцам.



а) с короткозамкнутым ротором; б) с фазным ротором

Рисунок 6.1 – Условное обозначение асинхронных двигателей в электрических схемах

В обозначении - внешняя окружность изображает условно обмотку статора, внутренняя – обмотку ротора.

### *Короткозамкнутый ротор*

Сердечник ротора, запрессованный на вал, также собран из листовой электротехнической стали, в пазах ротора имеется обмотка, выполненная из голых медных, латунных или алюминиевых стержней с обоих торцов замкнутых накоротко (отсюда и название двигателя - короткозамкнутый).

### *Фазный ротор*

Сердечник ротора с трехфазной обмоткой изготавливается также, как у короткозамкнутого. Различие роторов – в конструкции обмоток, у фазного ротора обмотка выполняется изолированными обмоточными проводами

(круглого сечения в двигателях малой мощности, прямоугольного сечения – в двигателях большой мощности).

Обмотка трехфазная: три конца обмотки соединяют вместе, изолируют, и бандажом крепят к обмотке; три начала выводят через пустотелый вал и соединяют с тремя токосъемными кольцами, насаженными на один конец вала. Кольца имеют электрическую изоляцию между собой и от вала. Для съема тока с ротора в двигателе имеется щеточный механизм (щетками с держателями).

Между статором и ротором асинхронных двигателей имеется воздушный зазор от 0,3...0,5 мм - в малых двигателях, до 1,5 мм и более в крупных двигателях. Воздушный зазор является важным элементом магнитной цепи машины, его изменение резко влияет на мощность; поэтому в эксплуатации растачивать или шлифовать ротор не допускается, во избежание увеличения воздушного зазора.

Большой износ подшипников также не допустим.

### Принцип действия асинхронного электродвигателя

При подключении обмотки статора к сети по ней протекает трехфазный переменный ток, который создает вращающееся магнитное поле. Силовые линии магнитного поля статора проходят по сердечникам статора и ротора, пересекают обмотку ротора и создают в ней ЭДС, под действием которой в замкнутой обмотке ротора появляется ток. Ток ротора создает магнитное поле ротора, которое, взаимодействуя с вращающимся магнитным полем статора, создает вращающий момент, в результате чего ротор приходит, во вращение.

Частота вращения магнитного поля статора определяется:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f}{P} \text{ мин}^{-1}, \quad (1)$$

где  $f$  – частота тока в обмотке статора

$P$  – число пар полюсов статора.

Как видно из рассмотренного принципа действия двигателя магнитные силовые линии вращающегося поля статора должны пересекать проводники обмотки ротора, только в этом случае в обмотке ротора индуктируются ЭДС и ток. Поэтому частота вращения ротора ( $n_2$ ) должна быть меньше частоты вращения магнитного поля статора ( $n_1$ ), т.е. частоты вращения не совпадают, поэтому двигатель называется асинхронным (не совпадающим по оборотам). Это отставание ротора или разность частот вращения называется скольжением и выражается формулой:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%. \quad (2)$$

Скольжение в асинхронных двигателях составляет 2 – 8% от  $n_n$ . Частота вращения ротора  $n_2 = n_1(1 - S)$ , где  $S$  – в долях единицы. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором наряду с достоинствами – простота конструкции, простота и надежность в эксплуатации, обладают недостатком имеют большой пусковой ток, превышающий нормальный рабочий ток в 4 – 6 раз, что вредно отражается на работе сети и иногда затрудняет пуск электродвигателя.

В некоторых современных конструкциях асинхронных короткозамкнутых двигателей пусковой ток уменьшен до 2,5 – 3-х кратного.

Изменение направления вращения двигателей (реверсирование) производится путем смены местами проводов двух (любых) фаз.

### Определение и маркировка начал и концов обмотки статора.

В асинхронных электродвигателях принята следующая маркировка выводов обмотки статора:

1-я фаза начало –  $C_1$  —————> конец –  $C_4$ ;  
 2-я фаза начало –  $C_2$  —————> конец –  $C_5$ ;  
 3-я фаза начало –  $C_3$  —————> конец –  $C_6$ .

Отыскание начал и концов обмоток производится таким образом:

а) сначала определяется попарно выходы каждой фазы обмотки статора с помощью контрольной лампочки (мультиметра и др., путем прозвонки) согласно схеме (рисунок 6.2)

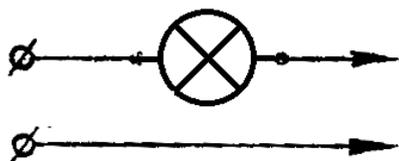


Рисунок 6.2 – Схема включения лампочки

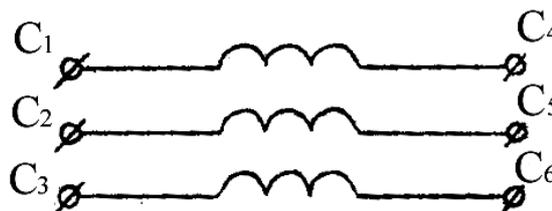


Рисунок 6.3 – Три фазы обмотки статора с 6-ю выводами

Лампочка включается последовательно в сеть; два провода (показано стрелками) поочередно присоединяют к выводам обмотки статора. При попадании на выводы одной фазы лампочка горит;

б) затем произвольно маркируют выходы одной из фаз, считая её первой ( $C_1$   $C_4$ ), соединяют ее последовательно с другой фазой (любой из двух не замаркированных) и включают их в сеть, к концам оставшейся третьей фазы подключают лампочку (или вольтметр) согласно схеме (рисунок 6.4).

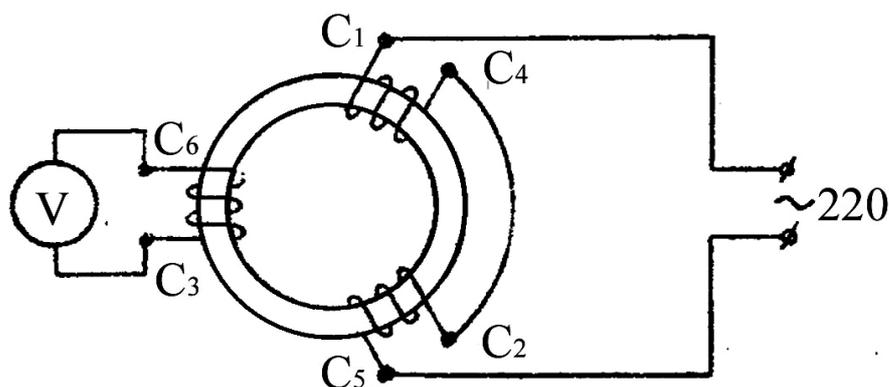


Рисунок 6.4 – Схеме маркировки выводных концов обмотки статора

Если при включении рубильника лампочка загорится (или вольтметр показывает напряжение), то значит вторая фаза включена согласно первой, т.е. к концу 1-й фазы (C<sub>4</sub>) присоединено начало 2-й фазы (C<sub>2</sub>); т.е. можно маркировать 2-ю фазу (C<sub>2</sub> C<sub>5</sub>). В этом случае магнитные потоки 1-й и 2-й фаз  $\Phi_1$   $\Phi_2$  совпадают по направлению и создают в стали один общий поток, который пересекая витки третьей фазы, индуцирует в ней ЭДС, отчего лампочка горит.

Если лампочка не горит, то значит 2-я фаза включена встречно первой (встречные магнитные потоки  $\Phi_1$   $\Phi_2$  погасают друг друга, ЭДС в третьей фазе не наводится).

В этом случае необходимо концы второй фазы поменять местами и включить снова, лампочка должна загореться.

Определение выводов 3-й фазы производится аналогично: 3-ю фазу включают последовательно с первой (к концу C<sub>4</sub> один из выводов третьей фазы), и подают напряжение от сети, к 2-й фазе подключают лампочку. Если лампочка горит, то к C<sub>4</sub> присоединено начало 3-й фазы – C<sub>3</sub>. Описанный способ называется способом трансформации, т. к. используется индуктирование ЭДС взаимной индукции, как в трансформаторах.

Включение электродвигателя на «звезду» и «треугольник».

Выводные концы обмоток подключают на клеммник, располагая их так, как показано на рисунке 6.5.

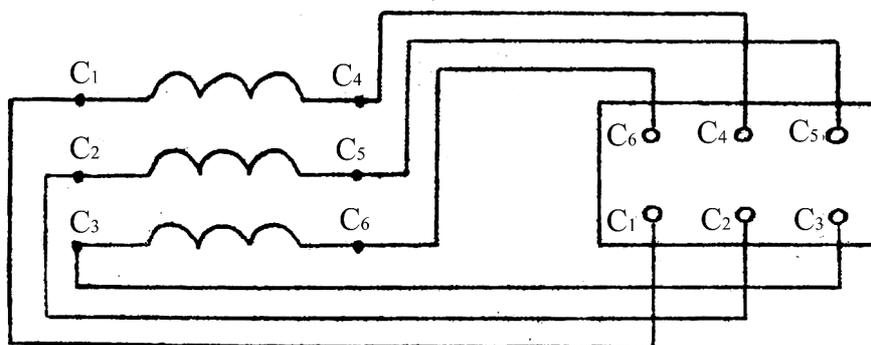


Рисунок 6.5 – Схема подключения выводов обмотки к клеммной коробке

Для включения на «звезду» необходимо соединить в один узел три конца обмоток ( $C_4, C_5, C_6$ ), (на клеммнике это выполняется путем установки пластин-перемычек) к трем началам ( $C_1, C_2, C_3$ ) подводится сеть, как показано на рисунке 6.6, где дана и поясняющая схема «звезды».

Для включения на «треугольник» необходимо соединить: конец 1-й фазы –  $C_4$  с началом 2-й –  $C_2$ , конец 2-й –  $C_5$  с началом 3-й –  $C_3$  и конец 3-й –  $C_6$  с началом 1-й фазы –  $C_1$ .

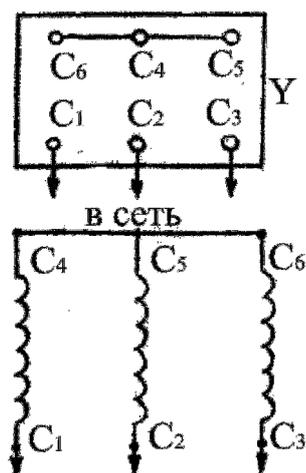


Рисунок 6.6 – Схема звезды

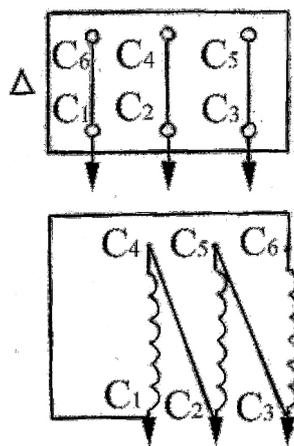


Рисунок 6.7 – Схема треугольника

На клеммнике это получается постановкой трех перемычек, как показано на рисунке 6.7.

Сеть подключается к любым трем клеммам ( $C_1, C_2, C_3$  или  $C_4, C_5, C_6$ ).

Выбор той или иной схемы соединения обмоток зависит от напряжения сети и электродвигателя. На паспорте электродвигателя нормального исполнения указываются два напряжения – 220/380 В и схемы соединения  $\Delta/Y$ .

Меньшее напряжение соответствует соединению обмоток на треугольник, большее – соединению в звезду.

### Стробоскопический метод определения частоты вращения и скольжения

Для измерения скорости вращения (и скольжения) электрических машин применяются методы:

1. Измерение скорости с помощью тахометров, тахогенераторов, тахографов.
2. Определение скорости по частоте тока.
3. Стробоскопический метод.

Стробоскопический метод основан на стробозэффекте газосветных ламп и позволяет измерить скорость вращения или скольжение машины без

механических связей прибора с валом машины, что является достоинством метода. Применяемые приборы называются стробоскопами или строботаксметрами.

Способ заключается в следующем:

а) определение частоты вращения ротора ( $n_2$ ).

На торце вала машины наклеивают бумажный или картонный диск с нанесенными на нем черной или белой краской чередующимися секторами, число секторов каждой окраски равно числу полюсов машины (как показано на рисунок 6.8).

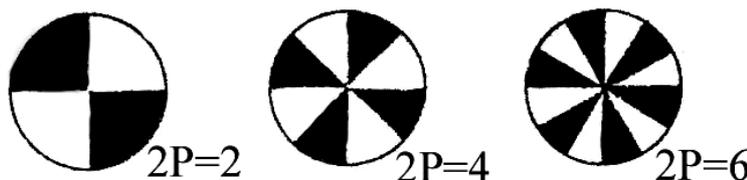


Рисунок 6.8 – Схема нанесения меток на торец вала электродвигателя

Диск освещается какой-либо газосветной лампой (обычно неоновой) дающей кратковременные световые вспышки точно соответствующие частоте тока. За один период переменного тока получается две вспышки лампы (рисунок 6.8). При синхронной скорости вращения машины в течение полупериода, соответствующего одной вспышке, вал ротора повернется точно на два сектора (один черный и один белый), т.к. два сектора соответствуют одному полюсу машин. Поэтому при каждой новой вспышке лампы торец вала будет освещаться ею при одном и том же положении секторов, и, следовательно, будет казаться неподвижным.

Таким образом, для измерения частоты вращения ротора ручкой настройки вибратора строботаксметра подбирают такую частоту тока, чтобы вал ротора, освещенный мигающим светом, казался неподвижным. Шкала строботаксметра проградуирована в оборотах, поэтому сразу показывает частоту вращения ротора

б) Определение скольжения ротора  $S$ .

У асинхронного двигателя ротор вращается медленнее вращающегося поля статора  $n_2 < n_1$ . При чем  $n_1$  строго соответствует частоте тока  $f$ . Поэтому, если на шкале строботаксметра установить частоту вращения  $n_1$ , то вал ротора между двумя вспышками лампы строботаксметра не успеет повернуться точно на два сектора и будет казаться, что диски медленно вращаются в сторону, обратную вращению ротора. Число полных оборотов диска в обратную сторону за одну минуту есть скольжение ротора –  $S$ .

### Порядок выполнения работы

1. Произвести определение (маркировку) начал и концов обмотки статора электродвигателя.
2. Включить электродвигатель по схеме «звезды» и «треугольника»; провести реверсирование – изменение направления вращения.
3. Определить частоту вращения и скольжение стробоскопическим методом.
4. Замерить пусковой ток и ток холостого хода.

Определить:  $K_{II} = \frac{I_{II}}{I_H}$        $K_{XX} = \frac{I_{XX}}{I_H}$

где  $I_H$  – номинальный ток электродвигателя по паспорту.

5. Определить параметры режима холостого хода, для чего собрать схему (рисунок 6.9).

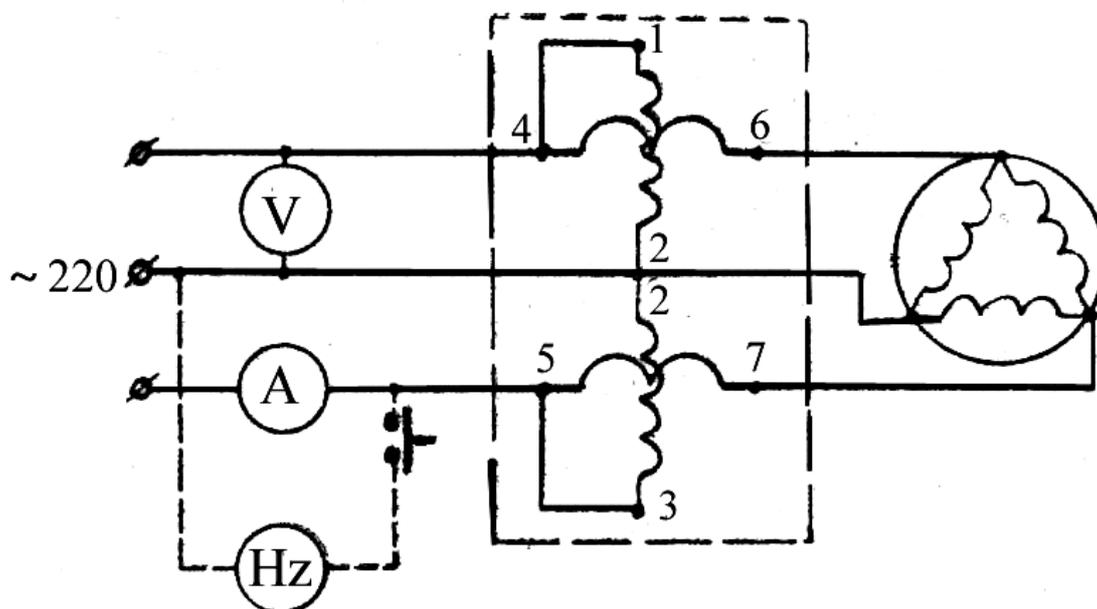


Рисунок 6.9 – Схема определения параметров холостого хода

Расчетные формулы:

полная или кажущаяся мощность  $S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I$  [ВА];

коэффициент мощности  $\cos\varphi = \frac{P}{S}$ ,

где  $P$  – активная мощность по ваттметру.

### Контрольные вопросы

1. Почему асинхронный электродвигатель не может иметь частоту вращения ротора –  $n_2$ , равной частоте вращения поля статора –  $n_1$ ?
2. Зависят ли величина и длительность протекания пускового тока двигателя от нагрузки?

3. Почему  $\cos\varphi$  при холостом ходе очень мал, при полной нагрузке значительно высок?

Ответы обосновать.

### **Лабораторная работа №7**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ШУНТОВОГО ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ**

**Цель работы** – изучить устройство, принцип действия, схемы и методы снятия рабочих характеристик.

### **Оборудование рабочего места**

- |   |              |
|---|--------------|
| 1. Установка мотор-генератор 1 кВт      | – 1 шт.      |
| 2. Виток с приборами постоянного тока : |              |
| вольтметр на 250 В                      | – 1 комплект |
| амперметры на 1 и 10А                   | – 1 комплект |
| 3. Реостат на 2–3 кОм, 0,2 А            | – 1 шт.      |
| 4. Комплект нагрузочных сопротивлений   | – 1 комплект |
| 5. Плакаты, экспонат.                   |              |

### **Устройство и принцип действия**

Основными элементами конструкции машины является: станина с закрепленными на ней главными и добавочными полюсами, якорь, щеточный механизм, подшипниковые щиты. Станина служит для крепления узлов и деталей машины, а также является магнитопроводом, поэтому изготавливается из черных металлов (чугуна, стали) имеющих высокую магнитную проницаемость. Главные полюсы, представляют собой электромагниты, предназначенные для создания основного магнитного потока состоят из сердечников, собранных из толстолистовой стали (для удобства технологии изготовления) и, размещенных на них, катушек шунтовой обмотки возбуждения, которая соединяется параллельно с обмоткой якоря, катушки намотаны из тонкого провода, имеют большое число витков. Добавочные полюсы также состоят из сердечников и катушек, выполненных из провода большого сечения при малом числе витков, соединяются последовательно с обмоткой якоря, предназначены для устранения реакции якоря и улучшения характеристик машины. Якорь машины – вращающаяся часть имеет стальной сердечник – магнитопровод, собранный из листовой электротехнической стали, листы изолированы для устранения вихревых токов и нагрева, обмотку, размещенную в пазах сердечника, коллектор, к пластинам которого припаиваются концы катушек обмотки якоря. Коллектор собран из медных

пластин, изолированных друг от друга и от вала изоляционными прокладками. Щеточный механизм, состоящий из траверсы, щеток и щеткодержателей, служит для передачи тока между коллектором и щетками.

Генератор постоянного тока работает на принципе электромагнитной индукции. На обмотку возбуждения главных полюсов подается постоянный ток возбуждения –  $I_B$ , который создает основной магнитный поток  $\Phi_{ш}$  (шунтовой поток). Якорь машины получает вращение от первичного двигателя, проводники обмотки якоря при вращении пересекают силовые линии магнитного поля и в обмотке индуцируется переменная ЭДС, проходя через коллектор на щетки она выпрямляется; таким образом, со щеток снимается постоянный ток. Для питания обмотки возбуждения полюсов постоянный ток берется со щеток этой же машины; для индуктирования ЭДС в начальный момент работы сердечники главных полюсов должны иметь остаточный магнетизм (остаточный магнитный поток  $\Phi_{ост}$ ).

Основной шунтовой магнитный поток –  $\Phi_{ш}$  и остаточный –  $\Phi_{ост}$  должны совпадать по направлению.

В нагрузочном режиме ток, протекающий по обмотке якоря, создает магнитный поток якоря –  $\Phi_{я}$ , который противодействует основному потоку полюсов –  $\Phi_{ш}$ , искажает и уменьшает его, в результате чего уменьшается напряжение на щетках. Это явление называется реакцией якоря; для его устранения установлены добавочные полюсы, магнитный поток которых направлен против потока якоря и погашает его. Регулирование напряжения генератора в различных режимах производится шунтовым реостатом, который изменяет ток возбуждения, а, следовательно, основной магнитный поток и напряжение.

### **Указания по проведению испытания генератора**

I. Проверка остаточного магнетизма производится подключением вольтметра к клеммам якоря  $Я_1$ ,  $Я_2$ . При вращении якоря от приводного двигателя и наличия остаточного магнетизма в сердечниках полюсов вольтметр покажет остаточную ЭДС –  $E_{ост}$ . Отсутствие ЭДС свидетельствует о размагничивании полюсов, их нужно подмагнитить, подключив постоянный ток к шунтовой обмотке от любого источника тока.

Основными характеристиками генератора являются характеристики холостого хода, внешняя и регулировочная.

II. Характеристика холостого хода представляет собой зависимость ЭДС генератора от тока возбуждения при постоянной частоте вращения якоря.

$$E = f(I_B) \text{ при } I = 0 \text{ и } n = \text{const.}$$

Регулируя шунтовым реостатом ток возбуждения плавно повышают ЭДС якоря от  $E_{\min}$  до значения  $E = 125\% U_n$  (4 – 5 точек).

Предварительно до проведения опыта нужно правильно присоединить обмотку возбуждения (клеммы Ш<sub>1</sub> и Ш<sub>2</sub>) к якорю (Я<sub>1</sub> Я<sub>2</sub>), для чего:

1. Не подключая обмотку возбуждения вращают якорь и замеряют остаточную ЭДС.

2. Затем подключают обмотку возбуждения (собирают схему опыта х.х.), дают небольшой ток возбуждения ( $I_B$ ), регулируя сопротивлением реостата. Если при вращении якоря вольтметр покажет возрастание ЭДС, то обмотка соединена правильно (остаточный и шунтовой магнитные потоки совпадают по направлению). Если ЭДС уменьшилась, то нужно поменять местами клеммы Ш<sub>1</sub> и Ш<sub>2</sub>.

III. Внешняя характеристика представляет зависимость напряжения генератора от тока нагрузки при постоянных значениях частоты вращения якоря и сопротивления шунтового реостата.

$$U = f(I) \text{ при } n = \text{const и } R_p = \text{const.}$$

Для снятия характеристики включают машину и реостатом возбуждения устанавливают номинальное напряжение –  $U_n$  при отключенной нагрузке ( $I = 0$ ), положение реостата в дальнейшем не меняют. Подключают нагрузку и производят измерения (3 – 4 точки, до  $I = I_n$ ). Внешняя характеристика показывает, что с увеличением тока нагрузки напряжение генератора уменьшается. Это объясняется тремя факторами: потерей напряжения в цепи якоря, влиянием реакции якоря и уменьшением тока возбуждения при уменьшении напряжения генератора.

$$U = E - I_a R_a - E_{p.a} - \Delta U_B \quad (1)$$

где  $E$  – ЭДС, индуцируемая в якоре;

$I_a R_a$  – потеря напряжения в цепи якоря;

$E_{p.a}$  – противо-эдс реакции якоря;

$\Delta U_B$  – потеря напряжения за счет уменьшения возбуждения.

Уменьшение напряжения от двух первых причин приводит к уменьшению тока возбуждения  $I_B = \frac{U}{R_B}$  ( $U \downarrow$  значит и  $I_B \downarrow$ ), что влечет за собой

уменьшение магнитного потока, а, следовательно, и напряжения. Таким образом, анализ внешней характеристики выявляет необходимость регулирования напряжения генератора при изменениях нагрузки. Параметры такого регулирования, определяются снятием регулировочной характеристики.

IV. Регулировочная характеристике представляет зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при постоянных значениях напряжения и

частоты вращения

$$I_B = f(I) \text{ при } U = \text{const и } n = \text{const.}$$

### Последовательность снятия характеристики:

1. Пускают генератор, и реостатом возбуждения устанавливают номинальное напряжение –  $U_n$  при отключенной нагрузке ( $I = 0$ ).

2. Включают нагрузку (ступенями от  $I = 0$  до  $I = I_n$ ) и, регулируя ток возбуждения шунтовым реостатом, поддерживают номинальное напряжение генератора ( $U = U_n = \text{const}$ ) на каждой ступени нагрузки.

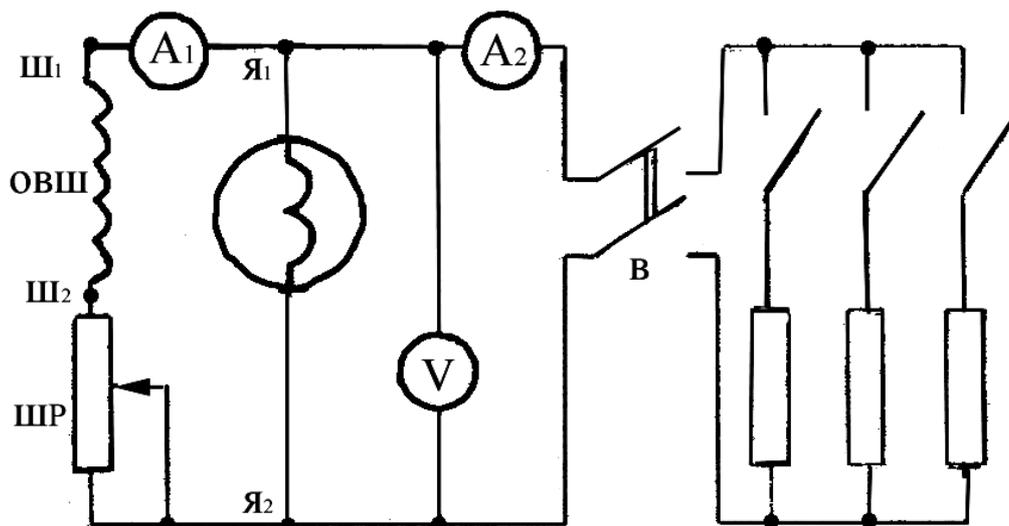
### Порядок выполнения работы:

1. Записать паспортные данные генератора:

тип,  $P_n$ ,  $U_n$ ,  $I_n$ .

2. Проверить наличие остаточного магнетизма, измерить  $E_{\text{ост}}$ .

3. Собрать схему испытания генератора (рисунок 7.1).



ОВШ – шунтовая обмотка возбуждения; Ш<sub>1</sub>, Ш<sub>2</sub> – клеммы ОВШ;

ШР – шунтовой реостат; Я<sub>1</sub>, Я<sub>2</sub> – клеммы обмотки якоря;

В – выключатель нагрузки

Рисунок 7.1 – Схема испытания шунтового генератора

4. Снятие характеристики холостого хода:

а) отключить выключатель нагрузки "В", что обеспечивает режим холостого хода;

б) установить самовозбуждение машины, т.е. правильность соединения ОВШ;

в) снять характеристики и построить график  $E = f(I_B)$ .

5. Снятие внешней характеристики:

а) при отключенном выключателе "В" установить номинальное напряжение  $U = U_n$ ;

б) включая нагрузки ступенями (по возрастанию тока) произвести измерения, построить график  $U = f(I)$ .

Таблица 1– Результаты измерений и расчетов

Измерение			расчет	
I [A]	I <sub>B</sub> [A]	U [B]	Δ U	
			[B]	в % от U <sub>n</sub>

$$\Delta U = U_n - U \text{ [B]} \text{ или } \Delta U = \frac{U_n - U}{U_n} 100\%.$$

Учитывая, что норма отклонения напряжения для электроустановок в с/х-ве составляет  $\pm 7,5\%$  от номинального, сделать заключение о необходимости регулирования.

6. Снятие регулировочной характеристики.

При холостом ходе установить номинальное напряжение  $U_n$  включая нагрузки на каждой ступени поддерживать номинальное напряжение, регулируя его реостатом возбуждения, построить график  $I_B = f(I)$ .

### Контрольные вопросы

1. Для какого режима работы указаны паспортные данные машины?
2. Каково назначение главных и дополнительных полюсов, якоря, коллектора и щеток?
3. Объяснить принцип самовозбуждения генератора
4. В какой части генератора сохраняется остаточный магнетизм, как определяют его назначение? Что нужно сделать при его отсутствии?
5. Каков физический смысл начальной точки характеристики холостого хода генератора с самовозбуждением?
6. Каково назначение внешней характеристики, причины, определявшие изменение напряжения, сделайте вывод из анализа характеристики?
7. Объясните назначение и пользование регулировочной характеристикой.

**Лабораторная работа №8**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПАУНДНОГО ГЕНЕРАТОРА**  
**ПОСТОЯННОГО ТОКА С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ**

**Цель работы** – изучить особенность конструкции и работу генератора, метод и схему снятия внешней характеристики и расчета к.п.д.

Примечание: данная работа выполняется после работы №7 – исследование шунтового генератора, на том же оборудовании.

**Элементы теории**

Компаундный генератор имеет такое же устройство, как и шунтовой; отличие заключается в том, что у него на главных полюсах имеются две обмотки возбуждения – шунтовая и серийная, серийная соединяется последовательно с обмоткой якоря, таким образом компаундный генератор имеет смешанное возбуждение (параллельное и последовательное). Серийная обмотка вступает в действие при работе в нагрузочном режиме. Ток якоря, протекая по ней, создает ампервитки намагничивания  $I_{\text{я}} \cdot W_{\text{я}}$  и магнитный поток  $\Phi_{\text{с}}$ .

Таким образом результирующий магнитный поток главных полюсов складывается из трех потоков – остаточного –  $\Phi_{\text{ост}}$ , шунтового –  $\Phi_{\text{ш}}$  и серийного –  $\Phi_{\text{с}}$ , которые должны быть согласны, т. е. совпадать по направлению.

$$\Phi = \Phi_{\text{ост}} + \Phi_{\text{ш}} + \Phi_{\text{с}}$$

При увеличении тока нагрузки создается падение напряжения, пропорциональное этому току, и напряжение генератора уменьшается.

$$U = E - \Delta U = E - I_{\text{я}} R_{\text{я}}$$

Для поддержания напряжения необходимо компенсировать это падение напряжения путем увеличения магнитного потока. Эту функцию выполняет серийная обмотка возбуждения; ее магнитный поток дополнительно подмагничивает полюсы, за счет чего возрастает результирующий магнитный поток –  $\Phi$ , а, следовательно, ЭДС и напряжение на клеммах генератора (этот процесс в генераторе происходит автоматически).

**Указания по снятию внешней характеристики**

Внешняя характеристика  $U = f(I)$  при  $R_2 = \text{const}$  и  $n = \text{const}$  компаундного генератора снимается аналогично шунтовому.

Собирают схему и устанавливают правильность соединения обмоток в следующем порядке:

а) собирают схему шунтового генератора (без серийной обмотки) устанавливают самовозбуждение;

б) включают генератор, дают небольшое возбуждение, такое чтобы напряжение составило 15 – 20% от  $U_H$ , включают малую нагрузку – 15 – 20% от  $I_H$ , измеряют напряжение, фиксируют положение шунтового реостата, останавливают генератор,

в) соединяют в схему серийную обмотку, включают генератор; если напряжение повысилось, то серийную обмотку включили правильно (согласно), если понизилось, то включили неправильно (встречно), необходимо поменять местами провода на клеммах  $C_1C_2$ .

г) схема компаундного генератора собрана, снимают характеристику.

### Коэффициент полезного действия.

$$\text{КПД генератора определяется } \eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (1)$$

где  $P_2$  – полезная мощность, отдаваемая потребителям:

$$P_2 = U \cdot I, \quad (2)$$

где  $U$  – напряжение на клеммах генератора;

$I$  – сила тока потребителей;

$P_1$  – полная мощность определяется:

$$P_1 = P_2 + \Delta P \quad (3)$$

где  $\Delta P$  – потери мощности в генераторе, они складываются из следующих составляющих

$$\Delta P = \Delta P_{\text{я}} + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{с}} + \Delta P_{\text{мех}} \quad (4)$$

где  $\Delta P_{\text{я}}$  – потери мощности в цепи якоря;

$\Delta P_{\text{в}}$  – потери мощности в шунтовой обмотке возбуждения;

$\Delta P_{\text{с}}$  – потери в стали (принимаются 1% от номинальной мощности  $P_H$ );

$\Delta P_{\text{мех}}$  – механические потери, также 1% от  $P_H$ .

Потери в якоре  $\Delta P_{\text{я}}$  определяется по формуле:

$$\Delta P_{\text{я}} = I_{\text{я}}^2 (R_{\text{я}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{с}}) \quad (5)$$

где  $I_{\text{я}}$  – сила тока якоря;

$R_{\text{я}}$  – сопротивление обмотки якоря,  $R_{\text{я}} = 0,3 \text{ Ом}$ ;

$R_{\text{дп}}$  – сопротивление дополнительных полюсов,  $R_{\text{дп}} = 0,4 \text{ Ом}$ ;

$R_{\text{с}}$  – сопротивление серийной обмотки возбуждения,  $R_{\text{с}} = 0,5 \text{ Ом}$ .

Потери на возбуждение определяются:

$$\Delta P_{\text{в}} = U \cdot I_{\text{в}} \quad (6)$$

или

$$\Delta P_{\text{в}} = I_{\text{в}}^2 \cdot R_{\text{ш}}, \quad (7)$$

где  $I_{\text{в}}$  – сила тока в шунтовой обмотке возбуждения;

$U$  – напряжение на клеммах генератора;

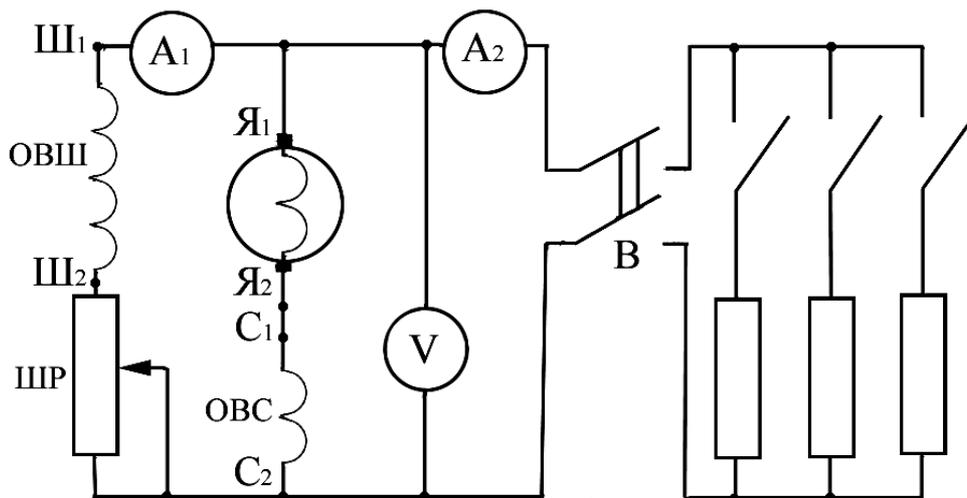
$R_{Ш}$  – сопротивление шунтовой обмотки,  $R_{Ш} = 700 \text{ Ом}$ .

### Порядок выполнения работы

#### 1. Записать паспортные данные генератора.

Тип	Способ и схема возбуждения	$P_n$ [кВт]	$U_n$ [В]	$I_n$ [А]

#### 2. Собрать схему снятия внешней характеристики генератора (рисунок 8.1).



$Я_1, Я_2$  – клеммы обмотки якоря; ОВШ – шунтовая обмотка возбуждения;  
Ш<sub>1</sub>, Ш<sub>2</sub> – клеммы шунтовой обмотки; ОВС – серийная обмотка возбуждения; С<sub>1</sub>, С<sub>2</sub> – клеммы серийной обмотки; ШР – шунтовой реостат;  
А<sub>1</sub> – амперметр цепи шунтового возбуждения; А<sub>2</sub> – нагрузочный амперметр; В – выключатель нагрузки

Рисунок 8.1 – Схема испытания компаундного генератора

#### 3. Проверить правильность соединения обмоток возбуждения:

А) отсоединить из схемы серийную обмотку (ОВС);

Б) установить самовозбуждение;

В) включить выключатель "В" и одну ступень нагрузки, пустить генератор и отметить значение напряжения;

Г) соединить ОВС, включить генератор, замерить напряжение, убедиться в правильности сборки схемы.

4. Снять внешнюю характеристику, изменяя ток нагрузки от нуля до номинального, подключая ступенями нагрузочное сопротивление. Построить график  $U = f(I)$  для шунтового (данные взять из работы №7) и компаундного генераторов в одних осях координат. Провести их анализ и сравнение.

5. Выполнить расчет КПД шунтового и компаундного генератора для одной из точек характеристики (по заданию преподавателя).

Таблица измерений и расчетов.

Схема генератора	измерено			Вычислено							
	$I_B$ [А]	$I$ [А]	$U$ [В]	$I_{\text{я}}$ [А]	$P$ [Вт]	$\Delta P$ [Вт]	$\eta$	$\Delta P_{\text{я}}$ [Вт]	$\Delta P_{\text{в}}$ [Вт]	$\Delta P_{\text{с}}$ [Вт]	$\Delta P_{\text{мех}}$ [Вт]
шунтовой											
компаундный											

### Контрольные вопросы

1. Каково назначение серийной обмотки возбуждения?
2. Объясните принцип автоматического регулирования напряжения в компаундном генераторе при изменениях тока нагрузки.
3. Охарактеризуйте магнитные потоки, действующие в компаундном генераторе.
4. Расскажите последовательность сборки и настройки схемы компаундного генератора.
5. Дайте анализ внешних характеристик шунтового и компаундного генераторов.
6. Как определяется к.п.д. генератора?

## Литература

Основная учебная литература:

1. Иванов И.И., Соловьев Г.И., Фролов В.Я. Электротехника и основы электроники: Учебник 7-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Изд-во Лань, 2012. - 736с., ил.

2. Электротехника : учеб. пособие / И.С. Рыбков. — М. : РИОР : ИНФРА-М, 2018. — 160 с. — (ВО: Бакалавриат).

3. Бородин И.Ф., Шогенов А.Х., Судник Ю.А., Богольбенский В.М. Основы электроники - М.: КолосС, 2009. – 207 с.

4. Общая электротехника и электроника : учебник / Ю.А. Комиссаров, Г.И. Бабокин ; под ред. П.Д. Саркисова. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : ИНФРА-М, 2018. — 479 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org/10.12737/13474](http://www.dx.doi.org/10.12737/13474).

Дополнительная учебная литература:

1. Бородин И.Ф., Шогенов А.Х., Судник Ю.А., Богольбенский В.М. Основы электроники - М.: КолосС, 2009. – 207 с.

2. Синдеев Ю.Г. Электротехника с основами электроники: учеб. пособие /Ю.Г. Синдеев. – Изд. 14-е, стер. – Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 407 с. – (Начальное профессиональное образование).

3. Касаткин А.С. Электротехника: Учебник /А.С.Касаткин, М.В. Немцов. - М.: Изд-кий центр Академия, 2008. -544 с.

4. Общая электротехника и электроника: Учебник / Комиссаров Ю.А., Бабокин Г.И. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 480 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат) (Переплёт) ISBN 978-5-16-010416-4