

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Д. К. Кугучева**

## **ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ  
для студентов бакалавриата по направлению подготовки  
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Калининград  
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»  
2023

УДК 621.311

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» М.С. Харитонов

**Кугучева, Д.К.**

Электрооборудование электростанций: учебно-методическое пособие – локальный электронный методический материал по выполнению лабораторных работ для студентов бакалавриата по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника / **Д.К. Кугучева.** – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 55 с.

Учебно-методическое пособие является руководством по проведению цикла лабораторных работ по дисциплине «Электрооборудование электростанций» со студентами, обучающимися по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника. Лабораторные работы предназначены для закрепления теоретического материала и приобретения практических навыков в области электроэнергетики.

Рис. 24, табл. 18, список лит. – 3 наименования

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 25.01.2023 г., протокол № 05

УДК 621.311

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2023 г.  
© Кугучева Д. К., 2023 г.

## Содержание

Правила техники безопасности при проведении работ .....	6
Лабораторная работа № 1 «Разъединители, отделители, короткозамы- катели, выключатели нагрузки, отключающие аппараты до 1000 В».....	9
Лабораторная работа № 2 «Масляные выключатели».....	17
Лабораторная работа № 3 «Вакуумный выключатель. Реклоузер».....	25
Лабораторная работа № 4 «Изучение характеристики синхронного генератора.....	34
Лабораторная работа № 5 «Исследование генератора постоянного тока».....	45
Рекомендуемая литература.....	55
Приложение А. Форма отчета по лабораторной работе.....	56
Приложение Б. Требование к оформлению отчета по лабораторной работе.....	57

## Введение

Дисциплина «Электрооборудование электростанций» обеспечивает формирование у обучающихся готовности к использованию системы знаний в области электроэнергетики.

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов знаний и навыков по решению профессиональных задач, связанных с электрооборудованием электростанций, изучение основного электрооборудования, его характеристик и параметров, режимов и условий его работы, методов расчета и проверки на термическую и термодинамическую стойкость, изучение главных схем, схем собственных нужд, основ релейной защиты и автоматики.

Задачи изучения дисциплины:

- ознакомление обучающихся с назначением, основными параметрами, конструкцией и принципами работы электротехнического оборудования электростанций и подстанций;
- изучение схем электрических соединений электрических станций и подстанций, распределительных устройств, систем собственных нужд электроустановок;
- овладение методом расчета электрооборудования электростанций и подстанций и проверки на термическую и электродинамическую стойкость.

По завершении изучения дисциплины «Электрооборудование электростанций» у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

### **знать:**

- основное электрооборудованием электростанций, его параметры, характеристики и режимы работы;
- главные схемы и схемы собственных нужд электростанций;
- основные элементы релейной защиты и автоматики;
- физические процессы электрического пробоя в различных средах;

### **уметь:**

- выбрать электрическую схему электростанций в соответствии с технологическим процессом;
- выбрать электрическое оборудование;
- провести расчет токов короткого замыкания и проверку оборудования на электродинамическую и термодинамическую стойкость;

### **владеть:**

- навыками конструктивного выполнения воздушных и кабельных линий электропередачи;
- навыками проектирования систем электроснабжения городов, промышленных предприятий;
- навыками выполнения и испытания изоляции высокого напряжения.

Целью лабораторного практикума является формирование умений и навыков по освоению устройства, принципа действия электрооборудования станций и подстанций, планированию измерений и оценке их результатов.

Конкретными задачами практикума являются:

- изучение структуры и элементной базы электропривода;
- формирование умений в области управления электроприводом с целью исследования основных характеристик и режимов работы;
- приобретение навыков определения основных параметров и выходных характеристик электрических приводов;
- приобретение навыков экспериментальной регистрации и исследования переходных процессов в электроприводе.

Защита лабораторной работы проводится в форме ответа на контрольные вопросы, а также ответа на вопросы по существу изучаемого явления, примененной методологии экспериментального и аналитического исследования, взаимосвязи экспериментальных данных и теоретических положений.

На выполнение одной лабораторной работы отводится одно или два лабораторных занятия (не менее двух академических часов. Защита может проводиться на занятиях, предусмотренных для выполнения лабораторных работ, в оставшееся после выполнения работ время при условии, что это не снижает качество освоения лабораторного практикума, а также на консультациях).

## **Правила техники безопасности при проведении работ**

### **1. Общие требования охраны труда**

Безопасность жизнедеятельности при проведении лабораторных работ в лабораториях обязательна для профессорско-преподавательского состава, учебно-вспомогательного персонала и студентов.

К проведению лабораторных работ допускаются лица, прошедшие инструктаж с росписью в журнале. Инженер, обслуживающий лабораторию, должен иметь группу допуска с ежегодной проверкой. В лаборатории должна быть медицинская аптечка с набором медикаментов первой медицинской помощи, а также лаборатория должна быть укомплектована средствами пожаротушения. На видном месте должна висеть инструкция по противопожарной технике безопасности.

Во время проведения занятий запрещено находиться в лаборатории в верхней одежде, либо размещать верхнюю одежду в помещении лаборатории. Перед проведением лабораторных занятий студенты обязаны изучить лабораторную работу. Перед началом работы инженер или преподаватель проверяет исправность стенов. Без разрешения преподавателя проведение лабораторных работ запрещается. Запрещается изменять схему лабораторной работы. При проведении лабораторных работ на столах не должно быть ничего из посторонних предметов. Всякие работы по устранению неисправностей под напряжением категорически запрещаются. При сборке схемы применяют только стандартные провода с наконечниками. При возникновении неисправностей стенд должен быть немедленно отключен от сети.

Запрещается оставлять без присмотра работающие стенды. При появлении запаха гари немедленно отключить стенд. В случае поражения электрическим током немедленно обесточить стенд и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

Ответственный за проведение лабораторных работ уходит последним из лаборатории, убедившись, что рабочее место убрано, а стенды отключены.

При эксплуатации действующих электроустановок запрещается использовать оборудование в условиях, не соответствующих требованиям инструкции организации-изготовителей, или оборудование, имеющее неисправности, которые в соответствии с инструкцией по эксплуатации могут привести к пожару, а также эксплуатировать провода и кабели с поврежденной или потерявшей защитные свойства изоляцией; пользоваться поврежденными розетками, рубильниками, другими электроустановочными изделиями.

## **2. Требования охраны труда перед началом работы**

- Осмотреть состояние помещения: достаточна ли освещенность, работает ли вентиляция проветривания помещения, позволяет ли температура в помещении комфортно проводить работы без верхней одежды, не загромождено ли место проведения занятий посторонними предметами.
- Осмотреть состояние электрических соединений, рубильников, автоматов и прочих переключающих средств.
- Проверить наличие средств защиты.
- Убрать все посторонние предметы, которые могли бы создавать неудобство в сборке схемы лабораторной работы.
- Если необходимо, вывесить предупреждающие плакаты.
- Лабораторная работа проводится только с исправными приборами.
- Руководитель перед началом работы проводит инструктаж по технике безопасности и контролирует весь процесс работы.
- К моменту проведения работ все стенды должны быть проверены и готовы.
- Все студенты должны расписаться в контрольном листе.
- Студенты должны внимательно изучить описание работы, при необходимости выяснить неясные моменты.

## **3. Требования охраны труда во время работы**

- Лабораторная работа проводится только в присутствии преподавателя.
- На проведение лабораторной работы разрешение дает лично руководитель занятий после проверки правильно собранной схемы.
- Руководитель должен следить, чтобы в схеме не было открытых оголенных проводов. При обнаружении недостатков такая работа должна быть немедленно приостановлена.
- Во время проведения лабораторной работы все проходы должны быть освобождены, доступ к стендам должен быть свободным.
- Во время проведения лабораторной работы запрещается оставлять включенный стенд без присмотра.
- При выявлении запаха гари следует немедленно обесточить стенд и доложить руководителю.

## **4. Требования охраны труда по окончании работы**

- По окончании лабораторной работы стенд обесточивается, все приборы и соединительные провода отсоединяются и убираются.
- О выявленных неисправностях доложить руководителю занятий.
- Выключить освещение лаборатории, закрыть помещение на замок

## **5. Требования охраны труда в аварийных ситуациях**

- 1) При возникновении неисправностей во время проведения лабораторной работы необходимо немедленно обесточить стенд.
- 2) При обнаружении пожара необходимо:
  - прекратить работу, оповестить окружающих о пожаре;
  - сообщить о пожаре на вахту, сообщить о возгорании в пожарную охрану по тел. **01** или по тел. **101 (112)** мобильной связи, сообщить при этом точное место пожара, что горит, свою фамилию;
  - принять меры по эвакуации людей и спасению оборудования.
  - отключить от сети электрооборудование;
  - приступить к тушению пожара своими силами с помощью имеющихся подручных средств пожаротушения;
  - если погасить очаг горения не представляется возможным, необходимо плотно закрыть окно, дверь не запирая замок и покинуть опасную зону;
- 3) При поражении электрическим током немедленно обесточить стенд и приступить к оказанию первой помощи пострадавшему. При необходимости вызвать скорую помощь по тел. **03.** или по тел. **103 (112)** мобильной связи.



## Лабораторная работа № 1

«Разъединители, отделители, короткозамыкатели, выключатели нагрузки, отключающие аппараты до 1000 В»

**Цель работы:** Сформировать знания, умения и навыки в области конструкции, назначения и принципа действия коммутационного оборудования высокого и низкого напряжения.

### Краткие теоретические сведения

**Разъединитель** – коммутационный аппарат напряжением выше 1 кВ, предназначенный для создания видимого разрыва и изоляции части электроустановки, отдельных аппаратов от соседнего оборудования, находящихся под напряжением, для безопасного ремонта. Разъединители имеют ручные или электродвигательные приводы для управления ими. Отделитель представляет собой разъединитель, снабженный приводом для автоматического дистанционного управления и способный по команде соответствующего устройства совершать операции отключения обесточенных участков линии. Короткозамыкатель представляет собой однополюсный или двух полюсный разъединитель, снабженный пружинным приводом для автоматического включения с целью создания в точке его установке короткого замыкания. Выключатель нагрузки представляет собой разъединитель с простейшей дугогасительной камерой и способный отключать довольно большие емкостные токи, работающих на холостом ходу линий электропередач среднего напряжения. Выключатель нагрузки занимает по уровню допускаемых коммутационных токов промежуточное положение между разъединителями (которыми коммутация под нагрузкой запрещена, как исключение допускается включение на холостой ход трансформаторы) и выключателями (масляными, вакуумными, элегазовыми) которые способны отключать без повреждения как номинальные токи так и токи короткого замыкания. Помимо своего основного назначения разъединители используются:

- для отключения и включения ненагруженных силовых трансформаторов небольшой мощности и линий небольшой длины;
- для переключения присоединений распределительных устройств с одной системы сборных шин на другую без перерыва питания;
- для заземления отключенных и изолированных участков системы с помощью вспомогательных заземляющих ножей, предусмотренных для этой цели.

**Отключающие аппараты напряжением до 1000В:** рубильники, автоматические воздушные выключатели (автоматы), контакторы и пускатели, пакетные переключатели, реле, предохранители.

**Рубильник** один из простейших аппаратов, применяемых в сетях напряжения 0,4кВ для включения и отключения тока нагрузки потребителей электроэнергии с помощью ручного привода.

**Автоматы и магнитные пускатели** предназначены для включения и отключения тока нагрузки и защиты их от перегрузки и коротких замыканий. Магнитные пускатели управляются дистанционно.

### **Описание лабораторного стенда**

В лаборатории представлены натурные образцы и чертежи коммутационного оборудования внутренней установки среднего напряжения, каталоги и чертежи разъединителей высокого напряжения наружной установки.

### **План проведения лабораторного занятия**

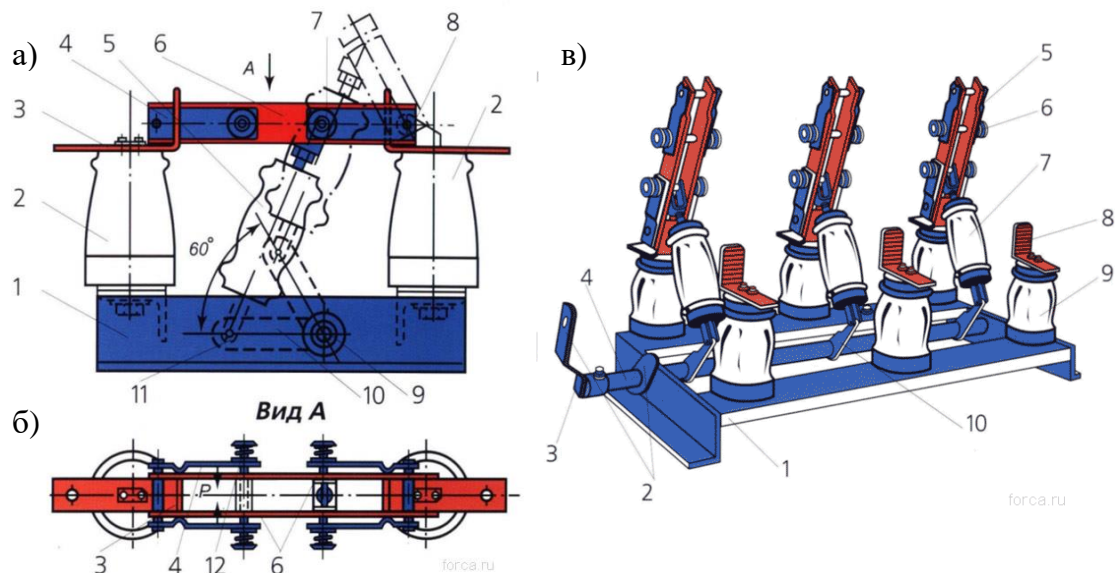
1. Ознакомиться с устройством и принципом действия экспериментальной установки на основе материалов лабораторной работы № 1.
2. Изучить общие правила техники безопасности при проведении лабораторных работ, изложенные в данном учебно-методическом пособии.
3. Непосредственно в лаборатории прослушать вводный инструктаж, проводимый ответственным лицом из числа преподавателей или инженеров.
4. Пройти опрос (тестирование) на знание лабораторной установки и правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ.
5. При успешном прохождении проверки внести данные в журнал инструктажа для допуска к дальнейшей работе на лабораторной установке.

### **Алгоритм выполнения лабораторной работы**

1. Устно пояснить область применения, назначение, преимущества и недостатки современных разъединителей и выключателей нагрузки различных типов до и свыше 1000В, дать их классификацию;
2. По рисунку 1.1. и 1.2 пояснить конструкцию и принцип действия разъединителя внутренней установки среднего напряжения РВ-10/1000;
3. Ознакомиться с представленным в лаборатории разъединителем внутренней установки среднего напряжения и пояснить расположение указанных на рисунке 1.1 и 1.2 элементов;
4. По таблице 1.1 пояснить технические характеристики разъединителей внутренней установки среднего напряжения, дать определения указанных в таблице параметров;
5. По рисунку 1.3 и 1.4 пояснить конструкцию и принцип действия разъединителя наружной установки высокого напряжения;
6. По рисункам 1.4, 1.5 пояснить конструкцию и принцип действия разъемного контакта разъединителя РНДЗ;

7. По таблице 1.2 пояснить технические характеристики разъединителей наружной установки высокого напряжения, дать определения указанных в таблице параметров;

8. По рисунку 1.6 пояснить конструкцию и принцип действия привод разъединителя УМП-II.



1 - рама; 2 - опорный изолятор; 3 - неподвижный контакт; 4 - стальная пластина; 5 - фарфоровая тяга; 6 - контактный нож; 7, 8, 11 - оси; 9 - вал; 10 - рычаг, 12 - пружина.

1 - рама; 2 - упор ограничения поворота вала; 3 - рычаг; 4 - вал; 5 - подвижный контакт; 6 - пружина; 7 - фарфоровая тяга; 8 - неподвижный контакт; 9 - опорный изолятор; 10 - рычаг.

Рисунок 1.1 - Разъединитель типа РВ-10/1000, вид сбоку (а), контактная система (б) и внешний вид в отключенном состоянии (в).

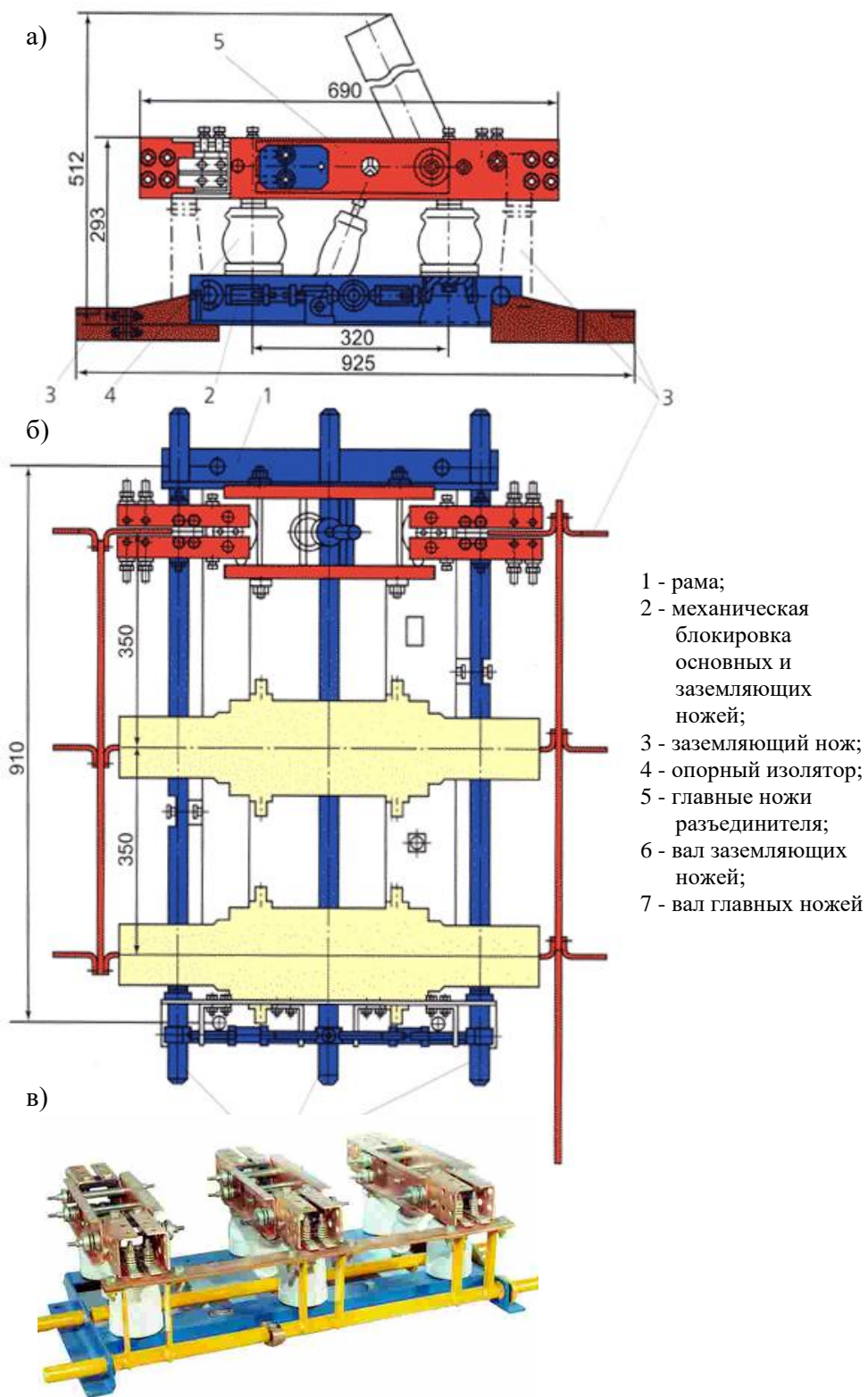
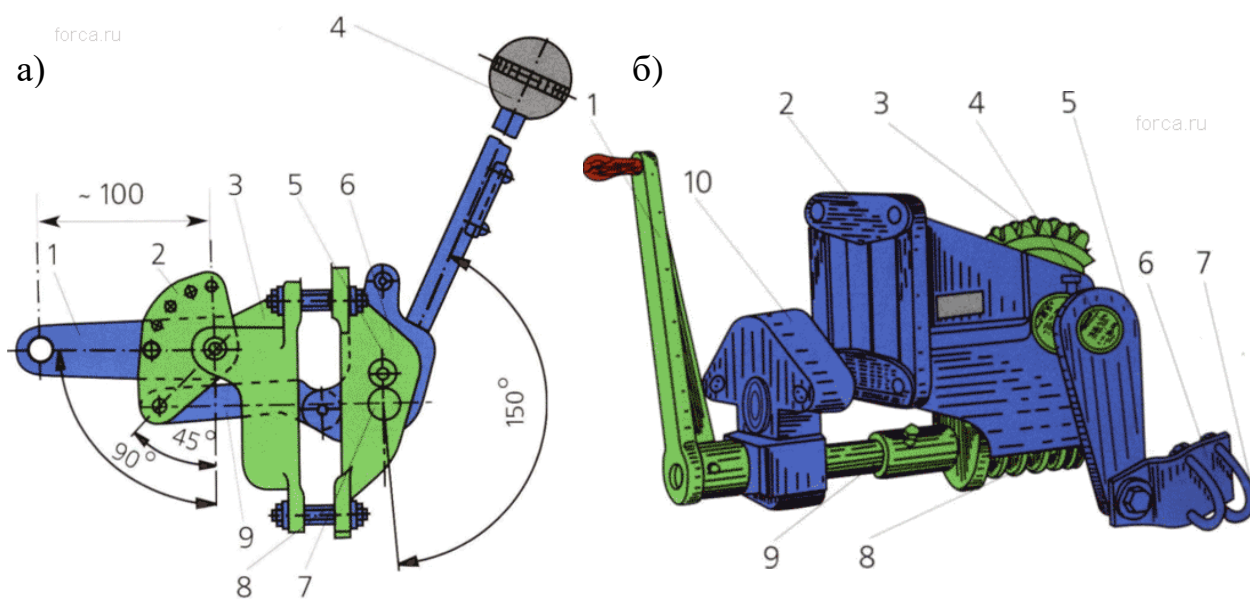


Рисунок 1.2 - Разъединитель рубящего типа для внутренней установки с двумя заземляющими ножами RVB3-2-10/2000

- а) вид сбоку;
- б) вид спереди;
- в) внешний вид.

Таблица 1.1 – Технические характеристики ряда разъединителей внутренней установки

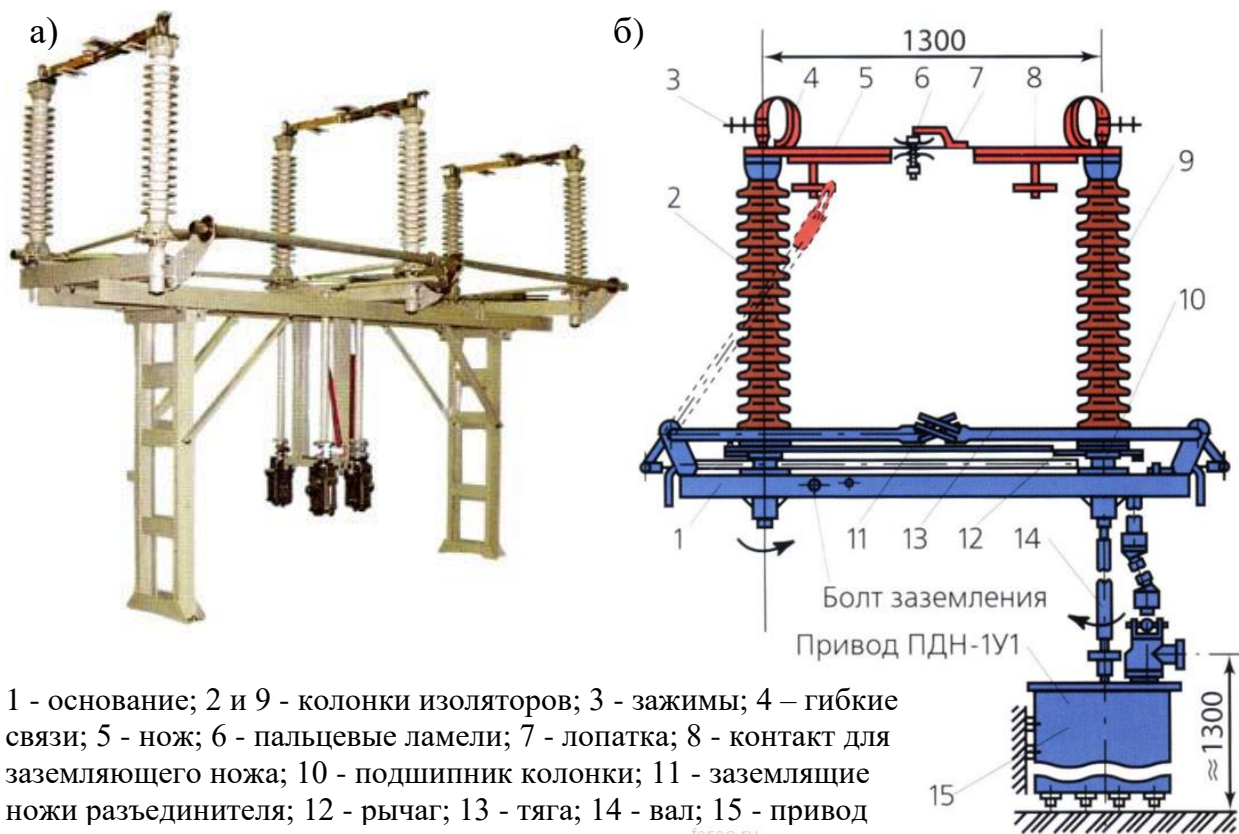
Серия разъединителя	Напряжение, кВ		Номинальный ток, А	Нормированные параметры сквозного тока КЗ, кА		
	номинальное	наибольшее рабочее		Ток электродинамической стойкости	Ток термической стойкости в течение	
					4 с для главных ножей	1 с для заземляющих ножей
РВЗ	10	12	400	40	16	16
			630	50	20	20
			1000	80	31,5	31,5
РВФЗ	10	12	630	50	20	20
			1000	80	31,5	31,5
РВ, РВО РВФ			400	40	16	–
			630	50	20	–
			1000	100	40	–



Ручной привод разъединителя ПР-2:  
 1 - рычаг; 2 - сектор;  
 3 - задний подшипник; 4 - рукоятка;  
 5 - фиксирующая защелка;  
 6 - передний подшипник; 7 - ось;  
 8 - стяжная шпилька; 9 - тяга привода

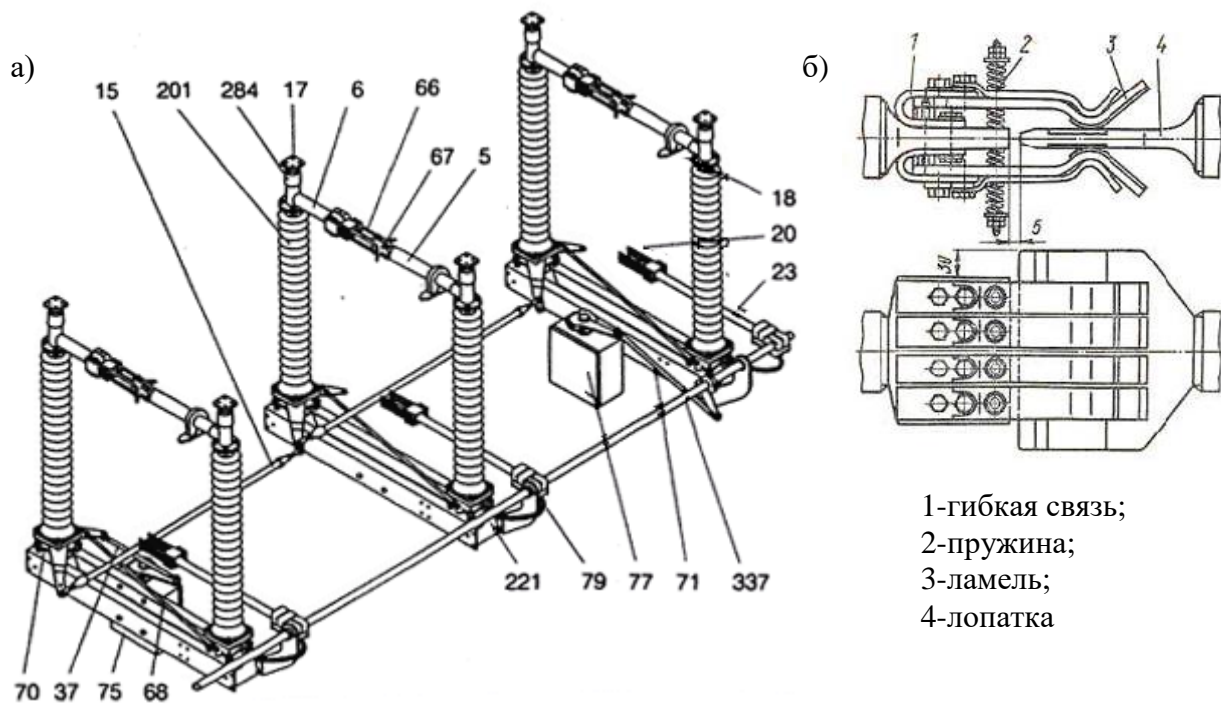
Червячный привод разъединителя ПЧ:  
 1 - рукоятка; 2 - задний подшипник;  
 3 - шестерня; 4, 9 - валы; 5 - рычаг;  
 6 - планка; 7 - хомут; 8 - червяк;  
 9 - корпус

Рисунок 1.3 - Общий вид ручного привода разъединителя ПР-2 (а) и червячного привода разъединителя ПЧ (б)



1 - основание; 2 и 9 - колонки изоляторов; 3 - зажимы; 4 – гибкие связи; 5 - нож; 6 - пальцевые ламели; 7 - лопатка; 8 - контакт для заземляющего ножа; 10 - подшипник колонки; 11 - заземляющие ножи разъединителя; 12 - рычаг; 13 - тяга; 14 - вал; 15 - привод

Рисунок 1.4 – Внешний вид (а) и конструкция (б) трехполюсного разъединителя типа РНДЗ

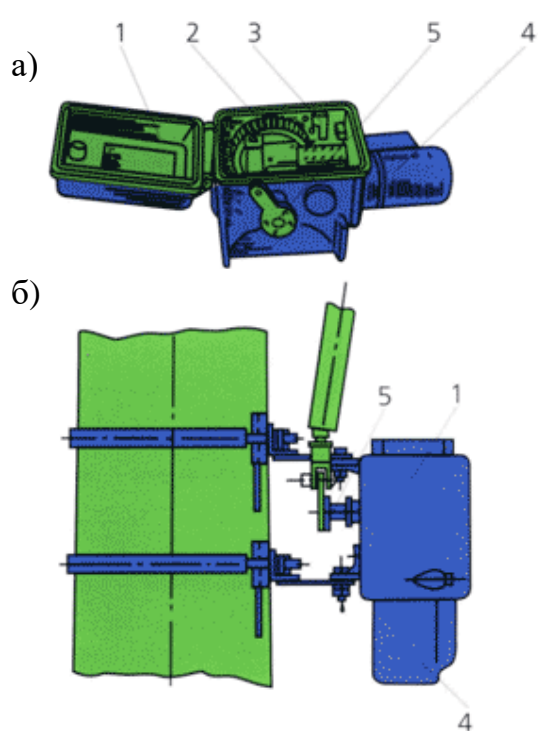


1-гибкая связь;  
2-пружина;  
3-ламель;  
4-лопатка

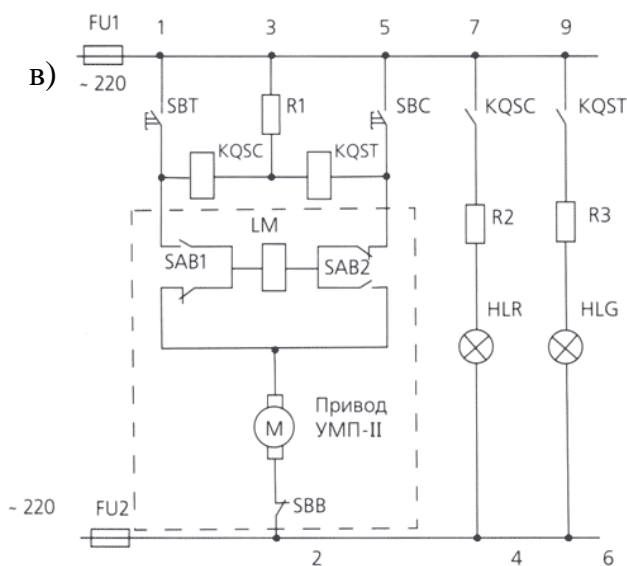
Рисунок 1.5 – Разъединитель РНДЗ и его заземляющее устройство (а), конструкция разъемного контакта (б)

Таблица 1.2 – Технические характеристики разъединителя РД(З)-110 и РД(З)-150 и выключателя нагрузки ВНА -10/630-20У2

Параметр	Значение параметра		Значение параметра ВНА -10/630-20У2
	РД(З)-110	РД(З)-150	
Номинальное напряжение, кВ	110	150	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126	170	12
Номинальный ток, А	1000	1250	630
Ток электродинамической стойкости, кА	80	100	
Ток термической стойкости, кА	31,5	40	
Время протекания тока термической стойкости, с: для главных ножей для ножей заземлителей	3 1		Время отключения 0,12секунд Время включения 0,05секунд
Частота, Гц	50		50



1 - крышка; 2 - редуктор; 3 - корпус;  
4 - электродвигатель; 5 - вал



SBC - кнопка включения; SBT - кнопка отключения; KQSC - повторитель включения; KQST - повторитель отключения; LM - обмотка возбуждения; SAB1 и SAB2 - контакты переключателя; R1, R2 и R3 - резисторы; HLR и HLQ - сигнальные лампы; FU1 и FU2 - предохранители; М - электродвигатель; SBB - контакт блокировки

Рисунок 1.6 - Универсальный моторный привод разъединителя УМП-II: а) - общий вид привода в) - схема управления приводом.

## **Общие указания по оформлению отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название лабораторной работы;
2. Цель лабораторной работы;
3. Ответы на вопросы по плану проведения лабораторной работы;
4. Выводы по выполненной работе.

Отчеты по лабораторным работам студенты представляют преподавателю в конце занятия и в особых случаях в срок по указанию преподавателя.

Зачет по лабораторной работе выставляется после представления отчета, его проверки и устранения замечаний. При проверке отчета преподаватель путем опроса устанавливает понимание студентом физических принципов и методики проведения лабораторной работы.

## **Контрольные вопросы**

1. Какие операции производятся разъединителями и выключателями нагрузки, какие при этом должны быть соблюдены условия?
2. Назначение отделителей, короткозамыкателей?
3. Каких типов, и на какие номинальные напряжения и токи выпускаются разъединители и выключатели нагрузки?
4. Чем обусловлены конструктивные различия: разъединителя от выключателя нагрузки, главных ножей разъединителей РВ-10/1000 от РВРЗ-2-10/2000?
5. Преимущество выключателей нагрузки?
6. Что такое оперативные блокировки и что должны предотвращать?
7. Конструктивное исполнение блокировок.
8. Блокировочный замок, его назначение и принцип действия?
9. Какими блокировками снабжаются современные разъединители и где устанавливаются?
10. Какие части разъединителей воспринимают электродинамические силы, возникающие при коротких замыканиях?
11. Почему недопустимо отключение разъединителей и отделителей под нагрузкой?
12. Как должен действовать оперативный персонал при выполнении операций включения и отключения коммутационного оборудования до и свыше 1000В



## **Лабораторная работа № 2** **«Масляные выключатели»**

**Цель работы:** Сформировать знания, умения и навыки в области конструкции, назначения и принципа действия масляных выключателей.

### **Краткие теоретические сведения**

**Масляный выключатель** — коммутационный аппарат, предназначенный для оперативных включений и отключений отдельных цепей или электрооборудования в энергосистеме, в нормальных или аварийных режимах, при ручном или автоматическом управлении. Дугогашение в таком выключателе происходит в масле.

Основными конструктивными частями выключателя являются: корпус, изоляционная конструкция, приводной механизм, токоведущие части, контактная система (подвижные и неподвижные контакты) с дугогасительным устройством (ДУ) или, за редким исключением, без такового (выключатель с открытой дугой).

Требования, предъявляемые к выключателям, заключаются в следующем:

- 1) надежность в работе и безопасность для окружающих;
- 2) быстродействие;
- 3) по возможности малые габариты и масса;
- 4) простота монтажа;
- 5) бесшумность работы;
- 6) сравнительно невысокая стоимость.

### **Описание лабораторного стенда**

В лаборатории представлены натурные образцы, каталоги технических параметров и чертежи маломасляного выключателя ВМП-10, каталоги и чертежи масляного бакового выключателя МКП-110М.

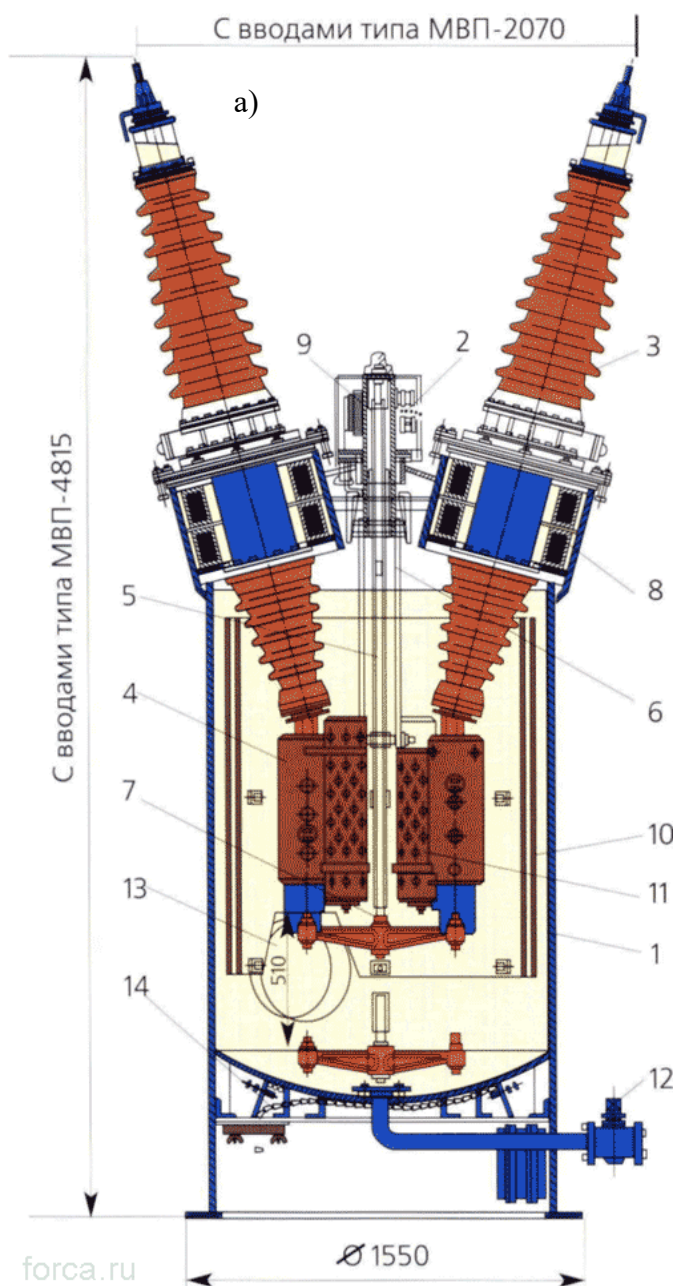
### **План проведения лабораторного занятия**

1. Ознакомиться с материалами лабораторной работы и требованиями к её выполнению.
2. Изучить общие правила техники безопасности при проведении лабораторных работ, изложенные в данном учебно-методическом пособии.
3. Непосредственно в лаборатории прослушать вводный инструктаж, проводимый ответственным лицом из числа преподавателей или инженеров.
4. Пройти опрос (тестирование) на знание лабораторной установки и правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ.

5. При успешном прохождении проверки внести данные в журнал инструктажа для допуска к дальнейшей работе на лабораторной установке.

### **Алгоритм выполнения лабораторной работы**

1. Устно пояснить назначение, область применения, преимущества и недостатки современных масляных выключателей;
2. по рисункам 2.1, 2.2 пояснить конструкцию и принцип действия масляного бакового выключателя МКП-110М;
3. по таблице 2.1 пояснить технические характеристики выключателя МКП-110М, дать определения указанных в таблице параметров;
4. по рисунку 2.2 пояснить принцип и основные этапы гашения дуги в выключателе МКП-110М;
5. по рисунку 2.3 пояснить конструкцию и принцип действия мало-масляного выключателя ВМП-10;
6. ознакомиться с представленным в лаборатории маломаляным выключателем среднего напряжения ВМП-10 и пояснить расположение указанных на рисунке 2.1 элементов;
7. по таблице 2.2 пояснить технические характеристики выключателя ВМП-10, дать определения указанных в таблице параметров;
8. по рисунку 2.4 пояснить принцип и основные этапы гашения дуги в выключателе ВМП-10;
9. по рисунку 2.5 указать основные элементы схемы управления выключателем ВМП-10 и пояснить их работу;
10. на лабораторной установке (рисунок 2.6) провести опыты включения и отключения выключателя ВМП-10 для чего:
  - подать питание на стенд с помощью автоматического выключателя 1;
  - включить выключатель с помощью пакетного переключателя 2;
  - проконтролировать включенное положение выключателя по сигнальным лампам 3;
  - записать показания секундомера 4;
  - сбросить показания секундомера 4;
  - отключить выключатель с помощью пакетного переключателя 2;
  - проконтролировать отключенное положение выключателя по сигнальным лампам 3;
  - записать показания секундомера 4;
  - сбросить показания секундомера 4;
  - снять питание со стенда с помощью автоматического выключателя 1.



- 1 - бак;
- 2 - приводной механизм;
- 3 - высоковольтный ввод МВП;
- 4 - дугогасительная камера;
- 5 - штанга;
- 6 - направляющее устройство;
- 7 - траверса;
- 8 - трансформаторы тока;
- 9 - блок-контакты;
- 10 - изоляция бака;
- 11 - шунтирующий резистор;
- 12 - маслоспускной кран;
- 13 - люк для персонала;
- 14 - устройство подогрева масла.

б)

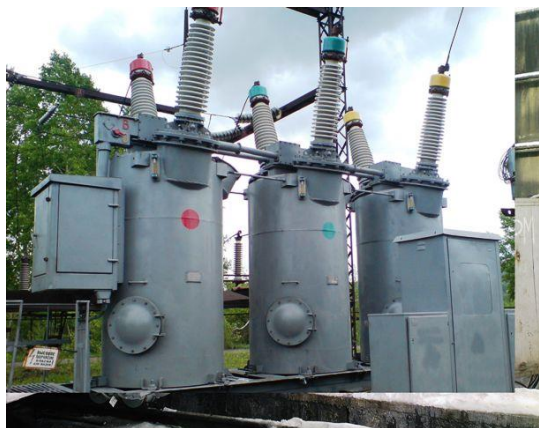


Рисунок 2.1 – Выключатель МКП-110М, разрез фазы (а), внешний вид (б)

Таблица 2.1 – Технические характеристики выключателя МКП-110М.

№ п/п	Технические данные	Значение
1	Номинальное напряжение, кВ	110
2	Наибольшее рабочее напряжение, кВ	126
3	Номинальный ток, А	600 – 1000
4	Номинальный ток отключения, кА	18,4; 20; 26; 31,5
5	Вес выключателя без вводов и масла, с приводом, кг	9830
6	Вес масла, кг	8500
7	Вес привода ШПЭ-33, кг	590

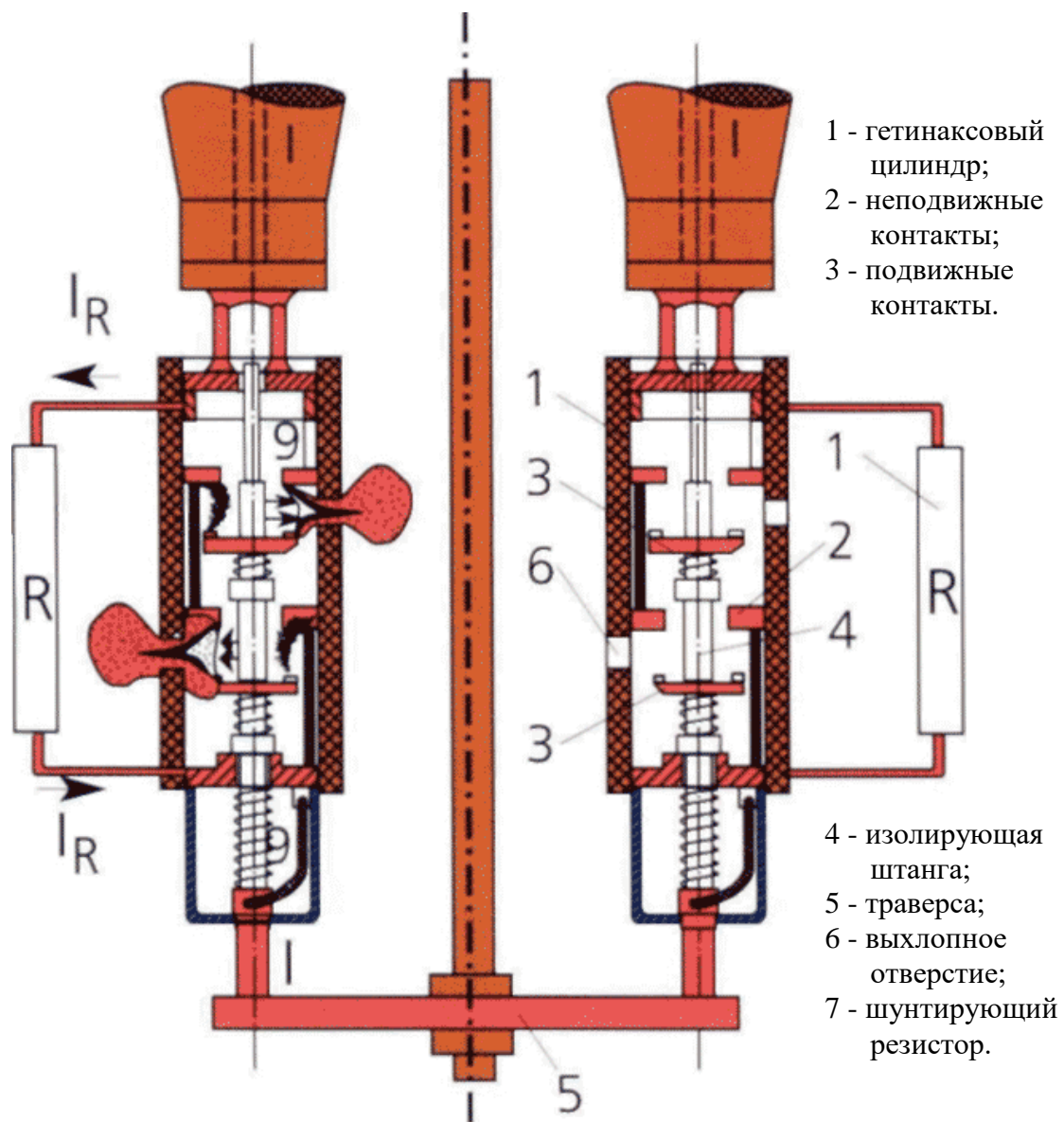
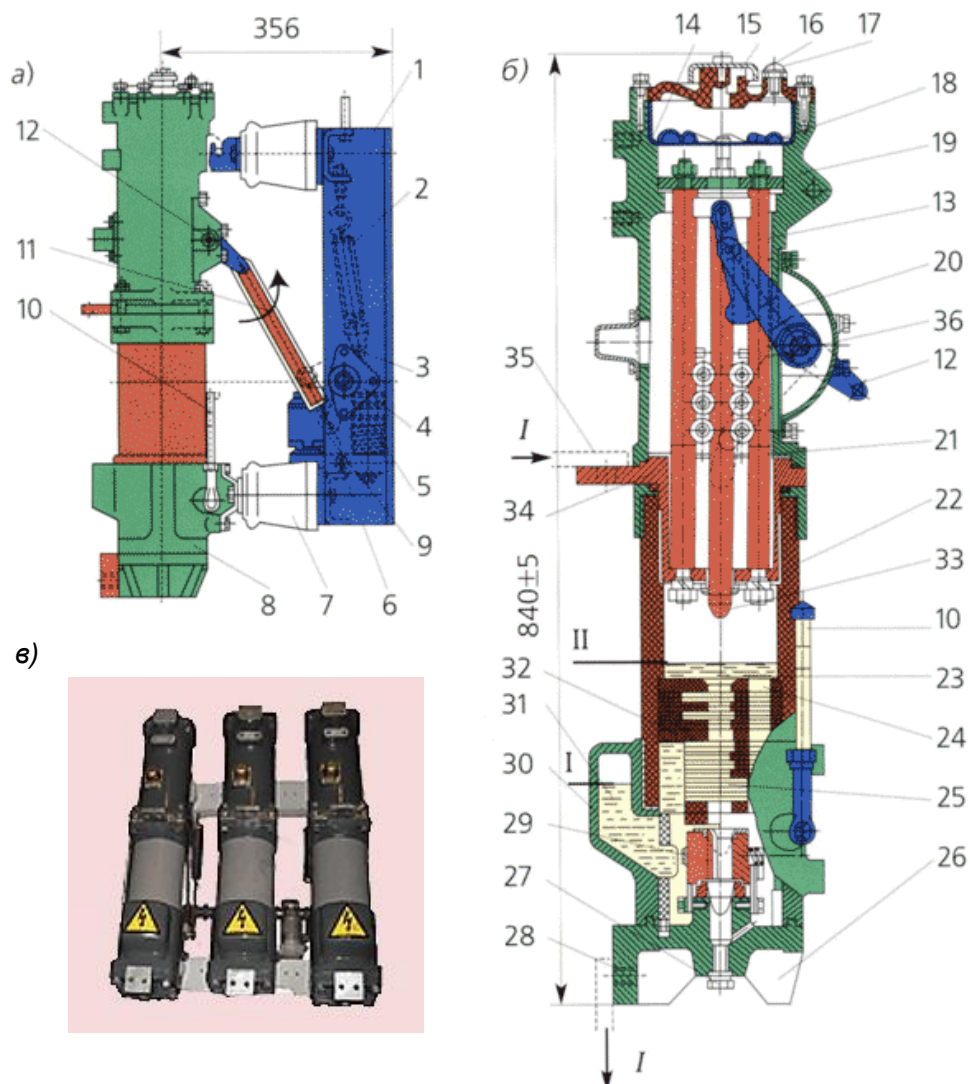


Рисунок 2.2 – Разрез дугогасительных камер выключателя МКП-110М

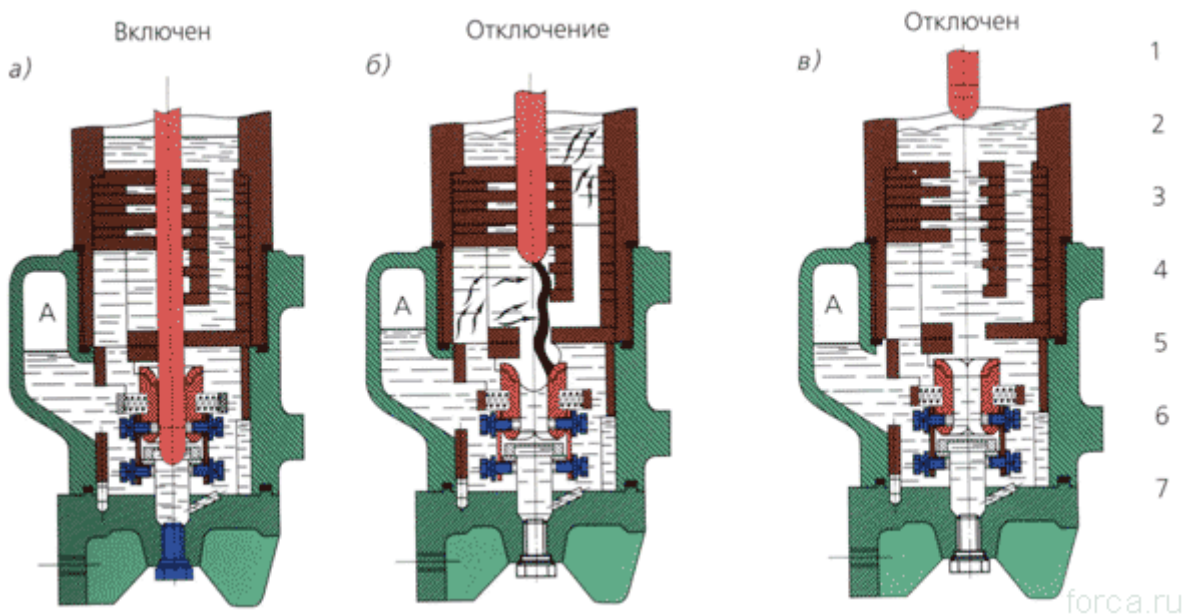


1 - стальная рама; 2 - отключающая пружина; 3 - двуплечный рычаг; 4 - вал выключателя; 5 - пружинный демпфер; 6 - болт заземления; 7 - опорный изолятор; 8 - бачок фазы; 9 - масляный демпфер; 10 - маслоуказатель; 11 - изолирующая тяга; 12 - рычаг; 13 - выпрямляющий механизм; 14 - маслоотделитель; 15 - канал для выхода газа; 16 - крышка; 17 - пробка маслосливного отверстия; 18 - отверстия маслоотделителя; 19 - корпус; 20 - рычаг; 21 - контактный стержень; 22 - стеклоэпоксидный цилиндр; 23 - центральный канал камеры; 24 - боковой выхлопной канал; 25 - дугогасительная камера; 26 - нижняя крышка фазы; 27 - маслоспускная пробка; 28 - отводящая шина; 29 - неподвижный контакт; 30 - нижний фланец; 31 - буферное пространство; 32 - масляный карман; 33 - подвижный контакт; 34 - верхний вывод; 35 - подводная шина; 36 - токосъемные ролики;

Рисунок 2.3 – Маломасляный выключатель ВМП-10, выключатель с рамой (а), разрез фазы выключателя (б), внешний вид (в).

Таблица 2.2 – Технические характеристики маломасляных выключателей серии ВМП-10.

Наименование параметра	Значение параметра для типоразмеров					
	ВМПЭ-10-630-20У2	ВМПЭ-10-1000-20У2	ВМПЭ-10-1600-20У2	ВМПЭ-10-630-31,5У2	ВМПЭ-10-1000-31,5У2	ВМПЭ-10-1600-31,5У2
Номинальное напряжение, кВ	10					
Номинальный ток, А	630	1000	1600	630	1000	1600
Номинальный ток отключения, кА	20			31,5		
Номинальный ток включения, кА: действующее значение периодической составляющей амплитудное значение	20 52			31,5 80		
Предельный сквозной ток, кА: начальное эффективное значение периодической составляющей амплитудное значение	20 52			31,5 80		
Ток термической стойкости в течение 4 с, кА	20			31,5		
Минимальная бестоковая пауза при автоматическом повторном включении (АПВ), с	0,4					
Собственное время отключения выключателя с приводом, с, не более	0,09					
Полное время отключения выключателя с приводом, с, не более	0,11					
Собственное время включения выключателя с приводом, с, не более	0,3					



1 - подвижный контакт; 2 - масляный карман; 3 - выхлопной канал; 4 - стеклоэпоксидный цилиндр; 5 - розеточный контакт; 6 - нижний фланец; 7 - крышка фазы; А - воздушный буфер

Рисунок 2.4 – Основные этапы гашения дуги в дугогасительной камере масляного выключателя ВМП-10.

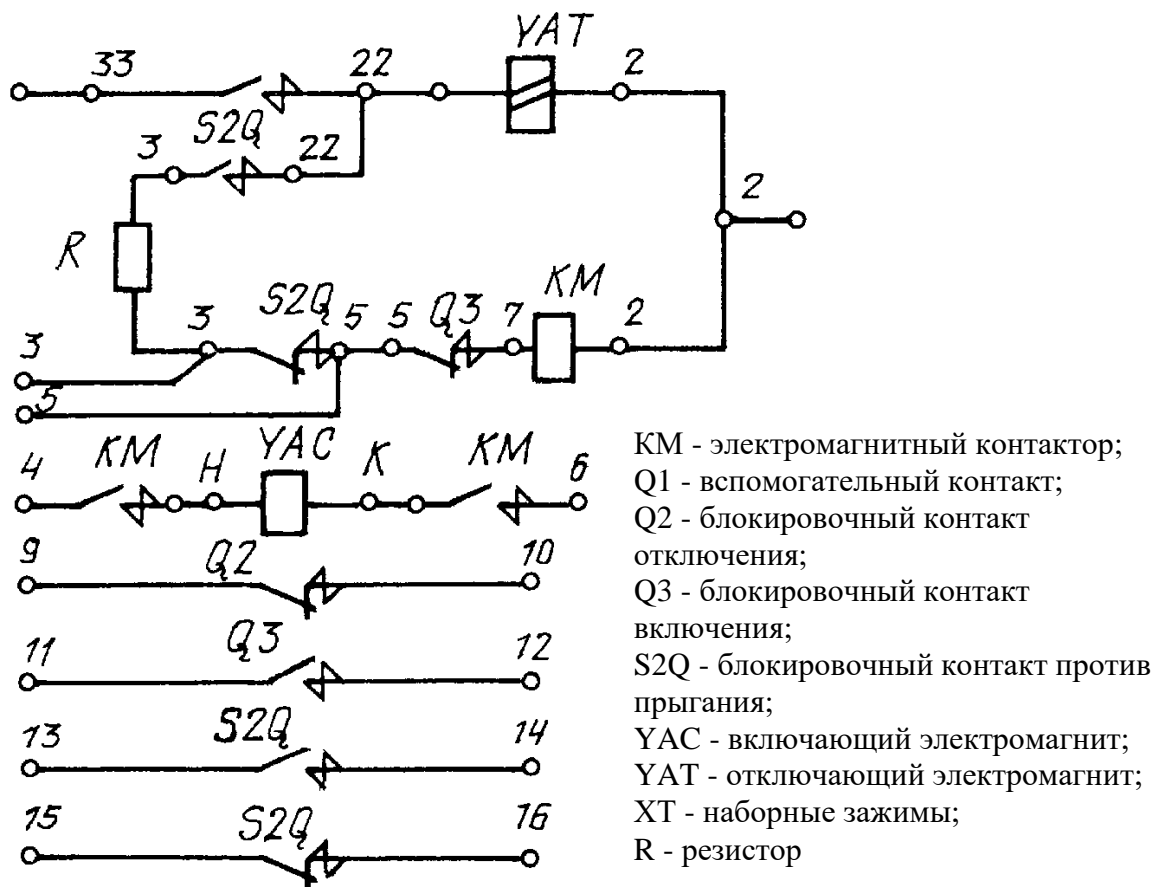


Рисунок 2.5 – Схема управления выключателем ВМП-10.

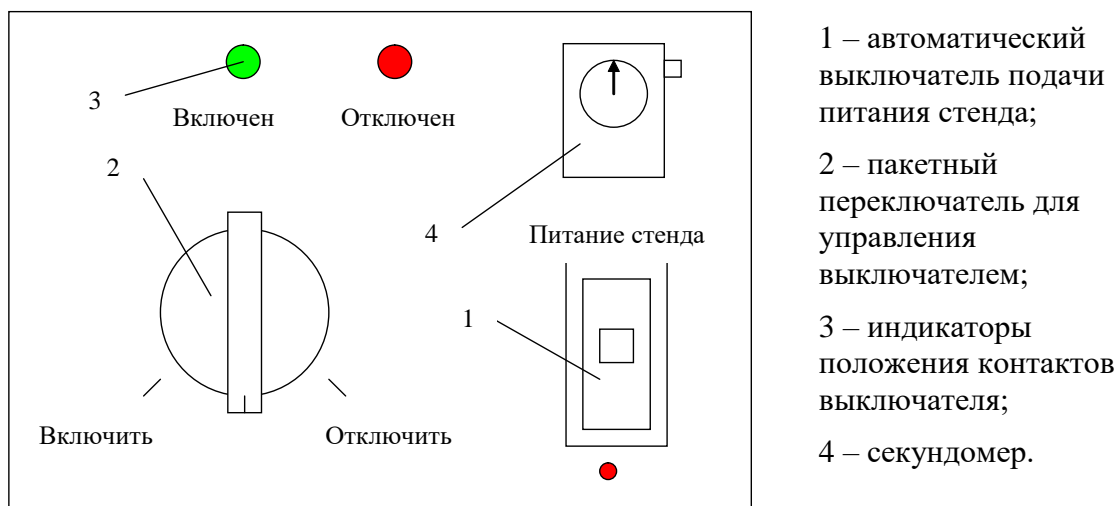


Рисунок 2.6 – Схематичное изображение лабораторной установки выключателя ВМП-10

### Общие указания по оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название лабораторной работы;
2. Цель лабораторной работы;
3. Ответы на вопросы по плану проведения лабораторной работы;
4. Выводы по выполненной работе.

Отчеты по лабораторным работам студенты представляют преподавателю в конце занятия и в особых случаях в срок по указанию преподавателя.

Зачет по лабораторной работе выставляется после представления отчета, его проверки и устранения замечаний. При проверке отчета преподаватель путем опроса устанавливает понимание студентом физических принципов и методики проведения лабораторной работы.

### Контрольные вопросы

1. Какое назначение имеет выключатель и область применения?
2. Какие функции выполняет масло в баковых и маломасляных выключателях?
3. Перечислите основные достоинства и недостатки баковых и маломасляных выключателей?
4. С какой целью используют многократный разрыв?
5. Какие части выключателя воспринимают электродинамические силы, возникающие при коротких замыканиях?
6. Как выполнена изоляция токоведущих частей по отношению к соседним фазам и к земле?
7. Как определяется уровень масла в выключателях?



## **Лабораторная работа № 3**

### **«Вакуумный выключатель. Реклоузер»**

**Цель работы:** Сформировать знания, умения и навыки в области конструкции, назначения и принципа действия вакуумных выключателей и реклоузеров.

#### **Краткие теоретические сведения**

**Реклоузер** – это автоматический пункт секционирования воздушных (комбинированных) электрических сетей 6-10 кВ состоящий из вакуумного коммутационного модуля, встроенной системы измерения токов и напряжения, а также шкафа управления с микропроцессорной системой РЗА.

#### **Функции автоматического реклоузера 6-10 кВ:**

- Автоматическое отключение поврежденных участков
- Автоматическое повторное включение линии (АПВ)
- Автоматическое восстановление питания неповрежденных участков сети (АВР)
  - Оперативная реконфигурация сети
  - Диагностика состояний собственных элементов
  - Сбор, обработка и передача параметров режимов работы сети
  - Ведение журналов событий в линии
  - Интеграция в системы дистанционного управления

Реклоузеры устанавливаются на магистральном участке. При возникновении повреждения ближайший к нему реклоузер отключает нижестоящий участок сети. Это повышает надежность электроснабжения потребителей, находящихся вблизи центра питания

Для секционирования радиальной линии с двухсторонним питанием в дополнение к реклоузерам на магистрали устанавливают реклоузер в качестве пункта АВР, осуществляется контроль напряжения на этом пункте, используются направленные защиты. При возникновении повреждения на любом из участков сети оно будет ограничено двумя ближайшими аппаратами, тем самым потребители неповрежденных участков смогут сохранить свое питание.

Для автоматизации линии достаточно установить 3–5 реклоузеров. Применение автоматических реклоузеров позволит достичь снижения недоотпуска электрической энергии конечным заказчикам, повысить уровень надежности электроснабжения. Реклоузеры позволяют сократить время поиска и локализации повреждения на участке линии электропередач.

## **Описание лабораторного стенда**

В лаборатории представлены натурные образцы реклоузера и вакуумного выключателя, а также из чертежи и каталоги.

### **План проведения лабораторного занятия**

1. Ознакомиться с материалами лабораторной работы и требованиями к её выполнению. Ознакомиться с материалами лекций и литературных источников по теме лабораторной работы;
2. Изучить общие правила техники безопасности при проведении лабораторных работ, изложенные в данном учебно-методическом пособии.
3. Непосредственно в лаборатории прослушать вводный инструктаж, проводимый ответственным лицом из числа преподавателей или инженеров.
4. Пройти опрос (тестирование) на знание лабораторной установки и правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ.
5. При успешном прохождении проверки внести данные в журнал инструктажа для допуска к дальнейшей работе на лабораторной установке.

### **Алгоритм выполнения лабораторной работы**

1. Сформулировать и пояснить область применения, преимущества и недостатки современных вакуумных выключателей и реклоузеров.
  2. По рисунку 3.1 пояснить конструкцию и принцип действия вакуумного выключателя на примере выключателя серии ВВ/TEL.
  3. По таблице 3.1 пояснить технические характеристики выключателя LF, дать определения указанных в таблице параметров.
  4. Пояснить устройство и принцип работы дугогасительной камеры (рисунок 3.3).
  5. Пользуясь схемой управления выключателя (рисунок 3.2) пояснить процесс его включения и отключения.
  6. Вручную произвести включение и отключение выключателя, при этом пронаблюдав за процессом. Для этого нажать кнопку «ВКЛ» на лабораторном стенде, а затем «ОТКЛ».
  7. В схеме управления выключателем (рисунок 3.2) имитируется замыкание фаз А и С с нейтралью с помощью лабораторного источника тока со встроенным амперметром. При увеличении тока источника и достижении определенного значения, соответствующего токовой уставки выбранного реле, оно замыкает свой контакт, таким образом, подавая напряжение на промежуточное реле (ТО) или на реле времени (МТЗ), которое в свою очередь замыкает контакт цепи блока управления, подающей команду на отключение выключателя.
- Опыт проводится для фаз А и С. Используются реле РТ-40, катушки которых обозначены на схеме соответственно К1 и К2, а также промежуточное реле

РП или реле времени РВ, обеспечивающее задержку отключения в зависимости от уставки по времени. После каждого измерения необходимо выводить источник тока в нулевое положение, а затем включать выключатель, нажатием кнопки «ВКЛ».

8. Произвести отключение выключателя без выдержки времени (ТО), эмитировав замыкание в линии между фазным и нулевым проводом. Для этого необходимо выставить переключатель V1 в положение «ТО», а переключатель V2 в положение «А». Источником тока увеличить ток до значения, при котором произойдет отключение выключателя. Затем выставить переключатель V2 в положение «С» и повторить опыт. Измерить токи и занести их в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты измерений

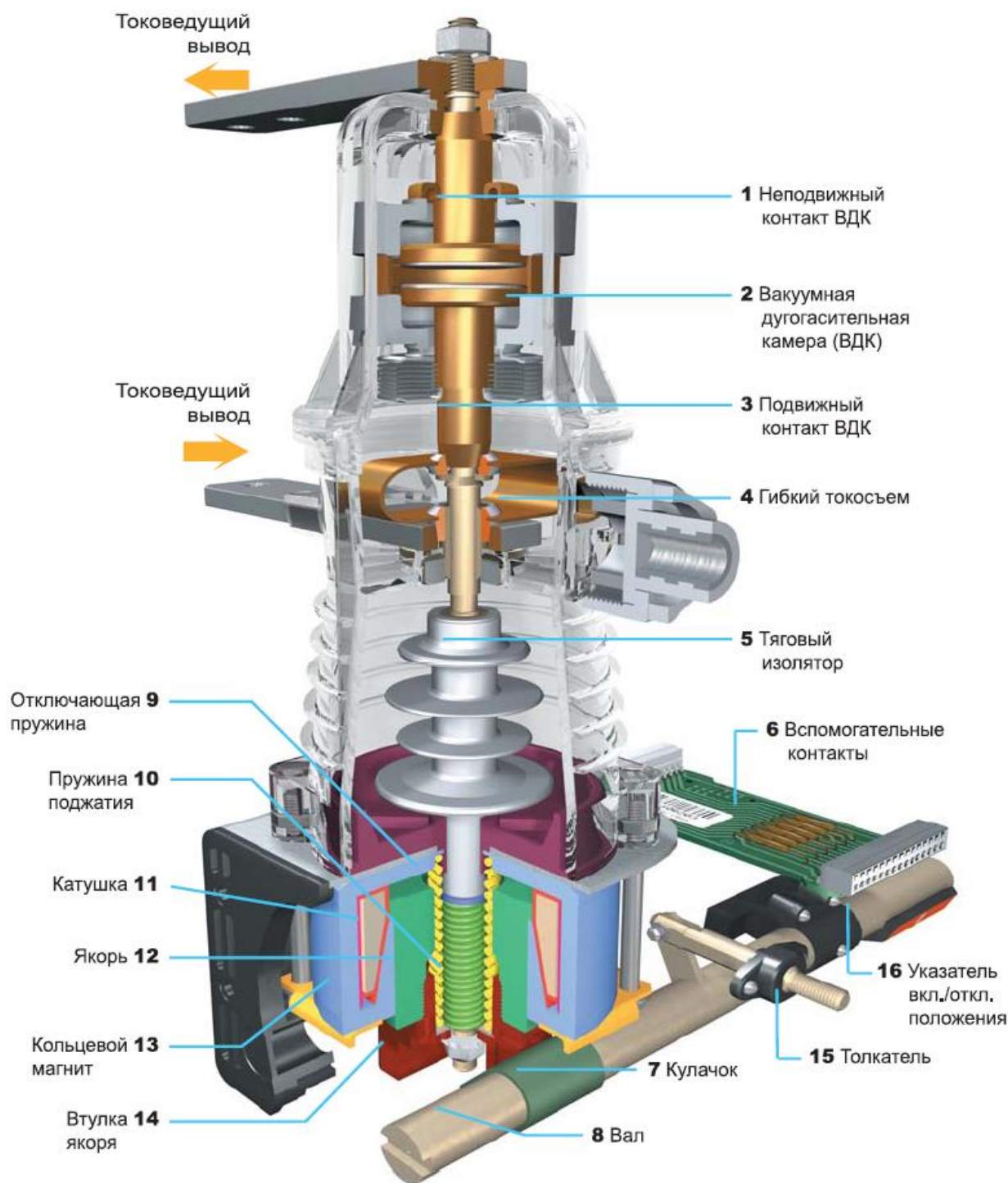
Фаза, замкнутая с нейтралью	А	В
Ток, А		

9. Произвести отключение выключателя с выдержкой времени (МТЗ), эмитировав замыкание, как в предыдущем опыте. Для этого необходимо выставить переключатель V1 в нейтральное положение, а переключатель V2 в положение «А». Посредством латра источника тока установить значение тока, при котором в предыдущем опыте произошло отключение выключателя. Затем выставить переключатель V1 в положение «МТЗ». Измерить время отключения и занести его в таблицу 3.2. Затем выставить переключатель V2 в положение «С», а V1 в нейтральное положение и повторить опыт.

Таблица 3.2 – Результаты измерений с отключением выключателя с выдержкой времени

Фаза, замкнутая с нейтралью	А	В
Время, сек		

В опыте отключения выключателя с выдержкой времени (МТЗ) используется нерабочая уставка реле времени РВ для лучшего понимания и наглядности процесса. Уставка обычно принимается порядка 0,6 с.



**Полюс выключателя в отключенном положении**

Рисунок 3.1 - Конструкция вакуумного выключателя на примере выключателя серии ВВ/TEL

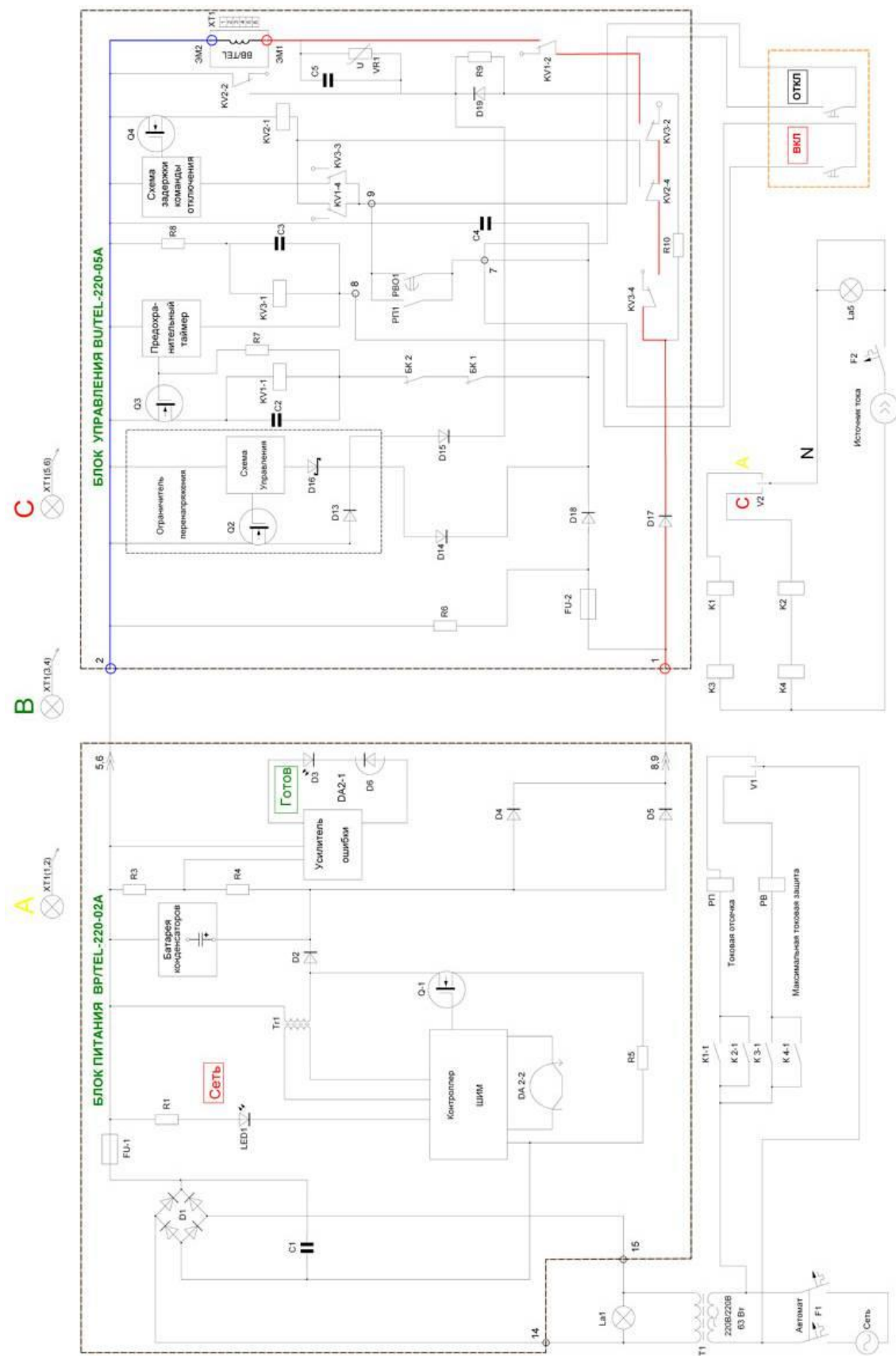


Рисунок 3.2 - Лабораторная схема управления выключателем

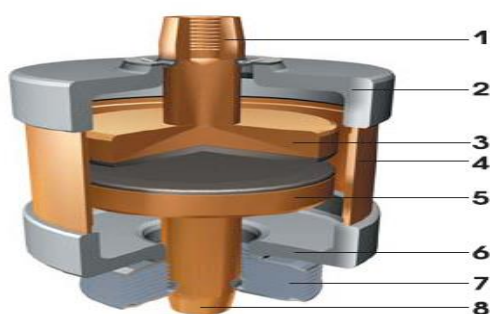


Рисунок 3.3 – Разрез вакуумной дугогасительной камеры выключателя серии ВВ/TEL

Таблица 3.1 - Паспортные данные выключателя ВВ/TEL-10-12,5/1000У2

Номинальное напряжение, кВ	10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12
Номинальный ток, А	630,1000
Номинальный ток отключения, кА	12.5
Ток динамической стойкости, (наибольший пик), кА	32
Испытательное кратковременное напряжение (одноминутное) промышленной частоты, кВ	42
Время отключения полное, мс, не более	25
Время отключения собственное, мс, не более	15
Время включения собственное, мс, не более	70
Ресурс по коммутационной стойкости при отключении: -- номинального тока, операций «ВО»	50000
-- (60-100)% от номинального тока отключения, операций	100
Ресурс по механической стойкости, операций «ВО»	50000
Номинальное напряжение электромагнитов управления, В	220
Диапазон напряжений электромагнитов при включении, % от номинального значения	85-100
Диапазон напряжений электромагнитов при отключении, % от номинального значения	65-120
Наибольший ток электромагнитов управления при номинальном напряжении, А	10
Срок службы до списания, лет	25
Масса при исполнении с межполюсным расстоянием 200 мм	35
Масса при исполнении с межполюсным расстоянием 250 мм	37
Стойкость к механическим воздействиям, группа по ГОСТ 17516.1-90	M7
Верхнее/нижнее значение температуры окружающего воздуха, °С	55/-44

### **Общие указания по оформлению отчета**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название лабораторной работы;
2. Цель лабораторной работы;
3. Ответы на вопросы по плану проведения лабораторной работы;
4. Выводы по выполненной работе.

Отчеты по лабораторным работам студенты представляют преподавателю в конце занятия и в особых случаях в срок по указанию преподавателя.

Зачет по лабораторной работе выставляется после представления отчета, его проверки и устранения замечаний. При проверке отчета преподаватель путем опроса устанавливает понимание студентом физических принципов и методики проведения лабораторной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Какое назначение имеет вакуумный выключатель и область применения?
1. Преимущества вакуумного выключателя перед масляным и воздушным
3. Какое назначение имеет реклоузер и область применения?
3. Перечислите основные достоинства и недостатки реклоузеров?
4. Принцип действия вакуумного выключателя.
5. Отличие реклоузеров от вакуумных выключателей

## Лабораторная работа № 4

### «Изучение характеристики синхронного генератора»

**Цель работы:** Сформировать знания, умения и навыки в области методов испытаний СГ.

#### Краткие теоретические сведения

Синхронные генераторы (СГ) служат для преобразования механической энергии в электрическую и являются основными источниками электроэнергии в мире.

Среди разнообразных характеристик СГ отдельную группу составляют характеристики, которые определяют зависимость между напряжением на зажимах якоря  $U$ , током якоря  $I$  и током возбуждения  $I_f$  при  $f = f_n$  ( $\omega = \omega_n$ ) и  $\phi = const$  в установившемся режиме работы.

Эти характеристики дают наглядное представление о ряде основных свойств СГ, позволяют рассчитать ряд параметров СГ.

Характеристики СГ могут быть построены по расчетным данным с помощью векторных диаграмм или по данным соответствующих испытаний. Для синхронных машин программы испытаний устанавливает ГОСТ 183–74.

При испытании электрических машин удобно выражать параметры и характеристики в относительных единицах, в качестве базисных значений принимают номинальное значение линейного напряжения  $U_n$  и полной мощности  $S_n$ , тогда базисное значение тока

$$I_{\text{б}} = I_n = \frac{S_n}{(\sqrt{3} \cdot U_n)} \quad (1)$$

Базисное значение полного сопротивления при соединении обмоток статора звездой

$$Z_{\text{б}} = \frac{U_n}{(\sqrt{3} \cdot I_n)} \quad (2)$$

При соединении обмоток статора в треугольник

$$Z_{\text{б}} = \frac{(\sqrt{3} \cdot U_n)}{I_n} \quad (3)$$

За базисные значения частоты тока или напряжений и угловой скорости машины принимают их номинальные значения  $f_{\text{б}} = f_n \omega_{\text{б}} = 2 \cdot \pi \cdot f_n$ . За базисное



значение тока возбуждения при вычислении характеристик и построении диаграмм принимают ток возбуждения, соответствующий номинальному напряжению по характеристике холостого хода.

Характеристика холостого хода (х.х.х.) представляет собой зависимость напряжения обмотки якоря от тока возбуждения при холостом ходе ( $I = 0$ ) и номинальной частоте вращения СГ. При снятии характеристики измеряют ток возбуждения, линейное напряжение и частоту (или частоту вращения). Чтобы иметь возможность оценить третью гармоническую составляющую при соединении обмотки статора в звезду, измеряют также фазное напряжение ( $U_{\phi}$ ), а при соединении в треугольник (если выведены начала или концы всех фаз) – фазный ток

$$U_{\phi 3} = \sqrt{U_{\phi}^2 - \left(\frac{U_L}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad (4)$$

где  $U_{\phi 3}$  – 3-я гармоническая фазного напряжения обмотки статора.

Известно, что вследствие явления гистерезиса характеристика холостого хода не проходит через начало координат, поэтому для определенности условились снимать характеристику холостого хода, начиная с наибольшего значения тока возбуждения. Чтобы полученную характеристику, провести через начало координат, необходимо сместить ее на величину  $\Delta I_f$  по оси абсцисс. Значение  $\Delta I_f$  получают путем графической экстраполяции характеристики для пересечения с осью абсцисс (рис. 4.1).

Наряду с реальной криволинейной х.х.х. рассматривают также спрямленную ненасыщенную х.х.х. (ОВ, рис. 4.1). Она является касательной к действительной х.х.х. в начале координат.

В режиме холостого хода оценивают также симметричность напряжения СГ. Оценка симметричности производится по отношению разности между наибольшим и наименьшим измеренными в режиме холостого хода линейными напряжениями, к среднему его значению. Линейные напряжения измеряют одновременно приборами одного класса.

$$K_{\text{неб}} = \frac{(U_{\text{нб}} - U_{\text{нм}})}{U_{\text{ном}}} \cdot 100 \quad (5)$$

Характеристика короткого замыкания (х.к.з.) снимается при замыкании зажимов всех фаз обмотки якоря накоротко (симметричное короткое замыкание) и определяет зависимость  $I = f(I_f)$  при  $U = 0$  и  $f = f_n$ . Если пренебречь незначительным активным сопротивлением якоря, то сопротивление цепи якоря короткого замыкания будет чисто индуктивным.

Поэтому

$$I_q = 0 \quad I_d = I$$

и тогда

$$E = jX_d \cdot I \quad (6)$$

где  $X_d$  - продольное синхронное индуктивное сопротивление обмотки якоря.

При коротком замыкании реакция якоря является практически чисто размагничивающей, Э.Д.С.  $E_\sigma$ , индуцируемая результирующим магнитным потоком воздушного зазора, равна

$$E_\sigma = E - X_{ad} \cdot I = X_{\sigma a} \cdot I \approx U_\phi, \quad (7)$$

где  $X_{ad}$  - продольное индуктивное сопротивление реакции якоря;

$X_{\sigma a}$  - индуктивное сопротивление рассеяния обмотки якоря.

Из выражения (7) следует, что  $E_\sigma$  - мала, вследствие чего и поток  $\Phi_\sigma$  мал. Поэтому при коротком замыкании магнитная цепь не насыщена и х.к.з.  $I = f(I_f)$  прямолинейна (рис. 8.1). Опытные х.х.х. и х.к.з. позволяют определить опытное значение продольного индуктивного сопротивления  $X_d$ .

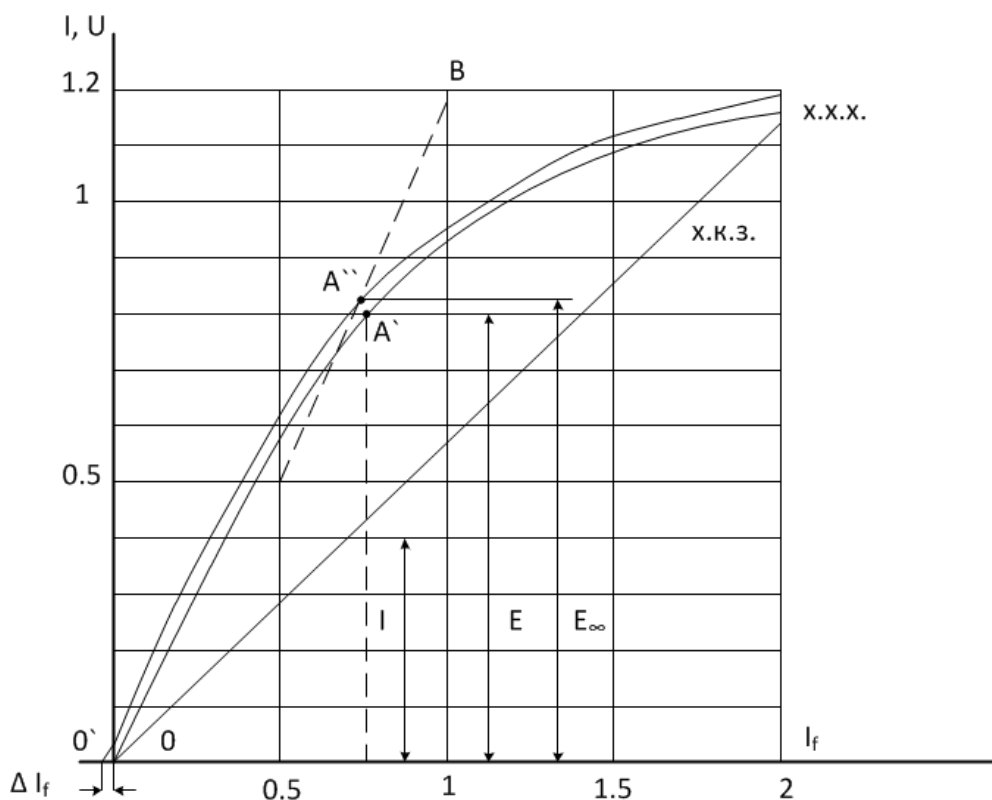


Рисунок 4.1 - Х.х.х. и х.к.з. синхронного генератора

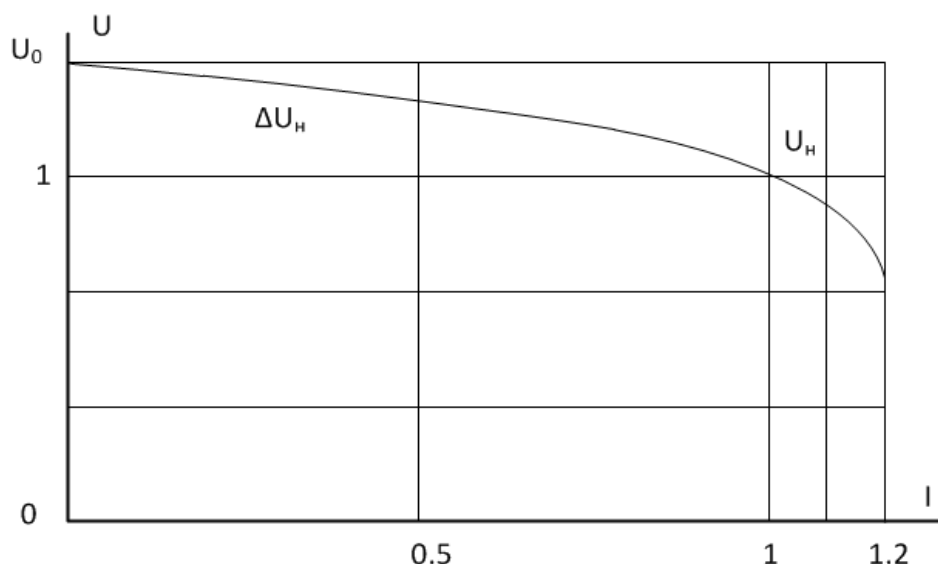


Рисунок 4.2 - Внешняя характеристика синхронного генератора

Обычно находят ненасыщенное значение этого сопротивления  $X_{d\infty}$ , которое в отличие от насыщенного значения  $X_d$  для каждой машины вполне определенное. Чтобы определить  $X_{d\infty}$ , для какого-либо значения тока возбуждения, например  $I_f = OA$  (рис. 4.1) по спрямленной ненасыщенной характеристике холостого хода находят  $E_\infty = AA''$ , а по х.к.з. ток  $I$ , тогда

$$X_{d\infty} = \frac{E_\infty}{I} \quad (8)$$

Если вместо  $E_\infty$  в равенство (6) подставить значение  $E = AA''$  для той же величины  $I_f$ , то отношение

$$X_d = \frac{E}{I} \quad (9)$$

будет определять насыщенное значение  $X_d$  при таком насыщении магнитной цепи, которое соответствует данному значению  $E$ .

Важное значение для синхронных машин имеет величина – отношение короткого замыкания (о.к.з.). Отношением короткого замыкания  $K_{о.к.з.}$  согласно ГОСТ 183–66 называется отношение установившегося тока короткого замыкания  $I_{ко}$  при токе возбуждения, который при холостом ходе и  $n - n_n$  дает  $E = U_n$  к номинальному току якоря  $I_n$ .

$$K_{скз} = \frac{I_{ко}}{I_n} = \frac{U_n}{I_n \cdot X_d} \quad (10)$$

$$X_d^* = \frac{X_d}{Z_H}$$

Отношение короткого замыкания так же, как и  $X_d$  определяет перегрузочную способность синхронной машины.

Внешняя характеристика СГ определяет зависимость  $U = f(I)$  при  $I_f = const, \cos(\phi) = const, f = f_H$  и показывает, как изменяется напряжение машины  $U$  при изменении величины нагрузки и неизменном токе возбуждения. Изменение напряжения на зажимах СГ с ростом тока нагрузки обусловлено падением напряжения на внутреннем сопротивлении обмотки якоря и влиянием реакции якоря. По внешней характеристике (рис. 4.2) определяют номинальное изменение напряжения СГ.  $\Delta U_H$  – это изменение напряжения на зажимах генератора при изменении нагрузки от номинального значения до нуля и при неизменном токе возбуждения

$$\Delta U_H = \frac{U_c - U_H}{U_H} \cdot 100 \quad (11)$$

При  $\cos(\phi_H) = 0,8$   $\Delta U_H$  обычно равно 20–30%.  $\Delta U_H$  тем больше, чем выше  $X_d$ .

Регулировочная характеристика – это зависимость тока возбуждения от тока якоря  $I_f = f(I)$  при постоянном напряжении, постоянной частоте вращения и неизменном  $\cos(\phi)$  нагрузки. Регулировочные характеристики показывают, как нужно изменять ток возбуждения при изменении нагрузки, чтобы напряжение на выводах СГ оставалось неизменным.

### Описание лабораторного стенда

Схема лабораторной установки приведена на рис.4.3. Установка содержит исследуемый синхронный генератор, который приводится в действие асинхронным двигателем (АД). Технические параметры СГ приведены в табл.8.1.

Таблица 4.1 - Технические параметры СГ

Тип	$P_H$ кВт		$I_H$ А		$I_f$ А	$n_H$ об/мин	$R_a$ Ом
			$\cos(\phi)=1$	$\cos(\phi)=0,8$			
ГА6–4Т/230–М2	4	230	10	12,6	5,9	3000	0,47

В состав установки входят также автотрансформатор (ЛАТР), выпрямитель для питания постоянным током обмотки возбуждения СГ, переключатели S3, S4, S5 для коммутации электрических цепей, измерительные приборы. В качестве нагрузки СГ используются активные сопротивления и регулятор напряжения (РН).

## **План проведения лабораторного занятия**

Работа включает две стадии: подготовительную (этап 1-2) и аудиторную (этап 3-7) для непосредственного ознакомления с устройством и особенностями эксплуатации лабораторной установки. Взаимодействие с лабораторной установкой при ознакомлении проводится при отключенном питании.

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия экспериментальной установки на основе материалов лабораторной работы.
2. Изучить общие правила техники безопасности при проведении лабораторных работ, изложенные в данном учебно-методическом пособии.
3. Непосредственно в лаборатории прослушать вводный инструктаж, проводимый ответственным лицом из числа преподавателей или инженеров.
4. Ознакомиться с основными функциональными модулями лабораторной установки.
5. Ознакомиться с техническими данными оборудования и электроизмерительных приборов, записать сведения о лабораторном оборудовании и приборах.
6. Собрать схему, согласно заданию на лабораторную работу.
7. Провести экспериментальное исследование, согласно заданию на лабораторную работу.
8. Произвести обработку экспериментального материала и начать составление отчета с выводами по выполненной работе.

После выполнения каждого пункта экспериментального исследования необходимо убедиться в правильности снятых показаний и только после этого переходить к выполнению следующего пункта задания.

Обработка экспериментального материала и оформления отчета производится после выполнения всего объема лабораторной работы.

В выводах лабораторной работы следует указать на подтверждение данными эксперимента теоретических положений, а также причин расхождений. Дать анализ физических процессов и объяснения характера полученных зависимостей.

## **Алгоритм выполнения лабораторной работы**

1. На основании технических данных СГ выбрать необходимые измерительные приборы.
2. Собрать схему установки согласно рис.4.3. Установить переключатели S4 и S5 в положение «0», а S3 в положение «Вкл.».
3. Посредством пускателя K1 произвести пуск асинхронного двигателя, приводящий в действие СГ.
4. Снять характеристику холостого хода. Для этого необходимо изменять ток возбуждения от наибольшего значения, при котором напряжение СГ равно

(1,08–1,3)  $U_H$ , до  $I_f=0$ , снимая при этом значения тока возбуждения, линейное и фазное напряжения обмотки якоря. Полученные данные занести в табл. 4.2.

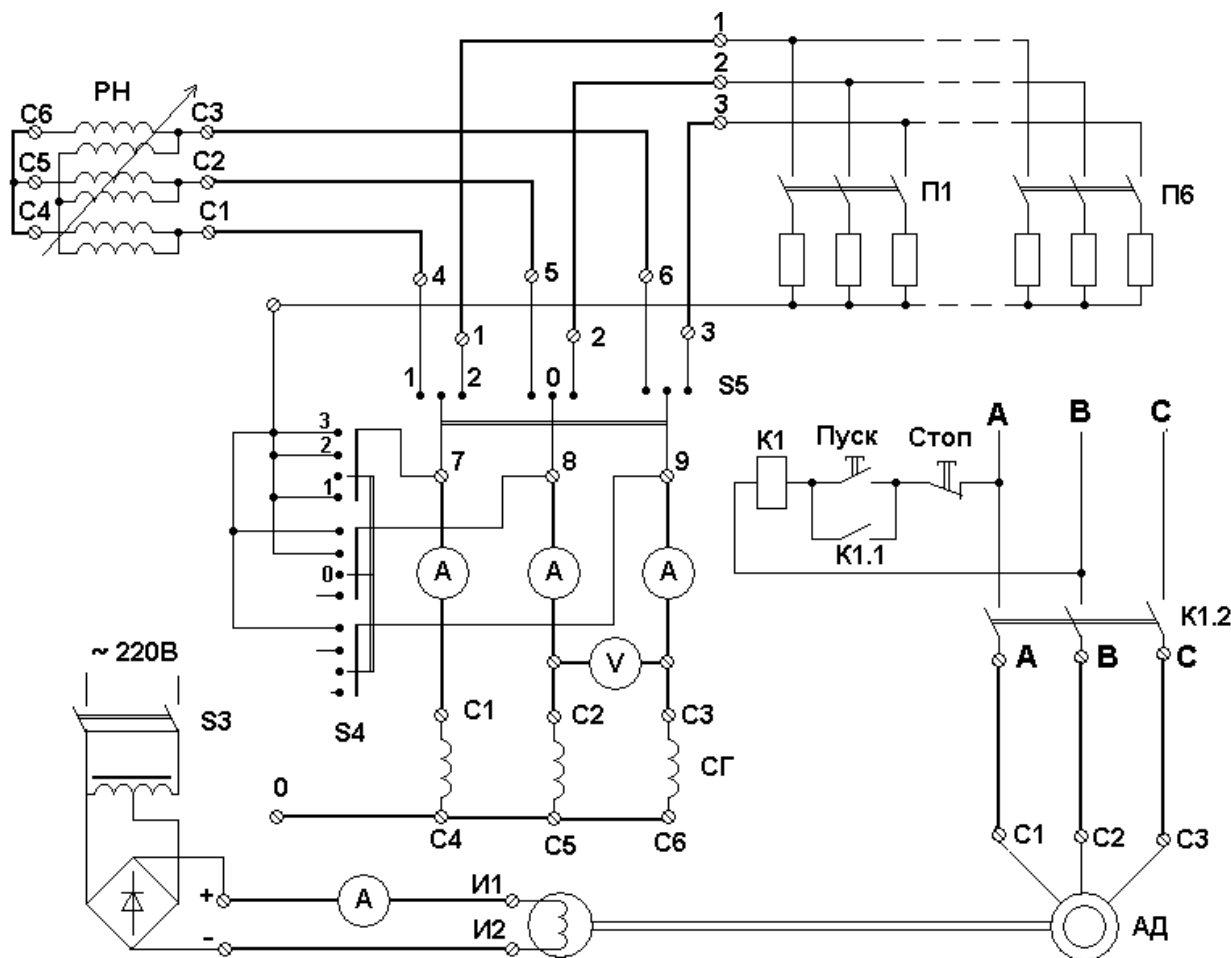


Рисунок 4.3 - Принципиальная схема лабораторной установки.

Таблица 4.2 - Характеристика холостого хода

Опыт- ные данные	$I_f, A$							0
	$U_L, B$	240	230	200	150	100	50	
	$U_\phi, B$							
Расчет	$U_\phi, B$							

5. Далее установить напряжение на зажимах обмотки якоря СГ близким к номинальному и несколько раз измерить линейные напряжения обмотки якоря с целью оценки симметричности напряжения СГ (табл.4.3)

Таблица 4.3 - Напряжения на зажимах обмотки якоря СГ

Опытные данные	$U_{ab}, B$	200	220	230
	$U_{bc}, B$			
	$U_{ca}, B$			
Расчетные данные	$K_{неб\%}$			

6. Снять характеристику трехфазного короткого замыкания. Переключатель S4 перевести в положение "3", что соответствует режиму трехфазного к.з. **Нуль генератора отключить от стенда.** Изменяя ток возбуждения от нуля до значения, при котором ток якоря будет не более номинального, снять не более 4–6 опытных точек. Измерить ток возбуждения, токи статора, напряжение одной из фаз СГ –  $U_{\phi}$ . Опытные данные занести в табл. 4.4.

Таблица 4.4 - Характеристика короткого замыкания СГ

$U_{\phi}, \text{В}$				
$I_f, \text{А}$				
$I_A, \text{А}$	3	5	6	8
$I_B, \text{А}$				
$I_C, \text{А}$				

7. Снять внешнюю характеристику при работе СГ на активную нагрузку. Для этого установить переключатель S4 в положение «0», переключатель S5 в положение П. Установить напряжение СГ равным номинальному  $U = U_n$ . Далее изменять нагрузочные сопротивления, подключенные к якорю СГ, таким образом, чтобы ток якоря менялся от  $I = 0$  до  $I \approx I_n$ , поддерживая при этом ток возбуждения неизменным. Результаты измерений занесите в табл. 4.5.

8. Снять внешнюю характеристику при работе СГ на активно–индуктивную нагрузку. Перед проведением опыта необходимо убедиться, что указатель РН находится в нулевом положении, что соответствует максимальной величине индуктивного сопротивления РН. Переключатель S5 установить в положение «I», при котором якорь СГ подключается к РН. Изменяя посредством ручного привода индуктивное сопротивление РН, снимите внешнюю характеристику СГ. Результаты измерений занести в табл.4.5.

Таблица 4.5 - Внешние характеристики СГ при активной и активно-индуктивной нагрузке

Параметры	Активная нагрузка					Активно–индуктивная нагрузка				
	0					4	5	6	7	8
$I_A, \text{А}$	0									
$I_B, \text{А}$	0									
$I_C, \text{А}$	0									
$U, \text{В}$	230									
$I_f, \text{А}$										

9. Снять регулировочную характеристику СГ. Установить переключатель S5 в положение «П». Эту характеристику снимают только для активной нагрузки.

Установить при  $I=0$  напряжение СГ равное  $(0,75-0,8)U_n$  и изменяя ток статора от нуля до значения, близкого к номинальному, поддерживать посредством изменения  $I_f$  неизменным напряжение на зажимах СГ. Измерить  $I_f$ , токи статора в трех фазах и напряжение СГ. Результаты опытов занести в табл. 4.6.

Таблица 4.6 - Регулировочная характеристика СГ при активной нагрузке

$I_A, A$	0					
$I_B, A$	0					
$I_C, A$	0					
$U, B$	180	180	180	180	180	180
$I_f, A$						

### Алгоритм обработки результатов измерений

1. Построить х.х.х. и экстраполировать её, в случае необходимости, до пересечения с осью абсцисс т. 0 (Рис.4.1.). В этой же системе координат построить х.к.з. Рассчитать продольное индуктивное сопротивление обмотки якоря;

2. Рассчитать третью гармонику фазного напряжения обмотки якоря;

3. Построить векторную диаграмму СГ, работающего в режиме трехфазного к.з. Рассчитать величины  $X_{ad}$  и  $X_{a\bar{b}}$  с учетом выражений 6 и 7.

4. Построить в одной системе координат внешние характеристики СГ при активной и активно-индуктивной нагрузке. Определить из графиков изменение напряжения генератора  $\Delta U$  при изменении тока якоря от нуля до номинального значения.

5. Построить регулировочную характеристику СГ при активной нагрузке.

### Общие указания по оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название лабораторной работы;
2. Цель лабораторной работы;
3. Принципиальные схемы лабораторной установки с указанием номинальных данных исследуемого электрооборудования, а также номиналы выбранных для выполнения работы электроизмерительных приборов;
4. Таблицы для занесения экспериментальных результатов;
5. Расчеты и графики, предусмотренные в пункте «Обработка результатов измерений»;
6. Выводы по выполненной работе.



Отчеты по лабораторным работам студенты представляют преподавателю в конце занятия и в особых случаях в срок по указанию преподавателя.

Зачет по лабораторной работе выставляется после представления отчета, его проверки и устранения замечаний. При проверке отчета преподаватель путем опроса устанавливает понимание студентом физических принципов и методики проведения лабораторной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Почему характеристика холостого хода нелинейна, а характеристика короткого замыкания имеет линейную зависимость?

2. Чем вызвано появление гармонических составляющих напряжения или тока в обмотках якоря СГ?

3. К каким физическим явлениям в СГ приводит несимметричность напряжений в обмотках якоря СГ?

4. Каким образом рассчитываются ненасыщенное и насыщенное значения продольного синхронного индуктивного сопротивления обмотки якоря синхронной машины?

5. Каков физический смысл имеет параметр – отношение короткого замыкания (о.к.з.)?

6. Почему внешняя характеристика СГ при индуктивной нагрузке располагается ниже, а при емкостной нагрузке выше, чем характеристика при активном токе?

## Лабораторная работа № 5

### «Исследование генератора постоянного тока»

**Цель работы:** Сформировать знания, умения и навыки для исследования генераторов с независимым возбуждением, параллельным возбуждением и со смешанным возбуждением.

#### Краткие теоретические сведения

На электрических станциях генераторы постоянного тока используются в качестве источников питания обмоток возбуждения синхронных генераторов. По способу возбуждения генераторы постоянного тока подразделяются на генераторы: с независимым возбуждением и самовозбуждением. Генераторы с самовозбуждением делятся на генераторы с параллельным, последовательным и смешанным возбуждением. Генератором с независимым возбуждением называется генератор, обмотка возбуждения которого питается от независимого источника. Генератором с параллельным возбуждением называется генератор, у которого обмотка возбуждения включается параллельно обмотке якоря. Генератором с последовательным возбуждением называется генератор, у которого обмотка возбуждения включается последовательно с обмоткой якоря. Генератором со смешанным возбуждением называется генератор, у которого имеются две обмотки возбуждения. Одна обмотка включается параллельно обмотке якоря, а другая – последовательно.

Э.д.с., индуктируемая в обмотке якоря определяется выражением (1)

$$E_a = c \cdot \Phi \cdot \omega \quad (1)$$

$$U_a = E_a - I_a \cdot R_a, \quad (2)$$

где  $I_a$  – ток якоря, А

$R_a$  – сумма сопротивлений в цепи якоря (сопротивление обмотки якоря, обмотки добавочных полюсов, последовательной обмотки и щеточного контакта), Ом;

$\Phi$  – магнитный поток, Вб;

$c$  – конструктивная постоянная машины;

$\omega$  – частота вращения якоря, рад/сек.

Характеристикой холостого хода (ХХХ) называется зависимость э.д.с. генератора от тока возбуждения при токе нагрузки равно нулю и при постоянной частоте вращения  $U_a = f(I_B)$  при  $I_a = 0$  и  $\omega = \text{const}$ .

Характеристику холостого хода (ххх) ГПТ с независимым возбуждением снимают с максимального значения тока возбуждения и максимального напряжения  $U_a = (1,15-1,25) U_n$  точка «а» кривой на рис. 5.1. При уменьшении  $I_B$  напряжение уменьшается по нисходящей ветви «аб» характеристики сначала медленно ввиду насыщения магнитной цепи, а затем быстрее. При  $I_B = 0$  на зажимах генератор напряжение -  $U_0$ , обычно равное 2–3% от  $U_n$ , вследствие остаточной намагниченности полюсов и ярма индуктора. Далее, дважды изменяя направление  $I_B$ , в итоге вернемся к точке «а». Ххх имеет вид неширокой гистерезисной петли вследствие явления гистерезиса в магнитной цепи индуктора. При снятии ххх ток  $I_B$  необходимо менять только в направлении, указанном на рис.5 стрелками, т.к. в противном случае точки не будут ложиться на данную гистерезисную петлю, а будут рассеиваться. Ххх для генераторов с параллельным и смешанным возбуждением практически не отличаются от ххх генератора с независимым возбуждением.

Внешняя характеристика генератора  $U_a = f(I_a)$  при  $I_B = \text{const}$  и  $\omega = \text{const}$  (рис. 5.2) определяет зависимость напряжения генератора от его нагрузки в естественных условиях, когда ток возбуждения не регулируется. При увеличении  $I_a$  напряжение  $U_a$  несколько падает по двум причинам: вследствие падения напряжения в цепи якоря  $R_A$  и уменьшения  $E_A$  ввиду уменьшения результирующего магнитного потока под воздействием поперечной реакции якоря. У генератора с параллельным возбуждением добавляется третья причина – уменьшение тока возбуждения, а следовательно и потока и э.д.с. вследствие уменьшения напряжения на зажимах якоря, а значит и на параллельной обмотке возбуждения по первым двум причинам. Перегиб кривой для такого генератора объясняется тем, что при токах нагрузки примерно равных  $(2-2.5) I_{ном}$  напряжение на зажимах генератора начинает падать быстрее, чем уменьшается сопротивление нагрузки.

Генератор с параллельным возбуждением не боится коротких замыканий, так как ток короткого замыкания меньше номинального и величина его определяется величиной остаточного магнетизма. Максимальный ток, соответствующей точке перегиба кривой, называется критическим током. Он соответствует критическому сопротивлению внешней цепи.

У генератора со смешанным возбуждением к трем указанным причинам изменения напряжения добавляется четвертая – магнитный поток последовательной обмотки возбуждения при согласном включении подмагничивает, а при встречном размагничивает генератор.

На рис. 5.2 показаны внешние характеристики генераторов с независимым возбуждением (1), с параллельным возбуждением (2) и смешанным возбуждением: (3) – согласное включение, (4) – встречное включение.

При изменении тока нагрузки напряжение генератора изменяется в разной степени при разных способах возбуждения. Для потребителя же необходимо постоянное напряжение. Регулировка напряжения осуществляется током возбуждения. Регулировочной характеристикой называется зависимость тока возбуждения от тока нагрузки при постоянном напряжении и постоянной частоте вращения  $I_b = f(I_a)$  при  $U_a = \text{const}$  и  $\omega = \text{const}$ .

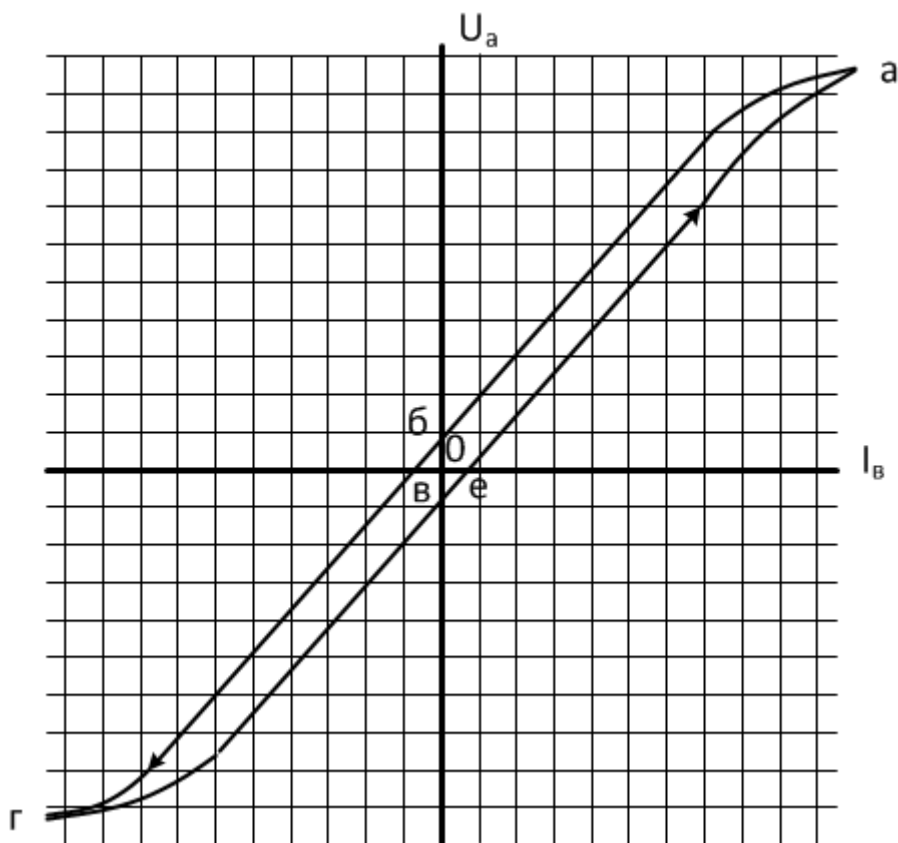


Рисунок 5.1 - Характеристика холостого хода генератора независимого возбуждения

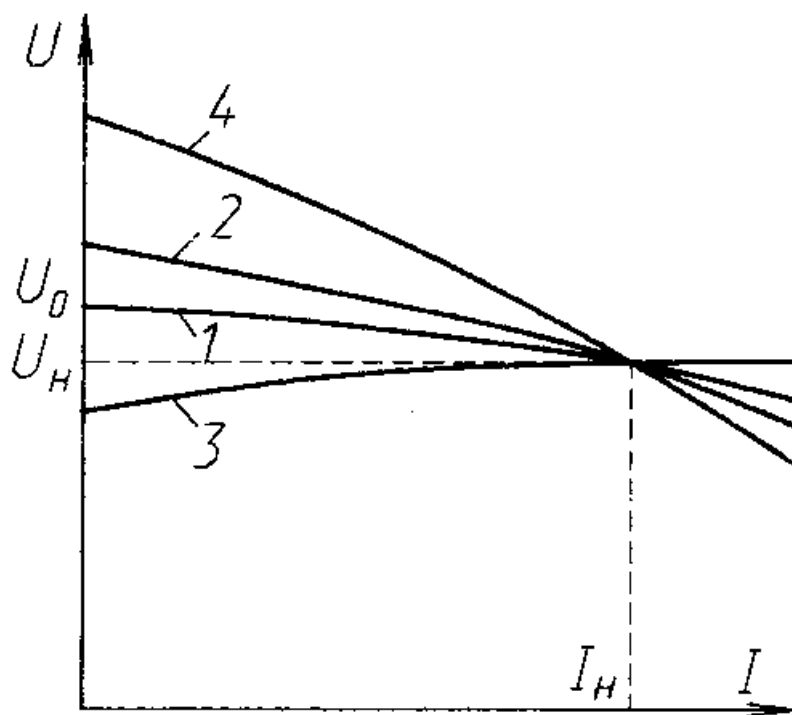


Рисунок 5.2 - Внешние характеристики генераторов постоянного тока

### Описание лабораторного стенда

Элементы схемы лабораторной установки показаны на рис. 5.3. Она содержит исследуемый генератор постоянного тока, приводимый во вращение асинхронным двигателем. В таблице 5.1 приведены паспортные данные машины постоянного тока.

Таблица 5.1 - Паспортные данные машины постоянного тока

Тип	$P_H$ кВт	$U_H$ В	$I_H$ А	$I_{вн}$ А	$R_a$ Ом	$R_{ш1-ш2}$ Ом	$n_H$ об/мин
ПЗ1М	2,0	230	11,2		0,96	360	2850

В качестве нагрузки, подключаемой к якорю машины постоянного тока посредством переключателей П1–П5, используются нагрузочные сопротивления. В состав установки входят: электроизмерительные приборы: амперметры и вольтметры, автотрансформатор ЛАТР и выпрямитель питания постоянным током обмотки возбуждения ГПТ, 3-х позиционный переключатель (S-0-R) для коммутации обмоток возбуждения..

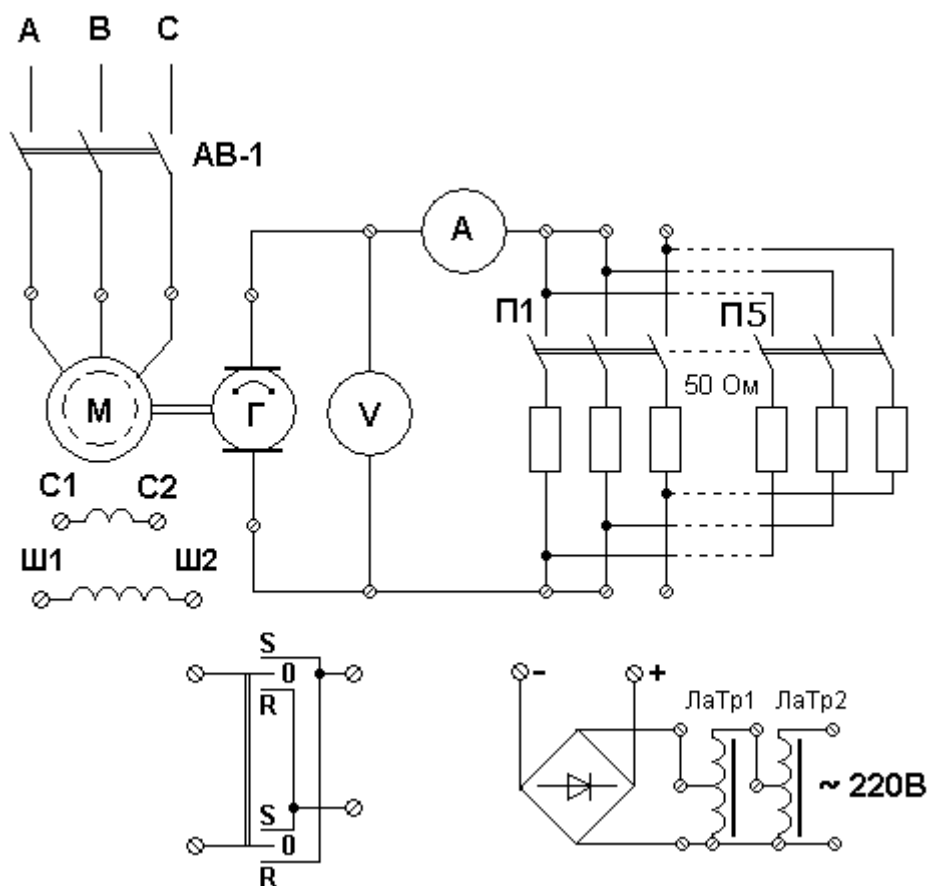


Рисунок 9.3 - Элементы схемы лабораторной установки

### План проведения лабораторного занятия

Работа включает две стадии: подготовительную (этап 1-2) и аудиторную (этап 3-7) для непосредственного ознакомления с устройством и особенностями эксплуатации лабораторной установки. Взаимодействие с лабораторной установкой при ознакомлении проводится при отключенном питании.

1. Ознакомиться с устройством и принципом действия экспериментальной установки на основе материалов лабораторной работы.
2. Изучить общие правила техники безопасности при проведении лабораторных работ, изложенные в данном учебно-методическом пособии.
3. Непосредственно в лаборатории прослушать вводный инструктаж, проводимый ответственным лицом из числа преподавателей или инженеров.
4. Ознакомиться с основными функциональными модулями лабораторной установки.
5. Ознакомиться с техническими данными оборудования и электроизмерительных приборов, записать сведения о лабораторном оборудовании и приборах.
6. Собрать схему, согласно заданию на лабораторную работу.

7. Провести экспериментальное исследование, согласно заданию на лабораторную работу.
8. Произвести обработку экспериментального материала и начать составление отчета с выводами по выполненной работе.

После выполнения каждого пункта экспериментального исследования необходимо убедиться в правильности снятых показаний и только после этого переходить к выполнению следующего пункта задания.

Обработка экспериментального материала и оформления отчета производится после выполнения всего объема лабораторной работы.

В выводах лабораторной работы следует указать на подтверждение данными эксперимента теоретических положений, а также причин расхождений. Дать анализ физических процессов и объяснения характера полученных зависимостей.

### Алгоритм выполнения лабораторной работы

1. На основе технических данных ГПТ подобрать необходимые измерительные приборы.
2. Согласно рис. 5.4 собрать схему установки.

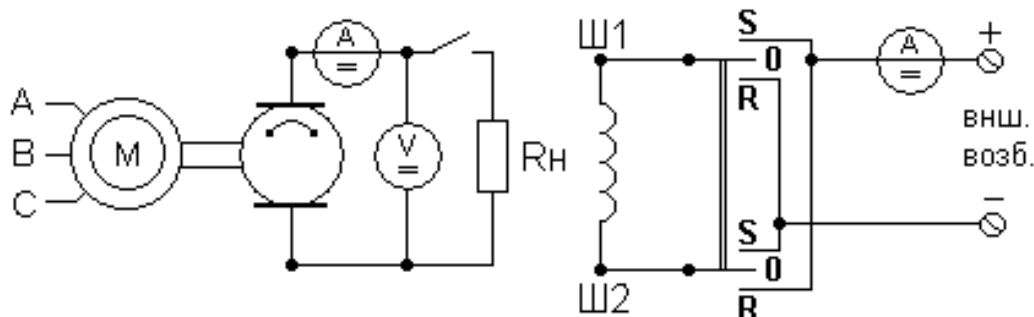


Рисунок 5.4 - Принципиальная схема для исследования ГПТ с независимого возбуждения

3. Снять характеристику холостого хода ГПТ с независимым возбуждением. Для этого посредством пускателя К1 включаем асинхронный двигатель, приводящий в действие ГПТ. Установить напряжение 220В ЛАТРом 2. Перевернуть 3х позиционный переключатель в положение «S». С помощью ЛАТРа 1 устанавливаем такой ток возбуждения, при котором  $U_a \approx (1,08-1,3) U_H$ .

Затем плавно снижать ток возбуждения (ЛАТР 1) до 0.25А, а ЛАТРом 2 снижать напряжение до нуля (переключатель устанавливается в положение «0»). Произвести реверсирование обмотки возбуждения (положение переключателя

«R») и плавно увеличивать ток возбуждения от нулевого значения до значения, при котором ЭДС станет равным  $(1,08-1,3)U_n$ . Результаты занести в табл. 5.2.

Таблица 5.2 - Характеристика хх

$I_B$	1,5	1,25	1,0	0,75	0,5	0,25	0,0		0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	Нс
$U_a$								0,0							Нс
Прямая и обратная ветви петли гистерезиса															
$I_B$	1,5	1,25	1,0	0,75	0,5	0,25		0,0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	Вс
$U_a$							0,0								Вс

4. Снять внешнюю характеристику ГПТ с независимым возбуждением. Для этого установить напряжение равное номинальному при  $I_a = 0$ . Подключать к якорю посредством переключателей П1–П5 ступени нагрузочного устройства  $R_n$  таким образом, чтобы ток якоря менялся от  $I_a = 0$  до  $I_a \approx I_n$ . Величину сопротивления обмотки возбуждения в течение опыта не изменять.

Результаты измерений занести в табл. 5.3.

Таблица 5.3 - Внешняя характеристика ГПТ с независимым возбуждением

$I_a$	0					
$U_a$	115					
$I_B$						

5. Снять регулировочную характеристику ГПТ с независимым возбуждением. Установить при  $I_a = 0$  напряжение ГПТ, равное  $(0,85 - 0,87) U_n$ , и, изменяя ток якоря от нулевого значения до значения, близкого к номинальному, поддерживать посредством изменения  $I_B$  неизменным напряжение ГПТ. Результаты занести в табл. 5.4

Таблица 5.4 - Регулировочная характеристика ГПТ с независимым возбуждением

$I_a$						
$I_B$						
$U_a$	98	98	98	98	98	98



6. Снять внешнюю характеристику ГПТ с параллельным возбуждением. Для этого собрать схему рис. 5.5.

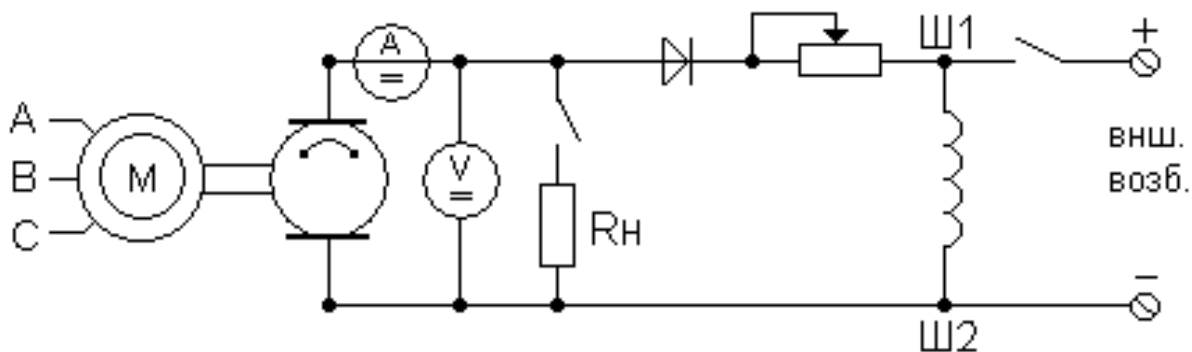


Рисунок 5.5 - Принципиальная схема для исследования ГПТ с параллельным возбуждением.

При отключенной нагрузке установить на зажимах генератора номинальное напряжение. Если процесса самовозбуждения ГПТ не происходит, необходимо отключить его от сети и поменять полярность обмотки возбуждения. Далее вновь подключить генератор к сети и,

изменяя сопротивление нагрузки, снять внешнюю характеристику. Во время опыта сопротивление в цепи обмотки возбуждения не изменять. Результаты измерений занести в табл. 5.5.

Таблица 5.5 - Внешняя характеристика ГПТ с параллельным возбуждением

$I_a$						
$U_a$						
$I_B$						

7. Снять внешние характеристики ГПТ со смешанным возбуждением. Для этого собрать схему рис.5.6. Эти характеристики следует снять при согласном и встречном включении параллельной и последовательной обмоток возбуждения ГПТ. Результаты измерений занести в табл.5.6

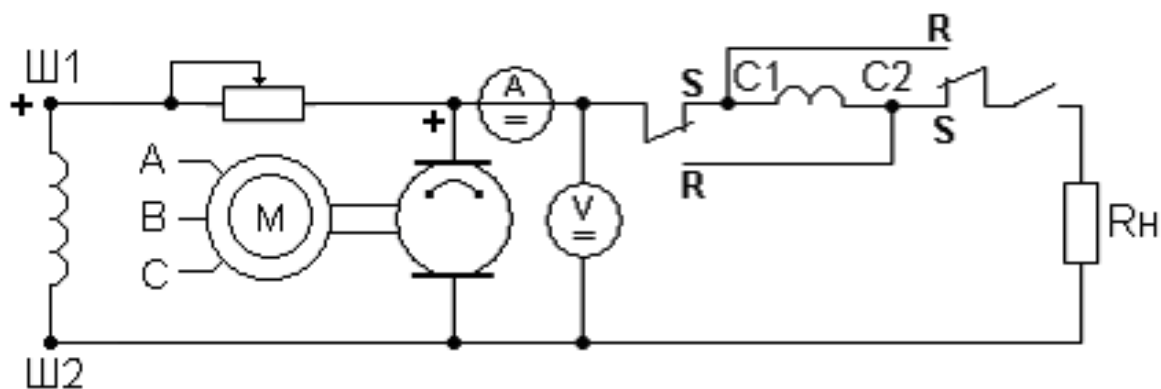


Рисунок 5.6 - Принципиальная схема для исследования ГПТ смешанного возбуждения.

Таблица 5.6 - Внешняя характеристика ГПТ со смешанным возбуждением.

<b>I<sub>a</sub></b>	0					
<b>U<sub>a</sub></b>	115					
Прямое и обратное подключение обмотки послед. возбуждения						
<b>I<sub>a</sub></b>	0					
<b>U<sub>a</sub></b>	115					

### Алгоритм обработки результатов измерений

1. По данным таблицы 5.2 построить X.X.X. ГПТ с независимым возбуждением.
2. Построить внешние характеристики ГПТ с независимым и параллельным возбуждением. По ним определить номинальное изменение напряжения ГПТ.
3. В одной системе координат построить внешние характеристики ГПТ с разным типом возбуждения.
4. Построить регулировочную характеристику ГПТ с независимым возбуждением.

### Общие указания по оформлению отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название лабораторной работы;
2. Цель лабораторной работы;
3. Принципиальные схемы лабораторной установки с указанием номинальных данных исследуемого электрооборудования, а также номиналы выбранных для выполнения работы электроизмерительных приборов;

4. Таблицы для занесения экспериментальных результатов;
5. Расчеты и графики, предусмотренные в пункте «Обработка результатов измерений»;
6. Выводы по выполненной работе.

Отчеты по лабораторным работам студенты представляют преподавателю в конце занятия и в особых случаях в срок по указанию преподавателя.

Зачет по лабораторной работе выставляется после представления отчета, его проверки и устранения замечаний. При проверке отчета преподаватель путем опроса устанавливает понимание студентом физических принципов и методики проведения лабораторной работы.

### **Контрольные вопросы**

1. Объяснить устройство генератора постоянного тока.
2. Объяснить назначение главных и дополнительных полюсов.
3. Какая из характеристик позволяет судить о насыщении магнитной цепи машины?
4. Объяснить термин «критическая скорость вращения»?
5. Почему внешняя характеристика ГПТ с параллельным возбуждением падает круче, чем у ГПТ с независимым возбуждением?
6. Объяснить влияние реакции якоря на внешнюю и регулировочную характеристики ГПТ.
7. Назовите условия, которые следует выполнить, чтобы осуществить процесс самовозбуждения ГПТ?
8. Что необходимо выполнить, если произошло размагничивание ГПТ?

## Рекомендуемая литература

1. Балаков, Ю. Н. Проектирование схем электроустановок : учеб. пособие / Ю. Н. Балаков, М. Ш. Мисриханов, А. В. Шунтов. - 3-е изд., стер. - Москва : МЭИ, 2009. - 287 с.
2. Вольдек, А.И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы : учеб. / А. И. Вольдек, В. В. Попов . - Санкт-Петербург [и др.] : Питер, 2008. - 319 с.
3. Сибикин, Ю.Д. Эксплуатация электрооборудования электростанций и подстанций [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Ю.Д. Сибикин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2017. - 448 с. (ЭБС «Университетская библиотека онлайн»).

**Форма отчета по лабораторной работе**

*Образец титульного листа*

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт морских технологий, энергетики и строительства  
Кафедра энергетики

**ОТЧЕТ О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

«Наименование лабораторной работы»

по дисциплине «Электрооборудование электростанций»  
направления подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Работу выполнил:  
студенты гр. ХХ-ТЭ  
Иванов И.И.

Калининград  
202Х

## Приложение Б

Отчет оформляется в электронном виде в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95. На все рисунки и таблицы должны быть ссылки в тексте, например, «(рисунок 1)», «приведены в таблице 2». Подписи таблиц и рисунков выполняются по форме «Таблица 1 – Название» (над таблицей, выравнивание по левому краю без отступа), «Рисунок 1 – Название» (под рисунком, выравнивание по середине без отступа). При подготовке рисунков и схем рекомендуется использовать редактор MS Visio. Построение диаграмм (графиков) рекомендуется выполнять посредством MS Excel, Mathcad или аналогичных программ.

Общие требования к оформлению документа:

- Шрифт Times New Roman, размер 12.
- Выравнивание текста по ширине
- Межстрочный интервал – 1,15
- Отступ первой строки абзаца – 1,25 см
- Выравнивание рисунков – по центру без отступа
- Выравнивание таблиц – по ширине окна, без отступа
- Внедрение формул через редактор формул

Локальный электронный методический материал

Дарья Константиновна Кугучева

## ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Редактор И. Голубева*

Локальное электронное издание  
Уч.-изд. л. 3,6. Печ. л. 3,4

Издательство федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
236022, Калининград, Советский проспект, 1