

**ЧАСТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГАЗПРОМ ТЕХНИКУМ НОВЫЙ УРЕНГОЙ»**

---

УТВЕРЖДЕНЫ  
Учебно-методическим советом  
ЧПОУ «Газпром техникум  
Новый Уренгой»  
Протокол № 5 от «28» августа 2023 г.

Направление: ОБЩЕОТРАСЛЕВОЕ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
по выполнению лабораторных работ  
на натурном средстве обучения  
«Комплектная трансформаторная подстанция 10/0,4 кВ»  
Учебного полигона ЧПОУ «Газпром техникум Новый Уренгой»  
по теме «Выполнение работ по техническому обслуживанию силового  
трансформатора 10/0,4 кВ »**

Специальность: 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация  
электрооборудования промышленных и гражданских зданий

Квалификация: техник

Новый Уренгой 2023

## АННОТАЦИЯ

---

Методические указания для выполнения лабораторных работ разработаны в соответствии с требованиями рабочих программ профессиональных модулей на основе ФГОС СПО по специальности 08.02.09 «Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий», и с учетом профессиональных стандартов:

– «Специалист по эксплуатации трансформаторных подстанций и распределительных пунктов» (утвержден приказом Минтруда России от 17.04.2014 № 266н, регистрационный номер 97);

– «Специалист по эксплуатации воздушных и кабельных муниципальных линий электропередачи» (утвержден приказом Минтруда России 08.09.2014 г. № 620н, регистрационный номер 167);

– «Машинист двигателя внутреннего сгорания в атомной энергетике» утвержден приказом Минтруда России от 07.04.2014 № 199н, регистрационный номер 54);

– «Слесарь-электрик» (утвержден приказом Минтруда России от 28.09.2020 № 660н; регистрационный номер 185).

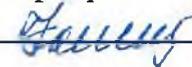
Содержат требования по подготовке, выполнению и защите результатов лабораторных работ.

Методические указания по выполнению лабораторных работ адресованы студентам очной и заочной форм обучения.

### Сведения о документе:

1 РАЗРАБОТАНЫ  
2 УТВЕРЖДЕНЫ И  
ВВЕДЕНЫ В ДЕЙСТВИЕ

ЧПОУ «Газпром техникум Новый Уренгой»  
на заседании кафедры электротехнических  
специальностей и рекомендованы к применению  
Протокол № 5 от «26» января 2023 г.

Заведующий кафедрой электротехнических  
специальностей  Е.Г. Константинова  
5 лет

3 СРОК ДЕЙСТВИЯ

«01» сентября 2023 года

4 ВВЕДЕНЫ ВПЕРВЫЕ

© Разработка ЧПОУ «Газпром техникум Новый»

Распространение настоящего документа осуществляется в соответствии с действующим законодательством и соблюдением правил, установленных ПАО «Газпром».

**Список исполнителей:**

заведующий кафедрой электротехнических  
специальностей

Е.Г. Константинова

преподаватель профессионального цикла

И.И. Кравец

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
Критерии оценивания защиты лабораторных работ .....	7
1 Охрана труда при проведении работ .....	8
2 Краткие теоретические сведения по лабораторным работам .....	9
Лабораторная работа № 1 «Проверка сопротивления изоляции и измерение потерь мощности и тока холостого хода силовых трансформаторов» .....	15
Лабораторная работа № 2 «Техническое обслуживание силового трансформатора ТСЗ-250/10/0,4» .....	19
Лабораторная работа № 3 «Определение группы соединения трехфазных силовых трансформаторов» .....	27
Список использованных источников .....	39

## Введение

Трансформаторы являются важным элементом для обеспечения безопасного преобразования энергии и успешной доставки энергии конечным потребителям.

Трансформатор действует как мост между генератором энергии и первичной распределительной сетью. В зависимости от номинальной мощности и технических характеристик силовые трансформаторы могут быть далее классифицированы на три категории: Малые силовые трансформаторы, средние силовые трансформаторы и большие силовые трансформаторы. Номинальная мощность может быть более 25 кВА до 400 -1000 кВА или в некоторых случаях может быть равна или больше 10000 кВА .

На Полигоне ЧПОУ «Газпром техникум Новый Уренгой» размещен силовой трансформатор ТСЗ-250-10/0,4 с целью дать возможность студентам сформировать компетенции по проведению работ по ремонту и эксплуатации силовых трансформаторов при выполнении лабораторных работ, выполняемых в форме практической подготовки.

Представленный сборник методических указаний представляет собой руководство по выполнению лабораторных работ и создан в помощь для работы на занятиях и подготовки к лабораторным работам, правильного составления отчетов.

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие инструктаж по охране труда. Приступая к выполнению лабораторной работы, необходимо внимательно прочитать цель занятия, ознакомиться с краткими теоретическими и учебно-методическими материалами по теме лабораторной работы, подготовить таблицы для занесения измеряемых величин. Перед сборкой электрической схемы Вы должны определить все элементы, входящие в ее состав.

При сборке схемы исследуемой цепи, помимо соблюдения правил безопасности, необходимо придерживаться следующих общих принципов:

- в первую очередь необходимо выполнить соединения элементов цепи, по которым замыкается путь тока, так называемую главную или «токовую» цепь, т.е последовательное соединение начиная от зажимов источника, а затем присоединить элементы параллельного включения. Это позволит Вам сознательно подойти к оценке назначения каждого элемента электрической цепи.
- при включении приборов магнитоэлектрической системы необходимо соблюдать «полярность» зажимов прибора.

– расположение элементов должно соответствовать схеме, по возможности «незапутанным», удобным для работы. По возможности избегать перекрещивания проводов и на один зажим присоединять их не более трех, иначе крепление не будет надежным.

– при сборке схемы и во время выполнения работы необходимо следить за надежностью контактов в местах соединений и исправном состоянии цепи в целом. Несоблюдение этих условий может исказить результаты измерений или привести к порче приборов.

– до проверки схемы преподавателем Вы должны проверить схемы сами. При этом, если сборку схемы выполнил один член бригады, то проверить ее должен другой. Включать лабораторный стенд можно только с разрешения преподавателя.

– во время выполнения экспериментов между членами бригады должны быть распределены обязанности по снятию и записи показаний измерительных приборов.

После завершения работы, не разбирая схемы, Вы должны проанализировать полученные результаты и предъявить их преподавателю в черновом протоколе. Преподаватель Вам даст указание либо повторить опыты (в случае неправильного выполнения работы), либо закончить работу. По окончании работы лабораторный стенд должен быть обесточен, электрическая цепь разобрана, провода, элементы, приборы убраны. Затем каждый из Вас самостоятельно должен обработать результаты опытов и оформить отчет по лабораторной работе на формате А4. Электрические схемы должны быть выполнены в соответствии с правилами и нормами ЕСКД, а графики и векторные диаграммы в масштабе.

Лабораторная работа принимается преподавателем, если отчет соответствует предъявленным требованиям, даны ответы на теоретические вопросы, приведенные в каждой методичке по выполнению лабораторной работы.

Наличие положительной оценки по лабораторным работам необходимо для получения допуска к экзамену, поэтому в случае отсутствия на занятии по любой причине или получения неудовлетворительной оценки за лабораторную работу, Вы должны найти время для ее выполнения или пересдачи.

Внимание! Если в процессе подготовки к лабораторным работам у Вас возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения разъяснений или указаний в день проведения консультации.

Желаем успехов!!!

## Критерии оценивания защиты лабораторных работ

Оценка	Критерии
«Отлично»	Студент обладает системными теоретическими знаниями (знает методику выполнения практических навыков), без ошибок самостоятельно демонстрирует практические умения. При необходимости умело пользуется справочным материалом. Обучающийся отвечает на вопросы, грамотно и логически излагает ответ. Правильно обосновывает принятые решения, владеет разносторонними навыками и приемами решения практических задач.
«Хорошо»	Студент обладает теоретическими знаниями, самостоятельно демонстрирует практические умения, допуская некоторые неточности (малосущественные ошибки), которые самостоятельно обнаруживает и быстро исправляет. Студент не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач.
«Удовлетворительно»	Студент обладает удовлетворительными теоретическими знаниями (знает основные положения методики выполнения практических навыков), демонстрирует практические умения, допуская некоторые ошибки, которые может исправить при коррекции их преподавателем. Студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения последовательности в изложении теоретического материала и испытывает трудности в выполнении практических заданий.
«Неудовлетворительно»	Студент не обладает достаточным уровнем теоретических знаний (не знает методики выполнения практических навыков) и/или не может самостоятельно продемонстрировать практические умения или выполняет их, допуская грубые ошибки.

## **1 Охрана труда при проведении работ**

### **1. Перед началом выполнения лабораторной работы студент обязан:**

1.1 Внимательно изучить описание лабораторной работы.

1.2 Проверить наличие надежного соединения корпуса стенда с заземляющим устройством.

1.3 Убедиться, что стенд обесточен: все выключатели, автоматы, рубильники находятся в положении «выключено».

1.4 Подготовить схемы экспериментов группой из трех человек. Обратит особое внимание на исправность изоляции соединительных проводов.

1.5 Приступать к выполнению работы только с разрешения преподавателя.

### **2. Во время выполнения лабораторной работы студент обязан:**

2.1 Выполнить сборку схемы на отключенном стенде.

2.2 Предъявить схему для проверки преподавателю.

2.3 Все переключения в схеме производить только при обесточенном стенде; после пересоединения схему вновь представить на проверку преподавателю.

2.4 При возникновении в схеме каких-либо неисправностей быстро отключить ее от сети и оповестить преподавателя.

2.5 **Категорически запрещается** касаться руками клемм, открытых токоведущих частей приборов в схеме, находящихся под напряжением, а также самостоятельно устранять неисправности оборудования.

### **3. После выполнения лабораторной работы студент обязан:**

3.1 Обесточить стенд, представить результаты опытных данных преподавателю, разобрать схему.

3.2 Убрать соединительные провода и все дополнительные приборы в указанное преподавателем место.

3.3 Сдать рабочее место лаборанту/преподавателю.

## **2 Краткие теоретические сведения по лабораторным работам**

Силовые трансформаторы имеют широкое практическое применение. Эти электромагнитные устройства используют, если нужно изменить напряжение на стороне нагрузки.

### **Принцип работы трансформатора**

Работа силового трансформатора происходит благодаря электромагнитной индукции. При подаче тока на первичную обмотку образуется магнитное сцепление между обмотками, вызывая индуцирование электродвижущей силы на вторичной обмотке. Это способствует появлению переменного магнитного потока в магнитопроводе.

При этом для получения напряжения на вторичной обмотке значение имеет соотношение витков между обмотками силового трансформатора. Это соотношение определяется тем, какую задачу должен решить трансформатор: повысить или понизить напряжение.

### **Конструкция силового трансформатора**

Ключевой узел каждого устройства – магнитопровод (сердечник) с двумя и более обмотками. Его изготавливают из стали с высокой магнитной проницаемостью. Он обладает способностью быстро намагничиваться даже в слабых магнитных полях и быстро размагничиваться при отсутствии магнитного поля. Сердечник изготавливают из тонких листов металла таким образом, чтобы стержни были вписаны в окружность.

Обмотки силового трансформатора производят из меди или алюминия. Каждый виток в обмотке изолирован от магнитопровода и других витков обмотки. Между основными элементами так называемой активной части трансформаторов, а именно обмотками, магнитопроводом и другими конструктивными элементами, специально оставляют пространство, чтобы воздух или охлаждающая жидкость (масло) могли циркулировать и тем самым отводить тепло от обмоток и магнитопровода. Электрический ток подается на первичную обмотку, а после его преобразования в трансформаторе с вторичной обмотки снимается вторичный ток, отличающийся от первичного на коэффициент трансформации, который зависит от соотношения количества витков в первичной и вторичной обмотках (рис. 1).

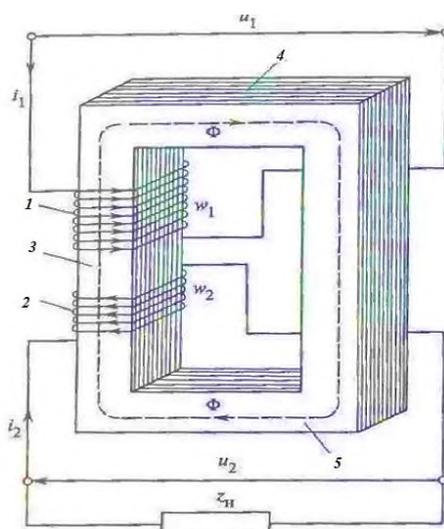


Рисунок 1 – Устройство силового трансформатора: 1 – первичная обмотка с числом витков  $w_1$ ; 2 – вторичная обмотка с числом витков  $w_2$ ; 3 – стержень магнитопровода; 4, 5 – ярмо магнитопровода

### Основные элементы конструкции силовых трансформаторов

1. Для электрического присоединения обмоток высокого (ВН), среднего (СН) или низкого (НН) напряжения к соответствующим устройствам электрической сети (генераторам, двигателям, линиям электропередач и так далее) на трансформаторах устанавливаются вводы различного типа и конструктивного исполнения. Так, например, вводы на стороне ВН имеют высокое номинальное напряжение, а вводы на стороне НН рассчитаны на высокие номинальные токи, что непосредственно влияет на их конструкцию и размеры.

2. Для регулирования напряжения и, соответственно, тока на первичной и вторичной обмотках трансформатора путем изменения коэффициента трансформации за счет электрического соединения различного количества витков обмоток применяются два типа переключателей. Один из них производит переключение, т.е. регулирование, под нагрузкой (РПН), а другой производит переключение без нагрузки и без напряжения (ПБВ), что означает переключение без возбуждения. Оба типа переключателей, как правило, устанавливаются в обмотках ВН, так как они имеют меньшие значения номинального тока, что особенно важно для РПН из-за необходимости гашения возникающей при переключении дуги меньшей энергии, чем если бы это было на стороне НН.

3. На масляных трансформаторах большой мощности устанавливается система охлаждения. Масляное охлаждение бывает:

- естественное;
- естественное с дутьем;

- принудительное – с направленным движением масла;
- принудительное с дутьем;
- принудительное масляно-водяное.

### Дополнительное оборудование

Дополнительное навесное оборудование совершенствует работу силовых трансформаторов (рисунок 2). К нему относятся:

1) защита, отключающая трансформатор или подающая оповещающие сигналы, – газовое реле. Принцип действия газового реле для защиты трансформатора основан на контроле давления газа. Реле врезают в маслопровод трансформатора между баком и расширителем. В случае резкого повышения температуры, которое может возникнуть, например, из-за электрического разряда внутри бака трансформатора, начинает разлагаться масло, отчего внутри трансформатора образуется газ. Разогретые газы стремятся попасть в расширитель устройства, проходя через корпус реле;

2) система защиты от повышения давления охладителя, которая работает автоматически;

3) индикаторы температуры – измеряют температуру масла в маслonaполненном оборудовании;

4) прибор, измеряющий уровень масла;

5) система фильтрации и сушки масла;

6) влагопоглотители конденсата, образующегося под крышкой трансформатора, препятствуют его попаданию в масло.



Рисунок 2 – Дополнительные функции управления, мониторинга и диагностики трансформаторов, применяемые в производстве силовых трансформаторов «Группы СВЭЛ»

## Типы и виды силовых трансформаторов

Какие бывают силовые трансформаторы? Силовые трансформаторы можно разделить по различным основаниям.

*По количеству фаз выделяют* однофазные и трехфазные трансформаторы. Трехфазные используют на подстанциях, они более распространены.

*По числу обмоток –* двухобмоточные и трехобмоточные трансформаторы.

*По задаче или назначению трансформаторы* бывают повышающие или понижающие напряжение.

*По месту установки –* устанавливаемые внутри помещений и устанавливаемые снаружи помещений (рисунок 3).



Рисунок 3 – Трансформатор, установленный на Курской АЭС

*По преобразуемому параметру* электрического напряжения выделяют силовой трансформатор тока и силовой трансформатор напряжения.

Силовые трансформаторы тока преобразуют силу тока без изменения его мощности.

Силовые трансформаторы напряжения помогают получить нужное напряжение от источника переменного тока, например, промышленной сети.

По виду диэлектрика выделяют сухие силовые трансформаторы (с литой или воздушно-барьерной изоляцией) и силовые маслонаполненные трансформаторы.

Сухие силовые трансформаторы с литой изоляцией (рисунок 4) имеют ряд преимуществ:

- компактный размер;

- широкий диапазон допустимых температур (до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- повышенная пожарная и экологическая безопасность;
- пониженный уровень шума;
- простота монтажа; устойчивость обмоток к увлажнению и загрязнению.

#### Вводы НН

Нейтраль НН  
(для схемы соединения в звезду)  
Фаза

Подъемные пластины  
трансформатора

Катки  
для перемещения  
трансформатора

по желанию заказчика  
возможна комплектация  
виброгасителями

Прессующие  
прокладки

Обеспечивают надёжную  
фиксацию обмоток а также  
снижают влияние вибраций

Отверстие  
для продольного  
перемещения

Обмотки  
низкого напряжения

Магнитопровод

Табличка  
технических  
данных

Блок контроля температуры

Вводы ВН

медные луженые контактные  
площади позволяют монтировать  
как медные, так и алюминиевые  
кабельные наконечники и шины

Переключения  
ответвлений обмоток  
ПБВ  $\pm 2 \times 2,5\%$

Верхние и нижние  
ярмовые балки

оцинкованные и имеют  
усиленную конструкцию,  
позволяющую обеспечить  
равномерную прессовку  
магнитопровода

Шины  
для сборки схемы

для соединения обмоток  
в треугольник или звезду

Стяжные шпильки

для равномерной и надёжной  
прессовки магнитопровода

Обмотки  
высокого напряжения

Кожух трансформатора

#### Рисунок 4 – Основные элементы конструкции сухих трансформаторов

Трансформатор силовой масляный имеет широкий спектр применения в промышленности. По конструкции он представляет собой корпус (бак) с погруженными в него сердечником и обмотками и заполненный трансформаторным маслом.

## Лабораторная работа № 1

### «Проверка сопротивления изоляции и измерение потерь мощности и тока холостого хода силовых трансформаторов»

*Цель:* научиться оценивать состояние изоляции обмоток силовых трансформаторов, измерять  $I_0$ ,  $P_0$ .

*Перечень оборудования:*

- лабораторный стенд;
- электроизмерительные приборы: вольтметры PV, амперметры PA, ваттметры PW;
- соединительные провода;
- трехфазный трансформатор ТСЗИ 1,6У2, УХЛ2;
- мегаомметр ЭС0202/2-Г.

*Краткие теоретические сведения по содержанию лабораторной работы:*

Силовые трансформаторы проверяют и испытывают в соответствии с требованиями ПТЭЭП, нормами испытаний электрооборудования и заводских инструкций. Измерение характеристик изоляции проводят при температуре изоляции не ниже  $10^{\circ}\text{C}$ . Измерение всех характеристик изоляции производится по схемам таблицы 4 мегаомметром.

Таблица 4 – Схемы измерения характеристик изоляции трансформатора

Измеряемые обмотки	Заземляемые части
НН	Корпус, ВН
НН	Корпус, НН
ВН+НН	Корпус

Проводятся замеры сопротивления изоляции  $R_{15}$  и  $R_{60}$ , по этим результатам определяется  $K_{абс}$ .  $K_{абс}$  для трансформаторов до 10 мВА и напряжением до 35 кВ должен быть не ниже 1.3.

Измерение ёмкости изоляции и  $\text{tg } \delta$  изоляции производят мостом переменного тока по перевёрнутой схеме.

Измерение отклонений  $C_2/C_{50}$  и  $\Delta C/C$  производится с помощью приборов ЕВ-3 или ПКВ 7.

Измерения потерь и тока холостого хода проводят по схеме (рисунок 2)

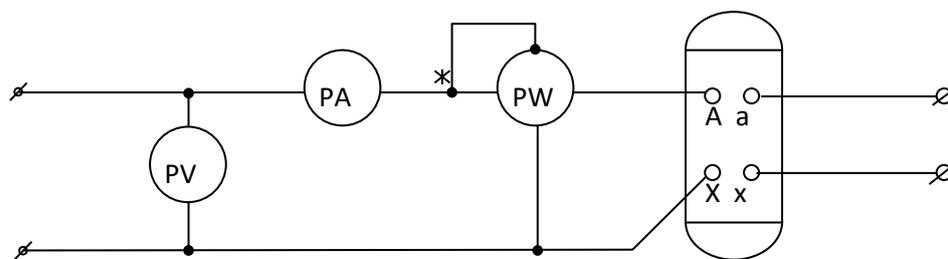


Рисунок 2 – Схема измерения тока и потерь холостого хода

Определяют  $P_0$ ,  $i_0 = (I_0 / I_{ном}) * 100\%$ . Отличие полученных значений от заводских значений должно быть не более 10%.

*Порядок выполнения работы:*

1. Ознакомиться с краткими теоретическими сведениями.
2. Записать технические данные прибор в таблицу 1

Таблица 1 – Технические данные приборов

Наименование прибора	Тип	Предел измерения	Класс точности	Заводской №

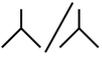
3. Провести измерения сопротивления изоляции обмоток мегаомметром, предварительно соединив обмотки трансформатора . Испытательное напряжение мегаомметра выбрать в соответствии с «Нормами испытаний электрооборудования». Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Сопротивление изоляции обмоток

Схема измерения	$R_{15}$	$R_{60}$	$K_{абс}$
НН – корпус, ВН			
ВН – корпус, НН			
ВН+НН – корпус.			

4. Собрать схему представленную на рисунке 1 и представить её на проверку.

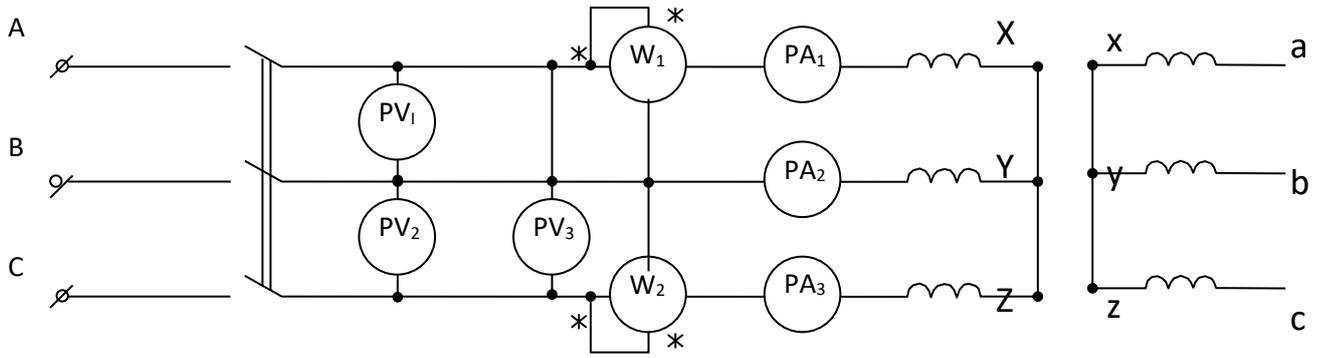


Рисунок 1 – Схема измерения  $i_0$  и  $P_0$  трансформатора

5. Произвести измерения и результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3 – Данные измерений и расчетов

Измеренные данные						Расчетные данные					
$U_{AB}$ В	$U_{BC}$ В	$U_{CA}$ В	$I_A$ А	$I_B$ А	$I_C$ А	Показания ваттметров		$P_0$ Вт	$U_{лин}$ В	$I_0$ А	$i_0$ %
						$P_{01}$ , Вт	$P_{02}$ , Вт				

6. Выполнить расчет и данные занести в таблицу 2.

Рассчитать приведенный ток потерь при холостом ходе по формулу (1)

$$I_0 = \frac{I_0 + I_B + I_C}{3}, \text{ А} \quad (1)$$

Рассчитать среднее значение линейного напряжения по формулу (2)

$$U_{лин} = \frac{U_{AB} + U_{BC} + U_{CA}}{3}, \text{ В} \quad (2)$$

Рассчитать ток холостого хода при  $U_{1ном}$  по формуле (3)

$$i_0 = \frac{I_0}{I_{ном}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где –  $I_{ном}$  паспортные данные

Произвести расчет мощности холостого хода (4)

$$P_0 = P_{01} + P_{02}, \text{ Вт} \quad (4)$$

*Содержание отчета:*

1. Номер лабораторной работы, ее название.
2. Учебная цель.
3. Таблица приборов.
4. Схемы экспериментов.
5. Данные измерений и расчетов.
6. Вывод о состоянии изоляции по результатам проведённых измерений.

*Контрольные вопросы:*

1. Что такое коэффициент абсорбции и что он характеризует?
2. Что характеризуют отношения  $C_2/C_{50}$  и  $\Delta C/C$ ?
3. От чего зависит  $\text{tg}\delta$ , как он характеризует состояние изоляции?
4. Какие измерения проводятся для полной оценки состояния изоляции силового трансформатора?
5. Как производится испытание трансформатора на маслоплотность?
6. При каком испытании определяется коэффициент трансформации трансформатора?
7. Что такое напряжение короткого замыкания трансформатора и как оно определяется?
8. Какие данные считаются паспортными данными трансформатора?
9. Перечислите условия параллельной работы трансформаторов.

## Лабораторная работа № 2 «Техническое обслуживание силового трансформатора ТСЗ-250/10/0,4»

*Цель:* получить практические навыки по техническому обслуживанию силовых трансформаторов

*Перечень оборудования:*

- Трансформатор ТСЗ-250/10/0,4;
- Мост постоянного тока;
- Мультиметр;
- Соединительные провода;
- Мегаомметр.

*Краткие теоретические сведения по содержанию лабораторной работы:*

При эксплуатации силовых трансформаторов периодически выполняется техническое обслуживание. Для силовых трансформаторов оно заключается в измерении сопротивления изоляции и измерении сопротивления обмоток постоянному току.

Сопротивление изоляции измеряется в соответствии с «Нормами испытаний электрооборудования»

Сопротивление обмоток трансформаторов постоянному току в процессе эксплуатации измеряется для выявления неисправностей и дефектов в обмоточных проводах, в паяных соединениях обмоток, в контактных соединениях отводов, переключающих устройств.

Рекомендуются два метода измерения сопротивления постоянному току: метод падения напряжения и мостовой метод.

У обмоток трансформаторов, имеющих нулевой вывод, измеряются фазные сопротивления, а у обмоток, не имеющих нулевого вывода, - линейные сопротивления. При измерении сопротивления одной обмотки другие обмотки трансформатора должны быть разомкнуты.

Мостовой метод определения сопротивления рекомендуется выполнять мостом постоянного тока, позволяющего производить измерения на месте установки трансформатора.

Мосты постоянного тока предназначены для измерения малых и средних сопротивлений. Они являются приборами сравнения, в которых в процессе каждого измерения происходит сравнение измеряемого сопротивления с мерой.

В качестве меры используются эталонные резисторы, образующие плечи моста.

В мостах постоянного тока используется нулевой метод сравнения с мерой. Одна диагональ моста подключается к источнику питания, а другая диагональ – к индикатору равновесия моста (нуль-индикатору), который обнаруживает равенство потенциалов в этом диагонали.

По конструкции мосты делят на: одинарные (четырёхплечие) и двойные (шестиплечие). Как правило, индикатором равновесия в них служат гальванометры постоянного тока (стрелочные или зеркальные с оптическим указателем).

Главное достоинство мостов постоянного тока для измерения сопротивлений – высокая точность (в ряде приборов погрешность достигает не более 0,001 %). Это объясняется применением метода сравнения в процессе измерения, точностью мер эталонных резисторов и высокой чувствительностью гальванометра. К недостаткам мостов постоянного тока следует отнести: сложность конструкции, высокую стоимость, большое время измерения.

Мосты постоянного тока применяются как образцовое средство для измерения сопротивлений.

Одинарный мост постоянного тока (рисунок 1) имеет 4 плеча,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$ , диагональ питания ПП' и измерительную диагональ ГГ'.

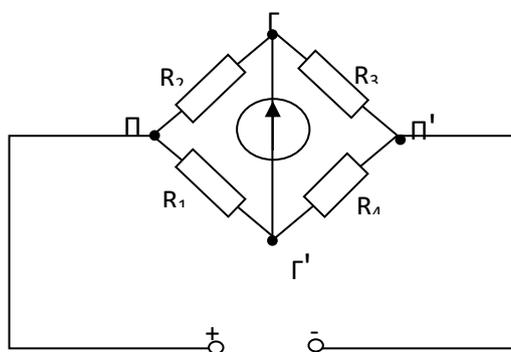


Рисунок 1 - Упрощенная схема моста

Мостовая цепь может работать в двух режимах: уравновешенном и не уравновешенном.

Режим равновесия характеризуется отсутствием тока в измерительной диагонали. Условием равновесия моста является условие:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

Если сопротивление одного из плеч моста неизвестно  $R1 = R_x$ , то его значение можно вычислить по формуле

$$R1 = R_x = R2 \frac{R4}{R3}$$

Принято называть  $R3$  и  $R4$  плечами отношения, а  $R2$  – плечом сравнения.

Плечо сравнения выполняется в виде магазина резисторов с пятью переключателями, при помощи которых можно выставить любое сопротивление от 1 до 999,9 Ом ступенями через 1 Ом.

Плечо отношений  $N$  образуется из последовательно включенных резисторов  $R3$  и  $R4$  с переключателем, имеющим несколько фиксированных положений. Каждым из положений переключателя устанавливается определенное отношение плеч. (1000, 100, 10, 1 и т.д.)

Индикатором равновесия служит гальванометр магнитоэлектрической системы, встроенный в панель моста и включаемый при измерениях кнопками ГРУБО и ТОЧНО.

Сопротивления в пределах от  $5 \cdot 10^{-4}$  до 100 Ом для измерений включают по четырехзажимной схеме (рисунок 2)

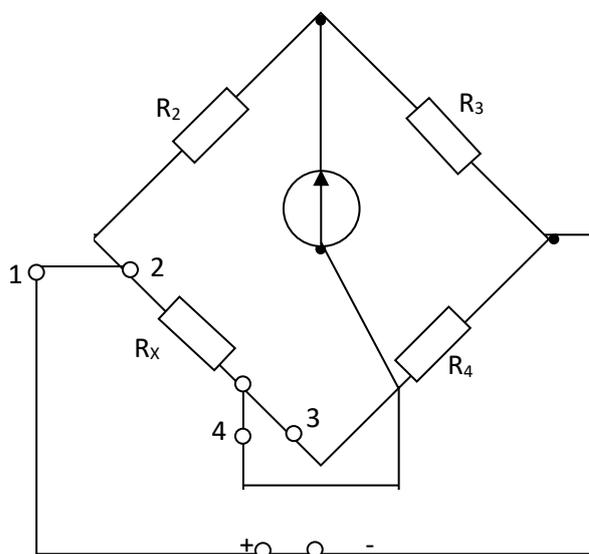


Рисунок 2 –Четырехзажимное соединение измеряемого сопротивления

**Прибор комбинированный Р4833** предназначен для измерения сопротивлений, постоянных э.д.с. и напряжений и поверки приборов.

Принцип действия и конструкция.

Универсальный измерительный прибор Р 4833 является многофункциональным, благодаря объединению в одном корпусе:

Потенциометра – измерение ЭДС и напряжения постоянного тока (например, контроль работы термопар);

Источников регулируемого напряжения – с диапазоном от -5 до 100 мВ (поверка пирометрических милливольтметров) и с диапазоном 0,5 ... 5 В (поверка логометров, подгонка сопротивления линий);

Магазина сопротивлений – набор на пяти декадных переключателях сопротивлений до 1111,1 Ом с шагом 0,01 Ом (проверка приборов, подключаемых к термометрам сопротивления);

Моста постоянного тока – измерение сопротивления двух- и четырехпроводной линий подключения с параметрами от 10<sup>2</sup> до 10<sup>6</sup> Ом и от 10<sup>-4</sup> до 10<sup>2</sup> Ом соответственно.

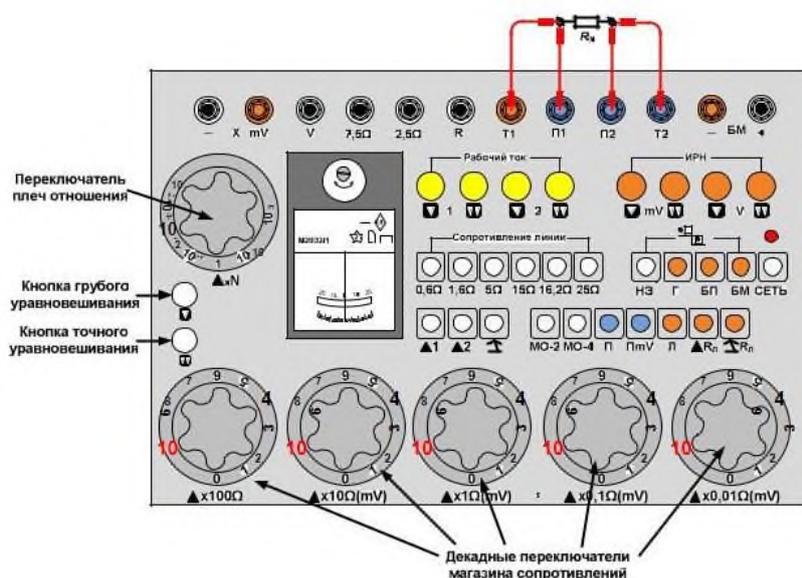
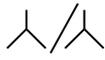


Рисунок 3 - Панель прибора комбинированного универсального Р4833

### Порядок выполнения работы:

1. Провести измерения сопротивления изоляции обмоток мегаомметром, предварительно соединив обмотки трансформатора . Подключить соединительные провода согласно рисунку 4 и вращая рукоятку прибора со скоростью около 120 оборотов в минуту снять показания по истечению 15 секунд, а затем при достижении 60 секунд. Рассчитать коэффициентом абсорбции  $K_{\text{абс}}$ .

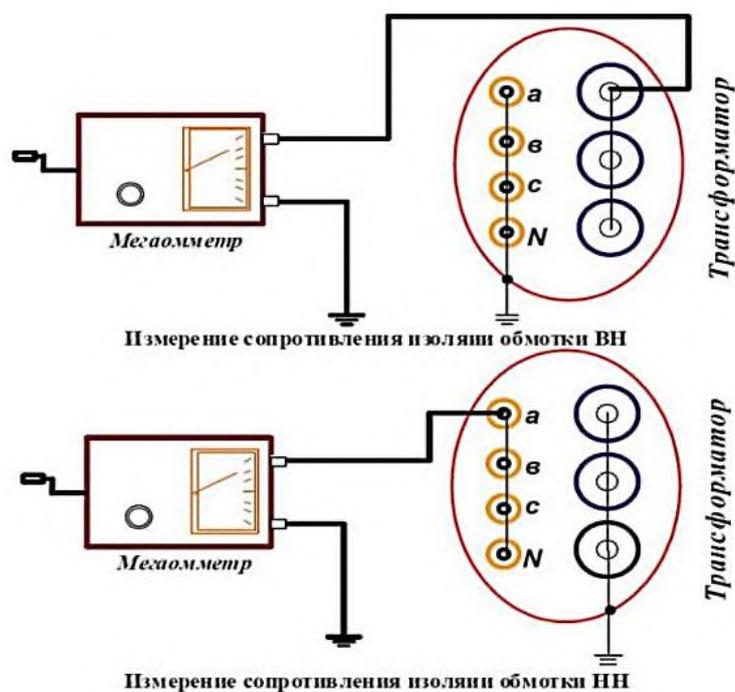


Рисунок 4 – Схема подключения мегаомметра

Испытательное напряжение мегаомметра выбрать в соответствии с «Нормами испытаний электрооборудования». Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1 – Сопротивление изоляции обмоток

Схема измерения	$R_{15}$	$R_{60}$	$K_{abc}$
НН – корпус, ВН			
ВН – корпус, НН			
ВН+НН – корпус.			

2. Ознакомьтесь с конструкцией измерительного моста постоянного тока. Основные технические данные моста запишите в таблицу 2.

Таблица 2 -Технические данные приборов

Наименование прибора	Тип	Предел измерения	Класс точности	Зав. №
Мост постоянного тока				

3. Подготовьте измерительный прибор для измерения сопротивлений.

4. Нажать кнопки «Г», «БМ» при использовании встроенного гальванометра и батареи моста. При использовании внешнего гальванометра и

батареи моста подключить их к зажимам «Г», «БМ» и отжать кнопки «Г», «БМ». При использовании питания от сети включить шнур питания в сеть и нажать кнопку СЕТЬ.

5. Нажать кнопки «МО-4» и « $\Sigma$ ».

6. Установить выбранный множитель  $N$  на переключателе плеч отношения « $xN$ ». Переключатель род работы установить в положение мост 2з (двухзажимный).

7. Измеряемое сопротивление обмотки  $a-x$  низкого напряжения (НН) силового трансформатора (порядка сотни Ом) подключите проводниками к зажимам моста «П1», «Т1», «П2», «Т2» рисунок 3.

8. Измерьте неизвестное сопротивление  $R_{ax}$ . В магазине резисторов сравнительного плеча  $R_0$  установите приблизительно ожидаемую величину сопротивления и кратковременно нажать кнопку грубо, включающую в цепь гальванометр. Если при этом наблюдается резкий отброс стрелки гальванометра, значит неудачно выбран множитель  $N$ .

9. Необходимо более точно выбрать его значение поворотом ручки переключателем  $N$  так, чтобы отклонение стрелки гальванометра при нажатии кнопки не превышало 2-4 делений шкалы. После этого зафиксируйте кнопку поворотом вокруг оси. Потом нажав кнопку ТОЧНО и окончательно уравновесив мост, определить измеряемое сопротивление по формуле:

$$R_x = N \cdot R_0$$

где  $N$  – показания переключателя отношения плеч;

$R_0$  – сумма показаний всех пяти ручек плеча сравнения.

10. В такой же последовательности измерьте сопротивления постоянному току обмоток силового трансформатора подключаясь поочередно к зажимам  $bu$ ,  $cx$  низкого напряжения (НН) и высокого напряжения (ВН)  $Ax$ ,  $Bu$ ,  $Cx$ .

Результаты измерений заносятся в таблицу 3.

Вычислить разность между значениями сопротивлений. В соответствии с «Нормами испытаний электрооборудований» должно отличаться не более чем на 2% от сопротивления, полученного на соответствующих ответвлениях других фаз, или от значений заводских и предыдущих эксплуатационных измерений, если нет особых оговорок в паспорте трансформатора

$$\Delta_{ab} = \frac{|R_{ax} - R_{by}|}{R_{ax}} \cdot 100\% ,$$

$$\Delta_{ab} = \frac{|R_{by} - R_{cz}|}{R_{by}} \cdot 100\% ,$$

$$\Delta_{ab} = \frac{|R_{ax} - R_{by}|}{R_{ax}} \cdot 100\% ,$$

$$\Delta_{ab} = \frac{|R_{AX} - R_{BY}|}{R_{AX}} \cdot 100\% ,$$

$$\Delta_{ab} = \frac{|R_{BY} - R_{CZ}|}{R_{BY}} \cdot 100\% ,$$

$$\Delta_{ab} = \frac{|R_{AX} - R_{BY}|}{R_{AX}} \cdot 100\% .$$

Результаты вычислений занесите в таблицу 3

Таблица 3 – Результаты измерений и расчетов

Фаза	Измеренные данные		Расчетные данные	
	Множитель, N	Образцовое сопротивление, R <sub>o</sub>	Значение сопротивления R <sub>x</sub> = R <sub>o</sub> N	Δ, %
a-x				
b-y				
c-z				
A-X				
B-Y				
C-Z				

*Содержание отчета:*

1. Тема
2. Цель
3. Таблица 1 – Сопротивление изоляции обмоток
4. Таблица 2 – Технические данные приборов
5. Таблица 3 – Результаты измерений
6. Формулы и расчеты.
7. Анализ полученных результатов и вывод о проделанной работе.
8. Перечень контрольных вопросов.

*Контрольные вопросы:*

1. Схема измерения сопротивления изоляции трансформатора.
2. Что называется коэффициентом абсорбции?
3. Какие требования предъявляются к сопротивлению изоляции силового трансформатора?
4. Каким прибором измеряется сопротивление обмоток постоянному току?
5. Условие равновесие моста постоянного тока.
6. Что представляет собой плечо сравнения?
7. Что представляют собой плечи отношения?
8. В каких случаях используется четырехзажимная схема?
9. Порядок измерения сопротивлений мостом постоянного тока.
10. Что такое коэффициент трансформации?

### Лабораторная работа № 3 «Определение группы соединения трехфазных силовых трансформаторов»

*Цель:* формировать умения по определению группы соединения трехфазных трансформаторов методом вольтметра

*Перечень оборудования:*

- Трансформатор
- Вольтметр
- Фазометр
- Соединительные провода

*Краткие теоретические сведения по содержанию лабораторной работы:*

Трехфазные трансформаторы преобразуют электрическую энергию в трехфазных цепях с одним соотношением линейных напряжений и токов в электрическую энергию с другим соотношением этих же величин. В таких трансформаторах есть две трехфазные обмотки ВН и НН, в каждую из которых входит три фазные обмотки или фазы. Следовательно, трехфазный трансформатор имеет шесть независимых фазных обмоток и 12 выводов с соответствующими зажимами, причем начальные выводы фаз обмотки ВН обозначают *A, B, C*, конечные выводы *X, Y, Z*, а для фаз обмоток НН применяют аналогичные обозначения – *a, b, c* и *x, y, z*. Фазные обмотки ВН и НН соединяют звездой или треугольником, причем при соединении их звездой нейтральные точки обозначают 0 и 0. Фазный коэффициент трансформации определяется отношением фазных напряжений при х.х.

$$k_{\phi} = \frac{U_{\phi \text{ ВН}}}{U_{\phi \text{ НН}}}$$

Линейный коэффициент трансформации определяется по аналогичной формуле

$$k_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л ВН}}}{U_{\text{л НН}}}$$

Если соединение фазных обмоток выполнено по схеме *Y/Y* или *Δ/Δ*, то оба коэффициента одинаковы, т.е.

$$k_{л} = k_{ф}$$

При соединении по схеме Y/Δ

$$k_{л} = \sqrt{3} k_{ф}$$

А по схеме Δ/Y

$$K_{л} = \frac{K_{ф}}{\sqrt{3}}$$

Каждому типу соединений фазных обмоток соответствует определенный угол сдвига фаз между соответствующими ВН и НН, отсчитываемый в направлении вращения часовой стрелки от вектора ВН к вектору НН.

Важнейшим условием включения трансформаторов в параллельную работу является принадлежность их к одной группе соединения. Сдвиг фазы  $E_1$  и  $E_2$  принято выразить группой соединения.

Совпадение ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  по фазе возможно лишь при условии намотки первичной и вторичной обмоток трансформатора в одном направлении и одноименной маркировке выводов этих обмоток. Если же в трансформаторе изменить направление намотки обмотки НН или же переставить обозначение её выводов, то ЭДС  $E_2$  окажется сдвинутой по фазе относительно ЭДС  $E_1$  на  $180^\circ$ .

Обмотки трехфазного силового трансформатора могут быть соединены по схеме «звезда» (Y) (рисунок 1, а), «треугольник» (Δ) (рисунок 1, б), в специальных случаях – «зигзаг» (Z) (рисунок, в).

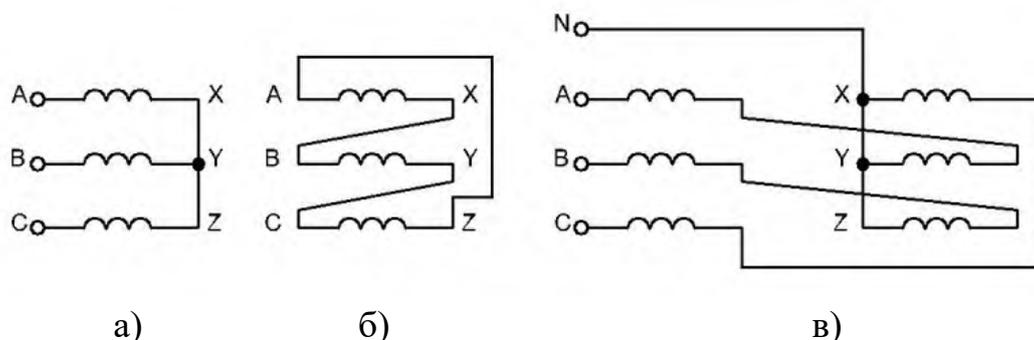


Рисунок 1 – Схемы соединения обмоток трехфазных силовых трансформаторов

Угол фазового сдвига между одноименными ЭДС первичной и вторичной стороны, который принято выражать группой соединения, может изменяться от 0 до  $360^\circ$  с кратностью в  $30^\circ$ . Трехфазные трансформаторы имеют 12 групп соединения (0-11).

Для лучшего понимания принятого обозначения групп соединения пользуются сравнением с часам. При этом вектор линейной ЭДС обмоток ВН соответствует минутной стрелке, установленной на цифре 12, а вектор линейной ЭДС обмотки НН – часовой стрелке (рисунок 2).

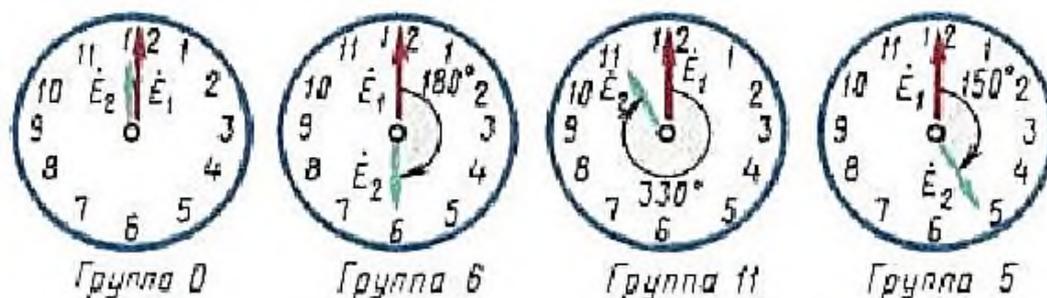
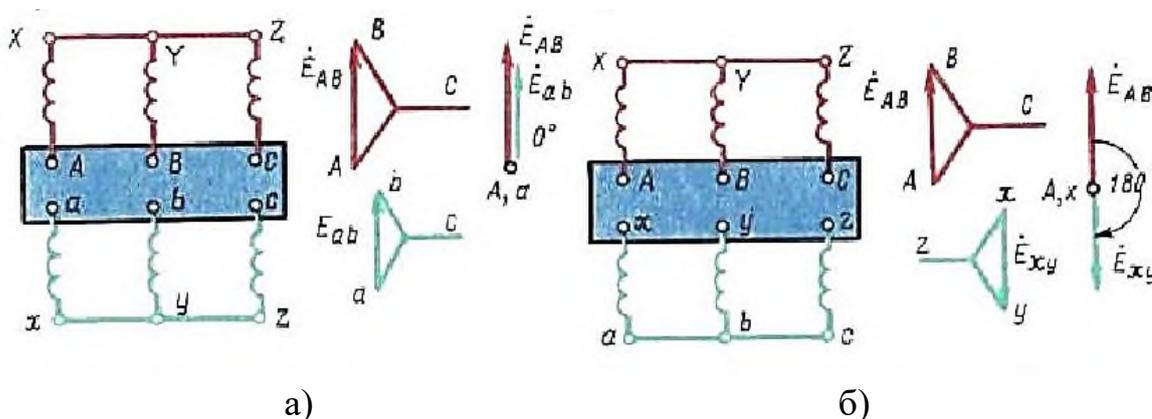


Рисунок 2 – Сравнение положения стрелок часов с обозначением групп соединения

Также необходимо иметь в виду, что совпадение по фазе векторов ЭДС  $\dot{E}_{AX}$  и  $\dot{E}_{ax}$ , эквивалентное совпадению стрелок часов на циферблате, обозначается группой 0 (а не 12). Кроме того, следует помнить, что за положительное направление вращения векторов ЭДС принято их вращение против часовой стрелки.



а – для группы Y/Y – 0; б – для группы Y/Y – 6

Рисунок 3 – Схемы соединения обмоток и векторные диаграммы

Рассмотренные четыре группы соединения (0, 6, 11 и 5) называют *основными*. Из каждой основной группы соединения методом круговой перемаркировки выводов на одной стороне трансформатора, например на стороне НН (без изменения схемы соединения), можно получить по две производные группы. Например, если в трансформаторе с группой соединения  $Y/Y-0$  (рисунок 3, а) выводы обмотки НН перемаркировать и вместо последовательности  $abc$  принять последовательность  $cab$ , то вектор ЭДС  $\dot{E}_{ab}$  повернется на  $120^\circ$ , при этом получим группу соединения  $Y/Y-4$ . Если же выводы обмоток НН перемаркировать в последовательность  $bca$ , то вектор  $E_{ab}$  повернется еще на  $120^\circ$ , а всего на  $240^\circ$ ; получим группу  $Y/Y-8$ .

Аналогично от основной группы 6 путем круговой перемаркировки получают производные группы 10 и 2, от основной группы I/I — производные группы 3 и 7, от основной группы 5 — производные группы 9 и 1.

Группа соединения зависит от маркировки зажимов, порядка чередования фаз и направления намотки обмоток. При одинаковых схемах соединения обмоток ВН и НН получают четные группы соединения, а при неодинаковых схемах — нечетные.

Промышленностью выпускаются силовые трансформаторы с нулевой и одиннадцатой группой:  $Y/Y_H-0$ ,  $\Delta/Y_H-11$ ,  $Y/Z_H-11$ ,  $Y/\Delta-11$ ,  $Y_H/\Delta-11$

Схемы  $Y/Y_H-0$ ,  $\Delta/Y_H-11$ ,  $Y/Z_H-11$  применяются в трансформаторах относительно небольшой мощности с первичным напряжением до 35 кВ включительно и вторичным — до 0,4 кВ для питания распределительных сетей с глухозаземленной нейтралью. Схема  $Y/Y_H-0$  наиболее проста и экономична в изготовлении, но при несимметричной нагрузке фаз происходит значительное искажение симметрии напряжений, и возрастают потери электроэнергии (рисунок 4, а).

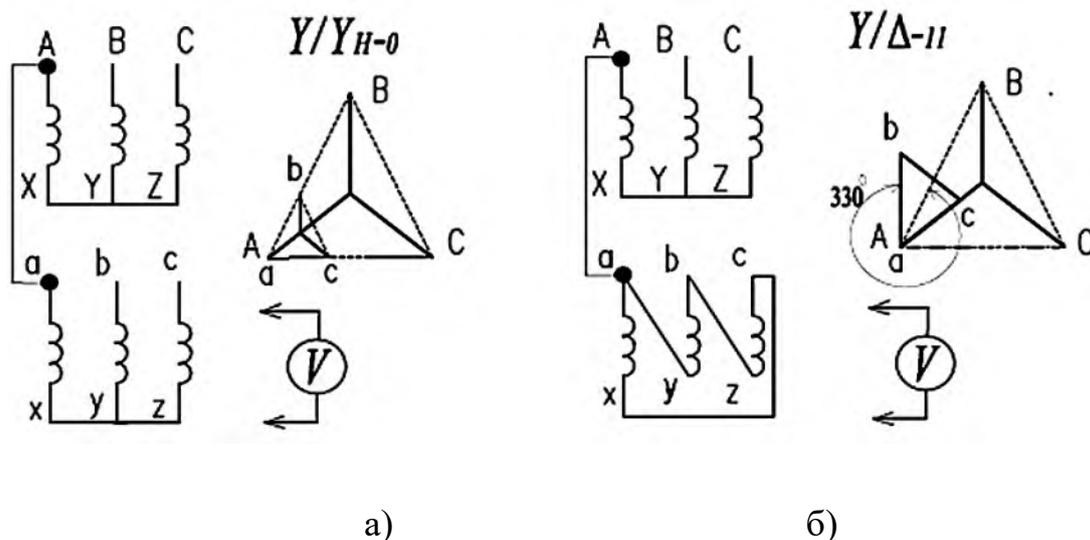


Рисунок 4 — Определение группы соединения обмоток методом вольтметра

Схема  $\Delta/Y_H-11$  более устойчива к искажающим воздействиям несимметричной нагрузки, но количество витков в первичной обмотке в 3 раз больше, чем у схемы  $Y/Y_H-0$ . Применяется при мощностях от 400 кВ·А. Схема  $Y/Z_H-11$  при работе в несимметричных режимах практически не имеет искажений системы напряжений, но количество витков вторичной обмотки на 15 % больше, чем у схемы  $Y/Y_H$ . Применяется при значительной несимметрии нагрузки и в трансформаторах выпрямительных устройств.

Схема  $Y/\Delta-11$  (рисунок 4, б) применяется в трансформаторах средней и большой мощности с первичным напряжением до 35 кВ включительно и вторичным – от 0,69 до 10,0 кВ для питания распределительных сетей с изолированной нейтралью.

Схема  $Y_H/\Delta-11$  применяется в мощных трансформаторах с первичным напряжением 110 кВ и выше.

Опытную проверку способа соединения наиболее часто выполняют **методом вольтметра**, который позволяет определить как группу соединения, так и маркировку обмоток. При этом соединяются два одноименных вывода трансформатора, обычно «А» и «а» (рисунок 4), и измеряются напряжения  $U_{Cc}$ ,  $U_{Bc}$  и  $U_{Cb}$ .

Если проверяют группу  $Y/Y-0$ , то, соединив проводом выводы «А» и «а», измеряют напряжения  $U_{B-b}$  (между выводами в и В) и  $U_{C-c}$  (между выводами с и С). Если предлагаемая группа соединений  $Y/Y-0$  соответствует фактической, то напряжение

$$U_{B-b} = U_{C-c} = U_{ав}(k_L - 1)$$

где  $k_L = U_{AB}/U_{ав}$  – коэффициент трансформации линейных напряжений.

Если проверяют группу соединений 6, 11 и 5, то для проверки измеренных значений напряжений пользуются формулами:

$$\text{для схемы } Y/Y \quad 6 \quad , U_{B-b} = U_{C-c} = U_{ав}(k_L + 1)$$

$$\text{для схемы } Y/\Delta \quad 11 \quad U_{B-b} = U_{C-c} = U_{ав} \sqrt{1 - \sqrt{3} k_L + k_L^2}$$

$$\text{для схемы } Y/\Delta \quad 5 \quad U_{B-b} = U_{C-c} = U_{ав} \sqrt{1 + \sqrt{3} k_L + k_L^2}$$

где  $U_{ав}$  – линейные напряжения на выводах обмоток НН.

Непосредственного измерения угла сдвига фаз между линейными напряжениями (ЭДС) этот метод не дает. Это косвенный метод и основан на измерении вольтметром напряжений (ЭДС) между одноименными выводами обмоток ВН и НН.

Существует так же **метод фазометра**. Основан на непосредственном измерении угла фазового сдвига между соответствующими линейными напряжениями (ЭДС) обмоток ВН и НН с помощью фазометра  $\varphi$ , включенного по схеме, показанной на рисунке 8. Параллельную обмотку фазометра U-U подключают к стороне ВН, а последовательную обмотку I-I — к стороне НН. Для ограничения тока в последовательной обмотке ее включают через добавочное сопротивление  $R_{доб}$ . Затем трансформатор включают в сеть с симметричным трехфазным напряжением. Для удобства измерений желательно, чтобы фазометр имел полную ( $360^\circ$ ) шкалу.

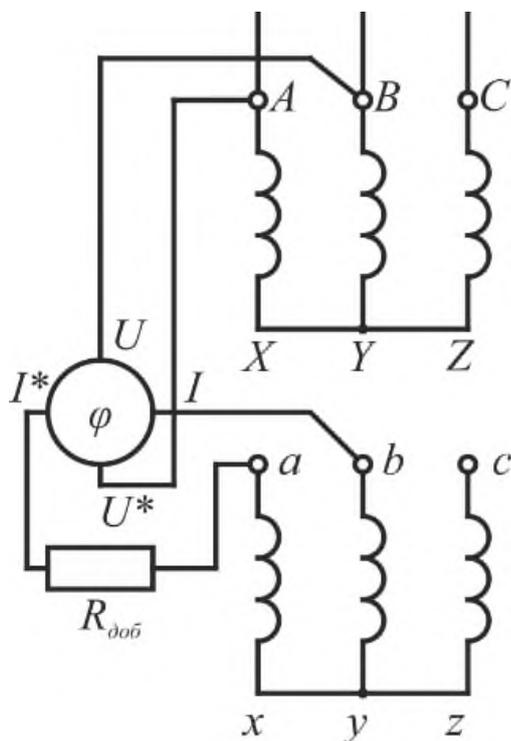


Рисунок 8 – Проверка группы соединения Y/Y – 0 методом фазометра.

#### Порядок выполнения работы:

1. Ознакомиться с конструкцией исследуемого трансформатора и записать технические данные приборов и оборудования в таблица 1 и таблица 2.

Таблица 1 – Перечень оборудования, аппаратуры, материалов и их характеристик

Наименование и описание	Параметры

Таблица 2 – Характеристики трансформатора

$S_{\text{ном}}, \text{В}\cdot\text{А}$	$U_{\text{ВН}}, \text{В}$	$U_{\text{НН}}, \text{В}$	$U_{\text{к}}, \%$	$I_{1 \text{ ном}}, \text{А}$	$I_{2 \text{ ном}}, \text{А}$	Схема соединений обмоток
				ВН	НН	

2. Определить коэффициент трансформации для схем Y/Y (рисунок 9), Y/ $\Delta$  (рисунок 10). Для этого собрать схему по рисунку 9 и показать её для проверки преподавателю. Подав напряжение на обмотку высшего напряжения, измеряют линейные первичные и вторичные напряжения, результаты которых занести в таблицу 3.

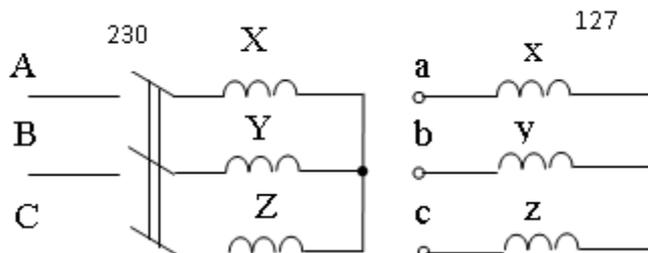


Рисунок 9 – Соединение обмоток трансформатора «звездой»

Таблица 3 – Данные измерений

Схема	$U_{\text{AB}}, \text{В}$	$U_{\text{BC}}, \text{В}$	$U_{\text{CA}}, \text{В}$	$U_{\text{ab}}, \text{В}$	$U_{\text{bc}}, \text{В}$	$U_{\text{ca}}, \text{В}$	$k_{\text{a}}$	$k_{\text{b}}$	$k_{\text{c}}$	$k$
Y/Y										
Y/ $\Delta$										

3. Рассчитать коэффициент трансформации каждой из фаз по формуле:

$$ka = \frac{U_{AB}}{U_{ab}} \quad (1)$$

$$kb = \frac{U_{BC}}{U_{bc}} \quad (2)$$

$$kc = \frac{U_{CA}}{U_{ca}} \quad (3)$$

$$k = \frac{k_a + k_b + k_c}{3} \quad (4)$$

Затем определяют среднее значение коэффициента, которое принимают за действительное.

4. В таком же порядке проводится опыт схемы 2 по рисунку 10. Результаты измерений, расчетов занести в таблицу 3.

5.

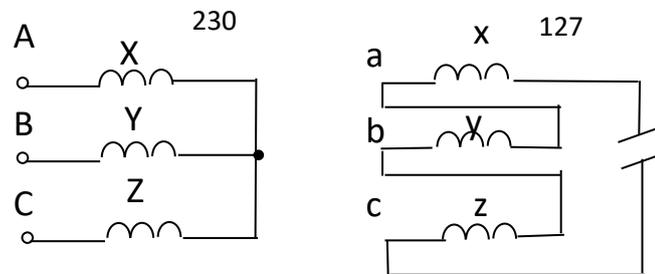


Рисунок 10 - Соединение обмоток трансформатора «треугольником»

6. Построить потенциальные диаграммы для соединений Y/–0, Y/Y-6, Y/Δ-11, Y/Δ-5.

7. Проверить принадлежность трансформатора к той или иной группе методом вольтметра.

6.1 Для этого собрать сначала схему соответствующей группы рисунок 11, например Y/Y–0 (а потом рисунок 12 Y/Δ-11), соединить зажим «А» с зажимом «а».

6.2 Подключить трансформатор к сети и произвести измерение четырех напряжений  $U_{Bb}$ ,  $U_{Cc}$ ,  $U_{Vc}$ ,  $U_{Cb}$ .

6.3 Затем эти же напряжения рассчитывают по формулам, имеющимся в теоретическом положении к настоящей работе (см. «Метод вольтметра»).

6.4 Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 4.

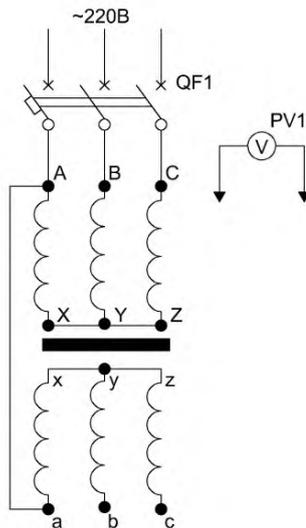


Рисунок 11 – Схема проверки группы соединения обмоток Y/Y-0

6.4 Собрать схему рисунок 4 и проверить правильность соединения обмоток трансформатора Y/Δ-11. соединить зажим «А» с зажимом «а».

6.5 Повторить для собранной схемы пункты 6.2, 6.3, 6.4.

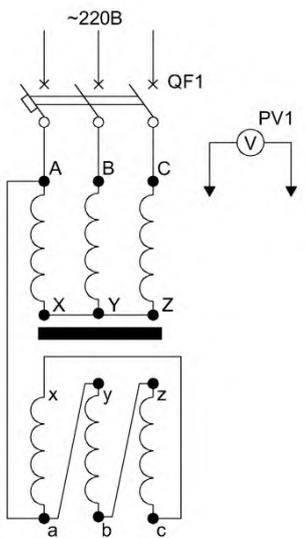


Рисунок 12 – Схема проверки группы соединения обмоток Y/Δ-11

Таблица 4 – Результаты измерений и расчетов

Схема и группа	$U_{Bc} = U_{Cb}, В;$		$U_{Cb}, В;$		$U_{Bc}, В;$	
	измерение	расчет	измерение	расчет	измерение	расчет
Y/Y-0						
Y/Y-6						
Y/Δ-11						
Y/Δ-5						

6.6 Сравнивая измеренное напряжение с расчетным, по таблице 3 найти принадлежность трансформатора к определенной группе соединения.

7 Определить группу соединения обмоток трехфазного трансформатора методом фазометра.

7.1 Собрать схему соединения обмоток трехфазного трансформатора по схеме «звезда/звезда» рисунке 13(а) и подключить фазометр с активной нагрузкой ко вторичной обмотке трехфазного трансформатора.

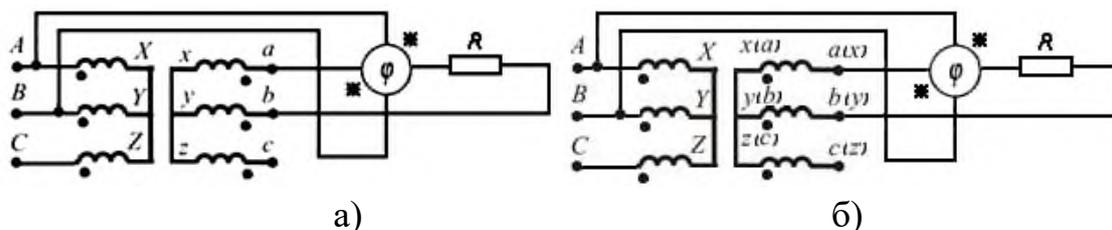


Рисунок 13 - Собрать схему соединения обмоток трехфазного трансформатора по схеме «звезда/звезда»

7.2 Представить собранную схему преподавателю для проверки и подачи напряжения на элементы собранной схемы определения группы соединения обмоток трехфазного трансформатора.

7.3 Снять и записать показания угла сдвига фаз и коэффициента активной мощности фазометра «φ» в таблицу 5 ( $\varphi_1$  и  $\cos\varphi_1$ ).

Таблица 5 – Результаты измерений схемы «звезда/звезда»

№ п/п	φ, град.	cosφ	Группа соединений обмоток
Рисунок 13 а			
Рисунок 13 б			

7.4 Используя предыдущую схему, собрать схему соединения вторичной обмотки трехфазного трансформатора и подключения фазометра с активной нагрузкой согласно рисунка 13(б).

7.5 Повторить для собранной схемы пункты 7.2, 7.3.

7.6 По полученным данным определить группу соединений обмоток трансформатора и записать в таблицу 5.

7.7 Собрать схему соединения обмоток трехфазного трансформатора по схеме «звезда/треугольник» рисунке 14(а) и подключить фазометр с активной нагрузкой ко вторичной обмотке трехфазного трансформатора.

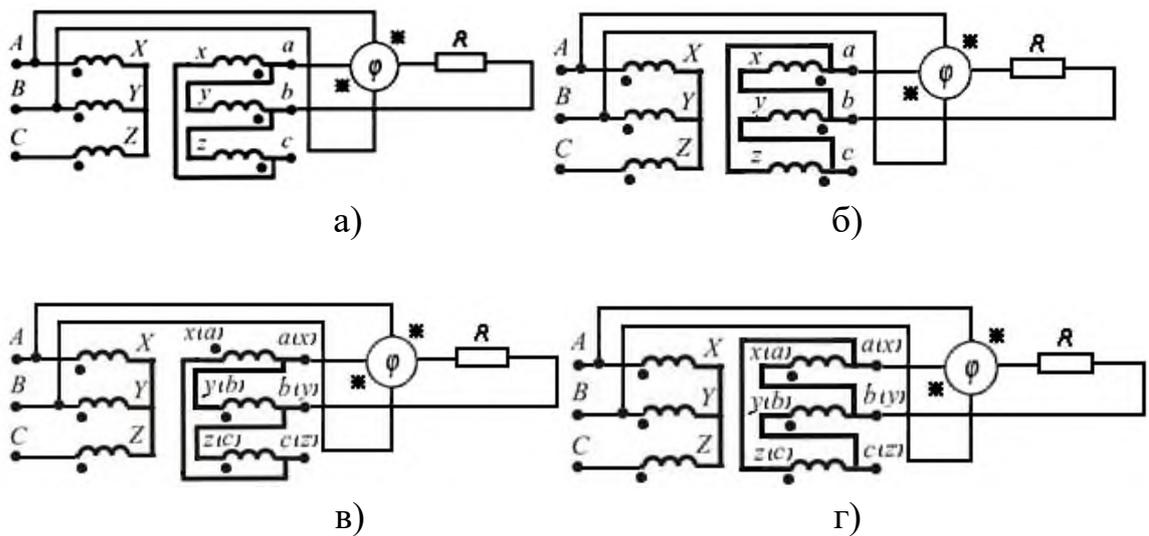


Рисунок 14 – Схемы соединения обмоток трехфазного трансформатора, выполненных по схеме «звезда/треугольник»

7.8 Представить собранную схему преподавателю для проверки и подачи напряжения на элементы собранной схемы определения группы соединения обмоток трехфазного трансформатора.

7.9 Снять и записать показания угла сдвига фаз и коэффициента активной мощности фазометра «φ» в таблицу 6 (φ1 и cosφ1).

7.10 Используя предыдущую схему, собрать схему соединения вторичной обмотки трехфазного трансформатора и подключения фазометра с активной нагрузкой согласно рисунка 14(б,в,г) и повторить пункты для каждой схемы 7.8 и 7.9.

7.11 По полученным данным определить группу соединений обмоток трансформатора и записать в таблицу 6.

Таблица 6. Результаты измерений схемы «звезда/треугольник»

№ п/п	φ, град.	cosφ	Группа соединений обмоток
Рисунок 14 а			
Рисунок 14 б			
Рисунок 14 в			
Рисунок 14 г			

*Содержание отчета:*

- 1 Тема и учебная цель
- 2 Схемы
- 3 Таблица приборов и таблицы измерений, потенциальные диаграммы, расчеты, приводимые для проверки групп соединений

#### 4 Выводы о проделанной работе

##### *Контрольные вопросы:*

- 1 Как определяется принадлежность трансформатора к той или иной группе?
- 2 Зачем при проверке группы соединяют «А» и «а» ?
- 3 От каких факторов зависит угол сдвига фаз между напряжениями трехфазного трансформатора?
- 4 Почему при соединении в параллель трансформаторов  $Y/\Delta-11$  и  $Y/Y-0$  появляются уравнительные токи значительной величины?
- 5 Перечислите основные группы соединения трансформаторов.
- 6 Построением потенциальных диаграмм определите группу соединения трансформатора. Назовите ее производные.
- 7 Для группы соединения обмоток «4», определите угол сдвига фаз между линейными напряжениями, первичной и вторичной обмоток.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

### Основная литература

#### Печатные издания

1. Бутырский В.И. Наладка электрооборудования: учеб, пособие для СПО. 2-е изд., стер. Волгоград: Издательский дом «Ин-Фолио», 2011. 368с.
2. Бычков А.В. Организация и выполнение работ по монтажу и наладке электрооборудования промышленных и гражданских зданий: В 2 ч. Ч. 1 учебник. Москва.: Академия, 2020.
3. Бычков А.В., Захарова И.Г., Шашкова И.В. Организация деятельности производственного подразделения электромонтажной организации: учебник. Москва.: Издательский центр Академия, 2018. 400 с.
4. Зюзин А.Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: учебник для техникумов. 3-е изд. перераб. и доп. Москва.: Альянс, 2022. 415 с.
5. Неклепаев Б. Н., Крючков И. П. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: учеб. пособие. 5-е изд., стер. СПб.: БВХ-Петербург, 2014. 608 с.
6. Сибикин Ю. Д. Электроснабжение предприятий добычи и переработки нефти и газа: учебник. М: Форум: ИНФРА-М, 2016, 2017. 352 с.
7. Троицкий А.И. Электромонтажник электрических сетей и электрооборудования: учеб. пособие для СПО. Ростов н/Д: Феникс, 2017. 409 с. 17
8. Шашкова И.В, Бычков А.В. Организация и выполнение работ по монтажу и наладке электрооборудования промышленных и гражданских зданий: В 2 ч.Ч. 2: учебник. Москва.: Академия, 2020.

#### Электронные издания

- 1 СТО Газпром 2-1.11-698-2013. Комплектные устройства защиты и автоматики трансформаторных подстанций 6 (10)/0,4 кВ. Общие технические требования : стандарт организации
- 2 Р Газпром 2-2.3-774-2013 Определение фактических показателей надежности систем энергоснабжения объектов
- 3 Варварин В. К. Выбор и наладка электрооборудования: справочное пособие / В.К. Варварин. Москва.: ФОРУМ : ИНФРА-М, 2022. 238 с. URL: <https://znanium.com/catalog/product/1846118> (договор на предоставление доступа к ЭБС).
- 4 Грунтович Н. В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования: учеб. пособие. Минск: Новое знание; Москва : ИНФРА-

М, 2019. 271 с. URL: <https://znanium.com/catalog/product/992991> (договор на предоставление доступа к ЭБС).

5 Киреева Э.А. Электрооборудование электрических станций, сетей и систем: учеб. пособие М: КноРус, 2019. 319 с. URL: <https://book.ru/book/931454> (договор на предоставление доступа к ЭБС).

#### **Дополнительные источники**

1 Графические и буквенные обозначения в электрических схемах: сайт. URL: <http://ddecad.ru/uslovnnye-oboznacheniva-v-elektricheskikh-skhemakh> /(дата обращения: 06.06.2023).

2 Киреева Э.А., Шерстнев С.Н. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов). Москва.: КноРус, 2012. 864 с.

3 Киреева Э.А., Шерстнев С.Н. Полный справочник по электрооборудованию и электротехнике (с примерами расчетов). Москва.: КноРус, 2023. 864 с. URL: <https://book.ru/books/949496> (договор на предоставление доступа к ЭБС)

4 Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150кВ. В 12 т. Т.1,3-5,7, 9.2. Москва.: Энергия, 2008.

5 Ополева Г.Н. Схемы и подстанции электроснабжения (справочник). Москва.: Форум; Инфра-М, 2010. 480с.

6 Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок: приказ Минтруда России от 15 декабря 2020 года № 903н. Режим доступа: Справочно-правовая система «Гарант», в локальной сети Техникума.

7 Правила устройства электроустановок: все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. Режим доступа: Справочно-правовая система «Гарант», в локальной сети Техникума.

8 Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология электромонтажных работ Москва.: Инфра-М, 2018. 352с.

9 Сидорова Л.Г. Сборка, монтаж, регулировка и ремонт узлов и механизмов оборудования, агрегатов, машин, станков и другого электрооборудования промышленных организаций. Москва.: Академия 2016-320с.

10 Справочник по наладке электрооборудования промышленных предприятий /под ред. М.Г. Зименкова, Г.В. Розенберга, Е.М. Феськова. Москва.: Энергоатомиздат, 1983. 480

11 Школа для электрика: информационный портал. URL: <http://electricalschool.info/spravochnik/electroteh/> (дата обращения: 06.06.2023).

12 Электротехника: сайт. <https://electrono.ru/> (дата обращения:06.06.2023).

13 Энергетическая стратегия России на период до 2035 года: распоряжение Правительства России от 09 июня 2020 №1523-р. *ВЗАМЕН распоряжения от 13 ноября 2009 № 1715-р.* Режим доступа: Справочно-правовая система «Гарант», в локальной сети Техникума.

14 Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей электрической энергии: приказ Минэнерго России от 12.08.2022 г. №811. Режим доступа: Справочно-правовая система «Гарант», в локальной сети Техникума.