

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени В.И. Вернадского»
ПРИБРЕЖНЕНСКИЙ АГРАРНЫЙ КОЛЛЕДЖ (ФИЛИАЛ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
КУРСОВОГО ПРОЕКТА

МДК.02.02. Эксплуатация систем электроснабжения сельскохозяйственных
предприятий

Для обучающихся специальности: 35.02.08 Электрификация и автоматизация
сельского хозяйства

Прибрежное, 2017

Методические указания по выполнению курсового проекта по МДК.02.02. Эксплуатация систем электроснабжения сельскохозяйственных предприятий для обучающихся специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства / Федюшко Ю.М. - Прибрежное, 2017. - 36 с.

Организация разработчик: Прибрежненский аграрный колледж (филиал) ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»

Разработчики:

Федюшко Ю.М. – д.т.н., профессор, преподаватель электротехнических дисциплин.

Аннотация

Методические указания разработаны для обучающихся по специальности «35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» Содержат перечень тем курсовых проектов по эксплуатации систем электроснабжения сельскохозяйственных предприятий, а также описание их состава объема и содержания. В методических указаниях отражены вопросы определения номинальных токов трансформатора, зависимости изменения вторичного напряжения трансформатора, расчета внешних характеристик трансформаторов, зависимости КПД трансформатора от величин нагрузки, определения допустимой нагрузки на трансформаторы при параллельной работе с разными коэффициентами трансформации, допустимой нагрузки на трансформаторы при параллельной работе с разными u_k , экономические режимы работы трансформатора

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой комиссии общетехнических и специальных дисциплин

Протокол № 12 от «11» 05 2017.

Председатель  Тулова Ю.Ф.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	4
2. СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА	6
3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ	6
4. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	7
5. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	8
6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	9
6.1. Определение номинальных токов трансформатора	9
6.2. Определение зависимости изменения вторичного напряжения трансформатора	9
6.3. Расчет внешних характеристик трансформаторов	11
6.4. Расчет зависимости КПД трансформатора от величин нагрузка	12
6.5. Определение допустимой нагрузки на трансформаторы при параллельной работе с разными коэффициентами трансформации	14
6.6. Определение допустимой нагрузки на трансформаторы при параллельной работе с разными u_k	20
6.7. Экономические режимы работы трансформатора	22
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	27
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	29
ПРИЛОЖЕНИЕ А	30

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1 Цель курсового проектирования

Курсовой проект является одним из основных видов учебных занятий и формы контроля учебной работы.

Курсовой проект – это практическая деятельность обучающихся по изучаемому профессиональному модулю конструкторского или технологического характера.

Выполнение курсового проекта по дисциплине МДК.02.02. Эксплуатация систем электроснабжения сельскохозяйственных предприятий, направлено на приобретение практического опыта по систематизации полученных знаний и практических умений, формированию профессиональных и общих компетенций.

Выполнение курсового проекта осуществляется под руководством. Результатом данного проекта должна стать работа, выполненная и оформленная в соответствии с установленными требованиями.

Настоящие методические рекомендации определяют цели и задачи, порядок выполнения, содержат требования к лингвистическому и техническому оформлению и практические советы по выполнению.

Целью курсового проекта является систематизация, закрепление и углубление теоретических и практических навыков обучающихся по расчету трансформаторов сельских электрических сетей при их работе в нормальных и аномальных режимах, а также формированию умений и знаний профессионального модуля согласно федеральному государственному образовательному стандарту среднего профессионального образования по специальности 35.02.08 Электрификация и автоматизация сельского хозяйства, должен:

уметь:

– рассчитывать нагрузки и потери энергии в электрических сетях;

- рассчитывать разомкнутые и замкнутые сети, токи короткого замыкания, заземляющие устройства;
- рассчитывать внешние характеристики трансформатора;
- рассчитывать зависимости КПД трансформатора от коэффициента нагрузки;
- определять допустимые нагрузки на трансформаторы при параллельной их работе с неодинаковыми коэффициентами трансформации;
- определять наибольшую допустимую нагрузку трансформаторов при параллельной работе с неодинаковыми токами короткого замыкания;

знать:

- сведения о производстве, передаче и распределении электрической энергии;
- технические характеристики проводов, кабелей и методику их выбора для внутренних проводок и кабельных линий;
- методику выбора схем типовых районных и потребительских трансформаторных подстанций, схем защиты высоковольтных и низковольтных линий;
- правила утилизации и ликвидации отходов электрического хозяйства;
- применять требования нормативных документов;
- методы и средства проектирования систем электроснабжения;
- национальную и международную систему стандартизации и сертификации.

1.2 Задачи курсового проектирования

Задачи курсового проектирования:

- поиск, обобщение, анализ необходимой информации;
- разработка материалов в соответствии с заданием на курсовой проект;
- оформление курсового проекта в соответствии с заданными требованиями;

- выполнение проектной части курсового проекта и подготовка его к защите.

2. СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

По содержанию курсовой проект может носить реферативный, практический или опытно - экспериментальный характер. По объему курсовая работа должна быть не менее 25-30 страниц печатного текста.

В структуру курсового проекта входят следующие разделы:

Титульный лист.

Задание.

Содержание (введение, все главы и подглавы курсового проекта, введение, заключение, список литературы)

Введение, в котором показывается значение и необходимость расчетов трансформаторов в условиях эксплуатации, наиболее распространении схемы соединения обмоток трансформаторов, что применяются в электроснабжении, особенности режимов работы трансформаторов.

В качестве начальных материалов для выполнения курсового проекта используются каталожные данные трехфазного трансформатора с схемой соединения обмоток Y/Y_0 и номинальным вторичным напряжением 0,4 кВ.

Вариант начальных данных задается обучающемуся цифровым кодом (последние две цифры номера зачетной книжки). Начальные данные приведены в таблице А1.

Расчетная часть.

Заключение, в котором содержатся выводы и рекомендации относительно возможностей использования материалов проекта.

Список литературы (литература, ГОСТы, электронные источники).

Приложения.

3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

Расчетная часть обычно состоит из двух разделов:

в первом содержатся теоретические основы темы; дается история вопроса, уровень разработанности вопроса темы в теории и практике посредством сравнительного анализа литературы.

В теоретической части рекомендуется излагать наиболее общие положения, касающиеся данной темы, а не вторгаться во все проблемы в глобальном масштабе. Теоретическая часть предполагает анализ объекта исследования и должна содержать ключевые понятия, историю вопроса, уровень разработанности проблемы в теории и практике. Излагая содержание публикаций других авторов, необходимо обязательно давать ссылки на них с указанием этих источников.

Вторым разделом является расчетная часть. В ней необходимо описать конкретный объект исследования, привести результаты практических расчетов и направления их использования, а также сформулировать направления совершенствования. Построить зависимости по расчетным данным. Выполнить выводы по каждому завершеному расчету.

Примерная структура расчетной части:

Определение номинальных токов трансформатора.

Определение величины, необходимых для построения некоторых диаграмм трансформатора.

Расчет внешних характеристик трансформатора.

Расчет зависимости КПД трансформатора от коэффициента нагрузки.

Определение допустимой нагрузки на трансформаторы при параллельной их работе с неодинаковыми коэффициентами трансформации.

Изучение наибольшей допустимой нагрузки трансформаторов при параллельной работе с неодинаковыми токами короткого замыкания.

Экономные режимы работы трансформатора.

4. ОБЩИЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Оформление текстового материала

Текстовая часть работы должна быть представлена в компьютерном варианте на бумаге формата А4. Шрифт – Times New Roman, размер шрифта – 14, полуторный интервал, выравнивание по ширине, отступ -1,25. Страницы должны иметь поля (рекомендуемые): нижнее – 2; верхнее – 2; левое – 3; правое – 1. Объем курсовой работы/проекта – 25-30 страниц. Титульный лист оформляется в единой форме. Начиная с введения, вся работа должна содержаться в рамке с личным номером обучающегося. Все страницы работы должны быть подсчитаны, начиная с титульного листа и заканчивая последним приложением. Нумерация страниц должна быть сквозная, начиная с введения и заканчивая последним приложением. Номер страницы ставится в правом верхнем углу страницы.

Весь текст проекта должен быть разбит на составные части. Разбивка текста производится делением его на разделы и подразделы. В содержании проекта не должно быть совпадения формулировок названия одной из составных частей с названием самой работы, а также совпадения названий разделов и подразделов. Названия разделов и подразделов должны отражать их основное содержание и раскрывать тему работы/проекта.

Пояснительная записка курсового проекта оформляется согласно ГОСТ 2.105-95.

Каждый раздел должен начинаться с новой страницы. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание глав, подразделов.

В основной части проекта должны присутствовать таблицы, схемы с соответствующими ссылками и комментариями.

5. ГРАФИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Графическая часть курсового проекта состоит из графических зависимостей, какие рассчитываются в п.п. 6.2 -6.7., диаграммы токов при

параллельной работе трансформаторов разными коэффициентами трансформации.

Графическую часть выполняют на листах формата А3 в соответствии с требованиями ЕСКД.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

6.1. Определение номинальных токов трансформатора

Номинальные токи первичной и вторичной обмоток трансформатора, определяются за формулой

$$I_{\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{НОМ}}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА;

$U_{\text{НОМ}}$ - номинальное линейное напряжение трансформатора, кВ.

6.2. Определение зависимости изменения вторичного напряжения трансформатора

Зависимость изменения вторичной нагрузки трансформатора от характера нагрузки определяют расчетным путем, согласно выражению:

$$\Delta U_2 \% = \beta \cdot (u_{\text{ка}}, \% \cdot \cos \varphi_2 + u_{\text{кр}}, \% \sin \varphi_2) \quad (2)$$

где $\beta = I_2/I_n$ - коэффициент нагрузки трансформатора;

$u_{\text{ка}} \%$ - активная составляющая напряжения короткого замыкания;

$u_{кр} \%$ - реактивная составляющая напряжения короткого замыкания.

Полное, активное и реактивное сопротивления короткого замыкания определяем по формулам

$$Z_k = \frac{U_{кф}}{I_{1ном}} \quad (3)$$

$$r_k = \frac{P_{к.ном}}{3I_{1ном}^2} \quad (4)$$

$$x_k = \sqrt{Z_k^2 - r_k^2} \quad (5)$$

где $P_{кн}$ - потери короткого замыкания, которые отвечают номинальным токам в обмотках трансформатора Вт.

Активная составляющая напряжения короткого замыкания

$$u_{ка} \% = \frac{I_{ном} \cdot r_k}{U_{ном.ф}} \cdot 100 \quad (6)$$

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания

$$u_{кр} \% = \frac{I_{1ном} \cdot x_k}{U_{ном.ф}} 100 \quad (7)$$

где $U_{ном. ф}$ - номинальное фазное напряжение трансформатора, кВ.

Зависимость $\Delta U = f(\varphi_2)$ рассчитывают для номинальной нагрузки при изменении φ_2 в пределах от $+90^\circ$ до -90° с обязательным показом характерных точек. Результаты расчета заносят в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты расчетов зависимости $\Delta U = f(\varphi_2)$

φ_2	град	+ 90	+ 60	+ 45	+ 30	0	- 30	- 45	- 60	- 90
Δu	%									

По результатам расчета построить зависимость $\Delta U = f(\varphi_2)$ (рис. 1) [2].

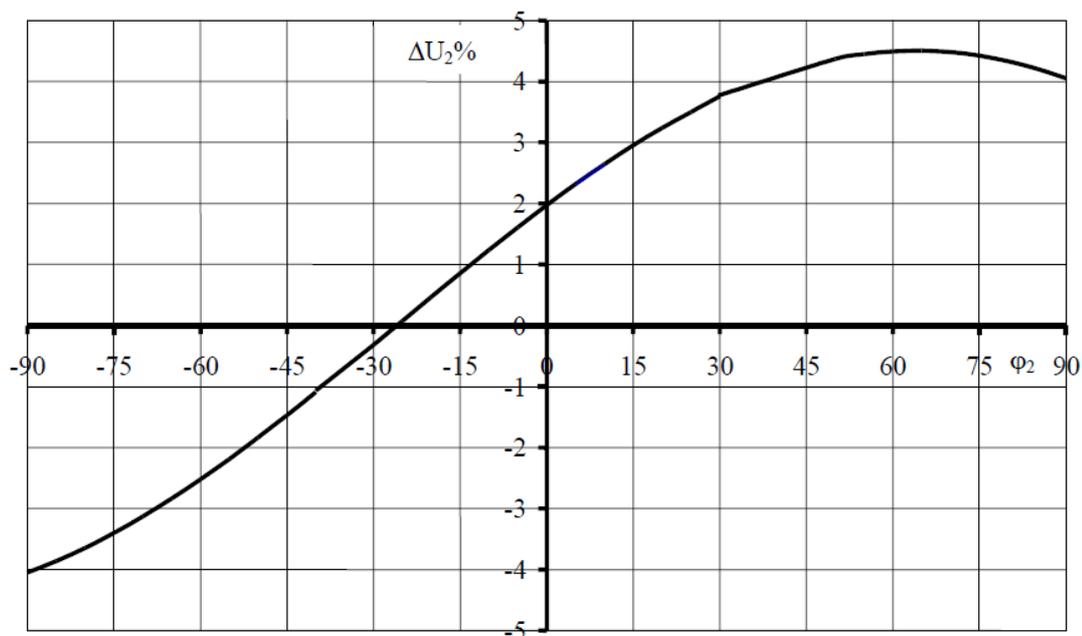


Рисунок 1 - Зависимость изменения напряжения от характера нагрузки

После построения зависимости $\Delta U = f(\varphi_2)$ необходимо сделать вывод, о том, как изменяется $\Delta u = f(\varphi_2)$ при чисто активной, индуктивной и емкостной нагрузке трансформатора.

6.3. Расчет внешних характеристик трансформаторов

Внешняя характеристика трансформатора — это зависимость вторичного напряжения от коэффициента нагрузки трансформатора при постоянном напряжении, частоте и $\cos \varphi_2$.

В курсовой работе необходимо рассчитать внешние характеристики для $\cos \varphi_2 = 1$ и $\cos \varphi_2 = 0,8$ при $\varphi_2 > 0$ и $\varphi_2 < 0$ и при изменении нагрузки трансформатора от холостого хода до 1,5 номинальной. Для построения внешних характеристик рассчитывают по 5 - 6 точек для каждой характеристики. Значение вторичного напряжения в процентах может быть определено следующим образом

$$U_2' = U_{н.м} \left(1 - \frac{\Delta U\%}{100} \right) \quad (8)$$

где $\Delta U\%$ - изменение вторичного напряжения трансформатора, которое определяется из выражения 2.

Результаты расчета привести в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты расчетов внешней характеристики трансформатора

β	$\cos \varphi_2 = 1$		$\cos \varphi_2 = 0,8; \varphi_2 > 0$		$\cos \varphi_2 = 0,8; \varphi_2 < 0$	
	ΔU	U_2	ΔU	U_2	ΔU	U_2

По результатам расчета (табл. 2), построить внешнюю характеристику трансформатора. Сделать вывод, как изменяется вторичное напряжение от характера нагрузки.

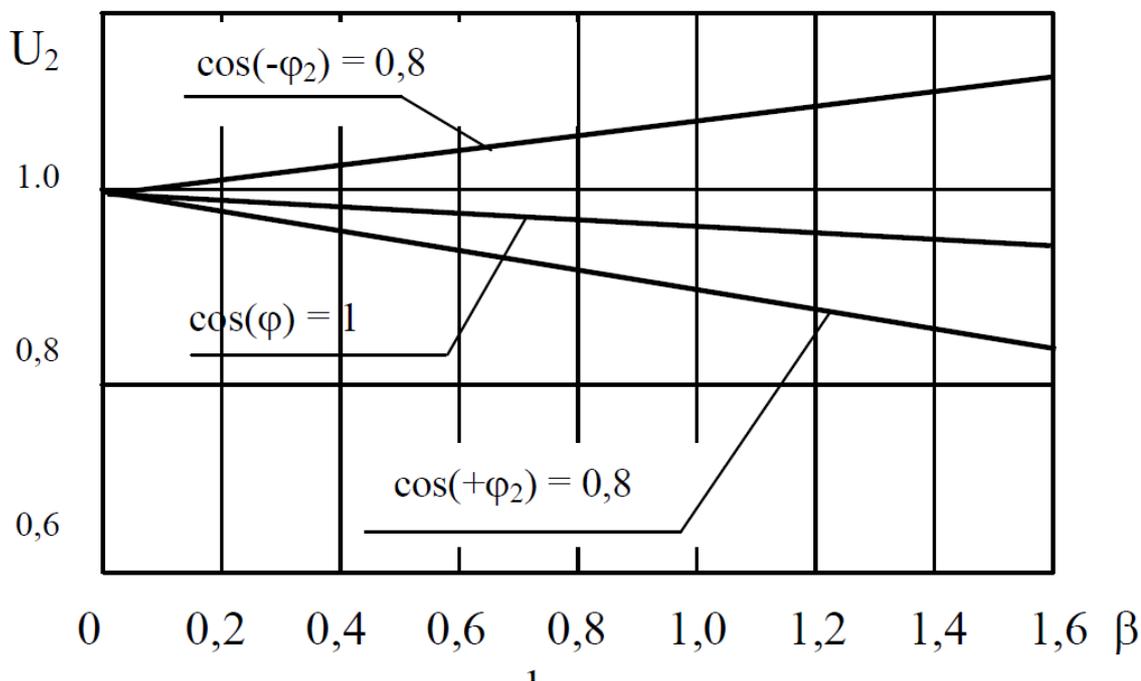


Рисунок 2 - Внешняя характеристика трансформатора

Если вести расчет ΔU за упрощенной формулой (2), то $\Delta U = \Delta U_n \beta_n$; в этом случае внешняя характеристика трансформатора является прямой линией, причем при индуктивной нагрузке - она имеет слабо падающий характер, при емкостной нагрузке – слабо возрастающий (смотри рис. 2).

6.4 Расчет зависимости КПД трансформатора от величин нагрузки.

Зависимость к.п.д. (η) трансформатора от коэффициента нагрузки определяют за формулой

$$\eta = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_{кн.м.}}{\beta S_{ном.} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_{кн.м.}} \quad (9)$$

где P_0 - потери холостого хода трансформатора, Вт;

$P_{кн.м.}$ - потери короткого замыкания трансформатора при номинальной нагрузке, Вт;

$S_{ном.}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА.

В курсовой работе расчет к.п.д. надо вести для значений $\cos \varphi_2 = 0,8$ и $\cos \varphi_2 = 1$ при измене степени нагрузки в пределах от 0 до 1,5. Для каждой зависимости необходимо рассчитывать по 6 - 7 точек, особенно выделив наибольшее значение к.п.д.

Принимая во внимание то, что при заданном $\cos \varphi_2$ единственной переменной в формуле (9) является коэффициент нагрузки β , нетрудно определить, при каком значении этого коэффициента к.п.д. принимает максимальное значение $\eta_{\max.}$. Для этого надо взять первую производную от η по переменной β и приравнять ее к нулю.

Предприняв это действие, получим

$$\beta_{ном.} \cdot P_{кн.м.} = P_{оном.} \quad (10)$$

то есть к.п.д. приобретает наибольшее значение при такой нагрузке, при которой потери короткого замыкания равняются потерям холостого хода, или, как принято говорить, переменные потери равняются постоянным.

Из (10) получаем:

$$\beta_{\max.} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{кн.м.}}} \quad (11)$$

Результаты расчета сводим в таблицу 3 и по ним строим характеристику.

Таблица 3 - Результаты расчетов зависимости $\eta = f(\beta)$

β	к.п.д.	
	$\cos \varphi_2 = 0,8$	$\cos \varphi_2 = 1$

Зависимость $\eta = f(\beta)$ приведена на рисунке 3.

По результатам расчета и рисунку 3 сделать выводы.

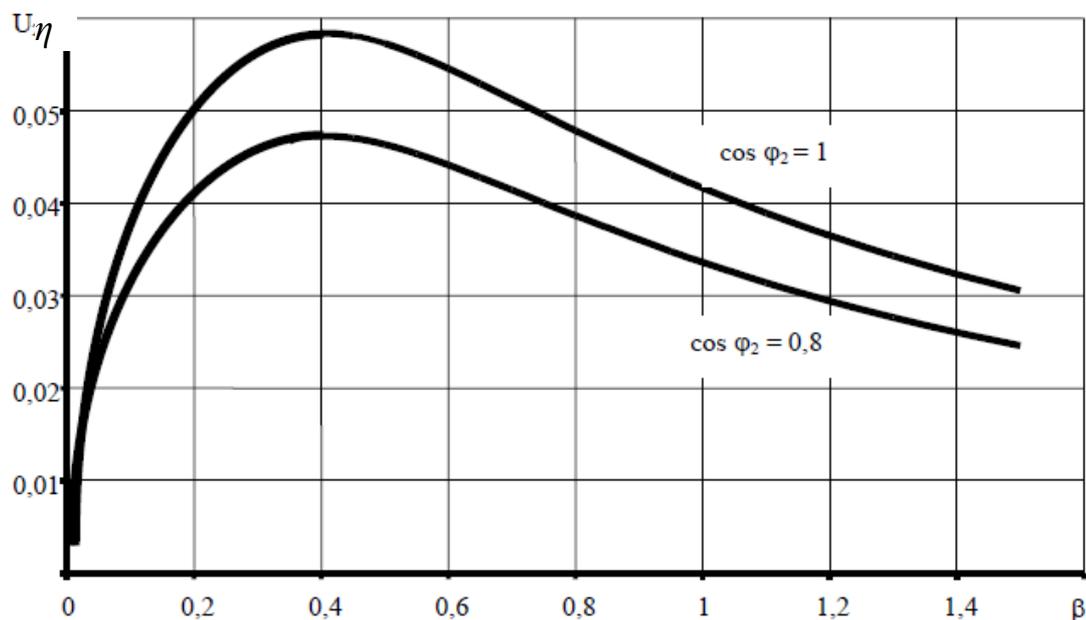


Рисунок 3 - Кривая зависимости $\eta = f(\beta)$

6.5. Определение допустимой нагрузки на трансформаторы при параллельной работе с разными коэффициентами трансформации

Трансформаторы, предназначенные для параллельной работы, должны иметь одинаковые значения коэффициентов трансформации. Позволяется разница согласно ГОСТ 183-74 - $\pm 0,5\%$. Такие жесткие требования ГОСТ объясняются тем, что при параллельном включении трансформаторов с разными коэффициентами трансформации, по обеим обмоткам протекают уравнительные токи, нагревая их. В условиях эксплуатации на параллельную работу могут быть включены трансформаторы, в которых переключатели отпаяк обмоток ВН

находятся в разных положениях. Для того, чтобы показать последствия такого включения, в курсовой работе предлагается вести расчеты при отклонении коэффициентов трансформации, которое значительно превышает допустимое. В расчете допустим, что один трансформатор включен на номинальное напряжение, а второй - на отпайку = 5%, номинальные мощности трансформаторов одинаковы.

Расчет выполняют для двух значений $\cos \varphi_2 = 1$ и $\cos \varphi_2 = 0,8$; $\varphi_2 > 0$.

Величину уравнительного тока, который протекает в обмотках параллельно включенных трансформаторов при выключенной нагрузке, можно определить за формулой [1]:

$$I_{зр} = I_{2ном1} \frac{\frac{U_1}{U_{1ном}} \cdot \Delta K}{u_{к1} + u_{кII} + \frac{S_{ном1}}{S_{ном2}}} \quad (12)$$

где $\frac{I_{зр}}{I_{2ном1}}$ - уравнительный ток в относительных единицах от номинального тока первого трансформатора;

$\frac{U_1}{U_{1ном}}$ - первичное напряжение в относительных единицах от номинального;

$u_{к1}, u_{кII}$ – напряжение короткого замыкания первого и второго трансформаторов, %;

$S_{ном1}; S_{ном2}$ – номинальные мощности трансформаторов, кВА.

ΔK – разница коэффициентов трансформации двух трансформаторов, %.

$$\Delta K = \frac{K_1 - K_{II}}{\sqrt{K_1 \cdot K_{II}}} \cdot 100 \quad (13)$$

где K_I, K_{II} – коэффициенты трансформации трансформаторов.

Уравнительный ток отстает от вторичного напряжения U_2 на угол, φ_k , величина которого может быть определена за формулой

$$\varphi_{\kappa 2} = \operatorname{arctg} \frac{x_{k1} + x_{k2}}{r_{k1} + r_{k2}} \quad (14)$$

Где x_{k1}, x_{k11} – индуктивные сопротивления короткого замыкания;

r_{k1}, r_{k11} – активные сопротивления короткого замыкания.

Общий ток нагрузки (сети) равняется

$$I_M = I_{cI} + I_{cII} \quad (15)$$

где I_{cI} – ток нагрузки первого трансформатора;

I_{cII} – ток нагрузки второго трансформатора:

$$I_{cI} = I_c \frac{S_{нo.mI}}{S_{нo.mI} + S_{нo.mII}} \quad (16)$$

$$I_{cII} = I_c \frac{S_{нo.mII}}{S_{нo.mI} + S_{нo.mII}} \quad (17)$$

Принято, что величина уравнительного тока не изменяется, когда к параллельно соединенным трансформаторам подключается нагрузка. При таком предположении можно получить токи в обмотках параллельно соединенных нагруженных трансформаторов геометрическим добавлением уравнительного тока к токам нагрузки (рис. 4).

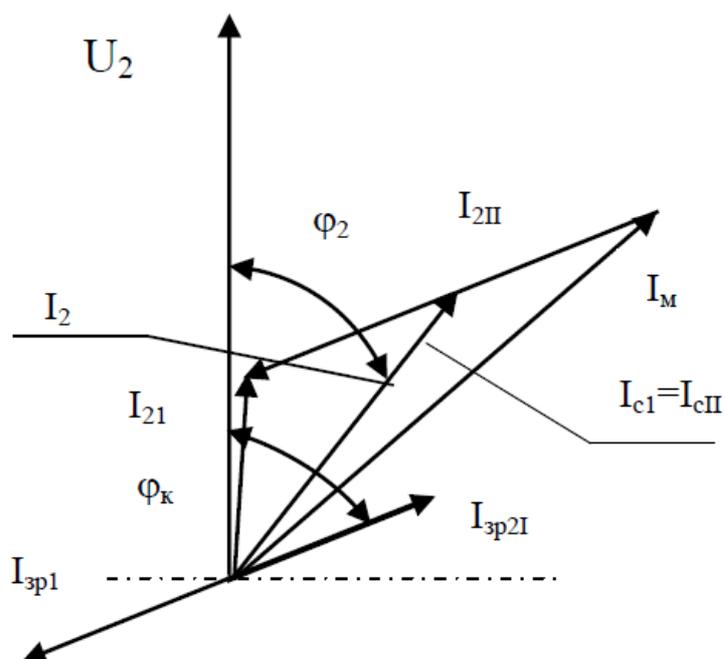


Рисунок 4 - Диаграмма токов при нагрузке параллельно работающих трансформаторов для $K_1 > K_2$

По оси координат отложено вторичное напряжение U_2 ; φ_2 - угол смещения между вторичным напряжением и током сети, которая определяется характером нагрузки.

Уравнительный ток в обмотках первого и второго трансформатора протекает в противоположных направлениях, потому для разных трансформаторов он изображен разными векторами.

$$I_{зр} = I_{зр11} - I_{зр1} \quad (18)$$

При построении диаграммы в курсовой работе следует принять, что в первом квадрате откладывается уравнительный ток, который протекает в обмотках трансформатора, который имеет большее вторичное напряжение, а в третьем квадрате - уравнительный ток второго трансформатора.

Мерой нагрузки трансформаторов является уравнение [1]:

$$I_{2I} = \sqrt{I_{M1}^2 + I_{3p}^2 \pm 2I_{M1} \cdot I_{3p} \cdot \cos(\varphi_{K2} - \varphi_2)} \quad (19)$$

$$I_{2II} = \sqrt{I_{MII}^2 + I_{3p}^2 \pm 2I_{MII} \cdot I_{3p} \cdot \cos(\varphi_{K2} - \varphi_2)} \quad (20)$$

В (19) и (20) знак "+" ставится при определении I_2 трансформатора с большим вторичным напряжением.

Из выражений (19) и (20) видно, что степень перегрузки или недогрузки трансформаторов зависит, во-первых, от величины I_{3p} и φ_k , которая определяются параметрами трансформаторов, и, во-вторых, от угла φ_2 , что определяется параметрами внешней цепи.

Пример. Определить величину токов в обмотках трансформаторов, работающих параллельно при номинальном первичном напряжении $U_1 = U_{ном}$, если:

$$S_{ном1} = S_{ном11} = 25 \text{ кВА};$$

$$U_{1ном} = 10 \text{ кВ};$$

$$U_{2ном} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$u_{k1} = u_{k11} = 4,5\%;$$

$$x_{k1} = x_{k11} = 2,88 \text{ Ом};$$

$$r_{k1} = r_{k11} = 0,154 \text{ Ом}.$$

Коэффициент трансформации трансформаторов

$$K_1 = \frac{U_{ном}}{U_{2н}}; \quad K_1 = \frac{10}{0,4} = 25;$$

$$K_{11} = \frac{U_{1ном}}{1,05U_{2н}}; \quad K_{11} = \frac{10}{1,05 \cdot 0,4} = 23,8$$

Общий ток нагрузки $I_M = 56 \text{ А}$, коэффициент мощности $\cos\varphi_2 = 0,8$.

Решение. Номинальные токи трансформаторов равняются

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{1ном}}; \quad I_{ном1} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 10} = 1,44 A;$$

$$I_{ном11} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{2ном}}; \quad I_{ном11} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 36 A.$$

За формулой (13) определяем ΔK

$$\Delta K = \frac{25 - 23,8}{\sqrt{25 \cdot 23,8}} 100 = 4,92\%$$

Определим уравнительный ток за формулой

$$\frac{I_{зр}}{I_n} = \frac{\Delta K}{2u_k}; \tag{21}$$

$$\frac{I_{зр}}{I_n} = \frac{4,92}{2 \cdot 4,5} = 0,546$$

Исходя из этого, во вторичных обмотках ток равняется

$$I_{зр} = 0,546 \cdot 36 = 19,69 A.$$

Величину угла φ_k вычисляем по формуле (14)

$$\operatorname{tg} \varphi_k = \frac{2 \cdot 2,88}{2 \cdot 0,154} = 18,7; \quad \varphi_k = 87^\circ$$

Ток нагрузки в первом и втором трансформаторах равняются

$$I_{.m1} = I_{.m11} = 56 \frac{25}{2 \cdot 25} = 28 A$$

Вторичные токи в обмотках первого и второго трансформаторов

$$I_{2I} = \sqrt{28^2 + 19,7 - 2 \cdot 28 \cdot 19,7 \cdot 0,629} = 21,8 A;$$

$$I_{2II} = \sqrt{28^2 + 19,7 + 2 \cdot 28 \cdot 19,7 \cdot 0,629} = 43,19 A;$$

Определение токов во вторичных обмотках трансформаторов показало, что за счет уравнительного тока трансформатор 1 недогружен 40%, а трансформатор 2 перегружен на 19%.

6.6. Определение допустимой нагрузки на трансформаторы при параллельной работе с разными $u_k\%$

При параллельной работе трансформаторов с разными напряжениями короткого замыкания, токи нагрузки распределяются между ними обратно пропорционально значениям напряжения короткого замыкания. Согласно ГОСТ 183-74 допускается отклонение величины напряжения короткого замыкания, от указанных в нем значений, не более чем на $\pm 10\%$ от среднеарифметического значения всех трансформаторов.

При выполнении курсового проекта предусматривается, что один из трансформаторов имеет u_k , указанное в задании, второй - у 1,1 раза больше.

Токи нагрузки первого и второго трансформаторов связаны соотношением

$$\frac{I_I}{I_{II}} = \frac{S_{номI} \cdot u_{кII}}{S_{номII} \cdot u_{кI}} \quad (22)$$

где I_I и I_{II} – токи первого и второго трансформаторов;

$S_{номI}; S_{номII}$ – номинальные мощности трансформаторов;

$u_{кI}, \%; u_{кII}, \%$ – напряжение короткого замыкания трансформаторов, %.

Если считать, что

$$I_1 + I_2 = I_M \quad (23)$$

где I_M – общий ток нагрузки (ток сети).

С учетом (22) формула будет иметь такой вид

$$I_{2I} = I_M \frac{S_{НО.М1} \cdot u_{k2}}{S_{НО.М1} \cdot u_{kII} + S_{НО.МII} \cdot u_{k1}} \quad (24)$$

$$I_{2II} = I_M \frac{S_{НО.МII} \cdot u_{k1}}{S_{НО.М1} \cdot u_{kII} + S_{НО.М2} \cdot u_{k1}} \quad (25)$$

Пример. Исследовать, как распределится между трансформаторами ток нагрузки $I_M = 66$ А, если:

$$S_{НОМ1} = S_{НОМ11} = 25 \text{ кВА};$$

$$I_{НОМ1} = I_{НОМ11} = 36 \text{ А};$$

$$u_{k1} = 4,5\%; u_{k11} = 4,95\%.$$

Решение. По формулам (24) и (25) найдем вторичные токи в трансформаторах:

$$I_{2I} = 66 \frac{25 \cdot 4,95}{25 \cdot 4,95 + 25 \cdot 4,5} = 34,57 \text{ А};$$

$$I_{2II} = 66 \frac{25 \cdot 4,5}{25 \cdot 4,95 + 25 \cdot 4,5} = 31,41 \text{ А}.$$

Тогда, второй трансформатор с большим u_k становится недогруженным

$$\frac{I_{11}}{I_{н11}} = \frac{31,41}{36} = 0,726$$

6.7. Экономические режимы работы трансформатора

Передача мощности через трансформатор сопровождается потерями мощности в активных и реактивных сопротивлениях обмоток, а также потерями, связанными с намагничиванием стали. Потери, которые возникают в обмотках, зависят от тока, то есть, потери на намагничивание определяются прикладываемым напряжением и в первом приближении могут быть приняты переменными и равными потерям мощности холостого хода.

Суммарные потери мощности в трансформаторе: активные - кВт, реактивные – кВар, рассчитывают за формулами

$$\Delta P_m = \Delta P_{к.з.} \left(\frac{S}{S_{ном}} \right)^2 + \Delta P_o \quad (26)$$

$$\Delta Q_m = \frac{u_k \cdot S^2}{100 S_{ном}} + \Delta Q_o \quad (27)$$

где S - нагрузка трансформатора, кВ·А;

$S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

ΔP_o – активные потери холостого хода трансформатора, кВт;

ΔQ_o – реактивные потери, кВар.

Потери мощности в трансформаторе рассчитывают по параметрам, приведенным в каталогах.

При параллельной работе n одинаковых трансформаторов их эквивалентное сопротивление уменьшается в n разы, тогда как потери на намагничивание соответственно увеличиваются. При этом

$$\Delta P_m = \frac{\Delta P_{к.з.}}{n} \cdot \left(\frac{S}{S_{ном}} \right)^2 + n \Delta P_o \quad (28)$$

$$\Delta Q_m = \frac{u_k \cdot S^2}{100nS_{НОМ}} + n\Delta Q_o \quad (29)$$

Определяя экономическое число работающих трансформаторов, нужно учитывать потери активной мощности не только в трансформаторах, но и в системе электроснабжения. Суммарные приведенные потери мощности, кВт, составляют:

$$\Sigma \Delta P'_m = \Delta P'_o + \beta \cdot \Delta P'_{к.з.} \quad (30)$$

где $\Delta P'_o$ - приведенные потери мощности холостого хода трансформатора кВт.

$\Delta P'_{к.з.}$ приведенные потери мощности короткого замыкания I трансформатора, кВт.

$$\Delta P'_o = \Delta P_o + \kappa_e \cdot \Delta Q_o \quad (31)$$

$$\Delta P'_{к.з.} = \Delta P_{к.з.} + \kappa_e \cdot \Delta Q_{к.з.} \quad (32)$$

где κ_e - экономический эквивалент реактивной мощности, кВт/квар;

ΔQ_o - реактивные потери мощности холостого хода трансформатора, квар;

$$\Delta Q_o = 0,01 \cdot i_o \cdot S_{НОМ} \quad (33)$$

где $\Delta Q_{к.з.}$ - реактивные потери короткого замыкания трансформатора, квар;

i_o - ток холостого хода, %;

U_k - напряжение короткого замыкания, %:

$$\Delta Q_{к.з.} = 0,01 \cdot u_k \cdot S_{НОМ} \quad (34)$$

В зависимости от размещения трансформаторной подстанции и высшего напряжения K_e : в среднем уровень 0,08 для трансформаторов напряжением 35 - 110 кВ в районных сетях; 0,12 для трансформаторов напряжением 10/0,4 кВ.

Наименьшие потери мощности, кВт, для двух трансформаторной подстанции получают за условия

$$2(\Delta P_o + \kappa_e \cdot \Delta Q_o) + 2(\Delta P_{кз} + \kappa_e \cdot \Delta Q_{кз}) \left(\frac{S_e}{2S_{ном}} \right)^2 = (\Delta P_o + \kappa_e \cdot \Delta Q_o) + (\Delta P_{кз} + \kappa_e \cdot \Delta Q_{кз}) \left(\frac{S_e}{S_{ном}} \right)^2 \quad (35)$$

где S_e - экономическая мощность (нагрузки), кВт;

$S_{ном}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА.

Рассчитав уравнение (34) относительно S_e , получим:

$$S_e = S \sqrt{(n+1) \cdot n \frac{\Delta P_o + \kappa_e \Delta Q_o}{\Delta P_{к.з.} + \kappa_e \Delta Q_{к.з.}}} \quad (36)$$

где $(n+1)$ - дополнительное включение трансформатора;

$(n-1)$ - отключение одного трансформатора.

Согласовывая количество трансформаторов, пользуются кривыми приведенных потерь, их строят в одной координационной плоскости для каждого трансформатора и нескольких одновременно включенных.

Допустимо, что на подстанции установлены трансформаторы TV1 и TV2 (рис. 5). Номинальная мощность $S_{ном2}$, второго трансформатора, больше номинальной мощности $S_{ном1}$ первого. Для каждого трансформатора кривая приведенных потерь (рис. 6) построена, исходя из выражения

$$\Delta P'_m = (\Delta P_o + \kappa_e \cdot \Delta Q_o) + (\Delta P_{к.з.} + \kappa_e \cdot \Delta Q_{к.з.}) \frac{S^2}{S_{ном}^2} \quad (37)$$

где S - интервал нагрузки трансформатора, кВА.

За известными приведенными потерями мощности в трансформаторах можно определить полные потери энергии W , кВт час.

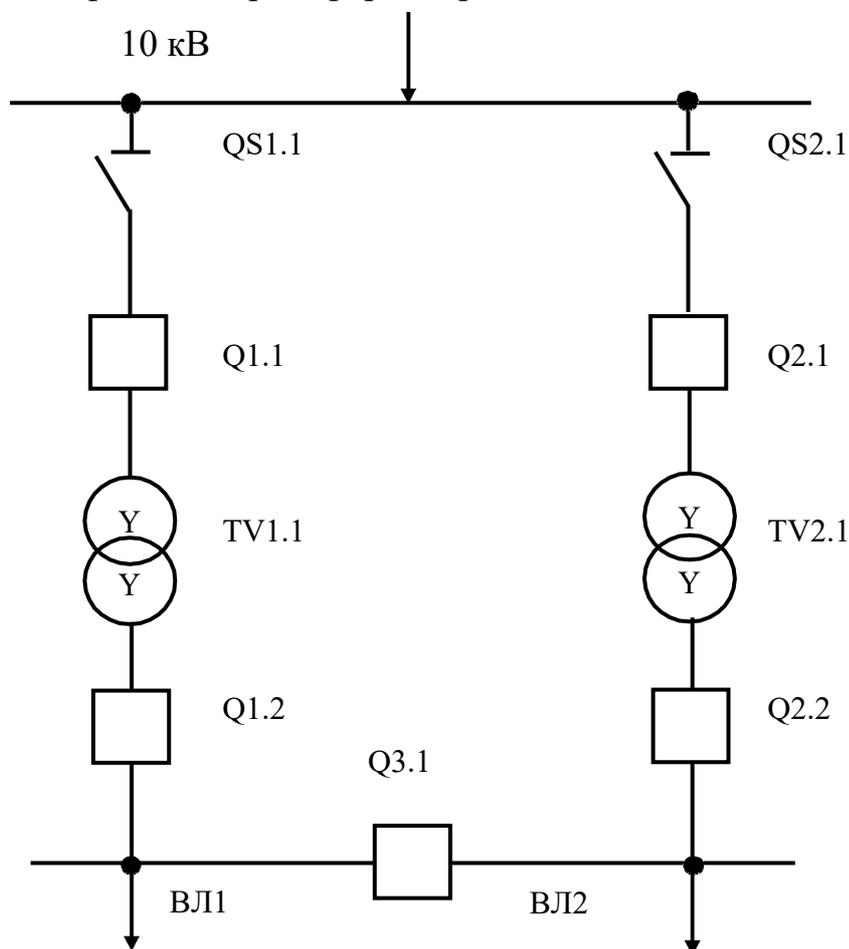
В одном трансформаторе

$$\Delta W = (\Delta P_o + k_e \cdot \Delta Q_o) \cdot t + (\Delta P_{к.з.} + k_e \cdot \Delta Q_{к.з.}) \cdot \left(\frac{S}{S_H} \right)^2 \cdot \tau \quad (38)$$

где t - время работы трансформатора, год.;

τ - время максимальных потерь, год.

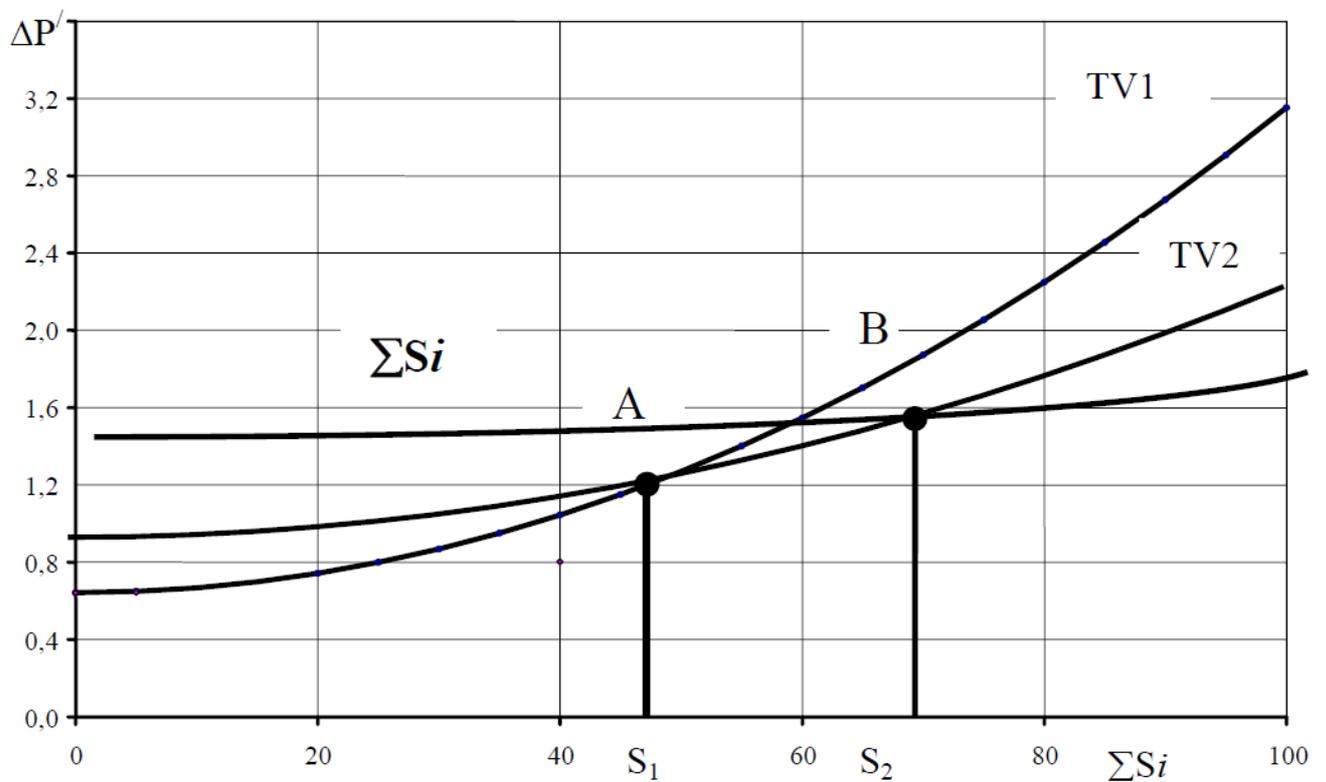
При параллельной работе n трансформаторов



QS - разъединители; Q - выключатели автоматические; TV1, TV2 - силовые трансформаторы; ВЛ1, ВЛ2 - воздушные линии электропередачи

Рисунок 5 - Однолинейная схема соединений подстанции напряжением 10/0,4 кВ

$$\Delta W = (\Delta P_o + k_e \cdot \Delta Q_o) \cdot t \cdot n + (\Delta P_{к.з.} + k_e \cdot \Delta Q_{к.з.}) \cdot \left(\frac{S}{S_H} \right)^2 \cdot \frac{\tau}{n} \quad (39)$$



1 - TV1; 2 - TV2; 3 - TV1 и TV2; А - В - зона экономической работы трансформаторов, определяется нагрузками S_1 и S_2 на шинах; ΣS - суммарная нагрузка на шинах

Рисунок 6 - Кривые приведенных потерь трансформаторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Курсовой проект, выполненный с соблюдением рекомендуемых требований, оценивается и допускается к защите. Защита должна производиться до начала экзамена по дисциплине.

Процедура защиты курсового проекта включает в себя, выступление обучающегося по теме и результатам работы (3-5 мин), ответы на вопросы членов комиссии, в которую входят преподаватели дисциплин профессионального цикла или междисциплинарных курсов профессионального модуля.

Также в состав комиссии могут входить: методист, мастера производственного обучения. На защиту могут быть приглашены преподаватели и обучающиеся других специальностей.

При подготовке к защите необходимо:

- внимательно прочитать содержание отзыва руководителя проекта, внести необходимые поправки, сделать необходимые дополнения и/или изменения;
- обоснованно и доказательно раскрыть сущность темы курсового проекта;
- обстоятельно ответить на вопросы членов комиссии.

Окончательная оценка за курсовой проект выставляется комиссией после защиты.

Работа оценивается дифференцированно с учетом качества ее выполнения, содержательности выступления и ответов на вопросы во время защиты.

Результаты защиты оцениваются по четырехбалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Положительная оценка по профессиональному модулю, по которому предусматривается курсовой проект, выставляется только при условии успешной сдачи проекта на оценку не ниже «удовлетворительно».

Если обучающийся получил неудовлетворительную оценку по курсовому проекту, то он не допускается к квалификационному экзамену по профессиональному модулю. Также по решению комиссии обучающемуся может

быть предоставлено право доработки проекта в установленные комиссией сроки и повторной защиты.

К процедуре защиты курсового проекта предъявляются следующие требования:

- глубокая теоретическая проработка исследуемых проблем на основе анализа литературы;

- умелая систематизация цифровых данных в виде таблиц и графиков с необходимым анализом, обобщением и выявлением тенденций развития исследуемых явлений и процессов;

- критический подход к изучаемым фактическим материалам с целью поиска направлений совершенствования процессов;

- аргументированность выводов, обоснованность предложений и рекомендаций;

- логически последовательное и самостоятельное изложение материала;

- оформление материала в соответствии с установленными требованиями;

- обязательное наличие отзыва руководителя.

В качестве иллюстраций используется презентация, подготовленная в формате .ppt или .pdf (5-7, но не более 10 слайдов) Также иллюстрации можно представлять на 4–5 страницах формата А4, отражающих основные результаты, достигнутые в работе, и согласованные с содержанием доклада. Иллюстрации должны быть пронумерованы и названы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основные источники:

1. Акимова Н. А. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования / Н. А. Акимова. - М.: Мастерство, 2001. - 304с.
2. Сибикин Ю.Д. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий / Ю.Д.Сибикин, М.Ю.Сибикин. - М.: Высшая школа, 2002. - 504с.
3. Сибикин Ю.Д. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок: Учеб, пособие для проф. учеб. заведений / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: Высшая школа, 2003. - 462 с.
4. Киреева Э. А. Электрооборудование электрических станций, сетей и систем : учеб.пособие / Киреева Э. А. – М.: КноРус, 2017. - 319 с.- URL: <https://book.ru/book/931454> (дата обращения: 19.04.2017). - Режим доступа: ЭБС «Book.ru»; по подписке.- Текст электронный.
5. Малафеев С. И. Надежность электроснабжения : учеб.пособие / С. И. Малафеев. - 2-е изд., испр. - Санкт-Петербург : Лань, 2016. - 368 с.- URL: <https://e.lanbook.com/book/101833> (дата обращения: 19.04.2017).- Режим доступа: ЭБС «Лань»; по подписке. - Текст электронный.
6. Полуянович Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий : учеб.пособие / Н. К. Полуянович. - 5-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2017. - 396 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/112060> (дата обращения: 19.04.2017). - Режим доступа: ЭБС «Лань». — Текст электронный.

Дополнительные источники:

1. Технология электромонтажных работ. Учебное пособия для проф. образования/ Нестеренко В.М. Мысьянов А.М. – М.: «Академия», 2004.-592 с.
2. Варварин В.К. Выбор и наладка электрооборудования. Справочное пособие.- 2-е изд. / В.К. Варварин. М.: Форум - 2012.-240с.
3. Лукьянов М.М. Техническая эксплуатация электроустановок / М.М. Лукьянов, А.В. Коношенко.- Челябинск: Южно-уральский государственный университет, 2008. - 239 с.
4. Щербаков Е.Ф. Электроснабжение и электропотребление в сельском хозяйстве : учеб.пособие / Е.Ф. Щербаков, Д.С. Александров, А.Л. Дубов. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 392 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/106880> (дата обращения: 19.04.2017). –Режим доступа: ЭБС «Лань»; – Текст электронный.
5. Хорольский В.Я. Эксплуатация систем электроснабжения: учеб.пособие / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов. – Москва: Форум: Инфра-М, 2017. – 288 с.

Интернет – ресурсы:

1. Электричество и энергетика: сайт .-URL: <http://www.electrik.org>(дата обращения: 19.04.2017).– Режим доступа: свободный.– Текст электронный.
2. Школа электрика: сайт.- URL: <http://electricalschool.info> (дата обращения: 19.04.2017).– Режим доступа: свободный.– Текст электронный.
3. Заметки электрика: сайт - URL: <http://www.zametkielectrica.ru>(дата обращения: 19.04.2017).– Режим доступа: свободный.– Текст электронный.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1 - Технические данные трехфазных масляных двух обмоточных трансформаторов

Вариант	Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Потери, кВт		Напряжение короткого замыкания, %	Ток холостого хода, %
				х.х.	к.з.		
		ВН	НН	P_o	P_k		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	25	10	0,4	0,125	0,600	4,5	3,20
2	25	10	0,4	0,130	0,690	4,5	3,20
3	40	10	0,4	0,150	0,880	5,5	3,00
4	40	10	0,4	0,175	1,000	5,5	3,00
5	63	10	0,4	0,220	1,280	4,5	2,80
6	63	10	0,4	0,230	1,470	4,5	2,80
7	63	10	0,4	0,240	1,300	4,5	2,80
8	63	10	0,4	0,245	1,320	4,5	2,80
9	63	10	0,4	0,250	1,340	4,5	2,80
10	100	10	0,4	0,310	1,240	5,5	7,50
11	100	10	0,4	0,320	1,245	5,5	7,50
12	100	10	0,4	0,330	1,227	5,5	7,50
13	100	10	0,4	0,340	1,197	5,5	7,50
14	100	10	0,4	0,350	1,205	5,5	7,50
15	100	10	0,4	0,360	1,350	5,5	7,50
16	100	10	0,4	0,370	1,300	4,5	2,60
17	100	10	0,4	0,380	1,200	4,5	2,60
18	100	10	0,4	0,390	1,220	4,7	2,60
19	100	10	0,4	0,385	1,622	4,5	2,60
20	100	10	0,4	0,375	1,724	4,5	2,60
21	160	10	0,4	0,460	1,265	4,7	2,40

1	2	3	4	5	6	7	8
22	160	10	0,4	0,470	1,310	4,7	2,40
23	160	10	0,4	0,480	1,300	4,7	2,40
24	160	10	0,4	0,490	1,290	4,5	2,40
25	160	10	0,4	0,500	2,000	4,5	2,40
26	160	10	0,4	0,510	2,200	4,5	2,40
27	160	35	0,4	0,620	2,250	6,5	2,40
28	160	35	0,4	0,615	1,510	6,5	2,40
29	160	35	0,4	0,610	1,300	6,8	2,40
30	160	35	0,4	0,625	1,860	6,5	2,40
31	250	10	0,4	0,350	3,700	4,5	2,30
32	250	10	0,4	0,374	4,210	4,7	3,68
33	250	10	0,4	0,274	4,250	6,5	2,30
34	250	10	0,4	0,474	4,295	6,3	2,30
35	250	10	0,4	0,574	4,255	6,5	3,50
36	250	10	0,4	0,440	3,780	6,8	2,30
37	250	10	0,4	0,700	3,750	6,5	3,45
38	250	35	0,4	0,900	3,700	6	2,30
39	250	35	0,4	0,920	4,280	6,5	2,30
40	250	35	0,4	0,950	4,180	6,3	2,30
41	400	10	0,4	0,920	5,575	4,5	2,10
42	400	10	0,4	1,080	5,905	4,7	3,00
43	400	10	0,4	0,950	5,503	4,5	2,1
44	400	10	0,4	0,950	5,569	4,7	2,1
45	400	10	0,4	0,970	5,965	4,5	2,1
46	400	10	0,4	0,965	5,955	4,7	2,1
47	400	10	0,4	0,955	5,490	4,5	2,1
48	400	35	0,4	1,200	5,505	6,5	2,1
49	400	35	0,4	1,250	5,555	6,5	2,1

1	2	3	4	5	6	7	8
50	400	35	0,4	1,280	5,550	6,7	2,1
51	630	10	0,4	1,310	7,680	5,5	2,00
52	630	10	0,4	1,350	7,650	5,7	2,05
53	630	10	0,4	1,380	7,620	5,5	2,00
54	630	10	0,4	1,300	7,610	5,7	2,00
55	630	10	0,4	1,370	7,660	5,5	2,11
56	630	10	0,4	1,390	7,605	5,7	2,45
57	630	10	0,4	1,360	7,600	5,5	2,40
58	630	35	0,4	1,285	8,500	5,6	2,56
59	630	35	0,4	1,260	7,600	5,5	2,60
60	630	35	0,4	1,400	8,500	5,5	2,70
61	1000	10	0,4	2,450	12,20	5,5	1,40
62	1000	10	0,4	2,105	11,600	5,5	1,40
63	1000	10	0,4	2,150	11,70	5,6	2,80
64	1000	10	0,4	2,250	11,80	5,5	2,75
65	1000	10	0,4	2,305	11,90	5,6	2,70
66	1000	10	0,4	2,350	12,05	5,5	2,60
67	1000	10	0,4	2,450	12,23	5,5	2,55
68	1000	10	0,4	2,455	12,24	5,5	1,40
69	1000	10	0,4	2,465	12,25	5,5	1,40
70	1000	10	0,4	2,456	12,20	5,5	1,40
71	1600	10	0,4	2,800	18,10	5,5	1,3
72	1600	10	0,4	3,300	18,00	5,5	2,6
73	1600	10	0,4	3,350	18,15	5,5	1,3
74	1600	10	0,4	3,360	18,25	5,5	1,3
75	1600	10	0,4	3,375	18,30	5,5	1,3
76	1600	10	0,4	3,385	18,25	5,5	1,3
77	1600	10	0,4	3,380	18,2	5,5	1,3

1	2	3	4	5	6	7	8
78	1600	35	0,4	2,900	18,10	6,5	1,3
79	1600	35	0,4	2,950	18,30	6,5	1,3
80	1600	35	0,4	2,905	18,15	6,5	1,3
81	2500	10	0,4	4,650	26,33	5,5	1,0
82	2500	10	0,4	4,660	26,65	5,5	1,1
83	2500	10	0,4	4,605	26,77	5,5	1,2
84	2500	10	0,4	4,655	26,74	5,5	0,95
85	2500	10	0,4	4,675	26,98	5,5	0,98
86	2500	10	0,4	4,695	26,56	5,5	0,97
87	2500	10	0,4	4,666	26,30	5,5	0,96
88	2500	10	0,4	4,390	26,40	5,5	1
89	2500	10	0,4	4,350	26,50	5,5	0,95
90	2500	10	0,4	4,320	26,00	5,5	0,96
91	560	35	0,4	6,00	10,590	6,5	6,5
92	560	35	0,4	6,05	10,580	6,5	6,5
93	560	35	0,4	6,100	10,585	6,5	6,5
94	560	35	0,4	6,200	10,555	6,5	6,5
95	560	35	0,4	6,150	10,550	6,5	6,5
96	630	10	0,4	1,310	7,600	5,5	2,0
97	320	10	0,525	1,900	6,092	5,5	7,0
98	320	10	0,525	1,910	6,029	5,5	7,0
99	320	10	0,525	1,920	6,025	5,5	7,0
100	320	10	0,525	1,940	6,020	5,5	7,0

