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

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных и практических работ

ПМ.1 МДК 1.1 Конструкция, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава
Тема 1.4 Электрические машины
для специальности
23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог.

Базовая подготовка
среднего профессионального образования

Ростов на Дону
2016

ОДОБРЕНО Предметной:
(цикловой) Комиссией
протокол № 1 от 28 августа 2016 г.

Председатель ЦМК

Методические указания по выполнению практических работ по МДК.1.1 «Конструкция, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава» составлены на основе рабочей программы ПМ.01

Заместитель директора по УМР

Разработчик: Киселев Г.Г., преподаватель техникума ФГБОУ ВО РГУПС

Рекомендована объединенной методической комиссией техникума ФГБОУ ВО РГУПС.

Заключение ОМК № 1 от «26» сентября 2016 г.

Содержание

1. Пояснительная записка

2. Требования, предъявляемые к технике безопасности

3. Указания по выполнению лабораторных работ

4. Лабораторная работа № 1 – Испытание генератора с независимым возбуждением

5. Лабораторная работа № 2 – Испытание генератора с параллельным возбуждением

6. Лабораторная работа № 3 – Испытание двигателя с параллельным возбуждением

7. Лабораторная работа № 4 – Испытание синхронного генератора

8. Лабораторная работа № 5 – Испытание асинхронного двигателя

9. Лабораторная работа № 6 –Определение КПД трансформатора по методу холостого хода и короткого замыкания

10. Лабораторная работа № 7 –Параллельная работа синхронных генераторов

11. Практическая работа №1 – Генератор постоянного тока.

12. Практическая работа № 2 – Двигатель постоянного тока.

13. Практическая работа № 3 – Однофазный трансформатор.

14. Практическая работа № 4 – Трехфазный асинхронный двигатель.

15. Практическая работа № 5 – Расчет аккумуляторной батареи.

16. Перечень рекомендуемой литературы.

1. Пояснительная записка

Лабораторные и практические работы по дисциплине «Электрические машины» знакомят студентов с устройством электрических машин, трансформаторов, аккумуляторных батарей и позволяют экспериментально проверить основные положения теории, приобрести навыки по сборке электрических схем, включающих в себя электрические машины, трансформаторы, пускорегулирующую аппаратуру, измерительные устройства. Участие в экспериментах вырабатывает у студентов практические навыки по методике проведения опытов и обработке их результатов. По полученным результатам лабораторного исследования, студенты, должны научиться оценивать достоинства и недостатки электрических машин, возможность их использования для нужд железнодорожного транспорта.

Лабораторные и практические работы выполняются на 2 курсе в 4 семестре в объеме 36 часов.

Предусмотрено выполнение следующих лабораторных и практических работ:

1. Лабораторная работа № 1 – Испытание генератора с независимым возбуждением
2. Лабораторная работа № 2 – Испытание генератора с параллельным возбуждением
3. Лабораторная работа № 3 – Испытание двигателя с параллельным возбуждением
4. Лабораторная работа № 4 – Испытание синхронного генератора
5. Лабораторная работа № 5 – Испытание асинхронного двигателя
6. Лабораторная работа № 6 –Определение КПД трансформатора по методу холостого хода и короткого замыкания
7. Лабораторная работа № 7 –Параллельная работа синхронных генераторов

8. Практическая работа №1 – Генератор постоянного тока.
9. Практическая работа № 2 – Двигатель постоянного тока.
10. Практическая работа № 3 – Однофазный трансформатор.
11. Практическая работа № 4 – Трехфазный асинхронный двигатель.
12. Практическая работа № 5 – Расчет аккумуляторной батареи.

Прежде чем приступить к выполнению лабораторной работы, студент должен тщательно изучить содержание работы; повторить теоретический материал, связанный с выполнением данной работы; подготовить таблицы для занесения результатов наблюдений и вычислений. Лабораторные работы выполняются группами по 4—5 человек.

2. Требования, предъявляемые к технике безопасности.

при работах в лаборатории «Электрические машины»

Лабораторные стенды в лаборатории электрических машин являются действующими установками, отдельные элементы которых находятся под напряжением. Поэтому при определенных условиях, возникающих из-за нарушения установленных правил, лабораторные стенды могут стать источником поражения человека электрическим током и других видов травматизма. Положение усугубляется еще и особенностью монтажа элементов лабораторного стенда, предусматривающего максимальную доступность учащегося к приборам, машинам и пускорегулирующей аппаратуре, создающего дополнительную опасность при выполнении лабораторных работ.

Тело человека обладает электропроводностью, и поэтому при соприкосновении с двумя неизолированными элементами установки, находящимися под напряжением (одним из этих элементов может оказаться корпус электрической машины или трансформатора), через тело человека проходит электрический ток. Достигнув опасных значений, этот ток приводит либо к сильным ожогам (электрическая травма), либо к тяжелым поражениям нервной, сердечной и дыхательной систем организма человека (электрический удар). Последствия поражения электрическим током бывают тяжелыми и могут привести к смертельному исходу.

Специфика работы учащихся с электрическими машинами состоит в том, что при несоблюдении правил техники безопасности учащийся подвергается не только опасности поражения электрическим током, но и опасности механических ударов со стороны вращающихся частей электрических машин и тормозных устройств. Необходимо помнить, что многие элементы схемы лабораторной установки, находящиеся под напряжением, доступны для прикосновения, а вращающиеся части, хотя и имеют обычно защитные устройства, все же не исключают «захвата» частей одежды или механического удара. Поэтому учащиеся в лаборатории должны соблюдать исключительную осторожность.

Правила техники безопасности:

1. Учащийся, находясь в лаборатории, должен быть предельно дисциплинированным и внимательным; беспрекословно выполнять все указания преподавателей и лаборантов; находится непосредственно у исследуемой лабораторной установки;

2. Запрещается подходить к другим установкам, распределительным щитам и пультам и делать на них какие-либо включения или переключения; включать схему под напряжение, если кто-нибудь касается ее неизолированных токоведущих частей; производить какие-либо пересоединения в схеме, находящейся под напряжением; во время работы электрической машины касаться вращающихся частей или наклоняться к ним близко; оставлять без наблюдения лабораторную установку или отдельные приборы под напряжением;

3. При перемещении движков и рукояток пускорегулирующей аппаратуры необходимо следить за тем, чтобы рука была в соприкосновении только с изолированной рукояткой;

4. Одежда учащегося не должна иметь свободно свисающих концов шарфов, косынок, галстуков и т. д., а прическа и головной убор должны исключать свободного “свисания” прядей волос.

5. Разрядить конденсаторы, замкнув накоротко их выводы;

6. При работе с лабораторной установкой, находящейся под напряжением, учащиеся должны стоять на изоляционных резиновых ковриках, имеющихся у каждой лабораторной установки;

7. Обо всех замеченных случаях неисправности в работе установок и нарушении правил техники безопасности каждый учащийся должен немедленно доложить преподавателю;

8. Если произошел несчастный случай, лабораторную установку следует немедленно отключить, оказать пострадавшему первую помощь и сообщить об этом преподавателю.

Инструктаж по технике безопасности должен быть зафиксирован в специальном журнале, где каждый учащийся должен расписаться.

3. Указания по выполнению лабораторных работ

1. Каждый студент обязан выполнять правила внутреннего распорядка лаборатории и строго соблюдать требования техники безопасности.

2. К выполнению каждой лабораторной работы студент должен заблаговременно подготовиться по соответствующей инструкционной карте и указанной в ней литературе.

3. Каждая лабораторная работа проводится на определенном рабочем месте. Смена рабочего места, перестановка приборов, аппаратов с одного рабочего места на другое может быть допущена только с разрешения преподавателя.

4. Перед началом выполнения лабораторной работы нужно ознакомиться с оборудованием стенда.

5. Включать источник питания к собранной цепи можно только с разрешения преподавателя. Перед любым переключением в цепи или на время отыскания повреждений в монтаже питание следует отключать.

6. Результаты лабораторной работы необходимо показывать преподавателю до разборки цепи.

7. Разборка цепи производится с разрешения преподавателя.

4. Лабораторная работа № 1

Испытание генератора с независимым возбуждением

Краткие сведения из теории

Студент должен

знать:

1. Основные формулы.

От чего зависит ЭДС генератора:

$$E_{\text{а}} = C_E \Phi_n.$$

От чего зависит магнитный поток:

$$\Phi = \frac{F}{R_{\text{м}}} = \frac{I_{\text{в}} W_{\text{в}}}{R_{\text{м}}}.$$

От чего зависит ток возбуждения:

$$I_{\text{в}} = \frac{U}{R_{\text{ов}} + R_{\text{рег}}},$$

где U — напряжение независимого источника постоянного тока.

Уравнение ЭДС для цепи якоря генератора:

$$U_{\text{г}} = E_{\text{а}} - I_{\text{а}} \sum R_{\text{а}} .$$

2. Причины, по которым напряжение генератора уменьшается с увеличением тока нагрузки:

1) увеличение падения напряжения в цепи якоря;
2) размагничивающее влияние реакции якоря.

3. Основные законы и свойства:

1) принцип работы генератора;
2) способы регулирования ЭДС;
3) магнитные свойства стали;
4) что такое реакция якоря, ее действие на внешнюю характеристику генератора.
5) правила техники безопасности.

1. Цель работы: приобрести практические навыки в сборке электрической схемы и снятии характеристик холостого хода, внешней и регулировочной. Уметь регулировать процессы пуска и изменения основных параметров, определять техническое состояние оборудования.

2.Оборудование. Технические данные представить по форме табл. 1и 2.

Электрические машины *Таблица 1*

№ п/п	Тип	Номинальная мощность кВА	Напряжение В	Ток, А	Частота вращения вала об/мин

Измерительные приборы *Таблица 2*

№ п/п	Наименование	Тип, система	Технические данные	Класс точности	Род тока

3. Порядок выполнения работы

3.1. Собрать электрическую схему генератора согласно рис.1.

3.2. Снять данные и по ним построить характеристику холостого хода генератора — зависимость ЭДС от тока возбуждения при холостом ходе, т.е. $E_а = f(I_в)$ при $I_{нагр} = 0$ и $n = n_н$ — const (табл. 2, рис. 2).

Рис.2

Таблица 2

п/п	$E_{а(в)}$, В	$E_{а(н)}$, В	$I_в$, А

3.3. Снять данные и по ним построить внешнюю характеристику генератора — зависимость напряжения генератора от тока нагрузки при неизменном токе возбуждения, т.е. $U_г = f(I_н)$ и $n = n_н$ — const, $I_в$ = const (табл. 3, рис. 3).

Таблица 3

№ п/п	$U_г$,В	$I_н$, А	$I_в$, А

Рис. 3

3.4. Снять данные и по ним построить регулировочную характеристику генератора — зависимость тока возбуждения от тока нагрузки генератора, т.е. $I_в = f(I_н)$ при неизменном напряжении генератора $U_г$ = const и $n = n_н$ — const (табл. 4, рис. 4).

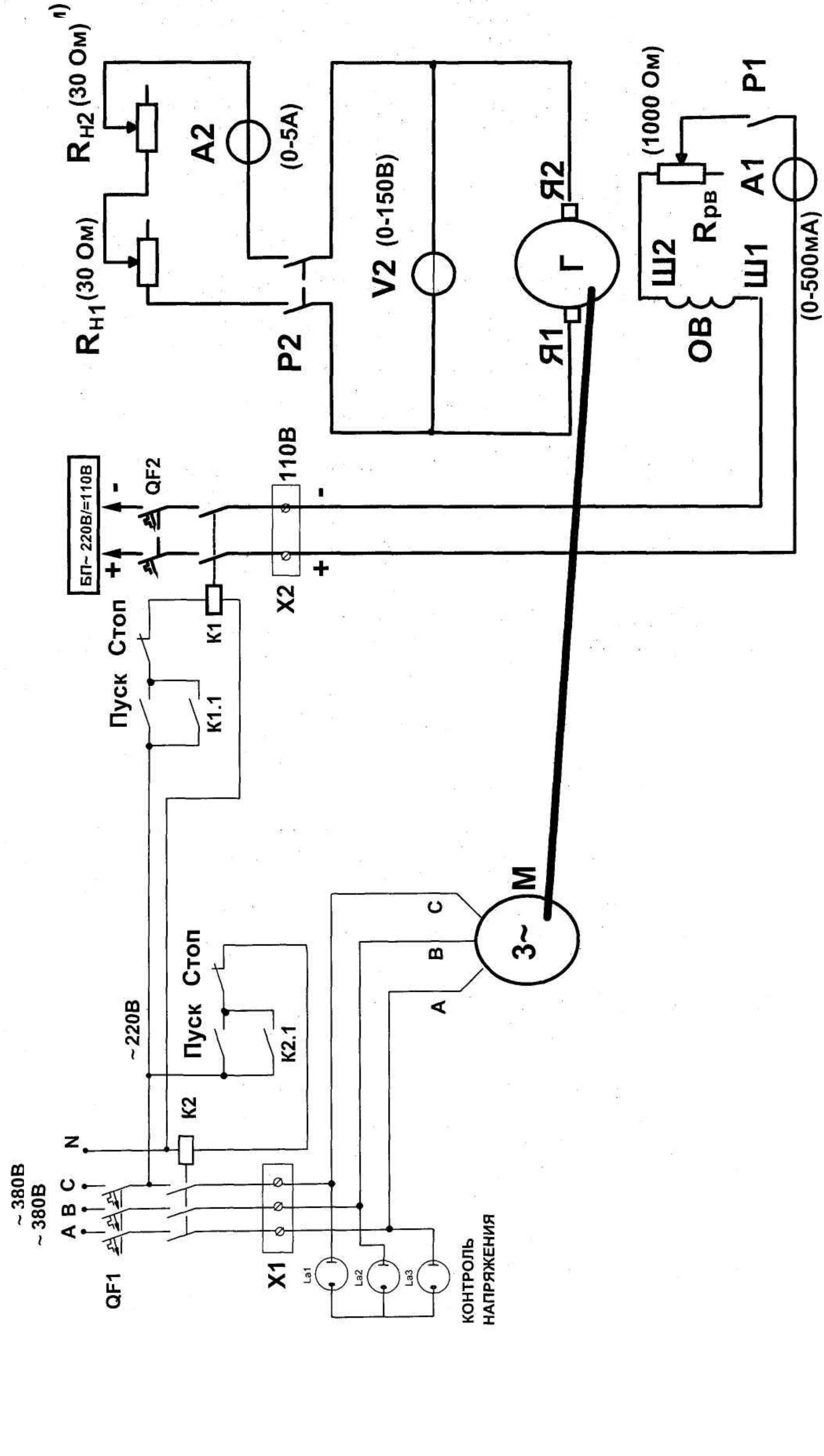
Таблица 4

№ п/п	$U_г$, В	$I_н$, А	$I_в$, А

Рис. 4.

4. **Выводы**. Объяснить характеристики генератора. Обобщив результаты лабораторной работы, проанализировать форму полученных графиков, сопровождая это необходимыми пояснениями и основываясь на физической сущности явлений, происходящих в генераторе независимого возбуждения. Отметить достоинства и недостатки данного генератора и возможности его использования для нужд ТПС.

Рисунок 1



RН1 (30 Ом)
RН2 (30 Ом)
А2
(0-5А)
Р2
V2 (0-150В)
Я1
Я2
Г
ОВ
Ш2
Ш1
Rрв
(1000 Ом)
А1
Р1
(0-500мА)
БП~ 220В/=110В
QF2
+
-
Х2
110В
Пуск
Стоп
К1
К1.1
М
3~
A
B
C
~220В
К2
К2.1
N
~380В
~380В
A B C
QF1
X1
La1
La2
La3
КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень машин, приборов и их технические данные по форме табл. 1.
3. Электрическая схема для испытания генератора.
4. Таблицы записей показаний приборов.
5. Характеристики холостого хода, внешняя и регулировочная.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Пояснить элементы электрической схемы, назначение электроизмерительных приборов, включение их в электрическую схему. Назначение нагрузочного и регулировочного реостатов.

2. Почему при $I_в = 0$ $E_а \neq 0$?

3. Почему вначале $E_а$ от $I_в$ изменяется по прямолинейной зависимости, а затем по криволинейной?

4. Почему восходящая и нисходящая ветви характеристики холостого хода не совпадают?

5. Указать причины, по которым напряжение генератора уменьшается с увеличением тока нагрузки.

6. Какими способами можно, при изменении тока нагрузки, напряжение на выходе генератора иметь постоянным?

5. Лабораторная работа № 2
Испытание генератора с параллельным возбуждением

Краткие сведения из теории

Студент должен з*нать*:

Основные формулы и характеристики генератора. От чего зависит ЭДС генератора:

$$E_а = C_E \Phi_n.$$

От чего зависит магнитный поток:

$$\Ф = \frac{F}{R_м} = \frac{I_в W_в}{R_м}$$

От чего зависит ток возбуждения:

$$I_в = \frac{U_г}{R_{ов} + R_{рег}},$$

где $U_г$ —-напряжение генератора параллельного возбуждения.

Уравнение ЭДС для цепи якоря генератора:

$$U_г = E_а - I_а \sum R_a$$

где $I_а = I_м - I_в$.

2. Условия, необходимые для самовозбуждения генератора:

1) магнитная система машины, т.е. сердечник полюсов и станина должны иметь остаточное намагничивание:

$\Ф_{ост}$ (порядка 2-3 % от полного потока);

2) ток возбуждения, протекая по обмотке, должен создать поток, направленный согласно с остаточным;

3) обороты, с которыми вращается якорь генератора, должны быть больше критических;

4) сопротивление цепи возбуждения должно быть меньше критического.

3. Причины, по которым напряжение генератора уменьшается с увеличением тока нагрузки:

1) увеличение падения напряжения в цепи якоря;

2) размагничивающее влияние реакции якоря;

3) уменьшение тока возбуждения шунтовой обмотки;

4) правила техники безопасности.

1. Цель работы: приобрести практические навыки в сборке электрической схемы и снятий характеристик холостого хода, внешней и регулировочной Уметь регулировать процессы пуска и изменения основных параметров, определять техническое состояние оборудования.

2. Оборудование. Технические данные представить по форме табл. 1и 2.

Электрические машины *Таблица 1*

№ п/п	Тип	Номинальная мощность кВА	Напряжение В	Ток, А	Частота вращения вала об/мин

Измерительные приборы *Таблица 2*

№ п/п	Наименование	Тип, система	Технические данные	Класс точности	Род тока

3. Порядок выполнения работы.
3.1. Собрать электрическую схему генератора согласно рис.1.
3.2. Снять данные и по ним построить характеристику холостого хода генератора — зависимость U_o генератора от тока возбуждения при холостом ходе, т.е. $U_o = f(I_в)$ при $I_{нагр} = 0$ и $n = n_н$ — const (табл. 2, рис. 2).

Таблица 2

№ п/п	1в, А	U_o восх, В	$U_{Q\ НИСХ}$, В

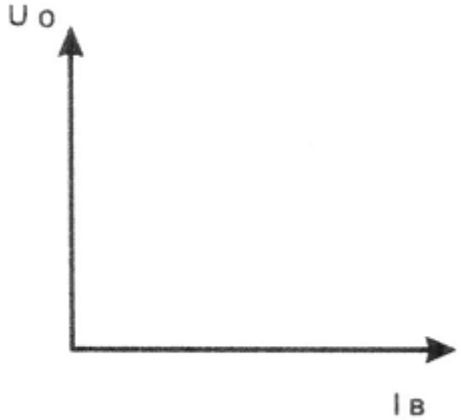


Рис. 2

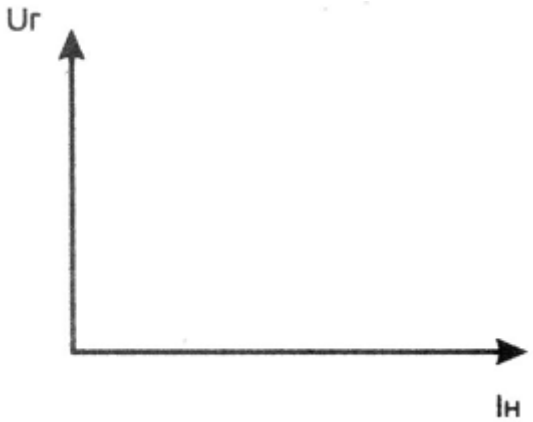
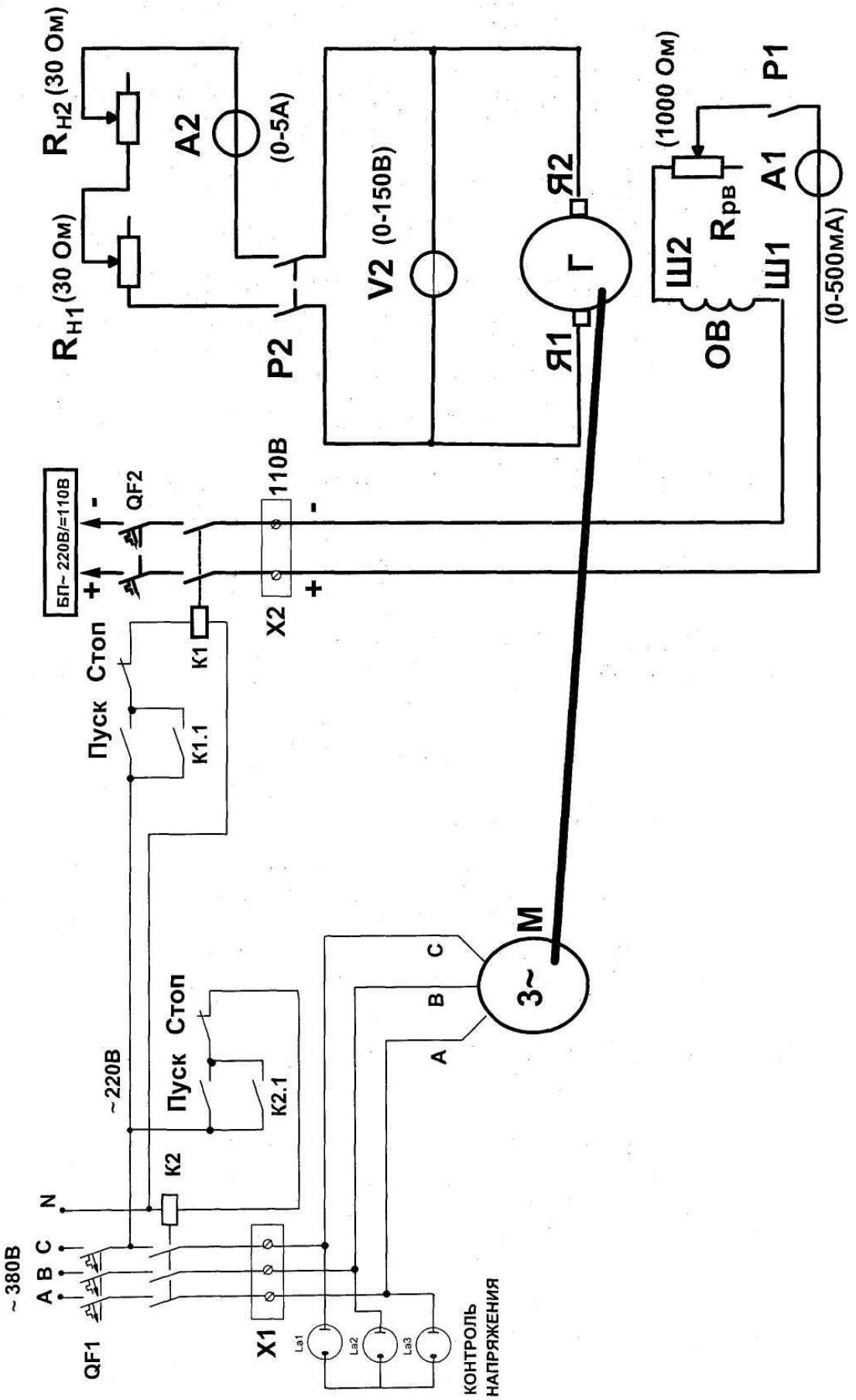


Рис. 3

Рисунок 1.


~ 380В
A B C
N
QF1
~220В
К2
Пуск
Стоп
К2.1
Х1
La1
La2
La3
КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ
A
B
C
3~
М
БП~ 220В/=110В
QF2
+
-
110В
Х2
К1
Пуск
Стоп
К1.1
$R_{Н2}$ (30 Ом)
$R_{Н1}$ (30 Ом)
А2
(0-5А)
Р2
V2 (0-150В)
Я2
Я1
Г
(1000 Ом)
$R_{рв}$
Ш2
Ш1
ОВ
Р1
А1
(0-500мА)

3.3. Снять данные и по ним построить внешнюю характеристику генератора — зависимость напряжения генератора от тока нагрузки, т.е. $U_г = f(I_н)$ при $R_{рег}$— const и $n = n_н$ — const (табл.3, рис.3).

Таблица 3

№ п/п	$U_г$, В	$I_н$, А	$I_в$, А

3.4. Снять данные и по ним построить регулировочную характеристику генератора — зависимость тока возбуждения от тока нагрузки генератора, т.е. $I_в = f(I_н)$ при неизменном напряжении генератора U = const и $n = n_н$ — const (табл. 4, рис. 4).

Таблица 4

№ п/п	U , В	$I_н$, А	$I_в$, А

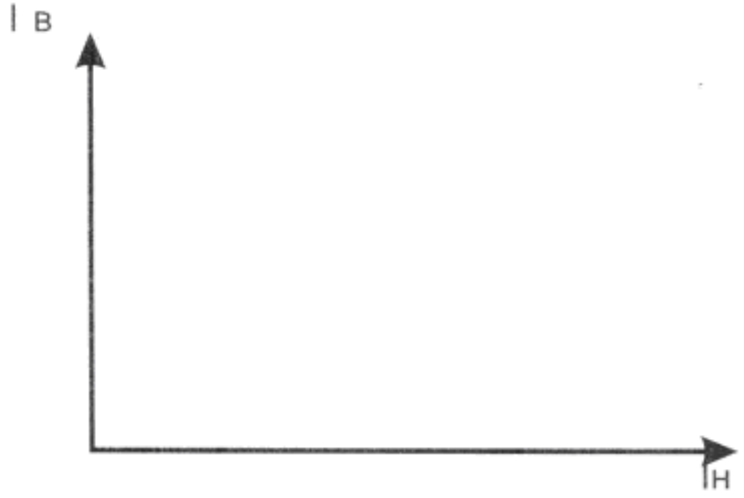


Рис. 4

4. **Выводы.** Объяснить характеристики генератора. Построив внешнюю характеристику генератора параллельного возбуждения, сравнить ее с характеристикой генератора независимого возбуждения. Дать объяснение, почему внешняя характеристика генератора параллельного возбуждения спадает круче, чем внешняя характеристика генератора независимого возбуждения. Какими достоинствами обладает генератор параллельного возбуждения в сравнении с генератором независимого возбуждения?

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень машин, приборов и их технические данные по форме табл.
3. Электрическая схема для испытания генератора.
4. Таблицы записей показаний приборов.
5. Характеристики холостого хода, внешняя и регулировочная.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какое условие самовозбуждения нарушено, если при замыкании цепи возбуждения ЭДС генератора уменьшается?
2. Какие процессы произойдут в генераторе, если изменить направление вращения?
3. Какие процессы произойдут в генераторе, если изменить направление тока в обмотке возбуждения?
4. Что такое критическая частота вращения?
5. Почему при внезапном коротком замыкании ток достигает опасных для машины значений? Каковы последствия внезапных коротких замыканий и способы защиты от них?

6. Лабораторная работа № 3

Испытание двигателя с параллельным возбуждением

Краткие сведения из теории

Студент должен знать:

1. Основные формулы.

Уравнение напряжения двигателя:

$U_д = E_а + I_а$

Ток якоря двигателя:

$$I_а = \frac{U_а - E_а}{\sum R_а}, \qquad E_а = C_E \Phi_n$$

Частота вращения якоря двигателя:

$$n = \frac{U_Д - I_а \sum R_а}{C_E \Phi} \quad (об/мин)$$

Электромагнитный момент двигателя:

$M = C_м \Phi I_а$(Н-м)

Уравнение равновесия моментов:

$M = M_о + M_2$

1. Способы пуска двигателя.
2. Способы регулирования частоты вращения.
3. Рабочие характеристики двигателя.
4. Правила техники безопасности.

Студент должен уметь:

1. Собирать электрическую схему.
2. Подбирать приборы по их пределам измерения и системам.
3. Производить реостатный пуск двигателя.
4. Регулировать частоту вращения изменением подводимого напряжения, изменением магнитного потока, введением в цепь якоря дополнительного сопротивления.
5. Осуществлять реверсирование, т.е. изменение направления вращения якоря двигателя.

Цель работы: приобрести практические навыки в сборке электрической схемы, управлении и снятии рабочих характеристик двигателя. Изучить конструкцию, принцип действия и технические характеристики двигателя.

Оборудование. Технические данные представить по форме табл. 1 и 2.

Электрические машины *Таблица 1*

№ п/п	Тип	Номинальная мощность кВА	Напряжение В	Ток, А	Частота вращения вала об/мин

Измерительные приборы *Таблица 2*

№ п/п	Наименование	Тип, система	Технические данные	Класс точности	Род тока
			-		

3. Порядок выполнения работы.

3.1. Собрать электрическую схему двигателя согласно рис.1.

3.2. Осуществить ступенчатый пуск двигателя с помощью пускового реостата и убедиться в его влиянии на ограничение тока якоря.

3.3. Изменяя ток в обмотке возбуждения (магнитный поток) с помощью реостата ослабления поля, убедиться в его влиянии на изменение частоты вращения якоря.

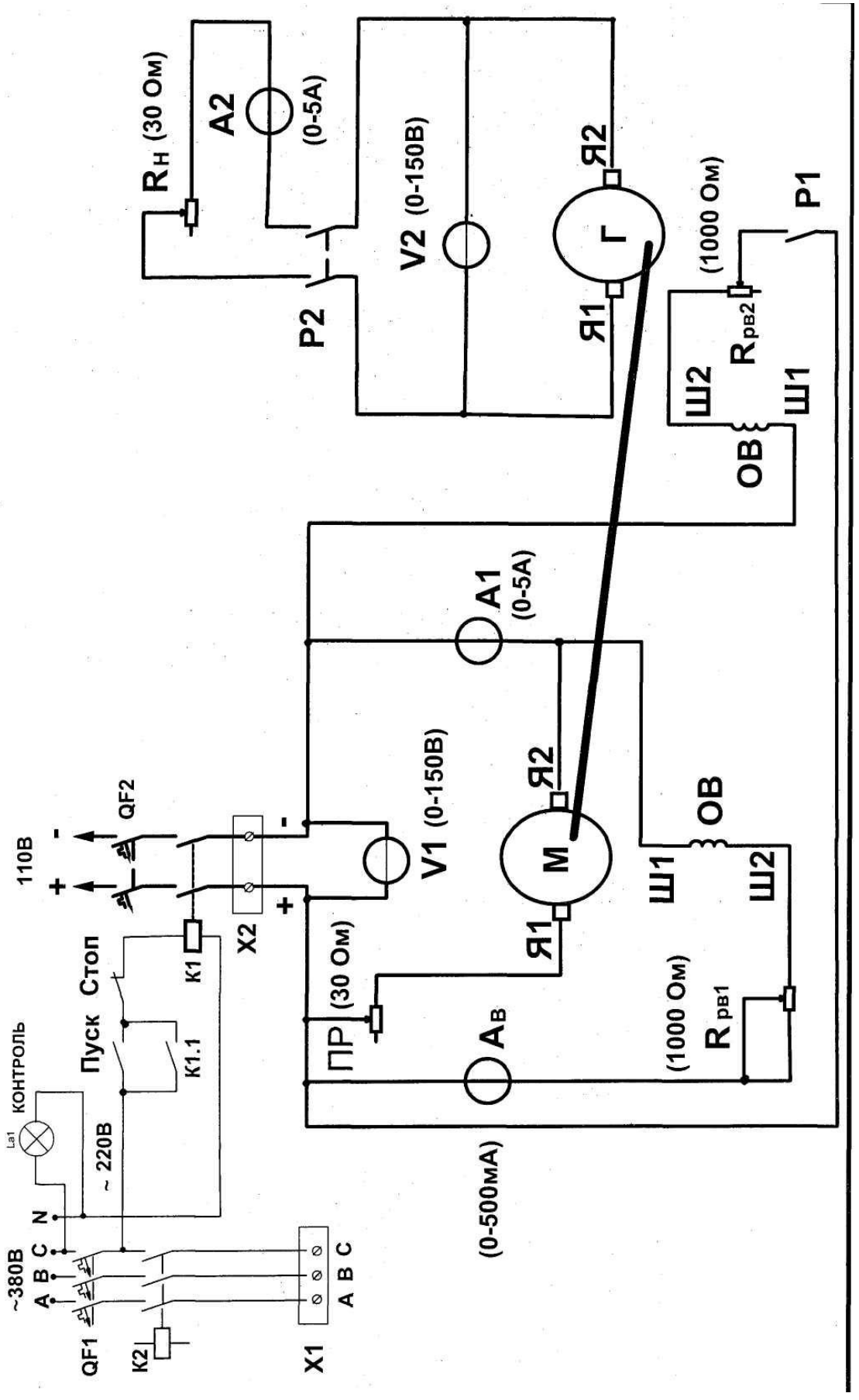
3.4. Снять данные для построения рабочих характеристик двигателя —

зависимостей частоты вращения n, потребляемого тока $I_д$, полезного момента M_2 и кпд η от полезной мощности $P_{2Д}$, т.е. n, $I_д$, M_2, $\eta = f(P_{2д})$ при U = const и $I_в$ = const. Результаты измерений и расчетов записать в табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Измерено							Вычислено					
	$U_Д$, В	$I_Д$,А	$I_{ВД}$,А	n,об/мин	$U_Г$,В	$I_Г$,А	$I_{ВГ}$,А	$\eta_Г$, %	$P_{1Д}$, Вт	$P_{1Г}$, Вт	M_2, Н·м	$P_{2Г}$, Вт	$\eta_Д$,%

Рисунок 1


~380В
A B C N
QF1
K2
~ 220В
La1 КОНТРОЛЬ
Пуск
Стоп
K1
K1.1
X1
A B C
X2
110В
QF2
V1 (0-150В)
(30 Ом)
ПР
Ав
(0-500мА)
A1 (0-5А)
М
Я1
Я2
Ш1
Ш2
ОВ
(1000 Ом)
Rрв1
Rрв2
Г
V2 (0-150В)
A2 (0-5А)
Rн (30 Ом)
P1
P2

Формулы для расчетов

Потребляемая мощность, двигателя $P_{1Д} = U_Д I_Д$ Вт.

Полезная мощность генератора $P_{2г} = U_Г I_Г$ Вт.

Потребляемая мощность генератора $P_{1Г} = \frac{P_{2Г}}{\eta_Г}$,

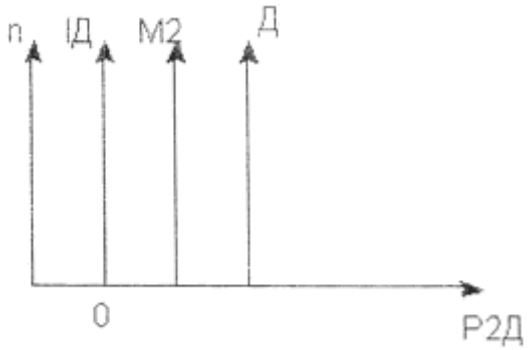
Она равна полезной мощности двигателя $P_{2Д} = P_{1Г}$

КПД двигателя $\eta_Д = \frac{P_{2Д}}{P_{1Д}} \cdot 100\%$

Полезный момент двигателя $M_2 = \frac{P_{2Д}}{0{,}105 \cdot n}$, *Нм*.

По полученным данным в единых осях координат построить рабочие характеристики двигателя (рис. 2).

Рис. 2.



4. **Выводы.** Объяснить рабочие характеристики двигателя, способы пуска двигателя, способы регулирования частоты вращения якоря двигателя.

При анализе характеристики $n = f(P_2)$ определить в % изменение частоты вращения двигателя от холостого хода до номинальной нагрузки. Объяснить область использования двигателей на ТПС, дать экономическую оценку способов регулирования частоты вращения.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень машин, приборов и их технические данные по форме табл. 1.
3. Электрическая схема для испытания двигателя параллельного возбуждения.

4. Таблица экспериментальных данных.
5. Расчетные формулы.
6. Рабочие характеристики двигателя, построенные в единых осях координат.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Почему в момент пуска двигателя постоянного тока параллельного возбуждения наблюдается большой пусковой ток? Какие последствия могут быть?
2. Способы уменьшения пускового тока.
3. Почему при пуске $R_{\text{рег.}}$, включенное в цепь возбуждения, должно быть минимальным или равным нулю?
4. Доказать, что увеличение подводимого напряжения приведет к увеличению частоты вращения, а изменение магнитного потока может привести к увеличению или к уменьшению оборотов. В каких случаях?
5. Почему характеристика $n = f(P_2)$ жесткая, $M_2 = f(P_2)$ почти прямолинейная?
6. Какие последствия могут быть при обрыве цепи возбуждения?
7. Почему для реверсирования необходимо изменить направление тока или в обмотке возбуждения, или в обмотке якоря? Доказать, используя правило левой руки.

7. Лабораторная работа № 4

Испытание синхронного генератора

Студент должен знать:

1. Принцип работы синхронного генератора с неподвижными и вращающимися полюсами.
2. От чего зависит ЭДС, напряжение синхронного генератора и частота индуцируемой ЭДС.
3. Требования, предъявляемые к ЭДС синхронного генератора.
4. Способы возбуждения синхронного генератора.
5. Реакция якоря синхронного генератора и каковы ее действия при различных видах нагрузки.
6. Характеристика короткого замыкания, внешние характеристики при различных характерах нагрузки синхронного генератора.
7. Правила техники безопасности.

Студент должен уметь:

1. Собирать электрическую схему для использования синхронного генератора.
2. Управлять работой и электрическими параметрами генератора.
3. Выбирать электрические измерительные приборы по системам, степени точности, пределу измерения.
4. Испытывать генератор в трех режимах работы.
5. Строить характеристики и анализировать полученные экспериментальные данные.

Цель работы: получить характеристики синхронного генератора в режимах холостого хода, короткого замыкания, нагрузки. Уметь регулировать процессы пуска и изменения основных параметров, определять техническое состояние оборудования.

Оборудование. Технические данные представить по форме табл. 1и 2.

Электрические машины *Таблица 1*

№ п/п	Тип	Номинальная мощность кВА	Напряжение В	Ток, А	Частота вращения вала об/мин

Измерительные приборы *Таблица 2*

№ п/п	Наименование	Тип, система	Технические данные	Класс точности	Род тока

Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему трехфазного синхронного генератора (рис.1)
2. Получить характеристику генератора в режиме холостого хода $R_н = \infty$, т.е. когда P разомкнут: зависимость $E_{сг} = f(I_в)$ при n = const. Полученные значения записать в табл. 2.

По данным таблицы в единых осях координат построить восходящую и нисходящую ветви характеристики холостого хода (рис. 2).

Таблица 2

№ п/п	$E_{сг(В)}$, В	$E_{сг(Н)}$, В	$I_в$, А

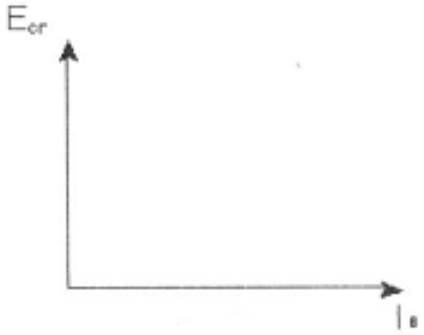


Рис.2

3. Получить характеристику генератора в режиме короткого замыкания $R_Н$=0: зависимость $I_{КЗ(СР)}=f(I_В)$ при n-const, $I_{КЗ(СР)}=I_1+I_2+I_3/3$.
Полученные значения записать в табл.3.
По данным таблицы построить характеристику короткого замыкания (рис. 3).

Таблица 3

№ п/п	I_1, А	I_2, А	I_3, А	$I_{кз(ср)}$, А	$I_в$, А

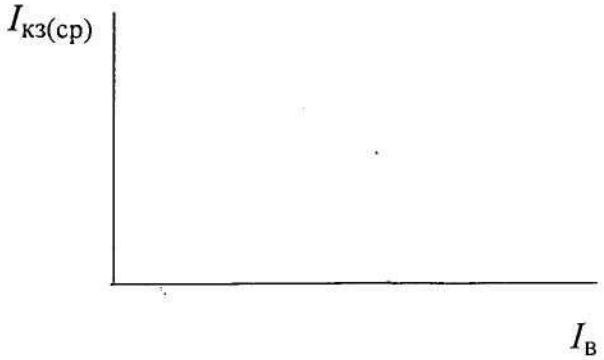


Рис. 3

4. Получить внешнюю характеристику генератора: зависимость $U_Г = f(I_{Н(ср)})$ при $I_В$ – const, n – const (табл.4).
По данным таблицы построить внешнюю характеристику генератора (рис.4).

Таблица 4

№ п/п	$U_г$, В	I_1, А	I_2, А	I_3, А	$I_{н(ср)}$, А	Примечание

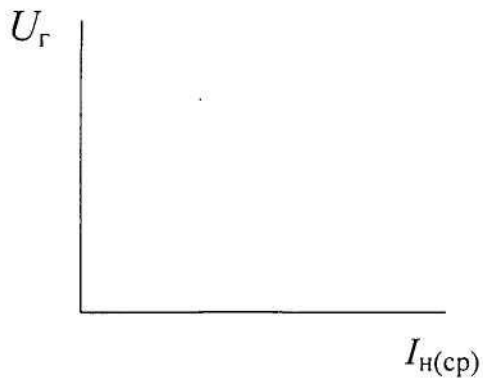


Рис. 4

5. Выводы. Объяснить характеристики холостого хода, короткого замыкания и внещние при нагрузках различного характера.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень машин, приборов и их технические данные по форме табл. 1.
3.Электрическая схема для испытания синхронного генератора.
4. Таблицы экспериментальных данных.
5. Характеристики СГ для трех режимов работы.
7. Выводы.

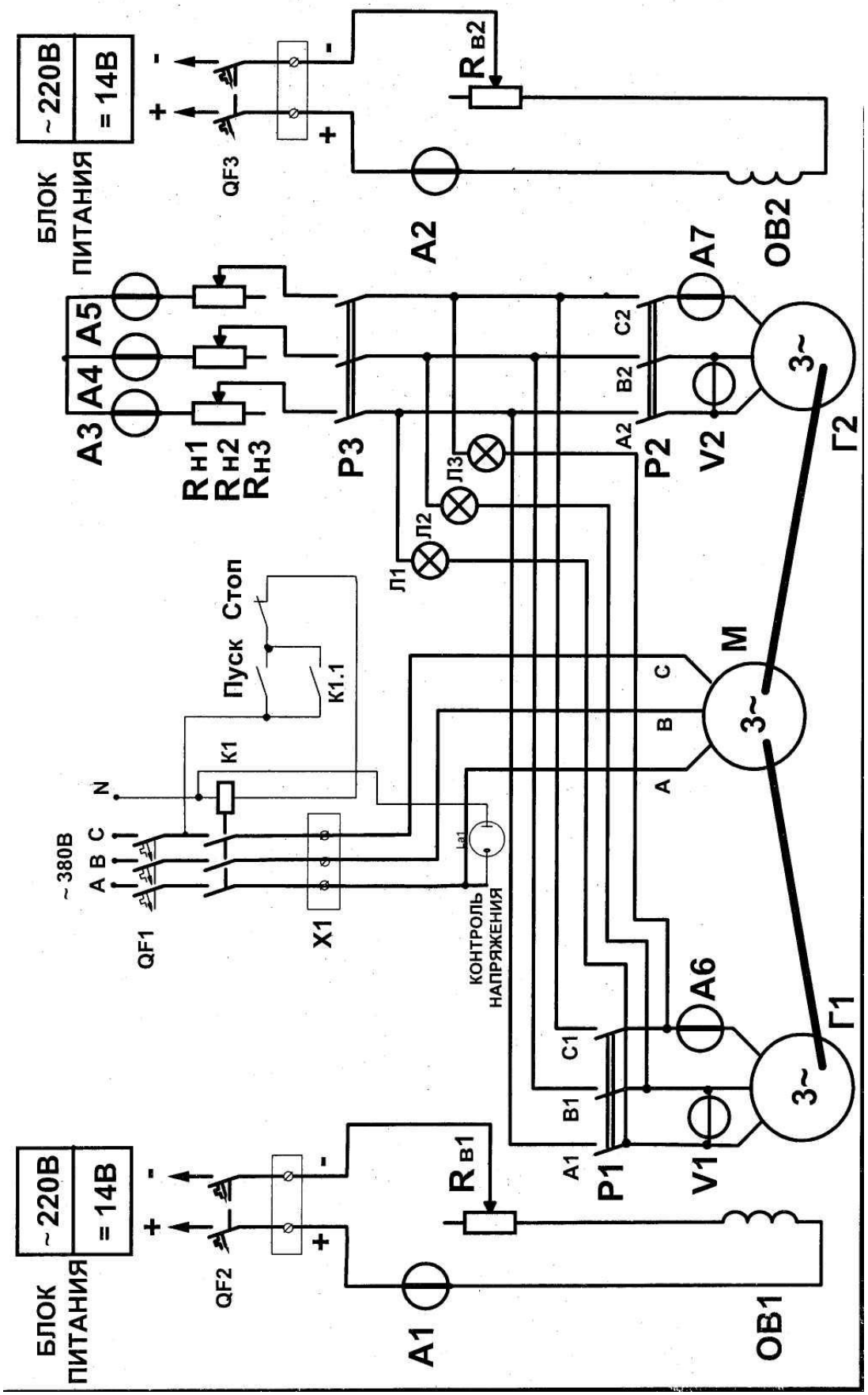
Анализ результатов лабораторной работы

Анализируя результаты лабораторной работы, дать заключение о соответствии характеристик генератора, полученных опытным путем, типовым характеристикам, приведенным в учебнике.

Контрольные вопросы

1. Конструкция синхронных машин с явнополюсным и неявнополюсным роторами.
2. Какие способы возбуждения применяются в синхронном генераторе?
3. Можно ли регулировать напряжение синхронного генератора изменением частоты ротора?
4. В чем состоит явление реакции якоря?
5. Каковы действия реакции якоря при активной, индуктивной и емкостной нагрузках синхронного генератора?
6. Почему при активной нагрузке синхронного генератора реакция якоря вызывает ослабление магнитного поля?
7. Почему характеристики холостого хода синхронного генератора при намагничивании и размагничивании не совпадают?
8. Почему внешние и регулировочные характеристики синхронного генератора, при разных характерах нагрузки не совпадают?
9. Чем объяснить прямолинейный вид характеристики короткого замыкания синхронного генератора?

Рисунок 1.


БЛОК ПИТАНИЯ
~ 220В
= 14В
QF3
QF2
QF1
~ 380В
A B C
N
K1
Пуск
Стоп
K1.1
X1
КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ
Rв2
Rв1
A2
A1
OB2
OB1
A7
A6
V2
V1
P2
P1
P3
A5
A4
A3
Rн1
Rн2
Rн3
Л1
Л2
Л3
M
3~
Г2
Г1
C2
B2
A2
C1
B1
A1
C
B
A

8. **Лабораторная работа № 5.**
Испытание асинхронного двигателя

Краткие сведения из теории

Студент должен знать:

1. Устройство и принцип работы АД.
2. Что такое скольжение:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

где n_1 — частота вращения магнитного поля

n_2 — частота вращения ротора.

3. От чего зависит вращающий момент двигателя:

$$M_{вр} = C \cdot Ф \cdot I_{2a}, \text{ Нм}$$

где I_{2a} — активная составляющая тока ротора.

4. Уравнение напряжения обмотки статора:

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 X_1 + I_1 R_1.$$

5. Уравнение напряжения для цепи ротора:

$$\dot{E}_2 - j\dot{I}_2 X_2 - \dot{I}_2 \frac{R_2}{S} = 0$$

6. Уравнение токов АД:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2')$$

7. Механическую характеристику АД:

$$M = f\{S\} \text{ при } U_1 = \text{const}.$$

8. Уравнение равновесия моментов:

$$M = -M_0 + M_2;\ n_2 = \text{const}.$$

9. Рабочие характеристики АД.
10. Правила техники безопасности.

Студент должен уметь:

1. Собрать электрическую схему, исследовать АД методом торможения и получить экспериментальные данные для построения его рабочих характеристик.

2. Анализировать полученные результаты, строить рабочие характеристики и объяснять физические процессы, происходящие в АД при механической на грузке двигателя.

Цель работы: приобрести практические навыки в сборке электрической схемы и опытном исследовании характеристик АД с короткозамкнутым ротором методом непосредственной нагрузки. Получить экспериментальное подтвержде ние теоретических сведений о свойствах трехфазного асинхронного двигателя.

Оборудование. Технические данные представить по форме табл. 1 и 2.

Электрические машины *Таблица 1*

№ п/п	Тип	Номинальная мощность кВА	Напряжение В	Ток, А	Частота вращения вала об/мин

Измерительные приборы *Т*

№ . п/п.	Наименование	Тип, система	Технические данные	Класс точности	Род тока

Порядок выполнения работы

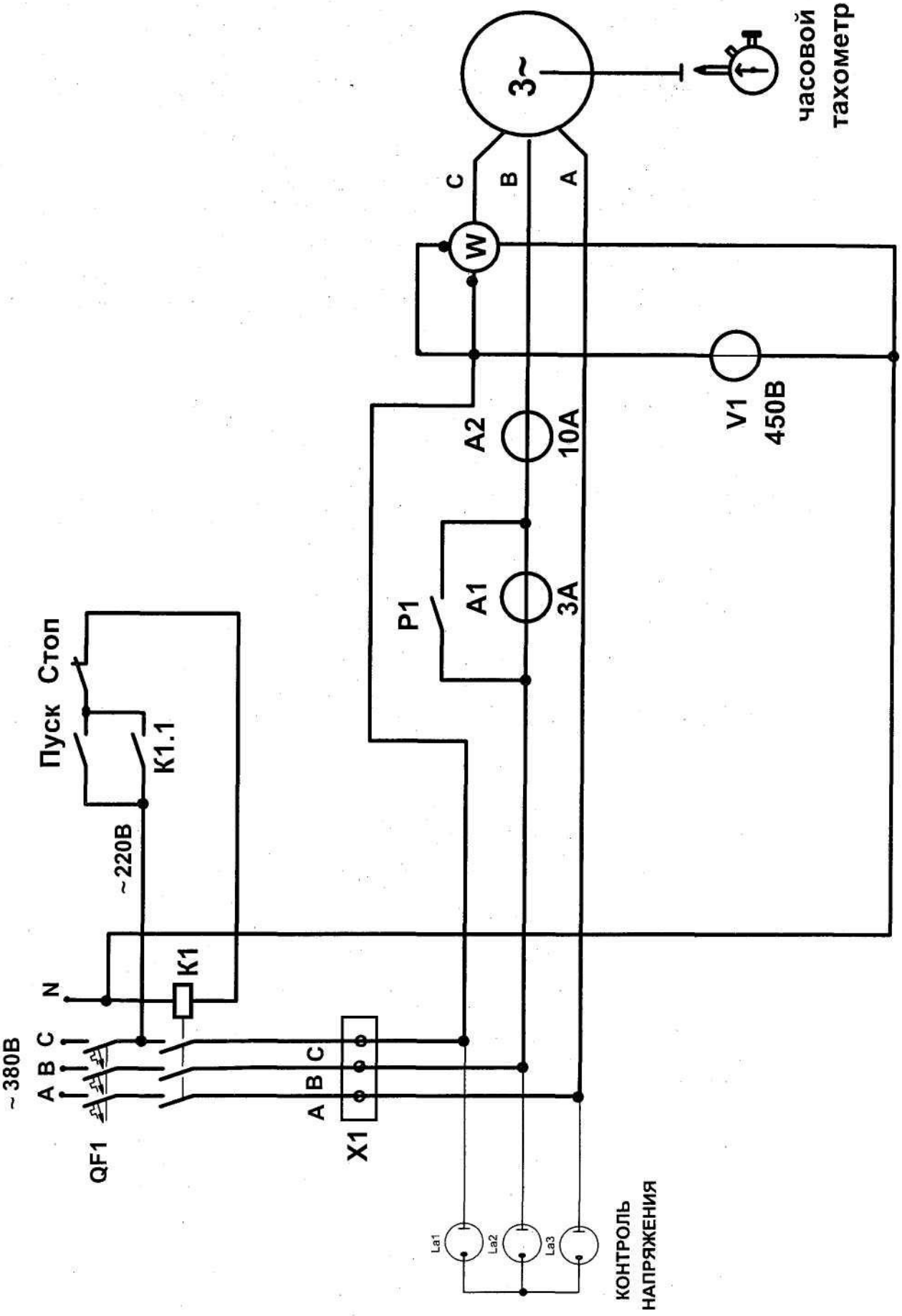
1. Собрать электрическую схему для испытания трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором согласно рисунку.

2. Получить рабочие характеристики АД с короткозамкнутым ротором: зависимости n_2, S, $I_д$, M_2, η, cosφ = $f(P_2)$ при U_1 = const; f = 50 Гц. Результаты измерений и расчетов записать в табл.2.

Таблица 2

№№ п/п	Измерено						Вычислено				
	U_1, В	$I_Д$, А	P_1, Вт	n_2, об/мин	$U_г$, В	$I_Н$, А	P_2, Вт	M_2, Нм	cosφ	S,%	η%

Рисунок 1


~ 380В
A B C
N
QF1
~220В
Пуск
Стоп
K1.1
K1
X1
A B C
La1
La2
La3
КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ
P1
A1
3A
A2
10A
W
V1
450В
3~
часовой тахометр

Формулы для расчетов

Скольжение $S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$, где n1 = $\frac{60 f}{P_3}$

Полезная мощность генератора $P_2 = U_Г I_Н$ Вт.

Пренебрегая потерями в генераторе, $P_2 \approx P_{2Д}$.

Полезный момент двигателя $M_2 = 9{,}55\ P_2/n_2$ Н-м.

Коэффициент мощности cosφ = $P_1 / \sqrt{3} U_1 \cdot I_д$.

КПД двигателя $\eta = P_2/P_1 \cdot 100\%$/

По результатам экспериментальных и расчетных данных построить рабочие характеристики АД в единых осях координат.

Выводы. Объяснить вид полученных рабочих характеристик асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Машины, приборы и их технические данные.
3. Электрическая схема для испытания АД методом непосредственной нагрузки.
4. Результаты экспериментального исследования (табл. 2).
5. Расчетные формулы.
6. Построенные рабочие характеристики АД в единых осях координат.
7. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Принцип работы асинхронного двигателя.
2. Что такое скольжение и каким оно обычно бывает у АД общего применения?
3. Какие характеристики АД называют рабочими?
4. Почему с увеличением P_2 обороты уменьшаются? Какова характеристика АД (жесткая или мягкая) до точки критического скольжения?
5. Почему при увеличении P_2 увеличивается ток двигателя?
6. Какие процессы произойдут при нагрузке АД после точки критического скольжения?
7. Почему при недогрузке АД работает с малыми значениями коэффициента мощности?

9. Лабораторная работа № 6
Определение КПД трансформатора под нагрузкой по методу холостого хода и короткого замыкания

Цель работы: Ознакомиться с устройством трансформатора, усвоить практические приемы лабораторного исследования трансформатора методом холостого хода и короткого замыкания, регулировать и испытывать трансформаторы.

Оборудование: Технические данные представить по форме табл. 1и 2

Трансформаторы *Таблица 1*

№ п/п	Тип	Номинальная мощность кВА	Напряжение В	Ток, А	Коэффициент трансформации

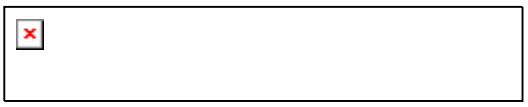
Измерительные приборы *Таблица 2*

№ п/п	Наименование	Тип, система	Технические данные	Класс точности	Род тока

Порядок выполнения работы

Для расчета КПД трансформатора необходимо провести опыты холостого хода и короткого замыкания.

Коэффициент полезного действия определяется по формуле:



где $\Delta P_{о.н}$ - потери холостого хода в стали при номинальном напряжении, Вт

$\Delta P_{к.н}$ - потери короткого замыкания в меди при номинальном токе трансформатора, Вт.

$S_н$ - полная номинальная мощность трансформатора, ВА.

β - коэффициент загрузки трансформатора.

Принимаем, что $\cos_2 = 1$.

4. Собрать схему опыта холостого хода (рис. 1) и показать ее преподавателю для проверки. На первичную обмотку подать номинальное напряжение $U_{1н}$. Показания измерительных приборов занести в табл. 1.

Рисунок 1

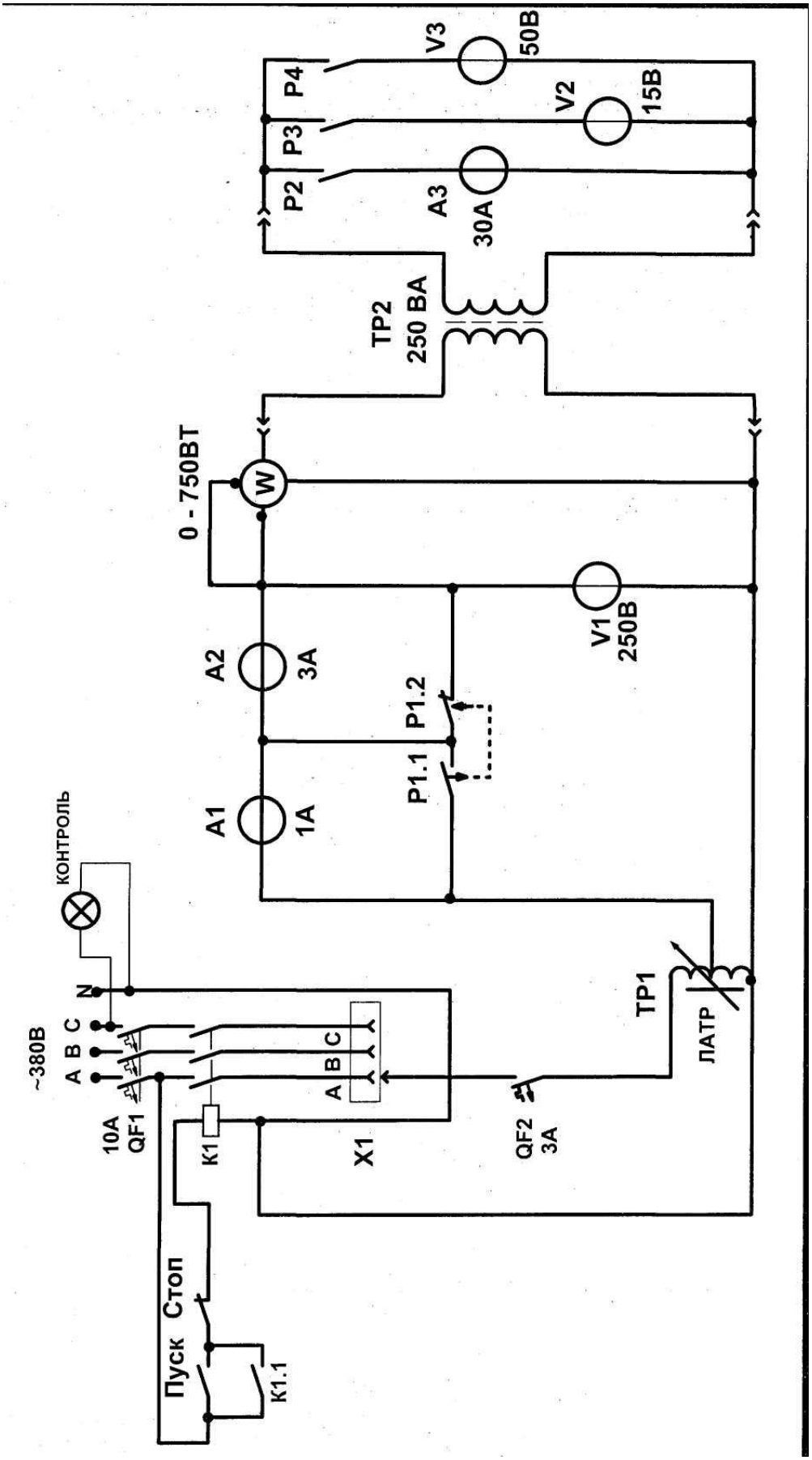

V3
50В
P4
V2
15В
P3
P2
A3
30А
ТР2
250 ВА
0 - 750ВТ
W
V1
250В
A2
3А
P1.2
P1.1
A1
1А
КОНТРОЛЬ
N
~380В
A B C
10А
QF1
K1
A B C
X1
QF2
3А
ТР1
ЛАТР
Пуск
Стоп
K1.1

Таблица 1

U_{10}, В	I_{10}, А	U_2, В	$\Delta P_{0.н}$, В

5. Собрать схему опыта короткого замыкания (рис. 2.) и показать ее преподавателю для проверки. Вторичную обмотку замкнуть накоротко через амперметр.

Реостат вывести и включить пакетный выключатель на щитке. Вводим сопротивление реостата, постепенно увеличивая напряжение в первичной обмотке до величины $U_{к.з.}$, при котором во вторичной обмотке устанавливается ток к.з., равный по величине номинальному. Показания приборов записать в таблицу 2.

Таблица 2

$U_{1к}$, В	$I_{1к}$, А	I_2, А	$\Delta P_{к.н}$, В

6. Задаваясь значениями коэффициента загрузки (β = 0,25; 0,50; 0,75; 1,04 и 1,2 определяем по приведенной выше формуле КПД трансформатора. По этим данным строим график η = *f*(β), задаваясь масштабами соответствующих величин.

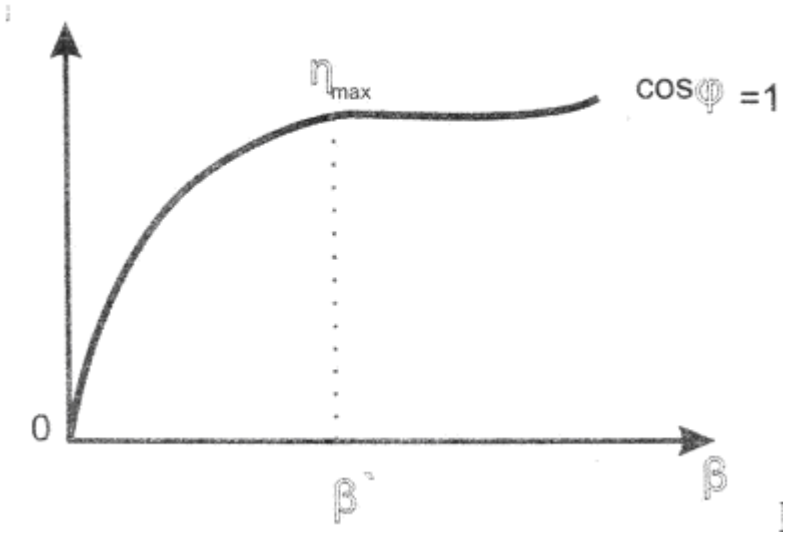


Рис.3

6. Определить значение коэффициента загрузки β', при котором КПД трансформатора имеет максимальное значение. Сопоставить полученную величину β' с аналогичной величиной, полученной из графика.

$$\beta' = \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{о.н}}}{\Delta P_{\text{к.н}}}}.$$

Выводы. Объяснить основные свойства однофазного трансформатора в режимах холостого хода и короткого замыкания.

Объяснить энергетические процессы в трансформаторе и их численную оценку.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень машин, приборов и их технические данные по форме табл. 1.
3. Электрические схема для испытания трансформатора.
4. Таблица экспериментальных данных.
5. Расчетные формулы.
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие характеристики трансформатора называют внешними.
2. Как определяется КПД. трансформатора.
3. Почему при заданном значении β наибольший КПД имеет место при активной нагрузке.
4. Как и для чего проводится опыт короткого замыкания? Какие величины определяются из опыта и как они зависят от подведенного напряжения?
5. Как проводится опыт холостого хода и в чем его значение?

10. Лабораторная работа № 7
Параллельная работа синхронных генераторов

Цель работы: приобрести практические навыки по включению синхронных генераторов на параллельную работу методом точной синхронизации. Снятие U – образных характеристик генераторов. Уметь определять соответствие технического состояния оборудования требованиям нормативных документов.

Оборудование. Технические данные представить по форме табл. 1 и 2.

Электрические машины *Таблица 1*

№ п/п	Тип	Номинальная мощность кВА	Напряжение В	Ток, А	Частота вращения вала об/мин

Измерительные приборы *Т*

№ . п/п.	Наименование	Тип, система	Технические данные	Класс точности	Род тока

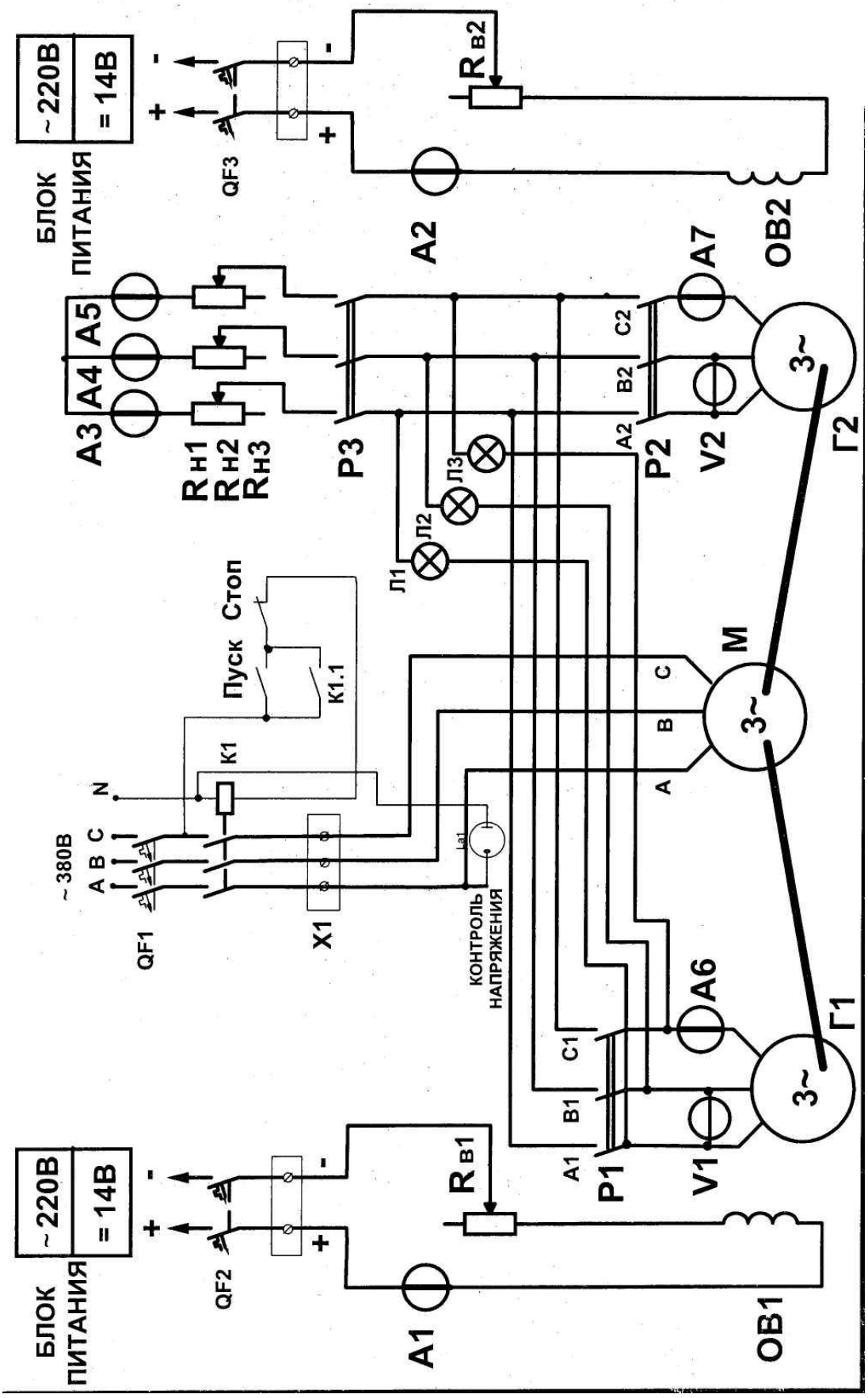
Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему для включения синхронных генераторов на параллельную работу согласно рисунку 1.
2. При включении генераторов Г1 и Г2 на параллельную работу необходимо соблюдение следующих условий:
- ЭДС генераторов Г1 и Г2 должны быть равны по величине и находиться в противофазе;
- Частоты ЭДС генераторов должны быть равны между собой;
- Чередование фаз генераторов должно быть одинаковым.

Приведение генераторов в состояние, удовлетворяющее перечисленным условиям, называется синхронизацией. Соблюдение условий синхронизации проверяется с помощью лампового синхроскопа, включенного по схеме «на погасание», одновременно на всех фазах.

Порядок включения:
- Рубильники P_1, P_2,P_3 разомкнуты, реостаты R_{B1}, R_{B2}, введены;
- Включают М в сеть переменного тока, а обмотку возбуждения Г1 в сеть постоянного тока;
- Регулируя ток возбуждения реостатом R_{B1} устанавливают номинальное напряжение 110 В на выводах генератора Г1 по показанию вольтметраV1;
- Аналогично подготавливают к включению генератор Г2
- Включают рубильник Р1, лампы синхроскопа вспыхивают и гаснут, что свидетельствует о некоторой разности частот ЭДС генераторов, поскольку в качестве приводных двигателей используются асинхронные двигатели, с

Рисунок 1


БЛОК ПИТАНИЯ
~220В
=14В
QF3
QF2
QF1
Rв2
Rв1
A2
A1
OB2
OB1
A7
A6
V2
V1
Г2
Г1
A5
A4
A3
Rн1
Rн2
Rн3
P3
P2
P1
C2
B2
A2
C1
B1
A1
Л1
Л2
Л3
Стоп
Пуск
K1.1
K1
N
~380В
A B C
X1
La1
КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ
M
3~
A
B
C

довольно близкой частотой вращения. Указанное вспыхивание и погасание ламп происходит медленно. Погасание всех трех ламп отвечает моменту, когда ЭДС Г1 и Г2 находятся в противофазе.

- В момент погасания ламп включают рубильник Р2, генератор с меньшей частотой вращения втягивается в синхронное вращение с другим генератором, на чем заканчивается процесс синхронизации.

3. Снять U – образные характеристики для генератора Г2 для трех значений активной нагрузки: $I_{Н1} = 0$ (режим холостого хода), $I_{Н2} = 1{,}5$ А, $I_{Н3} = 3$ А.

Порядок переключений:

1. Рубильник Р3 разомкнут, режим х.х., ток $I_{Н1} = 0$. Увеличивают ток $I_В$ реостатом $R_{В2}$ до тех пор, пока ток в цепи статора I_2 не станет равным номинальному. Затем уменьшают $I_В$ до тех пор, пока ток I_2, пройдя через минимум, не возрастет снова до номинального значения. При этом снимают значения токов возбуждения $I_В$ и статора I_2 по показаниям приборов А2 и А7 и заносят их в таблицу 2. После этого восстанавливают прежнее значение тока возбуждения $I_В$.

2. Включают рубильник Р3. Реостатом $R_Н$ устанавливают ток нагрузки $I_{Н2} = 1{,}5$ А. Данные U – образной характеристики для этой нагрузки генератора снимают в изложенном выше порядке и заносят их в таблицу 2.

3. Для нагрузки $I_{Н3}$ опыт повторяют.

Таблица 2

№№ измерений	$I_{Н1} = 0$		$I_{Н2} = 1{,}5$ А		$I_{Н3} = 3$ А	
	$I_{В1}$, А	I_1, А	$I_{В1}$, А	I_1, А	$I_{В1}$, А	I_1, А

4. По полученным данным построить U – образные кривые (рис. 2)

Выводы: Объяснить условия синхронизации генератора, включаемого на параллельную работу.

Содержание отчета

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень машин, приборов и их технические данные по форме табл. 1.

3. Электрические схема для исследования параллельной работы синхронных генераторов.

4. Таблица экспериментальных данных.

5.График U – образных кривых.

6. Выводы.

Контрольные вопросы.

1. Как нагрузить генератор, включенный на параллельную работу?

2. Какие существуют способы включения синхронного генератора на параллельную работу с сетью?

3. Каким образом устанавливается, что сеть и подключаемый на параллельную работу генератор имеют одинаковый порядок чередования фаз?

4. Почему при параллельной работе синхронного генератора с сетью частота вращения его ротора остается строго постоянной?

5. Как регулируется активная мощность генератора, включенного параллельно с сетью?

6. Объясните U – образный характер зависимости $I_1 = f(I_B)$ при $P = const$, $U_1 = const$ и $f_1 = const$.

11. Практическая работа №1
Генератор постоянного тока.

1 Краткие сведения из теории.

Электрические машины разделяют по назначению на два основных вида: электрические генераторы и электрические двигатели. Генераторы предназначены для выработки электрической энергии.

В электрических машинах происходит процесс преобразования энергии. Генераторы преобразуют механическую энергию в электрическую, поэтому для работы надо вращать его вал каким-либо двигателем. На тепловозе, например, генератор приводят во вращение дизелем.

Принцип действия любой электрической машины основан на использовании явлений электромагнитной индукции и возникновения электромагнитных сил при взаимодействии проводников с током и магнитного поля.

При отсутствии нагрузки (при разомкнуто внешней цепи генератора) имеет место режим холостого хода генератора. В этом случае от дизеля или турбины требуется только такое количество механической энергии, которое необходимо для преодоления трения и компенсации других внутренних потерь энергии в генераторе. При увеличении нагрузки генератора увеличивается сила тока, проходящего по проводникам обмотки якоря, и создаваемый им тормозящий момент М. Следовательно, должна быть соответственно увеличена и механическая мощность $P_{мех}$, которую генератор должен получить от дизеля или турбины для продолжения нормальной работы.

Таким образом, чем больше электрической энергии потребляется, например электродвигателями тепловоза от тепловозного генератора, тем больше механической энергии забирает он от вращающего его дизеля и тем больше топлива необходимо подавать дизелю.

Из рассмотренных выше условий работы электрического генератора вытекает, что характерным для него является:

совпадение по направлению тока и ЭДС в проводниках обмотки якоря; это указывает на то, что машина отдает электрическую энергию;

возникновение электромагнитного тормозного момента М, направленного против вращения якоря; из этого вытекает необходимость получения машиной извне механической энергии.

Устройство машины постоянного тока

Машина постоянного тока состоит из двух основных частей: неподвижной части – статора, вращающейся части – ротора, Неподвижная и вращающаяся части отделены друг от друга воздушным зазором.

Статор состоит из станины 6, главных полюсов 4, с полюсными катушками 5, переднего подшипникового щита 13, заднего подшипникового щита 7, щеткодержателей 15, со щетками 2. Станина опирается на фундамент посредством лап 12.

Ротор состоит из вала 10, сердечника 3 с обмоткой 9, коллектора 1, подшипников 14.

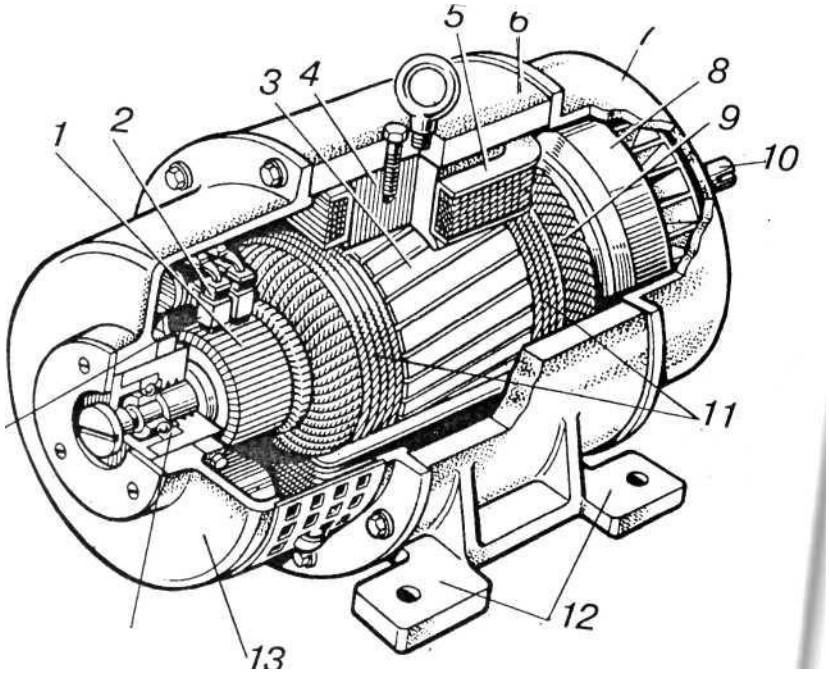


Рис. 1.

2 Схема и параметры генератора параллельного возбуждения.

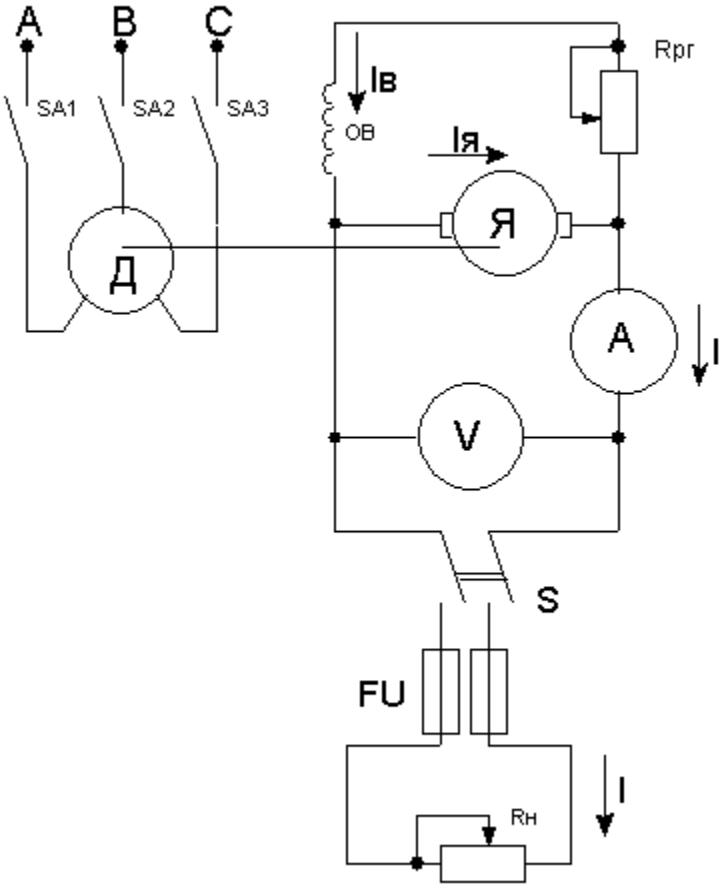
1. Сопротивление обмотки якоря генератора – Rя, Ом.
2. Сопротивление обмотки возбуждения – Rв, Ом.
3. Напряжение на зажимах генератора (напряжение,подаваемое на нагрузку) – U, В
4. Сопротивление нагрузки – Rн, Ом.
5. Ток в обмотке возбуждения – $I_в = U/R_в$, А.

Ток, отдаваемый во внешнюю цепь (ток нагрузки), - $I = U/R_н$, А.

6. Ток в обмотке якоря генератора – $I_я = I_в + I$, А.
7. Электродвижущая сила генератора (ЭДС) – $E = U + I_я R_я$, В.
8. Мощность, затрачиваемая двигателем на работу генератора (мощность, потребляемая генератором) – $P1 = P2 + \Delta P$, Вт.
9. Электромагнитная мощность генератора – $P_э = EI_я$; $P_э = P1 - \Delta P_м$, Вт.
10. Полезная мощность, отдаваемая генератором (мощность нагрузки),-
11. $P2 = U I - I^2 R_н$; $P2 = P_э - \Delta P_{эл} = P1 - \Delta P_м - \Delta P_{эл} = P1 - \Delta P$, Вт
12. Мощность потерь в генераторе – $\Delta P = \Delta P_{эл} - \Delta P_м$, где $\Delta P_м$ – механические и другие потери, в данной работе условно можно принять $\Delta P_м = \Delta P_{эл}$,т. е. $\Delta P = 2\Delta P_{эл}$;

$\Delta P_{эл}$ – мощность потерь на нагрев обмоток генератора $\Delta P_{эл} = I^2 R_я + I^2 R_в$ Вт.

13. Коэффициент полезного действия генератора – $\eta = P2/P1 = (P1 - \Delta P)/P1 = 1 - (\Delta P/P1)$.



Я – обмотка якоря генератора;
ОВ – обмотка возбуждения генератора;
$R_н$ – нагрузка;
$R_{рг}$ – сопротивление для изменения тока в обмотке возбуждения (в работе принять $R_{рг} = 0$);
Д – трехфазный асинхронный двигатель, вращающий якорь генератора с мощностью P_1.

3 Задание на практическую работу и пример расчета для варианта «0»

Цель работы: ознакомиться с основными параметрами генератора параллельного возбуждения.

Вычертить схему генератора, выписать исходные данные и рассчитать параметры, отмеченные в таблице 1 прочерками.

Таблица 1.

Вариант	0	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20, 30
$R_я$, Ом	0,2	---	0,1	---	0,1	---	---	0,15	---	0,3	---
$R_в$, Ом	50	---	55	---	---	300	---	---	---	150	---
$R_н$ Ом	3	---	---	5	---	10	---	---	---	4	---
U, В	120	---	220	---	---	---	200	---	---	100	---
E, В	---	165	---	214	---	---	---	---	210	---	---
I, А	---	39	---	---	50	---	---	---	41	---	---
$I_в$, А	---	---	---	---	2	---	0,8	---	---	---	1
$I_я$, А	---	---	50	---	---	---	---	25	---	---	40
P_1, КВт	---	---	---	10	---	---	7	---	---	---	---
P_2, КВт	---	---	---	---	15	9	---	---	8,2	---	---
η	---	---	---	---	---	0,9	---	---	0,85	---	---
$P_э$, КВт	---	6,6	---	---	---	---	---	5	---	---	9,6
ΔP, Вт	---	600	---	---	---	---	560	---	---	---	---
$\Delta P_{эл}$= $\Delta P_м$, Вт	---	---	---	590	---	---	---	250	---	---	400

Пример расчета

1. Ток нагрузки

$$I = U/R_н = 120/3 = 40 \text{ А}$$

2. Ток в обмотке возбуждения

$$I = U/R_в = 120/50 = 2,4 \text{ А}$$

3. Ток в обмотке якоря

$$I_я = I + I_в = 40 + 2,4 = 42,4 \text{ А}$$

4.ЭДС генератора

$$E = U + I_я R_я = 120 + 42,4 \cdot 0,2 = 128,5 \text{ В}$$

5. Мощность, отдаваемая генератором (мощность нагрузки)

$$P_2 = U\,I = 120 \cdot 40 = 4800 \text{ Вт} = 4,8 \text{ КВт}$$

6. Электромагнитная мощность генератора

$$P_э = E\,I_я = 128,5 \cdot 42,4 = 5448 \text{ Вт}$$

7. Мощность потерь на нагрев обмоток генератора (мощность электрических потерь).

$$\Delta P_{эл} = I_я^2 R_я + I_в^2 R_в = 42,4^2 \cdot 0,2 + 2,4^2 \cdot 50 = 648 \text{ Вт}$$

Проверка: $\Delta P_{эл} = P_э - P_2 = 5448 - 4800 = 648$ Вт

8. Мощность, затрачиваемая двигателем на работу генератора

$$P_1 = P_э + \Delta P_м$$

Учитывая, что по условию $\Delta P_м = \Delta P_{эл}$

$$P_1 = 5448 + 648 = 6096 \text{ Вт} = 6{,}1 \text{ КВт}$$

9. Общая мощность потерь в генераторе

$$\Delta P = P_1 – P_2 = 6096 – 4800 = 1296 \text{ Вт}.$$

10.Коэффициент полезного действия генератора

$$\eta = P_2/P_1 = 0{,}78.$$

Выводы: пояснить, какой закон лежит в основе принципа действия генератора: назначении основных частей генератора, классификация генераторов по способу возбуждения.

12. Практическая работа № 2
Двигатель постоянного тока.

1 Краткие сведения из теории.

Электрические двигатели преобразуют электрическую энергию в механическую. Поэтому для работы двигателя его надо соединить проводами с источником электрической энергии, или, как говорят, включить в электрическую сеть.

Двигатели постоянного тока широко применяют в тяговом подвижном составе. Это коллекторные тяговые двигатели и коллекторные вспомогательные машины электровозов, тепловозов, электро- и дизель-поездов.

По способу возбуждения двигатели постоянного тока подразделяют аналогично генераторам на двигатели независимого, параллельного, последовательного и смешанного возбуждения. Схемы двигателей и генераторов по всем видам возбуждения одинаковы.

При отсутствии нагрузки (внешнего тормозного момента, приложенного к валу двигателя) электродвигатель потребляет от внешнего источника (сети) небольшое количество электрической энергии и по нему проходит небольшой ток холостого хода. Эта энергия расходуется на покрытие внутренних потерь мощности в машине.

При возрастании нагрузки увеличивается потребляемый электродвигателем ток и развиваемый им электромагнитный вращающий момент. Следовательно, увеличение механической энергии, отдаваемой электродвигателем при возрастании нагрузки, вызывает автоматически увеличение электрической энергии, забираемой им от источника.

Из рассмотренных выше условий работы электрического двигателя вытекает, что характерным для него является:

совпадение по направлению электромагнитного момента M и частоты вращения n; это характеризует отдачу машиной механической энергии;

возникновение в проводниках обмотки якоря ЭДС,направленной против тока i и внешнего напряжения U. Из этого вытекает необходимость получения машиной извне электрической энергии.

Электрические машины постоянного тока обладают свойством обратимости, т. е. они могут работать, как в режиме двигателя так и в режиме генератора.

2.Схема и параметры двигателя параллельного возбуждения.

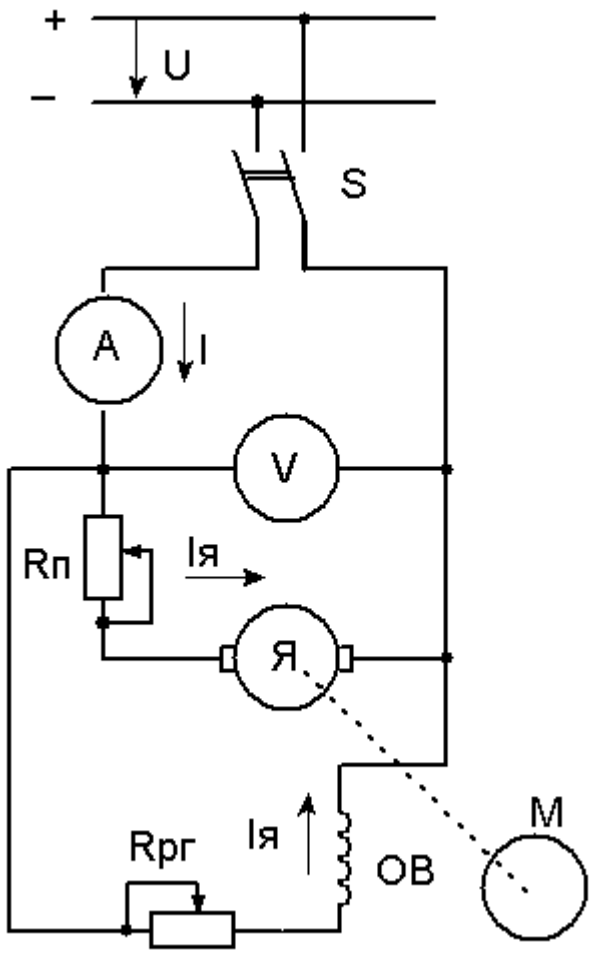
1. Напряжение сети, подведенное к двигателю – U, В.
2. Сопротивление обмотки якоря двигателя – $R_я$, Ом.
3. Сопротивление обмотки возбуждения – $R_в$, Ом.
4. Противо-ЭДС (Е) индуктируется в обмотке якоря при его вращении в магнитном поле с номинальной частотой – $n_н$, об/мин.
5. Ток в обмотке якоря – $I_я = (U–E)/R_я$, А .
6. Ток в обмотке возбуждения – $I_в = U/R_в$, А.

7. Номинальный ток, потребляемый двигателем из сети – $I_н = I_я + I_в$, А.
8. Мощность, потребляемая двигателем из сети – $P_1 = U\ I_н$, Вт.
9. Потери мощности в двигателе – ΔP, Вт.
10. Полезная мощность двигателя – $P_2 = P_1 - \Delta P$, Вт.
11. Коэффициент полезного действия двигателя – $\eta = P_2/P_1$.
12. Вращающий момент двигателя – $M = 9{,}55\ P_2/n_н$, Н м .
13. В момент включения двигателя под напряжение при n = 0 противо-ЭДС (Е) в обмотке якоря не индуктируется и ток в ней $I_я = U/R_я$ может достигнуть значения, многократно превышающего номинальный ток.

Для ограничения пускового тока в цепь обмотки якоря вводится пусковое сопротивление $R_я$, которое по мере увеличения частоты вращения постепенно уменьшается. При номинальной частоте $n_н$ пусковое сопротивление $R_н = 0$.

В работе $R_п$ определить из условия увеличения пускового тока $I_п$ по сравнению с номинальным в 1,5 раза:

$$I_п = I_в + U|(R_я + R_п) = 1{,}5\ I_н.$$



Я – обмотка якоря двигателя;

ОВ – обмотка возбуждения:

$R_{рг}$, - сопротивление для изменения тока в обмотке возбуждения (в работе принять $R_{рг} = 0$);

$R_п$ – пусковой реостат.

3.Задание на практическую работу и пример расчета варианта «0».

Цель работы: ознакомиться с основными параметрами двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

Вычертить схему двигателя, выписать исходные данные и рассчитать параметры, отмеченные в таблице 4.3.1 прочерками.

Таблица 4.3.1.

Вариант	0	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20, 30
U, В	220	---	500	---	380	---	220	---	450	---	---
Rя, Ом	---	---	0,15	---	0,05	---	0,08	---	0,2	0,1	---
Rв Ом	44	100	---	---	76	260	---	---	150	---	200
Е, В	210	194	---	374	---	775	---	250	---	---	396
$n_н$,об/мин	520	180	---	210	---	350	---	400	---	500	250
Iя, А	---	---	70	---	---	---	---	---	---	193	---
Iв, А	---	2	4	1,32	---	---	2,73	4	---	2	---
Iн, А	240	---	---	41,3	---	50	---	296	---	---	50
P_1, КВт	---	12	---	---	76	---	13,8	---	13,5	---	20
Δ Р,КВт	---	---	---	1,1	6,8	3,12	---	---	2,5	5,1	---
P_2, КВт	---	10,8	34	---	---	---	12	70	---	---	18,6
η	0,9	---	---	0,93	---	0,92	---	0,91	---	---	---
М,КНм	---	---	1	---	1,41	---	0,6	---	0,42	1,1	---
$R_п$, Ом	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Пример расчета

1.Ток в обмотке возбуждения двигателя

$$I_в = U/R_в = 220/44 = 5 \text{ А}.$$

2.Ток в обмотке якоря двигателя

$I_я = I_н – I_в = 240-5 = 235$ А.

3.Сопротивление обмотки якоря двигателя

$R_я = (U – E)/I_я = (220 – 210)/235 = 0,0426$ Ом.

4.Потребляемая двигателем мощность

$P1 = UI_н = 220 \cdot 240 = 52800$ Вт = 52,8 КВт

5.Полезная мощность двигателя

$P2 = P1 \cdot \eta = 52800 \cdot 0,9 = 47520$ Вт = 47,52 КВт

6.Суммарные потери мощности в двигателе

$\Delta P = P1 – P2 = 52,8 – 47,52 = 5,28$ КВт

В том числе мощность электрических потерь на нагрев обмотки якоря и обмотки возбуждения

$\Delta P_{эл} = I_я^2 R_я + I_в^2 R_в = 235^2 \cdot 0,0426 + 5^2 \cdot 44 = 3452,6$ Вт = 3,45 КВт

7.Вращающий момент двигателя

$M = 9,55\ P2/n_н = 9,55 \cdot 47520/520 = 827,7$ Нм.

8. Чтобы в момент включения ток двигателя был не более чем в полтора раза больше номинального, необходимо последовательно с обмоткой якоря включить пусковое сопротивление

$R_п = [U/(1,5I_н – I_в)] + R_я = [220/(1,5 \cdot 240 – 5)] + 0,0426 = 0,577$ Ом

Выводы: пояснить, на действии какого закона основан принцип работы электродвигателя; назначение основных частей двигателя, его реверсирование.

13. Практическая работа №3
Трехфазный асинхронный двигатель.

1 Краткие сведения из теории.

Электрические машины переменного тока подразделяются на два основных вида: асинхронные и синхронные. Принцип действия этих машин основан на использовании вращающегося магнитного поля.

Асинхронная машина – это бесколлекторная машина переменного тока, у которой в установившемся режиме магнитное поле, участвующее в основном процессе преобразования энергии, и ротор вращаются с разными скоростями.

Если подключить обмотки статора асинхронного двигателя к источнику трехфазного тока, то появится вращающееся магнитное поле.

Вращающееся магнитное поле пересекает проводники обмотки статора и ротора. В обмотках статора индуктируется ЭДС самоиндукции, а в обмотках ротора – ЭДС взаимоиндукции. Так как проводники ротора замкнуты (в коротко – замкнутом роторе кольцами, а в фазном роторе пусковым реостатом), то по ним потечет ток. Ток ротора будет создавать свое магнитное поле. Взаимодействие полей статора и ротора приводит к появлению выталкивающей силы. Ротор начнет вращаться. Вращение ротора посредством вала передается исполнительному механизму. Таким образом, электрическая энергия, поступающая из сети в обмотку статора, преобразуется в механическую энергию вращения ротора двигателя. Направление вращения магнитного поля статора, а следовательно, и направление вращения ротора зависят от порядка следования фаз напряжения, подводимого к обмотке статора.

Ротор всегда будет вращаться с меньшей скоростью, чем вращающееся магнитное поле статора, так как при одинаковой скорости вращения не будет пересечения проводников ротора магнитными силовыми линиями вращающегося поля, т. е. ротор будут вращаться вместе с магнитными силовыми линиями.

Частота вращения магнитного поля зависит от частоты подаваемого в обмотку статора напряжения U и числа пар полюсов P, создаваемых обмоткой статора, и определяется из выражения:

$$n_1 = 60f/P$$

Относительная разность частот вращения вращающегося магнитного поля статора и самого ротора называют скольжением

$$S = (n_1 - n_2)/n_1$$

Чем больше тормозной момент на валу асинхронного двигателя, тем меньше n_2 и больше S.

Трехфазные асинхронные двигатели являются самыми распространенными двигателями и применяются для привода различных станков, насосов, вентиляторов, компрессоров, грузоподъемных механизмов, а также на электроподвижном составе переменного тока в качестве двигателей вспомогательных машин.

Устройство асинхронного двигателя.

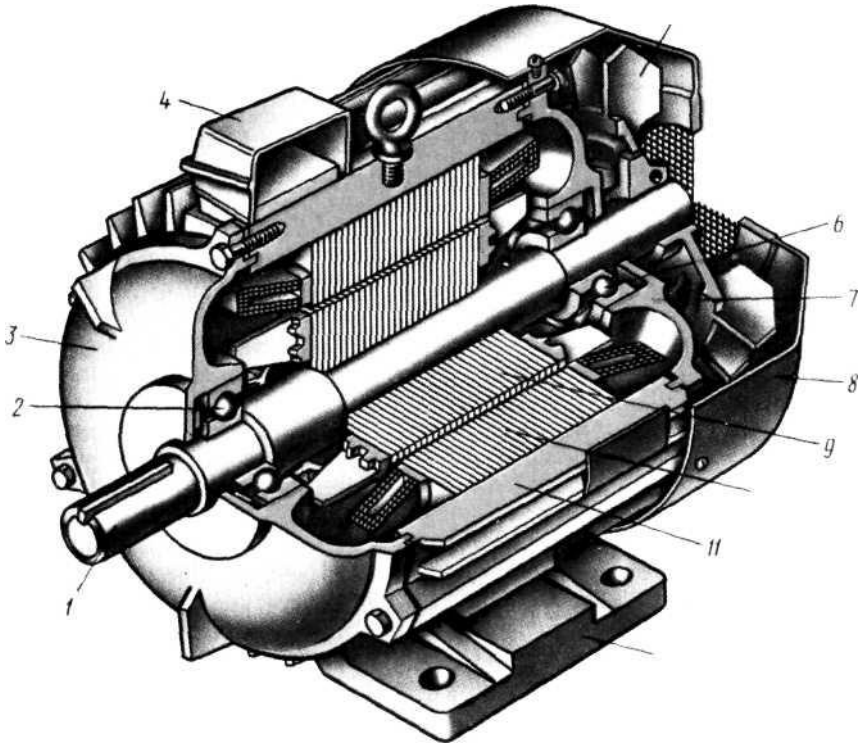


Рис. 1.

Асинхронная машина как и всякая электрическая машина состоит из неподвижной части – статора и вращающейся части – ротора (рис. 1.)

Статор асинхронной машины состоит из корпуса 11, который может быть изготовлен из различных конструкционных материалов: стали, чугуна, цветных металлов и их сплавов. В корпус запрессован сердечник 10, изготовленный из отдельных пластин электротехнической стали. В сердечнике сделаны пазы, куда укладывают трехфазную обмотку. С торцов корпус закрыт подшипниковыми щитами 3 и 7.Подшипниковые щиты обычно выполняют из тех же материалов, что и корпус. В подшипниковых щитах расположены подшипники 2 и 6, на которые опирается вал 1 ротора. На вал напрессован сердечник 9, выполненный из отдельных пластин электротехнической стали. В сердечнике сделаны пазы, в которые заливают расплавленный алюминий. При охлаждении алюминия образуются стержни, к концам которых припаивают алюминиевые кольца. Чаще всего кольца и стержни отливают одновременно. Образуется короткозамкнутая обмотка типа «беличья клетка». в некоторых машинах вместо алюминиевой «беличьей клетки» применяют медную. Тогда в пазы ротора просто укладывают медные стержни концы которых замыкают медными кольцами. Вместе с кольцами отливают вентиляционные лопатки, способствующие охлаждению двигателя. Для уменьшения габаритов двигателя

охлаждающий поток воздуха направляют центробежным вентилятором 5, который напрессовывают на вал ротора. Вентилятор прикрыт кожухом 8, изготовленным из стали, а в последнее время из пластмассы.

Двигатель монтируют посредством лап 12, либо с помощью фланца.

Разновидностью асинхронных двигателей являются двигатели с фазным ротором.

5.2 Схема и параметры трехфазного асинхронного двигателя.

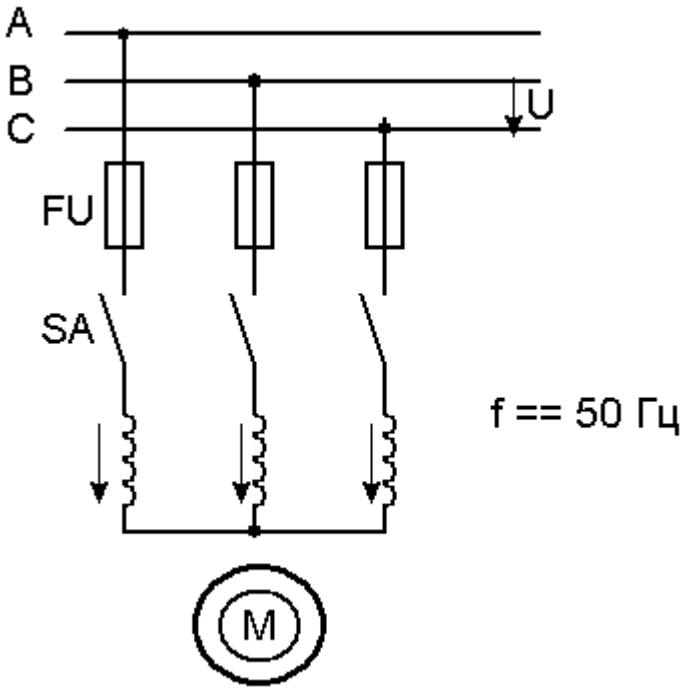


рис. 2.

1. Номинальное линейное напряжение сети – U, В.
2. Номинальный ток двигателя (ток в каждой из трех обмоток статора) – $I_н$ А.
3. Частота тока сети – f , Гц.
4. Число полюсов двигателя – 2p, число пар полюсов – p.
5. Частота вращения магнитного поля статора – $n_1 = 60f/p$ об/мин.
6. Частота вращения магнитного поля статора относительно ротора ($n_1 – n_2$), выраженная в процентах от частоты вращения магнитного поля, называется скольжением – $S = (n_1 – n_2)\ 100/n_1$ %. В номинальном режиме $S_н$ составляет около 5% у машин небольшой мощности и около 2% у мощных машин.
7. Частота вращения ротора асинхронного двигателя в номинальном режиме – $n_{2н} = (1 – S_н/100)n_1$ или $n_{2н} = (1 – S_н/100)\ 60f\ /p$.
8. Номинальная активная мощность, развиваемая двигателем (т. е. величина, характеризующая скорость необратимого преобразования электрической энергии в механическую и тепловую) – $P_{2н}$ Вт.

9. Мощность, потребляемая двигателем из сети в номинальном режиме:
–активная - $P_{1н} = \sqrt{3}\, UI_н \cos\varphi_н$ или $P_{1н} = P_{2н}/\eta_н$, Вт;
- полная – $S = \sqrt{3}\, UI_н$, ВА.

10. Потери энергии в двигателе складываются из потерь в обмотках статора и ротора, потерь в магнитопроводе, механических и добавочных потерь $\Delta P = P_1 – P_2$, Вт.

11. Коэффициент полезного действия двигателя – $\eta_н = P_{2н}/P_{1н} = (P_{1н} – \Delta P)/P_{1н}$. КПД асинхронного двигателя зависит от нагрузки. При номинальном режиме работы двигателя КПД $\eta = 0{,}9 \div 0{,}95$ (чем больше расчетная мощность двигателя, тем выше его КПД).

12.Коэффициент мощности асинхронного двигателя показывает, какая часть полной мощности, поступающей из сети, расходуется на покрытие потерь и преобразуется в механическую работу $\cos\varphi_н = P_{1н}/\sqrt{3}UI_н$. В номинальном режиме обычно составляет $\cos\varphi_н = 0{,}7 \div 0{,}9$,при холостом ходе снижается до $0{,}2 \div 0{,}3$.

13. Вращающий момент асинхронного двигателя в номинальном режиме

$M_н = 9{,}55P_{2н} / n_{2н}$, Нм.

5.3.Задание на практическую работу и пример расчета варианта «0».

Цель работы: ознакомиться с определением основных параметров трехфазного асинхронного двигателя.

Вычертить схему трехфазного двигателя, выписать из табл.1. исходные данные, пояснить их. Рассчитать параметры двигателя, отмеченные в таблице прочерками.

Таблица 1.

Вариант	0	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20, 30
U, КВ	0,38	0,22	---	0,38	---	0,22	---	0,38	---	1	0,38
$I_н$, А	---	---	24	---	20	---	50	75	20	---	---
2P	4	6	---	8	---	10	4	6	---	4	8
$n_1 \times 10^3$,об/мин	---	---	1,5	---	1,0	---	---	---	1,0	---	---
$n_{2н} \times 0^3$,,об/мин	1,46	---	---	---	0,97	---	1,46	0,96	---	---	---
$S_н$ %	---	2	3	2,5	---	3	---	---	2,5	4	2
$P_{2н}$, КВт	12	21	---	30	---	34	---	40	---	30	45
$P_{1н}$, КВт	---	---	---	---	24	38	---	---	30	---	---
Δ P,КВт	---	---	1,5	2	---	---	---	---	3	---	---
S, КВА	---	---	---	---	32	43,2	10,9	---	40	---	---
$\eta_н$	0,9	0,9	---	---	0,91	---	0,93	0,95	---	0,92	0,91
$\cos\varphi_н$	0,85	0,8	0,75	0,92	---	---	---	---	---	0,82	0,84
$M_н$,Нм	---	---	80	---	---	---	60	---	---	---	---

Пример расчета

1.Мощность, потребляемая двигателем из сети

- активная – $P_{1н} = P_{2н}/\eta = 12000/0,9 = 13333$Вт = 13,3 КВт;
- полная – $S = P_{1н}/\cos\varphi_н = 13333/0,85 = 15686$ ВА = 15,7 КВА

2. Номинальный ток двигателя

$$I_н = P_{1н}/(\sqrt{3}\,U\cos\varphi_н) = 13333/(\sqrt{3}\cdot 380\cdot 0,85) = 23,9 \text{ А}$$

3.Мощность потерь в двигателе

$$\Delta P = P1н - P2н = 13333 - 12000 = 1333 \text{ Вт} = 1,33 \text{ КВт}$$

4.Частота вращения магнитного поля статора

$$n1 = 60f/p = 60\cdot 50/2 = 1500 \text{ об/мин.}$$

5. Номинальное скольжение

$$S_н = (n_1 - n_2)100/n_1 = (1500 - 1460)\cdot 100/1500 = 2,67\%$$

7. Вращающий момент двигателя

$$M_н = 9,55\ P_{2н}/n_{2н} = 9,55\cdot 12\cdot 10^3/1460 = 78,6 \text{ Нм.}$$

Выводы: пояснить принцип действия асинхронного двигателя, возможность его реверсирования**.**

.

14. Практическая работа № 4
Однофазный трансформатор.

1 Краткие сведения из теории.

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения.

Трансформатор (рис. 1) состоит из сердечника, набранного из листов электротехнической стали и двух или нескольких обмоток. Передача энергии из одной обмотки в другую производится путем электромагнитной индукции.

Обмотка, к которой подводится переменный ток, называется первичной. К другой обмотке подключен потребитель Zн. Эта обмотка называется вторичной. Все величины (ток, напряжение, ЭДС, МДС, число витков),относящиеся к первичной обмотке обозначают индексом 1. Те же величины, относящиеся ко вторичной обмотке, обозначают индексом 2.

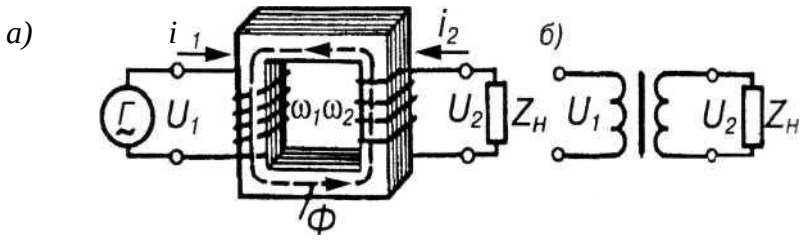


Рис.1. Электромагнитная (а) и принципиальная (б) схемы трансформатора

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При подключении трансформатора к источнику переменного тока (электрической сети) в витках его первичной обмотки протекает переменный ток i1, образуя переменный магнитный поток Ф. Этот поток проходит по магнитопроводу трансформатора и, пронизывая витки первичной и вторичной обмоток, индуктирует в них переменные Э.Д.С. e1 и e2.

Если ко вторичной обмотке присоединен какой-либо приемник, то под действием Э.Д.С. e2 по ее цепи проходит ток i2.

Э.Д.С., индуктированная в каждом витке первичной и вторичной обмоток трансформатора, согласно закону электромагнитной индукции зависит от магнитного потока, пронизывающего виток, и скорости его изменения. Магнитный поток каждого трансформатора является определенной величиной, зависящей от напряжения и частоты изменения переменного тока в источнике, к которому подключен трансформатора. Постоянна также и скорость изменения магнитного потока; она определяется частотой изменения переменного тока. Следовательно, в каждом витке первичной и вторичной обмоток индуктируется одинаковая Э.Д.С. В результате этого *отношение действующих значений Э. Д. С. E1 и E2, индуктированных в первичной и вторичной обмотках трансформатора, будет равно отношению числа витков w1 и w2 этих обмоток,* т.е.

$$E1/E2 = w1/w2$$

Отношение Э.Д.С. $E_{вн}$ обмотки высшего напряжения к Э.Д. С. $E_{нн}$ обмотки низшего напряжения (или отношение чисел их витков) называется *коэффициентом трансформации*

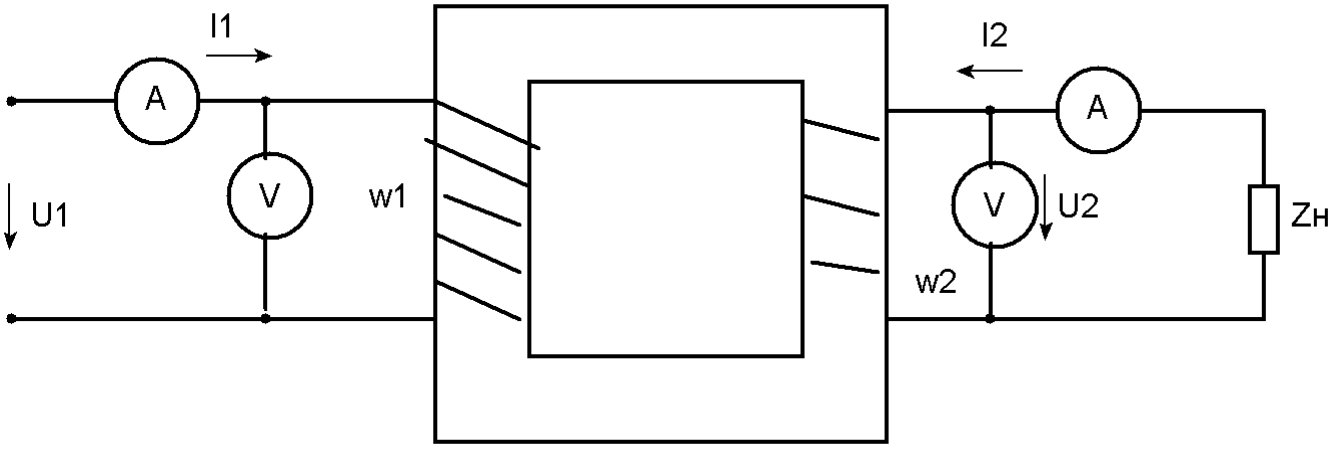
$$К_{тр} = E_{вн}/E_{нн} = w_{вн}/w_{нн}.$$

Если пренебречь падениями напряжения в первичной и вторичной обмотках трансформатора (в трансформаторах средней и большой мощности они не превышают обычно 2 - 5 % от номинальных значений напряжений U1 и U 2), то можно считать, что *отношение напряжения U1 первичной обмотки к напряжению U2 вторичной обмотки приблизительно равно отношению чисел их витков,* т. е.

$$U1/U2 = w1/w2$$

Трансформаторы обладают свойством обратимости, один и тот же трансформатор можно использовать в качестве повышающего и понижающего.

2. Схема и параметры однофазного трансформатора.



1. Номинальная мощность Sн – это полная мощность, которую трансформатор может непрерывно отдавать в течение своего срока службы (25 – 25 лет) при номинальном напряжении и номинальных температурных условиях:

$$S_н = U_{2н}\, I_{2н}$$

2. Номинальное первичное напряжение U1н – напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка.

3. Номинальное вторичное напряжение U2н – напряжение на зажимах вторичной обмотки в режиме холостого хода трансформатора при номинальном первичном напряжении.

4. Коэффициент трансформации

$$К = w1/w2 = E1/E2 = U1н/U2н,$$

где w – число витков первичной и вторичной обмоток;

E – действующее значение ЭДС электромагнитной индукции в обмотках трансформатора.

5. Номинальный первичный I1н и вторичный I2н токи в обмотках трансформатора при номинальной мощности и номинальных напряжениях обмоток:

$$I1н = Sн/(U1н\ ηн);$$

$$I2н = Sн/U2н.$$

6. Коэффициент нагрузки трансформатора. Трансформатор чаще всего работает с нагрузкой, меньше номинальной, поэтому:

$$Кнг = S2/Sн,$$

где S2 – фактическая полная мощность нагрузки, $S2 = \sqrt{P^2{}_2 + Q^2{}_2}$.

7.Токи в обмотках трансформатора при фактической нагрузке S2:

$$I2 = I2н\ Кнг.$$

$$I1 = I1н\ Кнг.$$

8. Общая мощность потерь энергии в трансформаторе:

- при номинальной нагрузке $ΔPн = Pст + Pмн$;
- при фактической нагрузке $ΔP = Pст + Pм = Pст + Pмн\ К²нг$,

где Pст – мощность потерь в стали сердечника;

Pм – мощность потерь в обмотках трансформатора при фактической нагрузке

Pмн – мощность потерь в обмотках при номинальной нагрузке.

Если известно сопротивление меди первичной (R1) и вторичной (R2) обмоток трансформатора, то при любой нагрузке можно определить мощность потерь в обмотках:

$$Pм = I1²R1 + I2²R2.$$

9. Коэффициент мощности нагрузки

$$\cos φ2 = P2/S2;$$

$$S2 = \sqrt{P^2{}_2 + Q^2{}_2},$$

где P2,Q2, S2 – активная, реактивная и полная мощность нагрузки, питаемой от вторичной обмотки трансформатора.

10.Коэффициент полезного действия трансформатора:

– при номинальной нагрузке

$$ηн = P2н/\ P1н = P2н/(P2н + ΔPн) = Sн \cos φ2\ /(Sн \cos φ2 + Pст + Pмн);$$

- при фактической нагрузке

$$η = P2/\ P1 = P2/(P2 + ΔP) = Sн \cos φ2\ Кнг\ /(Sн \cos φ2\ Кнг + Pст + Pмн\ Кнг²);$$

3.Задание на практическую работу и пример расчета варианта «0».

Цель работы: уяснить сущность основных параметров однофазного трансформатора и получить навыки их расчета.

Вычертить схему трансформатора, выписать из табл.1. исходные данные, пояснить их. Рассчитать параметры трансформатора, отмеченные в таблице прочерками.

Таблица 1.

Вариант	0	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20, 30
$S_н$, КВА	0,1	---	1,25	---	0,5	1,5	3	0,4	---	---	0,6
$U_{1н}$, КВ	0,22	0,2	---	---	---	6	---	---	0,2	0,18	---
$U_{2н}$, В	22	20	100	220	127	120	127	---	---	36	150
К	---	---	2,5	8,18	---	---	---	0,4	4,4	---	---
P_2, КВт	0,05	0,37	0,7	---	0,26	0,84	2,1	---	---	0,07	0,43
Q_2,вар	36	225	---	240	---	630	---	---	120	---	---
S_2, КВА	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
cos φ_2	---	---	0,8	0,6	0,87	---	1	---	0,7	1	0,8
Кнг	---	---	---	---	---	---	---	0,83	0,68	---	---
$I_{1н}$, А	---	---	---	---	1,32	---	---	2,2	---	---	12,5
$I_{2н}$, А	---	25	---	3,5	---	---	---	---	---	2,5	---
I_1, А	---	---	---	---	---	---	9,6	---	---	---	---
I_2, А	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
$\eta_н$	---	---	0,96	0,94	---	---	---	0,92	---	---	0,96
η	---	---	---	---	---	---	0,97	---	---	---	---
$P_{ст}$, Вт	7,3	2,32	9,8	---	18,2	42,1	---	21,2	14	4,1	17
$P_{мн}$, Вт	5,66	4,8	---	2,4	17	27,9	80	10,4	7,3	1,69	---

Пример расчета

1. Коэффициент трансформации трансформатора:

$$К = U_{1н}/ U_{2н} = 220/22 = 10$$

2. Полная мощность нагрузки, питающейся энергией от вторичной обмотки трансформатора:

$$S2 = \sqrt{P^2{}_2 + Q^2{}_2} = \sqrt{48^2 + 36^2} = 60 \text{ ВА}.$$

3.Коэффициент мощности нагрузки

$$\cos \varphi 2 = P2/S2 = 48/60 = 0,8.$$

4.Коэффициент нагрузки трансформатора:

$$Кнг = S_н/S_н = 60/100 = 0,6.$$

5. КПД трансформатора при номинальной нагрузке:

$$\eta_н = S_н \cos \varphi 2 \,|(S_н \cos \varphi 2 + P_{ст} + P_{мн}) = 100 \cdot 0,8/(100 \cdot 0,8 + 7,3 + 5,66) = 0,86$$

6. Номинальные токи в обмотках трансформатора:

$$I_{1н} = S_н/(U_{1н}\,\eta_н) = 100/220 \cdot 0{,}86 = 0{,}528\ А$$

$$I_{2н} = S_н/U_{2н} = 100/22 = 4{,}55\ А.$$

7. Токи в обмотках трансформатора при фактической нагрузке:

$$I_2 = I_{2н}\,К_{нг} = 4{,}55 \cdot 0{,}6 = 2{,}73\ А$$

$$I_1 = I_{1н}\,К_{нг} = 0{,}528 \cdot 0{,}6 = 0{,}317\ А.$$

8. КПД трансформатора при фактической нагрузке:

$$\eta = P2/\,P1 = P2/(P2 + \Delta P),$$

где ΔP – потери мощности трансформатора при фактической нагрузке

$$\Delta P = P_{ст} + P_{мн}\,К^2_{нг} = 7{,}3 + 5{,}66 \cdot 0{,}6^2 = 9{,}34\ Вт$$

$$\eta = 48/(48 + 9{,}34) = 0{,}837$$

Выводы: кратко описать принцип действия и виды трансформаторов.

15. Практическая работа № 5. Расчет аккумуляторной батареи.

1 Краткие сведения из теории.

Аккумуляторами называют химические источники электрической энергии многоразового действия, которые накапливают электрическую энергию при пропускании через них электрического тока и затем отдают её при подключении к ним нагрузки.

Свинцово-кислотный аккумулятор — наиболее распространенный на сегодняшний день тип аккумуляторов, изобретен в 1859 году французским физиком Гастоном Планте.

Принцип действия Принцип работы свинцово-кислотных аккумуляторов основан на электрохимических реакциях свинца и диоксида свинца в сернокислотной среде. Во время разряда происходит восстановление диоксида свинца на катоде и окисление свинца на аноде. При заряде протекают обратные реакции, к которым в конце заряда добавляется реакция электролиза воды, сопровождающаяся выделением кислорода на положительном электроде и водорода — на отрицательном.

Химическая реакция (слева-направо — разряд, справа-налево — заряд):

Катод:

$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e^- \text{—►} PbSO_4 + 2H_2O$

Анод:

$Pb + SO_4^{2-} - 2e^- \text{—►} PbSO_4$

В итоге получается, что при разряде аккумулятора расходуется серная кислота с одновременным образованием воды (и плотность электролита падает), а при заряде, наоборот, вода «расходуется» на образование серной кислоты (плотность электролита растет). В конце заряда, при некоторых критических значениях концентрации сульфата свинца у электродов, начинает преобладать процесс электролиза воды. При этом на катоде выделяется водород, на аноде — кислород. При заряде не стоит допускать электролиза воды, в противном случае необходимо ее долить.

Устройство Элемент свинцово-кислотного аккумулятора состоит из положительных и отрицательных электродов, сепараторов (разделительных решеток) и электролита. Положительные электроды представляют собой свинцовую решётку, а активным веществом является перекись свинца (PbO2). Отрицательные электроды также представляют собой свинцовую решётку, а активным веществом является губчатый свинец (Pb). На практике в свинец решёток добавляют сурьму в количестве 1-2 % для повышения прочности. Сейчас в качестве легирующего компонента используются соли кальция, в обеих пластинах, или только в положительных (гибридная технология). Электроды погружены в электролит, состоящий из разбавленной серной кислоты (H2SO4). Наибольшая проводимость этого раствора при комнатной температуре (что означает наименьшее внутреннее сопротивление и наименьшие внутренние потери) достигается при его плотности 1,26 г/см^3. Однако на практике, часто в районах с холодным климатом применяются и более высокие концентрации серной кислоты, до 1,29 -1,31 г/см^3. (Это делается потому, что при разряде свинцово-кислотного

аккумулятора плотность электролита падает, и температура его замерзания становится выше, т.е. разряженный аккумулятор может не выдержать холода, электролит кристаллизуется и расширится в объёме, может треснуть ёмкость.

В новых версиях свинцовые пластины (решетки) заменяют вспененным карбоном, покрытым тонкой свинцовой пленкой, а жидкий электролит может быть желирован силикагелем до пастообразного состояния. Используя меньшее количество свинца и распределив его по большой площади, батарею удалось сделать не только компактной и легкой, но и значительно более эффективной - помимо большего КПД, она заряжается значительно быстрее традиционных аккумуляторов

*Конструкция щелочных аккумуляторов***.** Активной массой положительных пластин для обоих типов щелочных аккумуляторов служит гидрат окиси никеля. Для отрицательных пластин аккумуляторов КН активной массой является смесь кадмия с железом, а для ЖН — химически чистое железо.

Пластины щелочных аккумуляторов представляют собой стальные никелированные рамки с ячейками, в которые помещают пакетики из тонкой (0,1 мм) никелированной перфорированной стали. В пакетики запрессовывается активная масса. В аккумуляторах ЖН число отрицательных пластин на единицу больше, чем положительных, и блок отрицательных пластин соединен с корпусом сосуда.

В аккумуляторах КН число положительных пластин на единицу больше, чем отрицательных, и корпус сосуда соединен с блоком положительных пластин.

Сосудом щелочных аккумуляторов служит стальная сваренная коробка, в крышке которой имеются три отверстия: два для вывода зажимов и одно для заливки электролита и выхода газов.

Электролитом щелочных аккумуляторов является раствор едкого калия КОН с удельным весом 1,18—1,20.

Принцип действия щелочных аккумуляторов Щелочные аккумуляторы бывают двух типов: кадмиево-никелевые (типа КН) и железо-никелевые (типа ЖН).Реакции разряда—заряда для кадмиево-никелевого аккумулятора выражаются следующим уравнением:

$$2NI(OH)_3 + 2KOH + Fe = 2NI(OH)_3 + 2KOH + Fe\,(OH)_2$$

В начале заряда батареи щелочных аккумуляторов на каждый аккумулятор подают около 1,55 в, затем напряжение постепенно увеличивают и доводят его в конце заряда до 1,75—1,8 в.

Напряжение заряженного щелочного аккумулятора, отключенного от зарядного агрегата, составляет 1,25—1,3 в.

Разряжать щелочной аккумулятор можно только до напряжения 1,0—-1,1 в. При понижении температуры против нормальной (+25°) емкость щелочных аккумуляторов уменьшается на 0,5% на каждый градус понижения температуры.

Параметры аккумуляторов. Ёмкостью аккумулятора называется

количество электричества, которое можно получить от полностью заряженного аккумулятора при разрядке до минимально допустимого напряжения на зажимах. Ёмкость измеряется в ампер-часах, т.е. равна произведению разрядного тока на время разрядки. Чем больше поверхность соприкосновения пластины с электролитом, тем больше ёмкость. Поэтому пластины делают пористыми. На ёмкость влияет количество пластин, плотность (концентрация) и температура электролита, а также значение разрядного тока.

Аккумулятор при зарядке всегда потребляет больше энергии чем отдаёт. Часть энергии расходуется на зарядку аккумулятора, часть - на протекание химической реакции и ещё часть преобразуется в теплоту. То же происходит и при разрядке. Величины, характеризующие степень использования количества электричества и энергии (выраженное в процентах), называется отдачей аккумулятора.

Значение, показывающее степень использования количества электричества, называется ампер-часовой отдачей.

Значение, показывающее использования энергии называется ватт-часовой отдачей или КПД аккумулятора.

Для кислотных аккумуляторов ампер-часовая отдача составляет 80-85%, а для щелочных - 60-70%.

Важнейшим параметром аккумулятора является плотность его электролита.

Напряжение, ЭДС кислотного аккумуляторного элемента, не зависимо от его размера, составляет 2-2,1 В (при одинаковой плотности электролита). При увеличение плотности электролита ЭДС элемента возрастает. Следует отметить, что чрезмерное повышение плотности электролита снижает срок службы аккумулятора. При нагрузке ЭДС всегда больше напряжения. Эти величины одинаковы только при холостом ходе - разомкнутой цепи.

ЭДС щелочного аккумулятора составляет 1,45 В. При полной зарядке щелочного аккумулятора ЭДС достигает 1,83 В. При разрядке вначале напряжение быстро падает до 1,3 В, а затем медленно снижается до 1,1 В. При таком напряжении разряд прекращают.

Под отдаваемой мощностью аккумулятора понимают максимальное количество электричества в кулонах (ампер-часах), которое аккумулятор отдает при разряде до выбранного конечного напряжения.

Аккумуляторы следует выбирать по следующим параметрам:

- Коэффициент отдачи - отношение отдаваемой мощности при полном разряде к количеству электричества, полученному при полном заряде;
- Коэффициент полезного действия - отношение отдаваемой мощности при разряде до предела нормальной работы потребителя к количеству электричества, полученному при заряде.

Значение коэффициента полезного действия всегда меньше значения коэффициента отдачи.

Очень важной характеристикой аккумуляторов является ориентировочная относительная стоимость 1 Втч энергии, полученной от различных типов аккумуляторов одинаковой емкости.

Наиболее дешевы в использовании свинцово-кислотные аккумуляторы,

которые и получили наибольшее распространение.

Развитие технологии производства аккумуляторов шло в направлениях избавления от жидкого электролита и уменьшения выделения газов, что позволило создать необслуживаемые системы резервного питания с размещением герметичных аккумуляторов в обычных производственных помещениях.

Кислотные аккумуляторы имеют низкое внутреннее сопротивлении и, следовательно, более высокий к.п.д. Поэтому, для ее зарядки требуется затрачивать меньше электроэнергии. Что бы зарядить кислотную батарею, требуется отдать ей количество электричества, эквивалентное 130% емкости, для щелочной батареи, ввиду более высокого внутреннего сопротивления, этот показатель составляет 170%, с другой стороны высокое внутреннее сопротивление щелочных аккумуляторов делает их более устойчивыми к коротким замыканиям.

Ресурс работы. Ресурс работы никель-железных батарей составляет от 500 до 1000 циклов заряд-разряд, для кислотных аккумуляторных батарей этот показатель составляет от 800 до 1200 циклов заряд-разряд для намазных АКБ, до 1500 циклов для панцирных АКБ.

Как известно, химические источники электрической энергии используются для резервного или автономного питания потребителей. Поскольку химические элементы имеют небольшую ЭДС, емкость Q в А·ч, ток разряда, то для питания большинства потребителей их приходится соединять в батареи.

Соединять в батарею допускается элементы с одинаковыми ЭДС, емкостью и внутренним сопротивлением.

Аккумуляторная батарея тяговой подстанции собирается из первичных элементов СК – 1, имеющих следующие данные:

- ЭДС одного элемента $E_э$ = 2,15 В;
- емкость элемента при двухчасовом разряде $Q_э$ = 22 А·ч;
- внутреннее сопротивление элемента $R_{i\,э}$ = 0,01 Ом;
- расчетное время разряда батареи в аварийном режиме – $t_{ав}$ = 2 ч;
- допустимый ток кратковременного разряда $I_{д.\,кр}$ = 46 А.

2 Задание на практическую работу и пример расчета для варианта «0»

Цель работы: Рассчитать количество первичных элементов СК – 1, соединенных в батарею и параметры батареи

Задание на практическую работу.

Аккумуляторная батарея тяговой подстанции состоит из m параллельных ветвей, в каждой из которых последовательно соединены n элементов СК – 1 (рис. 1).

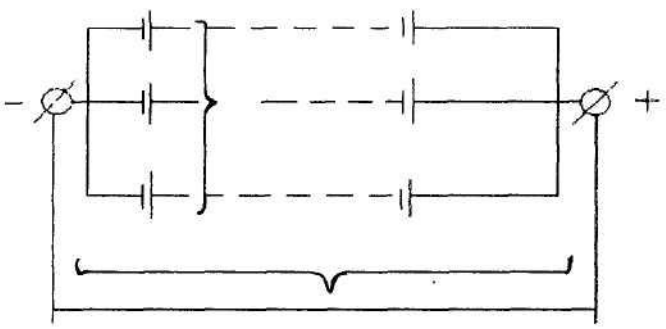


Рис. 1.

В табл. 6.2.2 заданы значения требуемого напряжения на зажимах батареи $U_Б$, тока постоянной нагрузки батареи в аварийном режиме $I_{ав}$, тока включение наиболее мощного привода выключателя подстанции $I_{вкл}$

Рассчитать аккумуляторную батарею.

Таблица 2.

Вариант	*UБ, В*	*IаВ, А*	$I_{вкл}$
1,11,21	280	25	244
2,12,22	270	23	360
3,13,23	260	28	450
4,14,24	250	26	480
5,15,25	240	25	400
6,16,26	230	22	350
7,17,27	245	27	320
8,18,28	130	35	200
9,19,29	120	38	280
10,20,30	110	44	260
0	220	24	360

Пример расчета для варианта 0.

1. Требуемая расчетная емкость батареи

$Q_Б = Iав \cdot tав = 24\text{-}2 = 48$ Ач.

2. Ток кратковременного разряда батареи при включении выключателя в аварийном режиме

$Iкр = Iав + Iвкл = 24 + 360 = 384$ А.

3. Число параллельных ветвей в батарее

- соответствующее току длительного разряда в аварийном режиме (расчетной емкости батареи): $m_{дл} = 1{,}1\ Q_Б / Q_Э = 1{,}1 \cdot 48/22 = 2{,}4$,

где 1,1 — коэффициент, учитывающий уменьшение емкости батареи в эксплуатации;

- соответствующее току кратковременного разряда:

$m_{кр} = I_{кр/} I_{Д.кр} = 384/46 = 8,34$

Принять окончательное число параллельных ветвей в батарее, округляя до целого числа большее из полученных значений $m_{ДЛ}$ или $m_{КР}$: m =9

4.Число последовательно соединенных элементов СК-1 в каждой параллельной ветви

$n = U_Б/E_Э=220/2,15 = 102,33 \sim 103$. 5.Внутреннее сопротивление батареи

$Ri_Б = nRi_Э /m= 103 \cdot 0,01/9= 0,114$ Ом.

5. ЭДС рассчитанной батареи

$E_Б =E_Э \cdot n = 2,15 \cdot 103 =221,45$ В.

6.Напряжение на зажимах батареи при разрядке током постоянной нагрузки в аварийном режиме

$U_Б= E_Б - Iав \cdot R_{iБ}=221,45 - 24 \cdot 0,114 = 218,714$ В.

Следовательно, чтобы обеспечить заданное значение напряжения на зажимах батареи при работе в аварийном режиме $U_Б$= 220 В, необходимо увеличить n до 104 элементов. В этом случае:

$E_Б = 2,15 \cdot 104=223,6$ В;

$Ri_Б = (0,01 \cdot 104)/9 = 0,116$ Ом;

$U_Б = 223,6 - 24 \cdot 0,116 = 220,8$ В.

7. Общее количество элементов СК-1 в рассчитанной аккумуляторной батарее

$N=m \cdot n= 9 \cdot 104 = 936$.

Вывод: Объяснить назначение и принцип действия аккумуляторных батарей. Перечислить основные характеристики химических источников тока.

16. Перечень рекомендуемой литературы

Грищенко А.В. Новые электрические машины локомотивов: Учеб. пособие. – М.: ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2008

Алексеева Е.А.Электрические машины: Метод. пособие по выполнению. лаб. работ. – М. ГОУ «УМЦ ЖДТ», 2009

Дайлидко А.А. Электрические машины: Учеб. иллюстрированное пособие. – М.: УМК МПС России, 2002