

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)
НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ
**(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ»)**



ФИЛИАЛ ФГБОУ ВО «ЮГУ»

**НЕФТЯНОЙ
ИНСТИТУТ**

МДК.01.01 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

08.00.00 ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

специальность 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация
электрооборудования промышленных и гражданских зданий

**Методические указания к выполнению практических занятий
для обучающихся 2 курса очной формы обучения
образовательных организаций
среднего профессионального образования**

Часть 2

Нижневартовск, 2023

РАССМОТРЕНО

На заседании ПЦК «ЭТД»
Протокол № 07 от 15.11.2023
Председатель Давиденко И.В.

УТВЕРЖДЕНО

Председателем методического совета
НефтИн (филиала) ФГБОУ ВО «ЮГУ»
Хайбулина Р.И.
«22» ноября 2023

Методические указания к выполнению практических занятий для обучающихся 2 курса очной формы обучения образовательных организаций среднего профессионального образования по МДК.01.01. Электрические машины специальности 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий (08.00.00 ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА), часть 2, разработаны в соответствии с:

1. Федеральным государственным образовательным стандартом (далее - ФГОС) по специальности среднего профессионального образования (далее - СПО) 08.02.09. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий, утвержденным приказом № 44 Министерства образования и науки РФ от 23.01.2018.

2. Рабочей программе профессионального модуля ПМ 01 Организация и выполнение работ по эксплуатации и ремонту электроустановок, утвержденной на методическом совете НефтИн (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ» протокол № 4 от 31.08.2022 года.

Разработчик:

Опанасенко Людмила Ивановна, преподаватель Нефтяного института (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

Рецензенты:

1. Ген М.Б., преподаватель Нефтяного института (филиал) ФГБОУ ВО «ЮГУ».

2. Ахметгалиев И.А., главный энергетик ООО «РИМЕРА-Сервис» филиала «РИМЕРА-Сервис-Нижневартовск».

Замечания, предложения и пожелания направлять в Нефтяной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Югорский государственный университет» по адресу: 628615, Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ, г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания к выполнению практических работ по междисциплинарному курсу МДК.01.01. Электрические машины программы подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ) разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования 08.02.09. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий (08.00.00 ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА), в соответствии с рабочей программой профессионального модуля ПМ.01 Организация и выполнение работ по эксплуатации и ремонту электроустановок и освоения вида профессиональной деятельности: ВД 01: Организация и выполнение работ по эксплуатации и ремонту электроустановок промышленных и гражданских зданий.

В ходе изучения междисциплинарного курса МДК.01.01. Электрические машины обучающийся **должен**

уметь:

- осуществлять коммутацию в электроустановках по принципиальным схемам;
- читать и выполнять рабочие чертежи электроустановок;
- выявлять и устранять неисправности электроустановок.

знать:

- устройство, принцип действия и основные технические характеристики электроустановок;
- типичные неисправности электроустановок и способы их устранения.

Кроме этого, необходимо сформировать (в том числе частично) следующие общие (ОК) и профессиональные компетенции (ПК):

Код	Наименование результата обучения
ПК 1.2	Организовывать и производить работы по выявлению неисправностей электроустановок промышленных и гражданских зданий
ОК 01	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам
ОК 02	Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности
ОК 03	Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие
ОК 04	Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами
ОК 05	Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста
ОК 06	Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей

ОК 07	Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях
ОК 08	Использовать средства физической культуры для сохранения и укрепления здоровья в процессе профессиональной деятельности и поддержания необходимого уровня физической подготовленности
ОК 09	Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности
ОК 10	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранных языках

При разработке комплекса практических работ ставилась задача систематизировать и доступно изложить основные теоретические сведения по изучаемым вопросам с целью домашней подготовки обучающихся к предстоящей практической работе. Изучение междисциплинарного курса МДК.01.01. Электрические машины и выполнение практических работ опирается на знание таких дисциплин, как ОП.01 Техническая механика, ОП.03 Электротехника, ОП.04 Основы электроники, ОП.06 Электрические измерения, ОП.07 Основы микропроцессорных систем управления в энергетике, ОП.08 Основы автоматики и элементы систем автоматического управления.

Целью методических указаний является закрепление и углубление знаний, полученных обучающимися при изучении междисциплинарного курса, выработка умения применять эти знания для решения конкретных задач, развитие навыков самостоятельной творческой работы, умение работать с учебной и технической литературой.

Комплекс практических работ содержит краткие теоретические сведения, методические указания, порядок выполнения практических работ, контрольные вопросы, перечень литературы. В комплексе приведены необходимые схемы, справочные данные, сведения, дополняющие материал учебников, формулы и расчеты.

Разработанный комплекс позволит развить умение использовать теоретические знания в профессиональной деятельности.

Критерии оценки практических работ:

Зачет/незачет:

1. Полнота, правильность, точность выполнения заданий.
2. Степень осознания содержательной стороны рассматриваемых понятий.
3. Умение провести контроль и самоконтроль результатов.
4. Степень самостоятельности выполнения работы.
5. Использование имеющейся литературы по данному вопросу.

Оценка:

- 90 – 100 % – 5
- 80 – 89 % – 4
- 70 – 79 % – 3
- меньше 70 % – 2

ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Номер работы	Номер темы	Наименование занятия	Кол-во часов	Форма контроля
Тема 2.1. Устройство и рабочий процесс трансформаторов				
7	Тема 2.1.	Изучение конструкции силовых трансформаторов	2	зачет
8		Исследование двухобмоточного трансформатора. Определение параметров двухобмоточного силового трансформатора опытным путем. Опыты холостого хода и короткого замыкания	4	зачет
Тема 2.2. Схемы, группы соединения обмоток и параллельная работа трансформаторов				
9	Тема 2.2.	Параллельная работа трансформаторов. Изучение условий параллельной работы силовых трансформаторов и распределения нагрузки между ними.	4	зачет

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Цель работы:

изучить:

– изучить конструкцию силовых трансформаторов, отдельных узлов трансформаторов и их взаимодействие.

формировать умения:

– определять конструкцию силовых трансформаторов, отдельных узлов трансформаторов и их взаимодействие;

– определять электротехнические материалы, применяемые в силовых трансформаторах

– осуществлять коммутацию в электроустановках по принципиальным схемам.

к освоению профессионального модуля ПМ.01 Организация и выполнение работ по эксплуатации и ремонту электроустановок по специальности 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий **и овладению:**

профессиональными компетенциями (ПК): ПК 1.2;

общими компетенциями (ОК): ОК 01 – ОК 10.

Методическое руководство:

– изучить краткие теоретические сведения;

– выполнить задание;

– составить отчет о проделанной работе и сделать заключение;

– подготовиться к защите практической работы.

Подготовка к работе:

Повторить тему: Принцип действия и устройство силовых

трансформаторов.

Оснащение:

Оборудование, материалы:

- интернет-ресурсы, учебники.
- калькулятор.

рекомендуемые информационные источники:

– Кацман М.М. Электрические машины: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / М.М. Кацман. – М: Издательский центр «Академия», 2014. – 496 с. ил.

– Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы: учеб. пособие для СПО / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. – 6-е изд. испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 181 с. Серия: Профессиональное образование.

- методические указания по выполнению практической работы.

Краткие теоретические сведения:

Трансформатором называют статическое электромагнитное устройство, имеющее две (или более) индуктивно связанные обмотки и предназначенное для преобразования посредством явления электромагнитной индукции одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную) систему переменного тока.

В общем случае вторичная система переменного тока может отличаться от первичной любыми параметрами: значениями напряжения и тока, числом фаз, формой кривой напряжения (тока), частотой. Наибольшее применение в электротехнических установках, а также в энергетических системах передачи и распределения электроэнергии имеют силовые трансформаторы, посредством которых изменяют значения переменного напряжения и тока. При этом число фаз, форма кривой напряжения (тока) и частота остаются неизменными.

Классифицируют трансформаторы по нескольким признакам:

по назначению – силовые общего и специального назначения, импульсные, для преобразования частоты и т.д.;

по виду охлаждения – с воздушным (сухие трансформаторы) и масляным (масляные трансформаторы) охлаждением;

по числу трансформируемых фаз – однофазные и трехфазные;

по форме магнитопровода – стержневые, броневые, бронестержневые, тороидальные;

по числу обмоток на фазу – двухобмоточные, многообмоточные.

Принцип действия трансформаторов. Простейший силовой трансформатор состоит из магнитопровода (сердечника), выполненного из ферромагнитного материала (обычно листовая электротехническая сталь), и двух обмоток, расположенных на стержнях магнитопровода (рис. 7.1, а). Одна из обмоток, которую называют *первичной*, присоединена к источнику переменного тока G на напряжение U_1 . К другой обмотке, называемой *вторичной*, подключен потребитель Z_n . Первичная и вторичная обмотки трансформатора не имеют электрической связи друг с другом, и мощность

из одной обмотки в другую передается электромагнитным путем. Магнитопровод, на котором расположены эти обмотки, служит для усиления индуктивной связи между обмотками.

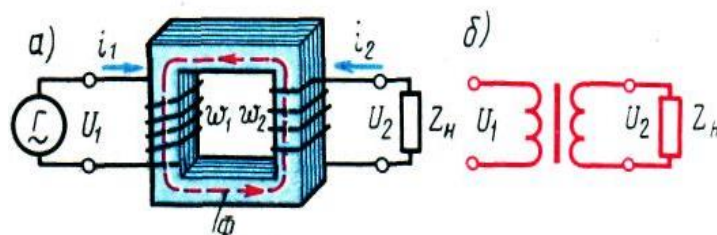


Рисунок 7.1 – Электромагнитная (а) и принципиальная (б) схемы трансформатора

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный ток i_1 , который создает в магнитопроводе переменный магнитный поток Φ . Замыкаясь в магнитопроводе, этот поток сцепляется с обеими обмотками (первичной и вторичной) и индуцирует в них ЭДС:

в первичной обмотке ЭДС *самоиндукции*

$$e_1 = -w_1(d\Phi/dt) \quad (7.1)$$

во вторичной обмотке ЭДС *взаимоиндукции*

$$e_2 = -w_2(d\Phi/dt) \quad (7.2)$$

где w_1, w_2 – число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора

При подключении нагрузки $Z_{н}$ к выводам вторичной обмотки трансформатора под действием ЭДС e_2 в цепи этой обмотки создается ток i_2 , а на выводах вторичной обмотки устанавливается напряжение U_2 . В повышающих трансформаторах $U_2 > U_1$, а в понижающих $U_2 < U_1$.

ЭДС e_1 и e_2 , наводимые в обмотках трансформатора, отличаются друг от друга лишь за счет разного числа витков w_1 и w_2 в обмотках, поэтому, применяя обмотки с требуемым соотношением витков, можно изготовить трансформатор практически на любое отношение напряжений.

Обмотку трансформатора, подключенную к сети с более высоким напряжением, называют обмоткой высшего напряжения (ВН); обмотку, присоединенную к сети меньшего напряжения, – обмоткой низшего напряжения (НН).

Устройство трансформаторов. Современный трансформатор состоит из различных конструктивных элементов: магнитопровода, обмоток, вводов, бака и др. Магнитопровод с насаженными на его стержни обмотками составляет активную часть трансформатора. Остальные элементы трансформатора называют неактивными (вспомогательными)

частями.

Магнитопровод. Магнитопровод в трансформаторе выполняет две функции: во-первых, он составляет магнитную цепь, по которой замыкается основной магнитный поток трансформатора, а во-вторых, он предназначен для установки и крепления обмоток, отводов, переключателей. Магнитопровод имеет шихтованную конструкцию, т. е. он состоит из тонких (обычно толщиной 0,5 мм) стальных пластин, покрытых с двух сторон изолирующей пленкой (лаком). Такая конструкция магнитопровода обусловлена стремлением ослабить вихревые токи, наводимые в нем переменным магнитным потоком, а, следовательно, уменьшить величину потерь энергии в трансформаторе.

Силовые трансформаторы выполняются с магнитопроводами трех типов: стержневого, броневоего и бронестержневого.

В магнитопроводе стержневого типа (рис. 7.2, а) вертикальные стержни 1, на которых расположены обмотки 2, сверху и снизу замкнуты ярмами 3. На каждом стержне расположены обмотки соответствующей фазы и проходит магнитный поток этой фазы: в крайних стержнях – потоки Φ_A и Φ_C , а в среднем стержне – поток Φ_B . На рис. 7.2, б показан внешний вид магнитопровода.

При этом стержни имеют ступенчатое сечение, вписываемое в круг диаметром d . Стержни трансформаторов большой мощности имеют много ступеней, что обеспечивает лучшее заполнение сталью площади внутри обмотки. Для лучшей теплоотдачи иногда между отдельными пакетами стержня оставляют воздушные зазоры шириной 5-6 мм, служащие вентиляционными каналами.

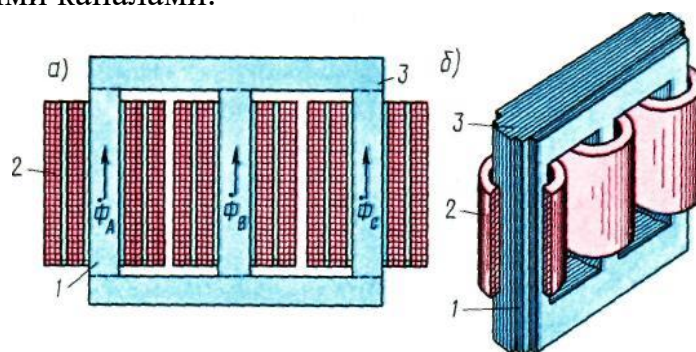


Рисунок 7.2 – Магнитопровод трехфазного трансформатора стержневого типа с обмотками

Магнитопровод броневоего типа представляет собой разветвленную конструкцию со стержнем и ярмами, частично прикрывающими («бронирующими») обмотки (рис. 7.3). Магнитный поток в стержне магнитопровода броневоего типа в два раза больше, чем в ярмах, каждое из которых имеет сечение, вдвое меньшее сечения стержня. Из-за технологической сложности изготовления магнитопроводы броневоего типа не получили широкого распространения, их применяют лишь в силовых трансформаторах весьма малой мощности (радиотрансформаторы).

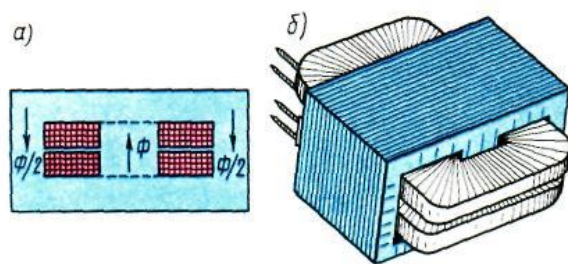


Рисунок 7.3 – Однофазный трансформатор броневого типа:
а – устройство; б- внешний вид

В трансформаторах большой мощности применяют **бронестержневую конструкцию магнитопровода** (рис. 7.4), которая хотя и требует несколько повышенного расхода электротехнической стали, но позволяет уменьшить высоту магнитопровода ($H_{БС} < H_C$), а следовательно, и высоту трансформатора. Это имеет большое значение при транспортировке трансформаторов.

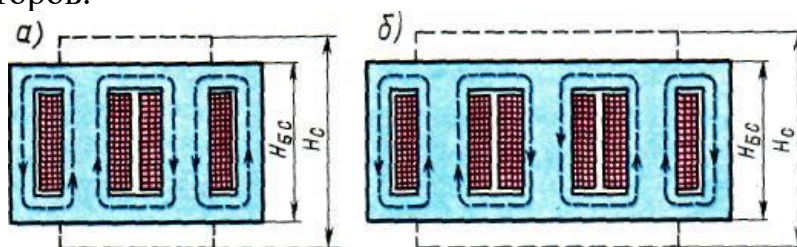


Рисунок 7.4 – Магнитопроводы бронестержневых трансформаторов:
а – однофазного; б – трехфазного

По способу сочленения стержней с ярами различают стыковую и шихтованную конструкции стержневого магнитопровода (рис. 7.5).

При стыковой конструкции (рис. 7.5, а) стержни и яра собирают отдельно, насаживают обмотки на стержни, а затем приставляют верхнее и нижнее яра, заранее проложив изолирующие прокладки между стыкующимися элементами, с целью ослабления вихревых токов, возникающих при взаимном перекрытии листов стержней и яра.

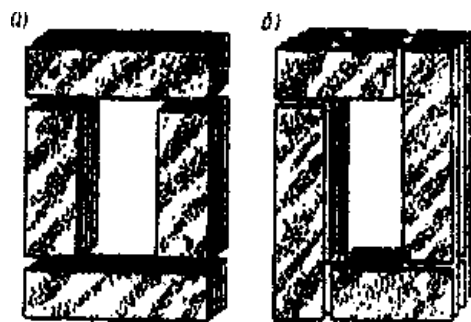


Рисунок 7.5 – Стыковая (а) и шихтованная (б) конструкции магнитопроводов

После установки двух яра всю конструкцию прессуют и стягивают вертикальными шпильками. Стыковая конструкция хотя и облегчает сборку магнитопровода, но не получила распространения в силовых трансформаторах из-за громоздкости стяжных устройств и необходимости механической обработки стыкующихся поверхностей для уменьшения магнитного сопротивления в месте стыка.

Шихтованная конструкция магнитопроводов силовых трансформаторов показана на рис. 7.5, б, когда стержни и ярма собирают слоями в переплет. Обычно слой содержит 2-3 листа. В настоящее время магнитопроводом силовых трансформаторов изготавливают из холоднокатаной электротехнической стали, у которой магнитные свойства вдоль направления прокатки листов лучше, чем поперек. Поэтому при шихтованной конструкции в местах поворота листов на 90° появляются «зоны несовпадения» направления прокатки с направлением магнитного потока. На этих участках наблюдаются увеличение магнитного сопротивления и рост магнитных потерь. С целью ослабления этого явления применяют для шихтовки пластины (полосы) со скошенными краями. В этом случае вместо прямого стыка (рис. 7.6, а) получают косой стык (рис. 7.6, б), у которого «зона несовпадения» гораздо меньше.

Недостатком магнитопроводов шихтованной конструкции является некоторая сложность сборки, так как для насадки обмоток на стержни приходится расшихтовывать верхнее ярмо, а затем после насадки обмоток вновь его зашихтовывать.

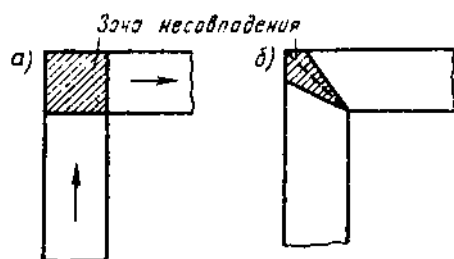


Рисунок 7.6 – «Зоны несовпадения» при прямом (а) и косом (б) стыках

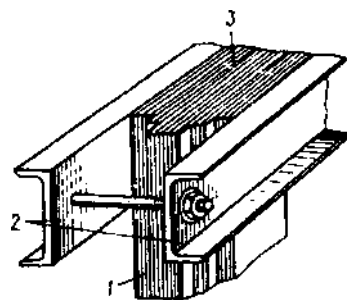


Рис. 7.7 – Опрессовка ярма

Стержни магнитопроводов во избежание распушения спрессовывают (скрепляют). Делают это обычно наложением на стержень банджа из стеклоленты или стальной проволоки. Стальной бандаж выполняют с изолирующей пряжкой, что исключает создание замкнутых стальных витков на стержнях. Бандаж накладывают равномерно, с определенным натягом. Для опрессовки ярм 3 и мест их сочленения со стержнями 1 используют ярмовые балки 2, которые в местах, выходящих за крайние стержни (рис. 7.7), стягивают шпильками.

Во избежание возникновения разности потенциалов между металлическими частями во время работы трансформатора, что может вызвать пробой изоляционных промежутков, разделяющих эти части, магнитопровод и детали его крепления **обязательно заземляют**. Заземление осуществляют медными лентами, вставляемыми между стальными пластинами магнитопровода одними концами и прикрепляемыми к ярмовым балкам другими концами.

Магнитопроводы трансформаторов малой мощности (обычно мощностью не более 1 кВ·А) чаще всего изготавливают из узкой ленты электротехнической холоднокатаной стали путем навивки. Такие

магнитопроводы делают разрезными (рис. 7.8), а после насадки обмоток собирают встык и стягивают специальными хомутами.

Обмотки. Обмотки трансформаторов средней и большой мощности выполняют из обмоточных проводов круглого или прямоугольного сечения, изолированных хлопчатобумажной пряжей или кабельной бумагой. Основой обмотки в большинстве случаев является бумажно-бакелитовый цилиндр, на котором крепятся элементы (рейки, угловые шайбы и т. п.), обеспечивающие обмотке механическую и электрическую прочность.

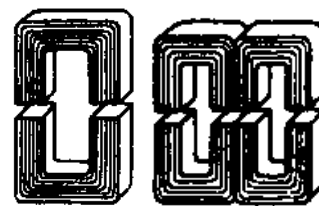


Рисунок 7.8 –
Ленточные разрезные магнитопроводы

По взаимному расположению на стержне обмотки разделяют на концентрические и чередующиеся. Концентрические обмотки выполняют в виде цилиндров, размещаемых на стержне концентрически: ближе к стержню обычно располагают обмотку НН (требующую меньшей изоляции от стержня), а снаружи – обмотку ВН (рис. 7.9, а).

Чередующиеся (дисковые) обмотки выполняют в виде отдельных секций (дисков) НН и ВН и располагают на стержне в чередующемся порядке (рис. 7.9, б). Чередующиеся обмотки применяют весьма редко, лишь в некоторых трансформаторах специального назначения.

Концентрические обмотки в конструктивном отношении разделяют на несколько типов.

1. **Цилиндрические** однослойные или двухслойные обмотки из провода прямоугольного сечения (рис. 7.10, а) используют главным образом в качестве обмоток НН на номинальный ток до 800 А.

2. **Винтовые одно- и многоходовые** обмотки выполняют из нескольких параллельных проводов прямоугольного сечения. При этом витки укладывают по винтовой линии, имеющей один или несколько ходов (рис. 7.10, б).

3. **Непрерывные обмотки** (рис. 7.10, в) состоят из отдельных дисковых обмоток (секций), намотанных по спирали и соединенных между собой без пайки, т.е. выполненных «непрерывно». Если обмотка выполняется несколькими параллельными проводами, то в ней применяют транспозицию проводов.

Непрерывные обмотки, несмотря на некоторую сложность

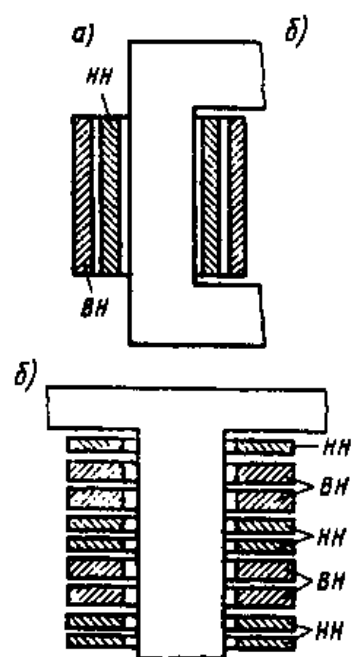


Рисунок 7.9 –
Концентрическая (а) и
дисковая (б) обмотки
трансформаторов

изготовления, получили наибольшее применение в силовых трансформаторах как в качестве обмоток ВН, так и в качестве обмоток НН. Это объясняется их большой механической прочностью и надежностью. В трансформаторах с масляным охлаждением магнитопровод с обмотками помещен в бак, наполненный трансформаторным маслом (рис.7.11).

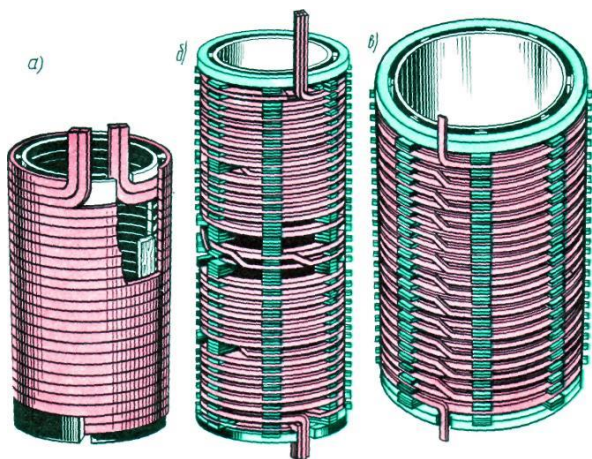


Рисунок 7.10 – Конструкция концентрических обмоток

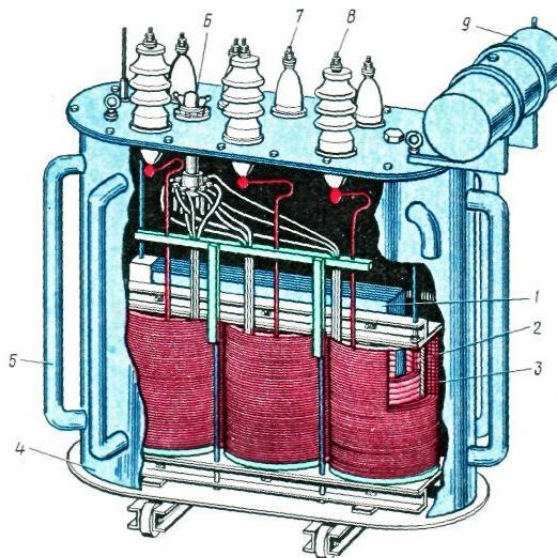


Рисунок 1.11 – Устройство трансформатора с масляным охлаждением

Трансформаторное масло, омывая обмотки 2 и 3 и магнитопровод 1, отбирает от них теплоту и, обладая более высокой теплопроводностью, чем воздух, через стенки бака 4 и трубы радиатора 5 отдает ее в окружающую среду. Наличие трансформаторного масла обеспечивает более надежную работу высоковольтных трансформаторов, так как электрическая прочность масла намного выше, чем воздуха. Масляное охлаждение интенсивнее воздушного, поэтому габариты и вес масляных трансформаторов меньше, чем у сухих трансформаторов такой же мощности.

В трансформаторах мощностью до 20-30 кВ·А применяют баки с гладкими стенками. У более мощных трансформаторов для увеличения охлаждаемой поверхности стенки бака делают ребристыми или же применяют трубчатые баки. Масло, нагреваясь, поднимается вверх, а, охлаждаясь, опускается вниз. При этом масло циркулирует в трубах, что способствует более быстрому его охлаждению.

Для компенсации объема масла при изменении температуры, а также для защиты масла от окисления и увлажнения при контакте с воздухом в трансформаторах применяют расширитель 9, представляющий собой цилиндрический сосуд, установленный на крышке бака и сообщающийся с ним. Колебания уровня масла с изменением его температуры происходят не в баке, который всегда заполнен маслом, а в расширителе, сообщающемся с атмосферой.

В процессе работы трансформаторов не исключена возможность возникновения в них явлений, сопровождающихся бурным выделением

газов, что ведет к значительному увеличению давления внутри бака, поэтому во избежание повреждения баков трансформаторы мощностью 1000 кВ·А и выше снабжают выхлопной трубой, которую устанавливают на крышке бака. Нижним концом труба сообщается с баком, а ее верхний конец заканчивается фланцем, на котором укреплен стеклянный диск. При давлении, превышающем безопасное для бака, стеклянный диск ломается и газы выходят наружу.

В трубопровод, соединяющий бак масляного трансформатора с расширителем, помещено газовое реле. При возникновении в трансформаторе значительных повреждений, сопровождаемых обильным выделением газов (например, при коротком замыкании между витками обмоток), газовое реле срабатывает и замыкает контакты цепи управления выключателя, который отключает трансформатор от сети. Обмотки трансформатора с внешней цепью соединяют вводами 7 и 8. В масляных трансформаторах для вводов обычно используют проходные фарфоровые изоляторы.

Такой ввод снабжен металлическим фланцем, посредством которого он крепится к крышке или стенке бака. К дну бака прикреплена тележка, позволяющая перемещать трансформатор в пределах подстанции. На крышке бака расположена рукоятка переключателя напряжений б.

Свойства трансформатора определяются его номинальными параметрами: 1) номинальное первичное линейное напряжение $U_{1ном}$, В или кВ; 2) номинальное вторичное линейное напряжение $U_{2ном}$ (напряжение на выводах вторичной обмотки при отключенной нагрузке и номинальном первичном напряжении), В или кВ; 3) номинальные линейные токи в первичной $I_{1ном}$ и вторичной $I_{2ном}$ обмотках, А; 4) номинальная полная мощность $S_{ном}$, кВ·А (для однофазного трансформатора $S_{ном} = U_{1ном} I_{1ном}$, для трехфазного – $S_{ном} = \sqrt{3} U_{1ном} I_{1ном}$).

Номинальные линейные токи вычисляют по номинальной мощности трансформатора: для трехфазного трансформатора

$$I_{1ном} = \frac{S_{ном} 10^3}{\sqrt{3} U_{1ном}}; \quad I_{2ном} = \frac{S_{ном} 10^3}{\sqrt{3} U_{2ном}} \quad (7.3)$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность трехфазного трансформатора, кВ·А.

Каждый трансформатор рассчитан для включения в сеть переменного тока определенной частоты. В России трансформаторы общего назначения рассчитаны на частоту $f = 50$ Гц (в некоторых других странах $f = 60$ Гц), в устройствах автоматики и связи применяют трансформаторы на частоты 50, 400 или 1000 Гц.

Методические указания:

По номинальным значениям напряжений $U_{1ном}$ и $U_{2ном}$ определяются числа витков в обмотках соответственно:

$$w_1 = U_{1ном} / U_{вит} \quad (7.4)$$

где $U_{вит}$ – действующее значение напряжения, приходящееся на один виток обмоток.

$$w_2 = U_{2ном} / U_{вит}$$

Номинальные значения токов в обмотках, А:

$$I_{1ном} = S_{ном} / U_1 \quad (7.5)$$

$$I_{2ном} = S_{ном} / U_2$$

Поперечные сечения обмоточных проводов, мм²:

$$q_1 = I_{1ном} / \Delta \quad (7.6)$$

где Δ – плотность тока в этих проводах.

$$q_2 = I_{2ном} / \Delta$$

Основной магнитный поток в стержне определяется учитывая, что номинальное вторичное напряжение $U_{2ном} = E_2$, Вб:

$$\Phi_{max} = E_2 / (4,44fw_2) \quad (7.7)$$

где f – частота тока сети.

Поперечное сечение стержня магнитопровода, м².

$$Q_{ст} = \Phi_{max} / (k_c B_{ст}) \quad (7.8)$$

где k_c – коэффициент заполнения шихтованного стержня сталью, учитывающий увеличение сечения стержня прослойками изоляционного лака между стальными полосами;

$B_{ст}$ – магнитная индукция в стержне;

Φ_{max} – основной магнитный поток в стержне.

Ход работы (задание):

Изучить принцип действия трансформатора.

– магнитопровода, обмоток;

– устройство трансформатора с масляным охлаждением.

Определить: числа витков обмоток однофазного трансформатора w_1 и w_2 поперечное сечение обмоточных проводов первичной q_1 и вторичной q_2 обмоток, если плотность тока в этих проводах $\Delta = 4,0$ А/мм²; площадь поперечного сечения стержня магнитопровода $Q_{ст}$, если максимальное значение магнитной индукции в стержне $B_{ст}$. Исходные данные приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Исходные данные

№ варианта	$S_{\text{НОМ}}$, кВ·А	$U_{1\text{НОМ}}$, В	$U_{2\text{НОМ}}$, В	f, Гц	$U_{\text{ВИТ}}$, В	$B_{\text{СТ}}$, Тл	k_c
1	100	10000	380	50	6,0	1,38	0,93
2	160	10000	400	50	5,0	1,4	0,93
3	63	6000	380	50	5,0	1,42	0,94
4	100	6000	400	50	6,0	1,41	0,94
5	160	6000	400	50	5,0	1,39	0,94
6	63	6000	380	50	6,0	1,38	0,93
7	100	10000	380	50	5,0	1,4	0,93
8	160	10000	400	50	6,0	1,42	0,93
9	63	6000	400	50	5,0	1,41	0,94
10	100	10000	400	50	6,0	1,39	0,94

В отчете отразить:

- назначение и устройство каждого узла трансформатора;
- определить, из какого материала изготовлен каждый узел трансформатора.
- в соответствии с методическими указаниями определить параметры трансформатора.

Результат деятельности: Выводы. Отчет.

Контрольные вопросы:

1. Объяснить принцип действия трансформатора.
2. Объяснить устройство трансформатора.
3. Какие материалы применяются в трансформаторах?
4. Почему трансформаторы не работают от сети постоянного тока?
5. Из каких частей состоит активная часть трансформатора? Каковы их назначение и конструкция?
6. Каково назначение трансформаторного масла?
7. Как определить номинальные токи и номинальное вторичное напряжение трансформатора?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХОБМОТОЧНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ОПЫТНЫМ ПУТЕМ. ОПЫТЫ ХОЛОСТОГО ХОДА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Цель работы:

- изучить:
- изучить рабочий процесс силового трансформатора и режимы его работы.
- формировать умения:
- определять режимы работы силового трансформатора и его параметры в режиме холостого хода и короткого замыкания;

– построения графиков зависимости параметров силового трансформатора от нагрузки;

– осуществлять коммутацию в электроустановках по принципиальным схемам.

к освоению профессионального модуля ПМ.01 Организация и выполнение работ по эксплуатации и ремонту электроустановок по специальности 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий **и овладению:**

профессиональными компетенциями (ПК): ПК 1.2;

общими компетенциями (ОК): ОК 01 – ОК 10.

Методическое руководство:

- изучить краткие теоретические сведения;
- выполнить задание;
- составить отчет о проделанной работе и сделать заключение;
- подготовиться к защите практической работы.

Подготовка к работе:

Повторить темы: Приведение параметров вторичной обмотки и схемы замещения приведенного трансформатора. Опытное определение параметров схемы замещения трансформаторов.

Оснащение:

Оборудование, материалы:

- интернет-ресурсы, учебники.
- калькулятор.

рекомендуемые информационные источники:

– Кацман М.М. Электрические машины: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / М.М. Кацман. – М: Издательский центр «Академия», 2014. – 496 с. ил.

– Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы: учеб. пособие для СПО / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. – 6-е изд. испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 181 с. Серия: Профессиональное образование.

- методические указания по выполнению практической работы.

Краткие теоретические сведения:

Для исследования электромагнитных процессов и расчета трансформаторов применяется электрическая схема замещения приведенного трансформатора. На рисунке 8.1, а представлена эквивалентная схема приведенного трансформатора, на которой сопротивления r и x условно вынесены из соответствующих обмоток и включены последовательно им. В приведенном трансформаторе $k = 1$, а поэтому $E = E'_2$. В результате точки А и а, а также точки Х и х на схеме имеют одинаковые потенциалы, что позволяет электрически соединить указанные точки, получив Т-образную схему замещения приведенного трансформатора. В электрической схеме замещения трансформатора магнитная связь между цепями заменена электрической.

Схема замещения приведенного трансформатора удовлетворяет всем уравнениям ЭДС и токов приведенного трансформатора и представляет собой совокупность трех ветвей: первичной – сопротивлением $Z_1 = r_1 + jx_1$ и током I_1 ; намагничивающей – сопротивлением $Z_m = r_m + jx_m$ и током I_0 ; вторичной – с двумя сопротивлениями: сопротивлением собственно вторичной ветви $Z'_2 = r'_2 + jx'_2$ и сопротивлением нагрузки $Z'_H = r'_H + jx'_H$ током $-I'_2$. Изменением сопротивления нагрузки Z'_H на схеме замещения могут быть воспроизведены все режимы работы трансформатора.

Параметры ветви намагничивания $Z_m = r_m + jx_m$ определяются током х.х. Наличие в этой ветви активной составляющей r_m обусловлена магнитными потерями в трансформаторе. Все параметры схемы, замещения, за исключением Z'_H , являются постоянными для данного трансформатора и могут быть определены из опыта х.х и опыта к.з.

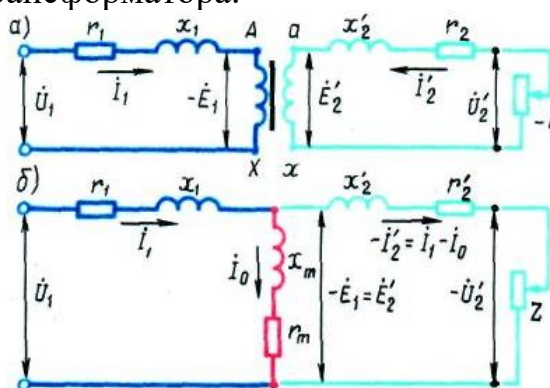


Рисунок 8.1 – Эквивалентная схема (а) и схема замещения (б) приведенного трансформатора

Опыт холостого хода. Холостым ходом называется режим работы трансформатора при разомкнутой вторичной обмотке ($z_H = \infty, I_2 = 0$).

Полезная мощность при работе трансформатора вхолостую равна нулю, то мощность на входе трансформатора в режиме х.х. P_0 расходуется на магнитные потери в магнитопроводе P_m (потери на перемагничивание магнитопровода и вихревые токи) и электрические потери в меди $I_0^2 r_1$ (потери на нагрев обмотки при прохождении по ней тока) одной лишь первичной обмотки. Однако ввиду небольшого значения тока I_0 , который обычно не превышает 2 – 10 % от $I_{1\text{ном}}$, электрическими потерями $I_0^2 r_1$ можно пренебречь и считать, что вся мощность х.х. представляет собой мощность магнитных потерь в стали магнитопровода. Поэтому магнитные потери в трансформаторе принято называть потерями холостого хода.

Опыт короткого замыкания. Короткое замыкание трансформатора – это такой режим, когда вторичная обмотка замкнута накоротко ($z_H = 0$), при этом вторичное напряжение $U_2 = 0$. В условиях эксплуатации, когда к трансформатору подведено номинальное напряжение $U_{1\text{ном}}$, короткое замыкание является аварийным режимом и представляет собой большую опасность для трансформатора.

При опыте к.з. обмотку низшего напряжения однофазного трансформатора замыкают накоротко, а к обмотке высшего напряжения подводят пониженное напряжение, постепенно повышая его регулятором напряжения РНО до некоторого значения $U_{\text{к.ном}}$, при котором токи к.з. в обмотках трансформатора становятся равными номинальным токам в первичной ($I_{1\text{к}} = I_{1\text{ном}}$) и вторичной ($I_{2\text{к}} = I_{2\text{ном}}$) обмотках. При этом снимают

показания приборов и строят характеристики к.з. $I_{1к}$, мощности к.з. P_k и коэффициента мощности $\cos \varphi_k$ от напряжения к.з. U_k .

Методические указания:

1.

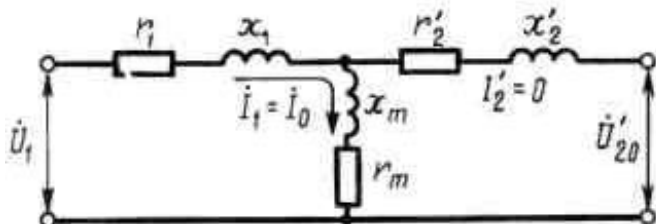


Рисунок 8.2 – Схема замещения трансформатора в режиме холостого хода

Определяется фазное напряжение на стороне НН по формуле

$$U_{2\phi} = U_{2ном} / \sqrt{3} \quad (8.1)$$

где $U_{2ном}$ – линейное напряжение на стороне НН, В

Полное сопротивление ветви намагничивания определяется по формуле

$$Z_m = U_{2\phi} / I_0 \quad (8.2)$$

где I_0 – ток холостого хода, А

активное сопротивление ветви намагничивания определяется по формуле

$$r_m = Z_m \cos \varphi_0 \quad (8.3)$$

где $\cos \varphi_0$ – коэффициент мощности в режиме холостого хода

индуктивное сопротивление ветви намагничивания определяется по формуле

$$x_m = \sqrt{Z_m^2 - r_m^2} \quad (8.4)$$

Номинальное значение тока в обмотке НН определяется по формуле

$$I_{2ном} = S_{ном} / (\sqrt{3} U_{2ном}) \quad (8.5)$$

где $S_{ном}$ – полная мощность трансформатора, кВА

Ток холостого хода

$$i_0 = (I_0 / I_{2ном}) \cdot 100\%$$

2.

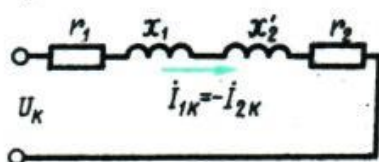


Рисунок 8.3 – Схема замещения трансформатора в режиме короткого замыкания

Среднее для трех фаз значение фазного напряжения КЗ

$$U_{\text{кном}} = (U_{\text{ка}} + U_{\text{кв}} + U_{\text{кс}})/3$$

Среднее для трех фаз значение тока КЗ

$$I_{1\text{к}} = (I_{\text{ка}} + I_{\text{кв}} + I_{\text{кс}})/3$$

Полное сопротивление КЗ определяется по формуле

$$z_{\text{к}} = U_{\text{кном}}/I_{1\text{ном}} \quad (8.6)$$

где $I_{1\text{ном}}$ – линейный ток обмотки ВН, А

Активное сопротивление КЗ определяется по формуле

$$r_{\text{к}} = P_{\text{к}}/3I_{1\text{ном}}^2 \quad (8.7)$$

где $P_{\text{к}}$ – мощность короткого замыкания, Вт

Индуктивное сопротивление КЗ определяется по формуле

$$x_{\text{к}} = \sqrt{z_{\text{к}}^2 - r_{\text{к}}^2}$$

Рассчитываем параметры опыта КЗ для всех значений тока КЗ. Результаты расчета заносим в таблицу 8.3, затем строим характеристики короткого замыкания

$$I_{1\text{к}} = f(U_{\text{к}})$$

Приняв температуру $t_1 = 20^\circ\text{C}$, полученные значения величин приводим к рабочей температуре обмоток $+75$ град С

Активное сопротивление КЗ определяется по формуле

$$r_{\text{к}75} = r_{\text{к}}[1 + a(75 - t_1)] \quad (8.8)$$

где $a = 0,004$ – температурный коэффициент для меди и алюминия

Полное сопротивление КЗ определяется по формуле

$$z_{\text{к}75} = \sqrt{(r_{\text{к}75}^2 + x_{\text{к}75}^2)} \quad (8.9)$$

Мощность КЗ определяется по формуле

$$P_{\text{к}75} = 3I_{1\text{к}}^2 \cdot r_{\text{к}75} \quad (8.10)$$

Коэффициент мощности определяется по формуле

$$\cos\varphi_{\text{к}75} = r_{\text{к}75}/z_{\text{к}75} \quad (8.11)$$

Напряжение КЗ определяется по формуле

$$U_{к75} = [(I_{1к} z_{к75})/U_{1ном}] \cdot 100\% \quad (8.12)$$

где $U_{1ном}$ – номинальное напряжение на стороне ВН, В

Рассчитываем параметры опыта КЗ для всех значений тока КЗ. Результаты расчета заносим в таблицу 8.4, затем строим характеристики короткого замыкания $P_{к75} = f(U_{к75})$; $\cos \varphi_{к75} = f(U_{к75})$;

Сумма потерь определяется по формуле

$$\Sigma P = P_{0ном} + \beta^2 \cdot P_{кном} \quad (8.13)$$

где $P_{0ном}$ – потери мощности в режиме холостого хода, Вт

$P_{кном}$ – потери мощности в режиме

β – Коэффициент загрузки трансформатора

Значение коэффициента нагрузки определяется по формуле

$$\beta' = \sqrt{P_{0ном}/P_{кном}} \quad (8.14)$$

Максимальное значение КПД при $\cos \varphi = 0,8$, $\cos \varphi_2 = 1,0$ определяется по формуле

$$\eta_{\max} = (\beta' S_{ном} \cos \varphi_2) / (\beta' S_{ном} \cos \varphi_2 + 2P_{0ном}) \quad (8.15)$$

где $S_{ном}$ – полная номинальная мощность трансформатора, ВА

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности

КПД трансформатора, $\cos \varphi_2 = 0,8$; $\cos \varphi_2 = 1,0$ определяется по формуле

$$\eta = (\beta S_{ном} \cos \varphi_2) / (\beta S_{ном} \cos \varphi_2 + P_{0ном} + \beta^2 P_{кном}) \quad (8.16)$$

Ход работы (задания):

1. По данным холостого хода, таблица 8.1. трехфазного трансформатора с параметрами: $S_{ном} = 100кВА$; $U_{1ном}/U_{2ном} = 6,3/0,38кВ$; соединение обмоток У/У. Определить параметры ветви намагничивания схемы замещения трансформатора z_T , r_T , x_T и ток холостого хода при номинальном фазном напряжении на стороне обмоток НН.

Таблица 8.1 – Данные опыта холостого хода

№ варианта	$I_{0ном}$, А	$\cos \varphi_{ном}$	$P_{0ном}$, Вт	Примечание
1	20,6	0,08	614	
2	20,0	0,08	519	
3	20,1	0,07	590	
4	20,5	0,085	592	
5	19,8	0,07	584	

№ варианта	$I_{\text{ном}}, \text{А}$	$\text{Cos}\varphi_{\text{ном}}$	$P_{\text{ном}}, \text{Вт}$	Примечание
6	20,3	0,08	587	
7	20,4	0,08	599	
8	19,8	0,07	588	
9	20,8	0,07	611	
10	20,7	0,08	607	

2. Результаты измерений при опыте короткого замыкания приведены в таблице 8.2. (напряжение подводилось со стороны ВН). Построить характеристики короткого замыкания: зависимость тока КЗ $I_{\text{к}}$, мощности КЗ $P_{\text{к}}$ от напряжения короткого замыкания $U_{\text{к}}$.

Таблица 8.2 – Данные опыта короткого замыкания

№ варианта	№ измерений	$U_{\text{ка}}, \text{В}$	$U_{\text{кв}}, \text{В}$	$U_{\text{кс}}, \text{В}$	$I_{\text{ка}}, \text{А}$	$I_{\text{кв}}, \text{А}$	$I_{\text{кс}}, \text{А}$	$P_{\text{к}}, \text{Вт}$
1	1	63	65	63	2,9	3,1	2,9	191
	2	105	105	104 142	5,1	5,0	5,0	512
	3	143	144	190	7,0	7,1	6,9	1046
	4	192	191		9,3	9,2	9,1	1796
2	1	61	60	62	3,2	3,0	3,2	201
	2	103	103	102	5,1	5,0	5,0	512
	3	151	149	151	7,2	7,2	7,1	1096
	4	203	203	201	9,7	9,7	9,5	2000
3	1	65	64	64	3,1	3,0	3,1	200
	2	101	101	100	4,9	4,9	4,9	500
	3	145	147	146	7,1	7,2	7,1	1045
	4	200	200	201	9,4	9,4	9,4	1888
4	1	62	61	61	3,2	3,2	3,0	200
	2	104	104	105	5,7	5,5	5,5	593
	3	151	152	152	7,3	7,1	7,2	1098
	4	192	190	189	9,2	9,1	9,0	1775
5	1	55	56	55	3,0	3,0	2,9	172
	2	107	105	107	5,7	5,6	5,7	612
	3	146	144	145	7,0	7,1	7,0	1020
	4	197	197	195	9,0	9,0	8,9	1782
6	1	56	55	55	3,0	3,0	2,9	172
	2	105	107	106	5,7	5,6	5,8	613
	3	145	144	146	7,1	7,0	7,0	1020
	4	197	196	198	8,9	9,0	9,1	1783
7	1	63	65	63	2,9	3,1	2,9	191
	2	103	103	102	5,1	5,0	5,0	512
	3	145	147	146	7,1	7,2	7,1	1045
	4	192	190	189	9,2	9,1	9,0	1775
8	1	48	46	46	2,6	2,5	2,5	120
	2	111	109	109	5,2	5,1	5,1	565
	3	143	145	143	7,0	7,1	7,0	1015
	4	186	188	186	9,0	9,1	9,0	1690
9	1	48	46	46	2,6	2,5	2,5	120
	2	111	109	109	5,2	5,1	5,1	565
	3	143	145	143	7,0	7,1	7,0	1015
	4	186	188	186	9,0	9,1	9,0	1690

№ варианта	№ измерений	$U_{ка}, В$	$U_{кв}, В$	$U_{кс}, В$	$I_{ка}, А$	$I_{кв}, А$	$I_{кс}, А$	$P_k, Вт$
10	1	60	61	58	2,7	2,7	2,5	182
	2	101	100	100	5,0	5,0	4,9	501
	3	150	151	149	7,2	7,2	7,3	1055
	4	190	189	189	9,2	9,1	9,1	1770

Результаты расчетов свести в таблицу 8.3.

Таблица 8.3 – Расчетные параметры

№ измерений	$U_k, В$	$I_{Ik}, А$
1		
2		
3		
4		

Рассчитать и построить характеристики короткого замыкания: зависимость мощности КЗ P_k и коэффициента мощности $\cos \varphi$ от напряжения короткого замыкания U_k .

Результаты расчетов свести в таблицу 8.4.

Таблица 8.4 – Результаты расчетов

№ измерений	$U_{к75}, В$	$I_{Ik}, А$	$P_{к75}, Вт$	$\cos \varphi_{к75}$
1				
2				
3				
4				

Определить КПД и построить графики зависимости $\eta = f(\beta)$ трехфазного трансформатора. Расчет выполнить для двух значений коэффициента мощности нагрузки 0,8 и 1,0. Для построения графиков $\eta = f(\beta)$ вычислим КПД для ряда значений коэффициента нагрузки β , равным 0,25; 0,5; 0,75; 1,0.

Результаты расчета свести в таблицу 8.5.

Таблица 8.5 – Результаты расчетов

β	$\beta^2 P_{кном}, Вт$	$\Sigma P, Вт$	$\eta, \text{ при } \cos \varphi_2$	
			$\cos \varphi_2 = 0,8$	$\cos \varphi_2 = 1,0$
0,25				
0,5				
0,75				
1,0				

Результат деятельности: Выводы. Отчет.

Контрольные вопросы:

1. Объясните устройство и принцип действия трансформатора.
2. Что такое коэффициент трансформации и как его определить?

3. Почему токи холостого хода в обмотках трехфазного трансформатора не одинаковы?

4. Почему с увеличением первичного напряжения при опыте холостого хода уменьшается коэффициент мощности трансформатора.

5. Почему с ростом напряжения U_k график $I_{1k} = f(U_k)$ – прямолинейен, а график $P_k = f(U_k)$ – криволинейен?

6. В каком случае трансформатор имеет значение КПД максимальным?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ. ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ МЕЖДУ НИМИ

Цель работы:

изучить:

- условия параллельной работы трансформаторов;
- принцип распределения нагрузки между параллельно работающими трансформаторами.

формировать умения:

- распределять нагрузки между параллельно работающими трансформаторами;
- производить фазировку трансформаторов, поставленных на параллельную работу и включать их на параллельную работу.

к освоению профессионального модуля ПМ.01 Организация и выполнение работ по эксплуатации и ремонту электроустановок по специальности 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования промышленных и гражданских зданий **и овладению:**

профессиональными компетенциями (ПК): ПК 1.2;

общими компетенциями (ОК): ОК 01 – ОК 10.

Методическое руководство:

- изучить краткие теоретические сведения;
- выполнить задание;
- составить отчет о проделанной работе и сделать заключение;
- подготовиться к защите практической работы.

Подготовка к работе:

Повторить темы: Группы соединения обмоток. Параллельная работа трансформаторов.

Оснащение:

Оборудование, материалы:

- интернет-ресурсы, учебники.

– калькулятор.

рекомендуемые информационные источники:

– Кацман М.М. Электрические машины: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / М.М. Кацман. – М: Издательский центр «Академия», 2014. – 496 с. ил.

– Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы: учеб. пособие для СПО / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. – 6-е изд. испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 181 с. Серия: Профессиональное образование.

– методические указания по выполнению практической работы.

Краткие теоретические сведения:

Для того чтобы нагрузка между параллельно работающими трансформаторами распределялась пропорционально их номинальным мощностям, допускается параллельная работа двухобмоточных трансформаторов при следующих условиях:

1. При одинаковом первичном напряжении вторичные напряжения должны быть равны. Другими словами, трансформаторы должны иметь одинаковые коэффициенты трансформации: $k_I = k_{II} = k_{III} = \dots$. При несоблюдении этого условия, даже в режиме х.х., между параллельно включенными трансформаторами возникает уравнивающий ток, обусловленный разностью вторичных напряжений трансформаторов ΔU (рис. 9.1, а)

$$I_{ур} = \Delta U / (Z_{кI} + Z_{кII}) \quad (9.1)$$

где $Z_{кI}, Z_{кII}$ – внутренние сопротивления трансформаторов

При нагрузке трансформаторов уравнивающий ток накладывается на нагрузочный. При этом трансформатор с более высоким вторичным напряжением х.х. (с меньшим коэффициентом трансформации) оказывается перегруженным, а трансформатор равной мощности, но с большим коэффициентом трансформации – недогруженным. Так как перегрузка трансформаторов недопустима, то приходится снижать общую нагрузку. При значительной разнице коэффициентов трансформации нормальная работа трансформаторов становится практически невозможной. Однако ГОСТ допускает включение на параллельную работу трансформаторов с различными коэффициентами трансформации, если разница коэффициентов трансформации не превышает $\pm 0,5\%$ их среднего значения

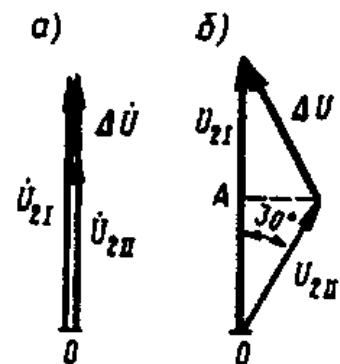


Рисунок 9.1 –
Появление напряжения ΔU при несоблюдении условий включения трансформаторов на параллельную работу

$$\Delta k = [(k_I - k_{II})/k] \cdot 100\% \leq 0,5\% \quad (9.2)$$

где $k = \sqrt{k_I k_{II}}$ – среднее геометрическое значение коэффициентов трансформации

2. Трансформаторы должны принадлежать к одной группе соединения. При несоблюдении этого условия вторичные линейные напряжения трансформаторов окажутся сдвинутыми по фазе относительно друг друга и в цепи трансформаторов появится разностное напряжение ΔU , под действием которого возникнет значительный уравнивающий ток. Так, если включить на параллельную работу два трансформатора с одинаковыми коэффициентами трансформации, но один из них принадлежит к нулевой (Y/Y-0), а другой – к одиннадцатой (Y/Δ-11) группам соединения, то линейное напряжение U_{2I} первого трансформатора, будет больше линейного напряжения U_{2II} второго трансформатора в $\sqrt{3}$ раз ($U_{2I}/U_{2II} = \sqrt{3}$). Кроме того, векторы этих напряжений окажутся сдвинутыми по фазе относительно друг друга на угол 30° (рис. 9.1, б). В этих условиях во вторичной цепи трансформаторов появится разностное напряжение ΔU . Для определения величины ΔU воспользуемся построениями рис. 9.1, б: отрезок OA равен $\sqrt{3} U_{2II}/2$ или, учитывая, что $U_{2II} = U_{2I} / \sqrt{3}$, получим $OA = 0,5U_{2I}$. Следовательно, треугольник, образованный векторами напряжений U_{2I} , U_{2II} и ΔU – равнобедренный, а поэтому разностное напряжение $\Delta U = U_{2II}$. Появление такого разностного напряжения привело бы к возникновению во вторичной цепи трансформаторов уравнивающего тока, в 15–20 раз превышающего номинальный ток нагрузки, т. е, возникла бы аварийная ситуация. Величина ΔU становится еще большей, если трансформаторы принадлежат нулевой и шестой группам соединения ($\Delta U = 2U_2$), так как в этом случае векторы линейных вторичных напряжений окажутся в противофазе.

3. Трансформаторы должны иметь одинаковые напряжения к. з.:

$u_{кI} = u_{кII} = u_{кIII} = \dots$. Соблюдение этого условия необходимо для того, чтобы общая нагрузка распределялась между трансформаторами пропорционально их номинальным мощностям.

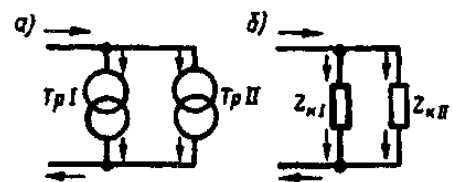


Рисунок 9.2 – К понятию о распределении нагрузки при параллельной работе трансформаторов

С некоторым приближением, пренебрегая токами х.х., можно параллельно включенные трансформаторы заменить их сопротивлениями к.з. $Z_{кI}$ и $Z_{кII}$ и тогда от схемы, показанной на рис. 9.2, а, можно перейти к эквивалентной схеме (рис. 9.2, б).

Относительные мощности (нагрузки) параллельно работающих трансформаторов обратно пропорциональны их напряжениям к.з. Другими словами, при неравенстве напряжений к.з. параллельно работающих

трансформаторов больше нагружается трансформатор с меньшим напряжением к.з. В итоге это ведет к перегрузке одного трансформатора (с меньшим u_k) и недогрузке другого (с большим u_k). Чтобы не допустить перегрузки трансформатора, необходимо снизить общую нагрузку. Таким образом, неравенство напряжений к.з. не допускает полного использования по мощности параллельно работающих трансформаторов.

Учитывая, что практически не всегда можно подобрать трансформаторы с одинаковыми напряжениями к.з., ГОСТ допускает включение трансформаторов на параллельную работу при разнице напряжений к.з. не более чем 10% от их среднего арифметического значения. Разница в напряжениях к.з. трансформаторов тем больше, чем больше эти трансформаторы отличаются друг от друга по мощности.

Поэтому ГОСТ рекомендует, чтобы отношение номинальных мощностей трансформаторов, включенных параллельно, было не более чем 3:1.

Помимо соблюдения указанных трех условий необходимо перед включением трансформаторов на параллельную работу проверить порядок чередования фаз, который должен быть одинаковым у всех трансформаторов.

Соблюдение всех перечисленных условий проверяется фазировкой трансформаторов, сущность которой состоит в том, что одну пару, противоположно расположенных зажимов на рубильнике (см. рис. 2.7, б), соединяют проводом и вольтметром V_0 (нулевой вольтметр) измеряют напряжение между оставшимися несоединенными парами зажимов рубильника. Если вторичные напряжения трансформаторов равны, их группы соединения одинаковы и порядок следования фаз у них один и тот же, то показания вольтметра V_0 равны нулю. В этом случае трансформаторы можно подключать на параллельную работу. Если вольтметр V_0 покажет некоторое напряжение, то необходимо выяснить, какое из условий параллельной работы нарушено. Необходимо устранить это нарушение и вновь провести фазировку трансформаторов. Следует отметить, что при нарушении порядка следования фаз вольтметр V_0 покажет двойное линейное напряжение. Это необходимо учитывать при подборе вольтметра, предел измерения которого должен быть не менее двойного линейного напряжения на вторичной стороне трансформаторов.

Общая нагрузка всех включенных на параллельную работу трансформаторов S не должна превышать суммарной номинальной мощности этих трансформаторов

$$S \leq \sum S_{\text{ном}x} \quad (9.3)$$

где $\sum S_{\text{ном}x}$ – суммарная номинальная мощность трансформаторов, поставленных на параллельную работу

Распределение нагрузки между параллельно работающими трансформаторами определяется следующим образом

$$S_x = S \cdot S_{\text{НОМ}x} / [u_{\text{кx}} \sum (S_{\text{НОМ}x} / u_{\text{кx}})] \quad (9.4)$$

где S_x – нагрузка одного из параллельно работающих трансформаторов, кВА;
 S – общая нагрузка всей параллельной группы, кВА;
 $u_{\text{кx}}$ – напряжение к.з. данного трансформатора, %;
 $S_{\text{НОМ}x}$ – номинальная мощность данного трансформатора, кВА.

В выражении (9.4)

$$\sum (S_{\text{НОМ}x} / u_{\text{кx}}) = (S_{\text{НОМ}I} / u_{\text{кI}}) + (S_{\text{НОМ}II} / u_{\text{кII}}) + \dots \quad (9.5)$$

Методические указания:

1.

Определяется разностное напряжение, при разнице коэффициентов трансформации $\Delta k = 1\%$

$$\Delta E = U_{1\phi} \cdot \Delta k / 100 \quad (9.6)$$

где $U_{1\phi}$ – фазное напряжение обмотки ВН, В

Если трансформаторы разной мощности имеют $u_{\text{кI}} = u_{\text{кII}}$, то их сопротивления $z_{\text{к}}$ обратно пропорциональны токам, а стало быть, мощностям трансформаторов

$$z_{\text{кII}} = z_{\text{кI}} \cdot S_{\text{нI}} / S_{\text{нII}} \quad (9.7)$$

тогда уравнительный ток

$$I_y = \Delta E / (z_{\text{кI}} + z_{\text{кII}}) \quad (9.8)$$

или $I_y / I_{\text{нI}}$

где $z_{\text{кI}} + z_{\text{кII}}$ – внутренние сопротивления трансформаторов, Ом

2.

Определяется общая нагрузка трансформаторов поставленных на параллельную работу, которая равна сумме их номинальных мощностей

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{НОМ}I} + S_{\text{НОМ}II} + S_{\text{НОМ}III} \quad (9.9)$$

Определяется по формуле (9.5)

$$\sum (S_{\text{НОМ}x} / u_{\text{к}x}) = (S_{\text{НОМ}I} / u_{\text{кI}}) + (S_{\text{НОМ}II} / u_{\text{кII}}) + (S_{\text{НОМ}III} / u_{\text{кIII}}) + \dots$$

Определяется нагрузка каждого трансформатора, поставленного на параллельную работу по формуле (9.4)

$$S_x = S_{\text{общ}} \cdot S_{\text{ном } x} / [u_{к.х} S_{\text{общ}} \cdot (S_{\text{ном } x} / u_{к.х})]$$

где S_x – нагрузка одного из параллельно работающих трансформаторов, кВА
 $S_{\text{общ}}$ – общая нагрузка всей параллельной группы, кВА
 $U_{к.х}$ – напряжение короткого замыкания данного трансформатора, В
 $S_{\text{ном } x}$ – номинальная мощность данного трансформатора, кВА

Общая нагрузка всех включенных на параллельную работу трансформаторов $S_{\text{общ}}$ не должна превышать суммарной номинальной мощности этих трансформаторов по формуле (9.3)

$$S_{\text{общ}} \leq \Sigma S_{\text{ном.х}}$$

Определяется загрузка каждого из трансформаторов, поставленных на параллельную работу.

Определяется процент перегрузки перегруженных трансформаторов.

Общая нагрузка снижается на процент наиболее перегруженного трансформатора.

Определяется суммарная мощность трансформаторов, используемая при их работе.

Ход работы (задания):

1.

1.1. Параллельно включены в работу два трехфазных трансформатора I и II, таблица 9.1;

1.2. Ознакомиться с данными трансформаторов;

1.3. Определить уравнивающий ток, при $\Delta k = [(k_I - k_{II})/k]100 = \pm 0,5\%$;

1.4. Сделать выводы.

Таблица 9.1 – Исходные данные

№ варианта	Тр-ры	$S_{\text{ном}}$, кВА	$U_{к}$, %	U_1 , В	$I_{\text{ном}}$, А	$z_{к}$, Ом	Группа соедин.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	I	3200	4,3	35000	52,85	16,5	Y/Δ-11
	II	4200	4,3	35000	69,36	12,5	Y/Δ-11
2	I	420	4,5	6000	40,5	3,85	Y/Y-0
	II	200	4,5	6000	19,27	8,1	Y/Y-0
3	I	63	4,3	6000	6,07	24,57	Y/Y-0
	II	25	4,3	6000	7,21	20,68	Y/Y-0
4	I	1800	4,4	35000	29,73	29,94	Y/Δ-11
	II	4200	4,4	35000	69,36	12,83	Y/Δ-11
5	I	1000	6,5	35000	16,52	79,6	Y/Δ-11
	II	630	6,5	35000	10,4	126,45	Y/Δ-11
6	I	5000	5,7	6000	481,7	0,41	Y/Δ-11
	II	1800	5,7	6000	173,4	1,14	Y/Δ-11

1	2	3	4	5	6	7	8
7	I	5600	4,0	35000	92,5	8,75	Y/ Δ -11
	II	3200	4,0	35000	52,85	15,3	Y/ Δ -11
8	I	40	4,7	6000	3,85	42,34	Y/Y-0
	II	63	4,7	6000	6,07	26,85	Y/Y-0
9	I	630	5,5	6000	60,7	3,14	Y/Y-0
	II	1000	5,5	6000	96,34	1,98	Y/Y-0
10	I	1600	6,5	35000	27,2	48,5	Y/ Δ -11
	II	2500	6,5	35000	41,5	32,65	Y/ Δ -11

2.

2.1. Ознакомиться с данными трансформаторов, таблица 9.2;

2.2. Из пяти трехфазных трансформаторов с номинальной мощностью $S_{ном.х}$ выбрать три трансформатора для включения их на параллельную работу.

Таблица 9.2 – Исходные данные

№ варианта	Величины	Трансформаторы				
		I	II	III	IV	V
1	$S_{ном}$, кВА	3200	4200	5000	1800	5600
	U_k , %	4,3	4,3	4,0	4,0	4,0
	группа соедин.	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11	Δ /Y-11	Δ /Y-11	Y/ Δ -11
2	$S_{ном}$, кВА	560	420	200	250	160
	U_k , %	4,0	4,2	4,5	4,7	4,7
	группа соедин.	Y/Y-0	Y/Y-0	Y/Y-0	Δ /Y-11	Y/Y-0
3	$S_{ном}$, кВА	25	100	40	400	63
	U_k , %	4,5	6,5	4,7	4,5	5,0
	группа соедин.	Y/Y-0	Y/Y-0	Y/Y-0	Δ /Y-11	Y/Y-0
4	$S_{ном}$, кВА	1600	1800	3200	4200	5000
	U_k , %	4,5	4,4	4,0	3,8	3,8
	группа соедин.	Δ /Y-11	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11	Δ /Y-11
5	$S_{ном}$, кВА	1000	630	400	1250	1600
	U_k , %	6,5	6,5	6,0	6,5	6,3
	группа соедин.	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11	Δ /Y-11	Δ /Y-11
6	$S_{ном}$, кВА	5000	1600	2500	3200	1800
	U_k , %	5,3	5,5	6,5	5,5	5,7
	группа соедин.	Y/ Δ -11	Y/Y-0	Δ /Y-11	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11
7	$S_{ном}$, кВА	4200	4000	5000	3200	5600
	U_k , %	4,3	4,7	4,0	4,3	4,0
	группа соедин.	Y/ Δ -11	Y/Y-0	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11	Δ /Y-11
8	$S_{ном}$, кВА	40	25	63	160	100
	U_k , %	4,5	4,7	4,7	4,0	6,5
	группа соедин.	Y/Y-0	Y/Y-0	Y/Y-0	Y/Y-0	Y/Y-0
9	$S_{ном}$, кВА	1250	630	1000	1600	1600
	U_k , %	5,3	5,5	5,7	6,5	6,5
	группа соедин.	Δ /Y-11	Y/Y-0	Y/Y-0	Y/Y-0	Δ /Y-11
10	$S_{ном}$, кВА	1000	1250	1600	1600	2500
	U_k , %	6,5	6,7	6,3	6,65	6,55
	группа соедин.	Y/ Δ -11	Δ /Y-11	Δ /Y-11	Y/ Δ -11	Y/ Δ -11

2.3. Определить нагрузку каждого трансформатора, если общая нагрузка равна сумме номинальных мощностей этих трансформаторов ($S = S_{\text{ном I}} + S_{\text{ном II}} + S_{\text{ном III}}$)

2.4. Определить степень использования каждого из трансформаторов по мощности $S/S_{\text{ном}}$;

2.5. Определить насколько следует уменьшить общую нагрузку трансформаторов S , чтобы устранить перегрузку трансформаторов;

2.6. Определить процентное использование трансформаторов по мощности.

Результат деятельности: Выводы. Отчет.

Контрольные вопросы:

1. Что такое группа соединения и как она обозначается?
2. Какие группы соединения предусмотрены ГОСТом?
3. Как из основной группы соединения можно получить производную?
4. Как изменится отношение линейных напряжений трансформатора, если нулевую группу соединения изменить на 11-ю?
5. Какие условия необходимо соблюдать при включении трансформаторов на параллельную работу?
6. Что такое фазировка трансформатора и как она выполняется?

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кацман М.М. Электрические машины: Учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / М.М. Кацман. – М: Издательский центр «Академия», 2014. – 496 с. ил. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>].

2. Игнатович В.М. Электрические машины и трансформаторы: учеб. пособие для СПО / В.М. Игнатович, Ш.С. Ройз. – 6-е изд. испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2016. – 181 с. Серия: Профессиональное образование. [Электронный ресурс; Режим доступа <https://www.biblio-online.ru>].

3. Александровская А.Н. Организация технического обслуживания электрического и электромеханического оборудования: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А.Н. Александровская, И.А. Гванцеладзе. – М.: Издательский центр «Академия», 2016. – 336 с. [Электронный ресурс; Режим доступа <http://www.academia-moscow.ru>].

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	3
ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ.....	5
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №7. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ.....	5
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8. ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУХОБМОТОЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХОБМОТОЧНОГО СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ОПЫТНЫМ ПУТЕМ. ОПЫТЫ ХОЛОСТОГО ХОДА И КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.....	15
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РАБОТА ТРАНСФОРМАТОРОВ. ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ МЕЖДУ НИМИ.....	23
ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	30

МДК.01.01 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

08.00.00 ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

специальность 08.02.09 Монтаж, наладка и эксплуатация
электрооборудования промышленных и гражданских зданий

**Методические указания к выполнению практических занятий
для обучающихся 2 курса очной формы обучения
образовательных организаций
среднего профессионального образования**

Часть 2

Методические указания
разработал преподаватель: Опанасенко Людмила Ивановна

Подписано к печати 22.11.2023 г.

Формат 60x84/16

Тираж

Объем 2 п.л.

Заказ

1 экз.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Югорский государственный университет» (ЮГУ)
НЕФТЯНОЙ ИНСТИТУТ**

**(ФИЛИАЛ) ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**628615 Тюменская обл., Ханты-Мансийский автономный округ,
г. Нижневартовск, ул. Мира, 37.**