



**Некоммерческое
акционерное
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ
ЭНЕРГЕТИКИ И
СВЯЗИ ИМЕНИ
ГУМАРБЕКА
ДАУКЕЕВА**

Кафедра
электроэнергетических
систем

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для студентов, обучающихся по образовательной программе
6В07101 – Электроэнергетика

Алматы 2022

СОСТАВИТЕЛИ: Е.Г. Михалкова, Е.Т. Эмитов. Методические указания к расчетно-графическим работам для студентов, обучающихся по образовательной программе 6В07101 – Электроэнергетика. – Алматы: «НАО АУЭС им. Г. Даукеева», 2022. – 18 с.

В представленной работе содержатся методические указания и варианты заданий для выполнения расчетно-графических работ по дисциплине «Эксплуатация электрооборудования электрических станций».

Ил. 5, табл. 5, библиогр. – 10 назв.

Рецензент: к.т.н., доцент каф. «ЭВИЭ»

Казанина И. В.

Печатается по плану издания некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева» на 2022 г.

©НАО «Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева», 2022 г.

Введение

Важнейшими элементами энергосистем являются генерирующие источники – электрические станции и устройства распределения – подстанции, обеспечивающие непрерывное производство и распределение электрической энергии. Современное электротехническое оборудование станций и подстанций весьма разнообразно, большей частью сложно по конструкции, оснащено различными вспомогательными и многочисленными автоматическими устройствами. Поэтому обслуживание электрооборудования может быть доверено только высококвалифицированному, хорошо обученному и в совершенстве владеющему знаниями и навыками персоналу.

Роль персонала особенно возрастает в условиях, когда 30% электрооборудования станций и подстанций выработало свой основной ресурс, инвестиции в энергетику недостаточны и сохранение оборудования в эксплуатации, продление его срока службы становится одной из основных задач эксплуатации.

С развитием энергетики и ростом мощности и сложности энергетических установок их правильная эксплуатация, обеспечение требований по надежности и эффективности их работы возможны только при систематическом повышении квалификации работников энергетического хозяйства.

Каждое энергетическое предприятие – электростанция или подстанция, вырабатывающие, или распределяющие электроэнергию, а также любое промышленное или сельскохозяйственное предприятие, потребляющее электроэнергию, – имеют в своем составе трансформаторы,

Трансформатор является весьма надежной машиной, он не имеет вращающихся или движущихся частей, прост по конструкции и обладает высоким к. п. д. Для обеспечения надежной работы трансформатора необходим очень несложный уход, выполняемый обслуживающим персоналом. Целью ухода и обслуживания является соблюдение и поддержание расчетных условий работы трансформатора, что позволит использовать трансформатор в течение срока его службы с наибольшей экономичностью, т. е. при наименьших потерях энергии. Кроме того, правильное обслуживание позволяет использовать полностью весь срок службы трансформатора без сокращения его, которое происходит при неправильной эксплуатации.

Основными целями и задачами данных методических указаний являются расширение возможностей для самостоятельной работы студентов, закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях и практических занятиях, развитие творческого и логического мышления студентов.

Методические указания состоят из двух расчетно-графических работ, которые включают в себя как теоретические вопросы, так и расчет задач по курсу «Эксплуатация электрооборудования электрических станций».

1 Расчетно-графическая работа № 1. Теоретические вопросы по эксплуатации электрооборудования электрических станций

1.1 Цель и задачи расчетно-графической работы № 1

Целью расчетно-графической работы является развитие навыков самостоятельного рассмотрения материала по основным разделам курса, умение отвечать на поставленные вопросы, а также развитие навыков работы с технической литературой.

1.2 Объем и содержание расчетно-графической работы

Пояснительная записка должна иметь титульный лист, введение, необходимый текстовый и цифровой информативный материал, список литературы и содержание. Пояснительная записка расчетно-графической работы оформляется в объеме 20–25 страниц в соответствии с [1].

Исходные данные для выполнения расчетно-графической работы строго индивидуальные. Исходные данные для выполнения РГР № 1 представлены в таблицах 1.1 и 1.2. Каждый студент определяет свой вариант теоретического задания в зависимости от учебного года изучения данной дисциплины по двум признакам – по последней и предпоследней цифрам шифра – номера зачетной книжки.

Согласно таблице 1.1, по последней цифре шифра (номера зачетной книжки) с учетом года изучения дисциплины устанавливается номер первого теоретического вопроса. Согласно таблице 1.2, по предпоследней цифре шифра (номера зачетной книжки) с учетом года изучения дисциплины устанавливается номер второго теоретического вопроса. Варианты первого и второго теоретических вопросов представлены ниже.

Таблица 1.1 – Данные для выбора первого теоретического вопроса

Учебный год	Последняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2021/2022	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
2022/2023	II	I	IV	III	VI	VII	VIII	V	X	IX
2023/2024	V	IV	III	II	I	X	IX	VIII	VII	VI
2024/2025	I	II	V	IV	III	VI	X	VII	IX	VIII
2025/2026	IX	VIII	IX	VI	VII	I	II	IV	III	V

Таблица 1.2 – Данные для выбора второго теоретического вопроса

Учебный год	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2021/2022	X	VIII	IX	VI	VII	I	II	IV	III	V
2022/2023	II	I	IV	III	VI	VII	VIII	V	X	IX
2023/2024	I	II	V	IV	III	VI	X	VII	IX	VIII
2024/2025	X	IX	VIII	VII	VI	V	IV	III	II	I
2025/2026	V	IV	III	II	I	X	IX	VIII	VII	VI

1.3 Варианты теоретических вопросов расчетно-графической работы № 1

1.3.1 Варианты теоретического вопроса № 1

I – Основные особенности энергетического производства Республики Казахстан.

II – Энергетическая система и организация ее эксплуатации.

III – Производственная структура электростанции и схема ее оперативного управления.

IV – Централизованное диспетчерское управление энергосистемой.

V – Свойства электрооборудования.

VI – Причины и последствия отказов электрооборудования.

VII – Принцип технической эксплуатации.

VIII – Структура ремонтного цикла. Периодичность проведения работ.

IX – Виды ремонтов энергетического оборудования.

X – Нагрузки и их прогнозирование. Управление нагрузками.

1.3.2 Варианты теоретического вопроса №2

I – Эксплуатация синхронных генераторов.

II – Эксплуатация трансформаторов и автотрансформаторов.

III – Эксплуатация распределительных устройств.

IV – Эксплуатация высоковольтных выключателей переменного тока.

V – Эксплуатация разъединителей.

VI – Эксплуатация аппаратов защиты от перенапряжений.

VII – Эксплуатация линий электропередачи.

VIII – Эксплуатация измерительных трансформаторов.

IX – Эксплуатация реакторов.

X – Техника безопасности при эксплуатации электроустановок.

2 Расчетно-графическая работа № 2. Эксплуатация трансформаторов

2.1 Цель и задачи расчетно-графической работы

Целью расчетно-графической работы является развитие самостоятельности в решении задач по эксплуатации силовых трансформаторов, а также развитию навыков работы с технической литературой.

Расчетно-графическая работа представляет собой типовой расчет, основными задачами которого являются определение числа витков намагничивающей обмотки и тока в обмотке при индукционной сушке и определение параметров сушки трансформаторов токами нулевой последовательности.

Расчетно-графическая работа выполняется по вариантам, приведенным ниже.

2.2 Объем и содержание расчетно-графической работы

Пояснительная записка должна иметь титульный лист, введение, необходимый текстовой и цифровой информативный материал, список литературы и содержание. Пояснительная записка расчетно-графической работы в объеме 15–20 страниц в соответствии с [1].

Исходные данные для выполнения расчетно-графической работы строго индивидуальные. Исходные данные для выполнения РГР № 2 представлены в таблице 2.1. Вариант задания назначает преподаватель индивидуально для каждого студента.

Таблица 2.1 – Выбор варианта исходных данных

Вариант	Мощность трансформатора, кВА / утепленность / ребристость	U , В	l , м	F / F_0	t_0 , °С	F , м ²	Δp	$\cos \varphi_0$
1	25 / утепленный / ребристый	127	100	1,4	0	500	0,65	0,2
2	25 / неутепленный / ребристый	220	110	1,5	10	550	0,7	0,25
3	25 / утепленный / гладкий	380	120	1,6	20	600	0,75	0,3
4	25 / неутепленный / ребристый	127	130	1,45	15	650	0,8	0,35
5	40 / утепленный / ребристый	220	105	1,55	25	700	0,85	0,4
6	40 / неутепленный / ребристый	380	140	1,41	11	750	0,9	0,45
7	40 / утепленный / гладкий	127	150	1,51	21	800	0,66	0,5
8	40 / неутепленный / ребристый	220	160	1,42	12	850	0,71	0,55
9	100 / утепленный / ребристый	380	170	1,52	22	900	0,76	0,6
10	100 / неутепленный / ребристый	127	180	1,43	13	950	0,81	0,65
11	100 / утепленный / гладкий	220	190	1,53	23	510	0,86	0,7
12	100 / неутепленный / ребристый	380	200	1,44	14	560	0,67	0,23

13	160 / утепленный / ребристый	127	210	1,54	24	610	0,72	0,33
----	------------------------------	-----	-----	------	----	-----	------	------

Продолжение таблицы 2. 1

Вариант	Мощность трансформатора, кВА / утепленность / ребристость	U , В	l , м	F / F_0	t_0 , °С	F , м ²	Δp	$\cos \varphi_0$
14	160 / неутепленный / ребристый	220	220	1,47	16	660	0,77	0,43
15	160 / утепленный / гладкий	380	230	1,57	26	710	0,82	0,53
16	160 / неутепленный / ребристый	127	240	1,48	17	760	0,87	0,63
17	560 / неутепленный / ребристый	220	250	1,58	27	810	0,68	0,47
18	560 / утепленный / гладкий	380	260	1,49	18	860	0,73	0,69
19	560 / неутепленный / ребристый	127	270	1,59	28	910	0,78	0,61
20	25 / утепленный / ребристый	220	100	1,5	15	500	0,75	0,4
21	25 / утепленный / гладкий	220	110	1,4	10	500	0,6	0,5
22	40 / утепленный / ребристый	220	100	1,5	16	550	0,65	0,6
23	40 / неутепленный / ребристый	127	110	1,45	14	600	0,7	0,47
24	40 / утепленный / гладкий	127	120	1,6	20	600	0,55	0,5
25	100 / утепленный / гладкий	380	200	1,52	18	600	0,8	0,45
26	100 / неутепленный / ребристый	380	150	1,4	11	700	0,75	0,5
27	100 / утепленный / гладкий	380	200	1,52	19	700	0,6	0,4
28	160 / утепленный / ребристый	220	170	1,55	20	600	0,7	0,5
29	160 / неутепленный / ребристый	220	250	1,48	15	550	0,8	0,6
30	160 / утепленный / гладкий	380	190	1,6	22	750	0,86	0,7

2.3 Задание к расчетно-графической работе

В расчетно-графической работе в соответствии с выданным вариантом исходных данных (таблица 2.1) необходимо решить две задачи:

1. Определить число витков намагничивающей обмотки и ток в обмотке при индукционной сушке.
2. Определить параметры сушки трансформаторов токами нулевой последовательности.

2.4 Методические указания к выполнению работы

2.4.1 Общие сведения о трансформаторах

Трансформатор представляет собой статическое электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования переменного (синусоидального) тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты (рисунок 2.1). Трансформатор (от лат. Transformo – преобразовывать) – это устройство для преобразования переменного тока и напряжения.

Первые трансформаторы с разомкнутым магнитопроводом предложил в 1876 г. П. Н. Яблочков, который применял их для питания электрической

«свечи». В 1885 г. венгерские ученые М. Дери, О. Блати, К. Циперновский разработали однофазные промышленные трансформаторы с замкнутым магнитопроводом. Трехфазные трансформаторы появились в 1889–1891 гг. (М. О. Доливо-Добровольский, Н. Тесла).

Характерной особенностью силовых трансформаторов является большая номинальная мощность. По исполнению силовые трансформаторы могут быть однофазными и трехфазными. По количеству обмоток СТ делятся на двух- и трехобмоточные. По виду охлаждающей среды СТ делятся на масляные и сухие. СТ с электрической связью между обмотками называются автотрансформаторами.

Основные параметры силовых трансформаторов:

- номинальная мощность;
- номинальные напряжения обмоток;
- номинальные токи обмоток;
- напряжение короткого замыкания;
- ток холостого хода;
- активные потери холостого хода;
- активные потери короткого замыкания.



Рисунок 2.1 – Внешний вид трансформатора

Конструкция силовых трансформаторов. Конструктивно силовой трансформатор — сложное устройство, основные элементы которого:

- магнитная система (магнитопровод);
- обмотки;
- изоляция;
- выводы;
- бак;
- охлаждающее устройство;
- механизм регулирования напряжения;
- защитные и измерительные устройства.

Магнитные системы силовых трансформаторов. В магнитной системе проходит основной магнитный поток трансформатора. Магнитопровод (рисунок 2.2) является основной конструктивной и механической частью трансформатора. Он выполняется из листовой электротехнической стали. При создании магнитных систем прежде всего стремятся уменьшить потери активной и реактивной мощности в них. Для этого используются стали с высокими магнитными свойствами, бесшпилечная сборка, косая шихтовка и т. д.

Листы стали изолируются друг от друга специальным покрытием. Стяжка стержней осуществляется стеклобандажами, ярм — стальными бандажами.

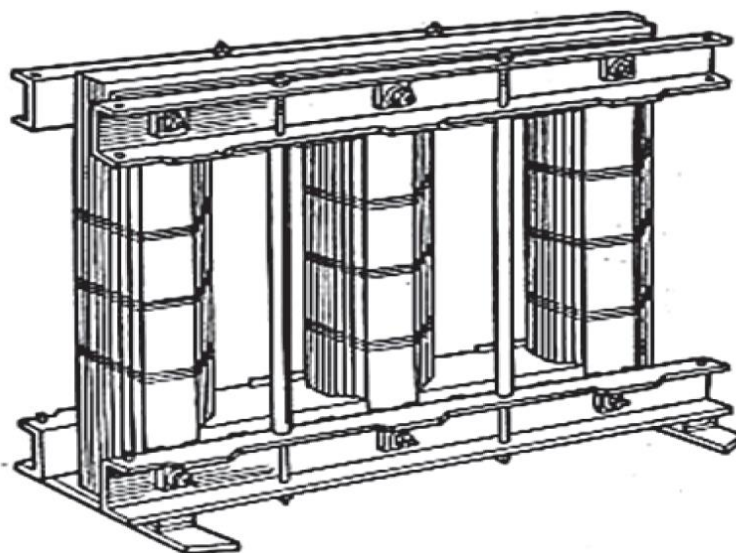


Рисунок 2.2 – Магнитопровод

Обмотки силовых трансформаторов. Обмотки силовых трансформаторов могут быть концентрическими и чередующимися (рисунок 2.3). Проводниковым материалом обмотки является медь или алюминий. По

исполнению обмотки могут быть цилиндрическими, винтовыми, непрерывными, одно- и многослойными, дисковыми, переплетенными.

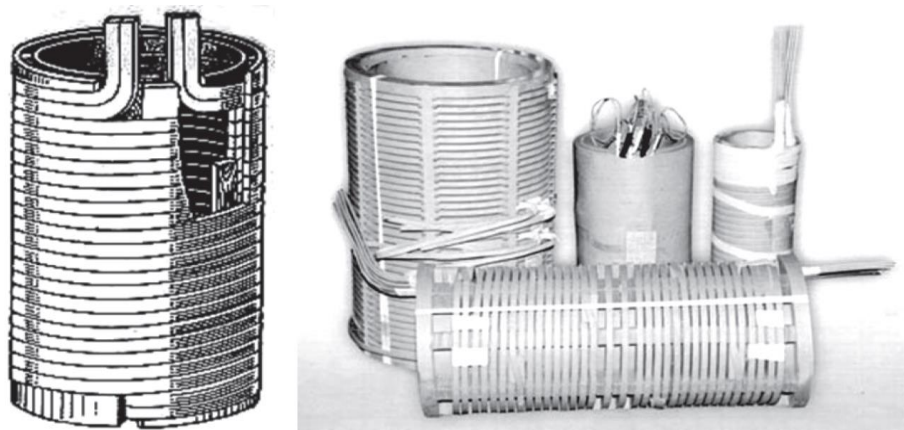


Рисунок 2.3 – Обмотки трансформаторов

В мощных трансформаторах ВН обмотки обычно состоят из ряда катушек, расположенных в осевом направлении. Катушки наматываются на рейки, образующие вертикальные каналы. В конструкции обмотки предусмотрены также горизонтальные каналы.

Эксплуатация трансформаторного масла. Трансформаторное масло выполняет в трансформаторе три основные функции: • изолирует находящиеся под напряжением узлы активной части; • охлаждает нагревающиеся при работе узлы активной части; • предохраняет твердую изоляцию обмоток от увлажнения.

Эксплуатационные свойства и его качество определяются химическим составом масла. Вновь поступившее масло должно иметь сертификат предприятия-поставщика, подтверждающий соответствие масла стандарту. Для масла, прибывшего вместе с трансформатором, соответствие стандарту подтверждается записью в паспорте трансформатора.

При каждом осмотре трансформаторов проверяется температура верхних слоев масла, контролируемая термометром или термосигнализатором. Эта температура не должна превышать $95\text{ }^{\circ}\text{C}$. В противном случае нагрузка трансформатора должна быть снижена.

Состояние масла оценивается по результатам испытаний, которые в зависимости от объема делятся на три вида: • испытания на электрическую прочность. Здесь определяются пробивное напряжение масла, визуально (качественно) определяются содержание механических примесей и влаги; • сокращенный анализ масла. Здесь дополнительно к п. 1 определяются температура вспышки и засоренность другими примесями; • полный анализ масла. Здесь дополнительно к п. 2 определяются количественное содержание влаги и механических примесей, тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$, содержание водорастворимых кислот и щелочей, содержание антиокислительных присадок, газосодержание и другие показатели.

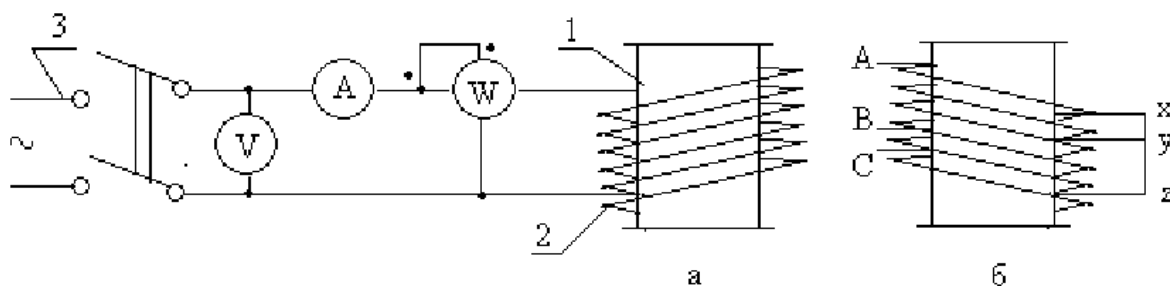
Величина $\operatorname{tg} \varphi$ характеризует степень загрязнения и старения масла. Влагосодержание тщательно контролируется при эксплуатации трансформаторного масла. Ухудшение этого показателя характеризует нарушение герметичности трансформатора или его работу в недопустимом нагрузочном режиме.

Сложности эксплуатации трансформаторного масла: защита от окружающей среды, периодический контроль состояния, испытания, регенерация — обусловили широкое использование в распределительных сетях 6–35 кВ трансформаторов герметичного исполнения (ТМГ), изготавливаемых мощностью до 1600 кВА. Эти трансформаторы полностью заполнены маслом и не имеют расширителя. Температурные изменения объема масла воспринимаются гофрированным баком.

2.5 Методические указания к решению задачи

Изоляцию обмоток трансформаторов можно сушить различными методами: в сушильных печах, при помощи ламп инфракрасного света, током короткого замыкания, потерями в собственном баке и токами нулевой последовательности. Однако в условиях эксплуатации получили распространение наиболее экономичные и удобные методы сушки потерями в собственном баке и токами нулевой последовательности. И в том, и в другом случае сушку можно проводить на месте установки трансформаторов при любой температуре окружающей среды, но со сливом масла из баков.

Сушка потерями в собственном баке. Иногда этот метод называют индукционным. Нагрев происходит потерями в баке, для чего на бак трансформатора наматывают намагничивающую обмотку (рисунок 2.4). Чтобы получить более равномерное распределение температуры внутри бака, намагничивающую обмотку наматывают на 40...60 % высоты бака (снизу), причем на нижней части бака витки располагают гуще, плотнее, чем на верхней. Провод для обмотки может быть выбран любой.



а — однофазная намагничивающая обмотка; *б* — трехфазная намагничивающая обмотка; 1 — нагреваемый трансформатор; 2 — намагничивающая обмотка; 3 — источник питания

Рисунок 2.4 – Схема сушки трансформатора при помощи намагничивающей обмотки

Расчет обмотки.

Число витков определяется по формуле:

$$\omega = \frac{UA}{l}. \quad (2.1)$$

где U – напряжение источника тока, В; l – периметр бака, м.

Величину A определяют по таблице 2.2 в зависимости от удельных потерь ΔP :

$$\Delta P = k_T \frac{F}{F_0} (t_k - t_0), \quad (2.2)$$

где k_T – коэффициент теплоотдачи: для утепленного бака $k_T = 5$, для неутепленного $k_T = 12$, кВт/(м² · град);

F – поверхность бака трансформатора, м²;

F_0 – поверхность бака, занятая обмоткой, м²;

t_k – температура нагрева бака, обычно равна 100 °С;

t_0 – температура окружающей среды, °С.

Ток в обмотке определяется по выражению:

$$I = \frac{\Delta P F_0}{U \cos \varphi}, \quad (2.3)$$

где $\cos \varphi = 0,54 \dots 0,7$ для трансформаторов с гладкими или трубчатыми баками; для трансформаторов с ребристыми баками $\cos \varphi = 0,3$.

Чем толще стенки бака, массивнее детали наружного крепежа, тем выше значение $\cos \varphi$.

Температуру нагрева трансформатора можно регулировать изменением подводимого напряжения, изменением числа витков намагничивающей обмотки, периодическими отключениями питания намагничивающей обмотки.

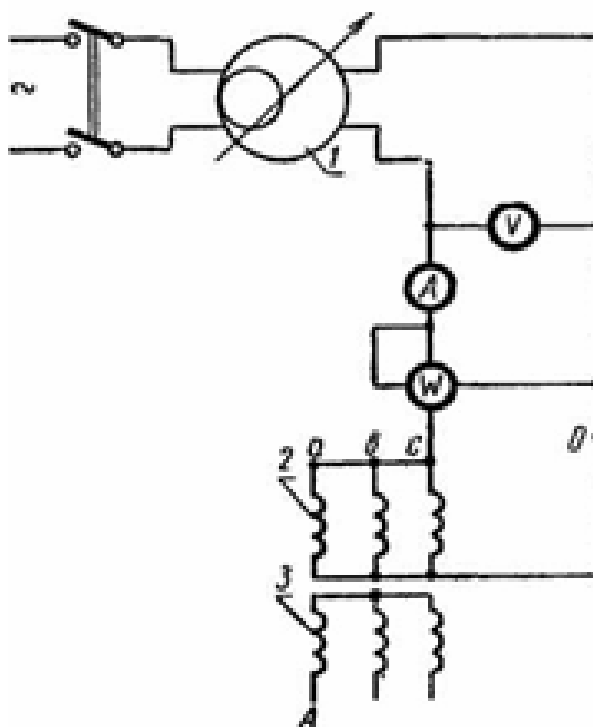
Таблица 2.2 – Значение величины A

ΔP	A	ΔP	A	ΔP	A	ΔP	A
0,75	2,33	0,8	2,26	0,85	2,18	0,9	2,12
1,1	1,92	1,15	1,88	1,2	1,84	1,4	1,74
1,9	1,56	2,0	1,54	2,1	1,51	2,2	1,49
ΔP	A	ΔP	A	ΔP	A	ΔP	A
0,95	2,07	1,0	2,02	1,05	1,97	1,1	1,92
1,6	1,61	1,7	1,63	1,8	1,65	1,9	1,67
2,4	1,44	2,5	1,42	3,0	1,34	3,5	1,26

Сушка токами нулевой последовательности (ТНП).

Этот способ отличается от предыдущего тем, что намагничивающей обмоткой служит одна из обмоток трансформатора, соединенная по схеме нулевой последовательности. Трансформаторы имеют 12 группу соединения обмоток. В этом случае очень удобно использовать в качестве намагничивающей обмотку низшего напряжения, которая имеет выведенную нулевую точку.

При сушке трансформатора токами нулевой последовательности (рисунок 2.5) нагрев происходит за счет потерь в намагничивающей обмотке, в стали магнитопровода и его конструктивных деталей, в баке от действия потоков нулевой последовательности.



1 – потенциал-регулятор; 2 – обмотка НН; 3 – обмотка ВН
Рисунок 5 – Схема сушки трансформатора токами нулевой последовательности

Таким образом, при сушке трансформаторов токами нулевой последовательности имеются внутренние и внешние источники тепла. Эта сушка представляет собой как бы сочетание двух способов сушки: током короткого замыкания и потерями в собственном баке.

Параметры сушки трансформаторов токами нулевой последовательности могут быть определены следующим образом.

Мощность, потребляемая намагничивающей обмоткой:

$$P_0 = \Delta p F, \quad (2.4)$$

где Δp – удельный расход мощности. Для трансформаторов без тепловой изоляции бака, сушка которых протекает при температуре активной (выемной) части 100...110 °С и окружающей среды 10...20 °С, можно применять $\Delta p = 0,65...0,9$ кВт/м². Меньшее значение удельной мощности принимают для трансформаторов меньшей мощности.

Подводимое напряжение при соединении намагничивающей обмотки в звезду, где z_0 – полное сопротивление нулевой последовательности фазы обмотки, оно может быть определено опытным путем; $\cos \varphi_0 = 0,2...0,7$:

$$u_0 = \sqrt{\frac{P_0 z_0}{3 \cos \varphi_0}}. \quad (2.5)$$

Чем больше мощность трансформатора, массивнее детали его внутреннего крепежа, толще стенки бака, меньше расстояние между магнитопроводом и баком, тем больше значение $\cos \varphi_0$. Его значение также можно определить опытным путем.

Фазовый ток сушки, необходимый для выбора измерительных приборов и сечения подводящих проводов, для трансформаторов с трубчатыми баками может быть определен из выражения:

$$I_0 = I_H \sqrt{\frac{10}{S_H}}, \quad (2.6)$$

где S_H – номинальная мощность трансформатора, кВА.

При внутреннем источнике тепла сушка трансформаторов токами нулевой последовательности характеризуется значительно меньшим потреблением мощности (до 40 %) и временем сушки (тоже до 40 %) по сравнению с сушкой трансформатора потерями в собственном баке.

Недостаток сушки трансформаторов токами нулевой последовательности заключается в том, что напряжение питания – нестандартное, то есть необходим специальный источник тока. Чаще всего таким источником тока может быть сварочный трансформатор.

После сушки трансформатора проводят его ревизию, проверяют расклиновку обмоток, определяют сопротивление изоляции стяжных шпилек магнитопровода (должно быть не ниже 5 МОм для трансформаторов напряжением до 35 кВ включительно), подтягивают все болтовые соединения. Температура трансформатора при ревизии должна быть на 5...10° выше температуры окружающего воздуха.

Продолжительность пребывания активной части трансформатора на открытом воздухе не должна превышать 16 ч в сухую погоду (относительная влажность воздуха до 75 %) и 12 ч во влажную (относительная влажность

воздуха свыше 75%). Все трансформаторы после заливки маслом до включения выдерживают 48 ч в теплом помещении и 120 ч в холодном.

Сопровитления нулевой последовательности фаз обмоток приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Сопровитления нулевой последовательности фаз обмоток

Номинальная мощность, кВА	Сопровитления, МОм	
	r_0	X_0
25	73	35,4
40	44	13,4
63	28	12
100	15,6	10,6
160	50	82
250	44	33
320	3,8	202
560	1,9	170
750	1,3	120
1000	0,9	80

Тепловой расчет трансформаторов.

Допущения: температура масла и обмотки по высоте меняются линейно:

$$g = \Theta_{\text{обс.ср.}} - \Theta_{\text{масла ср}} = 21 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.7)$$

98 °С – такую температуру можно держать на верхней обмотке при номинальных условиях, чтобы он работал 25 лет. В кружочке – гостированные величины:

$$u_{\text{ННТ}} = u_{\text{окр.возд.ном.}} + \Theta_{\text{обс.ср.}} + \varepsilon = 20 + 65 + 13 = 98^{\circ}\text{C}; \quad (2.8)$$

$$\Theta_{\text{ННТ в.с.м}} = u_{\text{ННТ}} - \Theta_{\text{в.с.}} - u_{\text{вн}} \quad (2.9)$$

Тепловой расчет трансформатора в установившемся режиме.

Цель расчета: определение температуры масла в верхних слоях и определение температуры обмотки в наиболее нагретой точке.

$u_{\text{мас. доп}} = 95 \text{ } ^\circ\text{C}$; $u_{\text{доп. обм}} = 140 \text{ } ^\circ\text{C}$;

$u_{\text{мас}}$ – определяется старением масла;

$u_{\text{обм}}$ – определяется изоляцией.

Превышение температуры ведет к более быстрому старению масла и износу обмотки.

Определение температуры масла.

В общем случае $S_T \neq S_{\text{ном}}$.

Коэффициент загрузки трансформатора:

$$k=S_{НОМ}/S_T; \quad (2.10)$$

$$b=\Delta P_M/\Delta P_c, \quad (2.11)$$

где ΔP_M – потери в меди;
 ΔP_c – потери в стали трансформатора.

Потери в трансформаторе:

$$\Delta P_T=\Delta P_c+\Delta P_M=\Delta P_c(1+k^2b), \quad (2.12)$$

ΔP_M зависят от $k^2 \Delta P_M = k^2 \Delta P_c b$; по ГОСТ $b = 5$.

$$\frac{\Theta_{\text{м.верх.сл(S)}}}{\Theta_{\text{м.верх.сл(S}_{НОМ})}} = \left[\frac{\Delta P_c(1+k^2b)}{\Delta P_c(1+b)} \right]^m, \quad (2.13)$$

где m – зависит от системы охлаждения трансформатора. Для М и Д равен 0,9; для Ц и ДЦ равен 1.

$$\Theta_{\text{м.верх.сл(S)}} = \Theta_{\text{м.верх.сл(S}_{НОМ})} \left[\frac{1+k^2b}{1+b} \right]^m. \quad (2.14)$$

$\Theta_{\text{м.верх.сл(S}_{НОМ})} = 55^0\text{C}$ – для масляного охлаждения.

Список литературы

- 1 Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию учебно-методических и учебных работ. СТ НАО 56023-1910-04-2014. Издание официальное. Алматы: «НАО АУЭС». – 2014. – 43 с.
- 2 Ерошенко Г. П., Коломиец А. П., Кондратьева Н. П., Медведько Ю. А., Таранов М. А. Эксплуатация электрооборудования — М.: КолосС, 2007. — 344 с.: ил. — (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
- 3 Основы эксплуатации электрооборудования: Учебное пособие / Составитель М.И. Успенский. – Сыктывкар: СЛИ, 2006. – 53 с.
- 4 Красник В.В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств. – М.: Энас., 2012 г.
- 5 Электротехнический справочник: в 4 т. Т.3. Производство и распределение электрической энергии / под общ. ред. В. Г. Герасимова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 964 с.
- 6 Правила технической эксплуатации РК https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=30013482#pos=1;-16
- 7 Лабренз Н., Тиеде А. Приемо-сдаточные, типовые и эксплуатационные испытания силовых трансформаторов в соответствии со стандартами IEC. <https://bib.convdocs.org/v39309>
- 8 Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок. <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010907>
- 9 Основные вопросы технической эксплуатации электрооборудования [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ж. А. Зарандия, Е. А. Иванов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015.
- 10 Акимова Н.А., Котеленец Н.Ф, Сентюрин Н.И. Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт электрического и электромеханического оборудования: учеб. пособие для студ. сред. проф. образования. – 5 изд., перераб и доп. – М.: Издательский центр «Академия» 2008. – 304 с.

Содержание

	Введение	3
1	1 Расчетно-графическая работа № 1. Теоретические вопросы по эксплуатации электрооборудования электрических станций	4
2	1.1 Цель и задачи расчетно-графической работы № 1	4
3	1.2 Объем и содержание расчетно-графической работы	4
4	1.3 Варианты теоретических вопросов расчетно-графической работы № 1	5
5	2 Расчетно-графическая работа № 2. Эксплуатация трансформаторов	6
6	2.1 Цель и задачи расчетно-графической работы	6
7	2.2 Объем и содержание расчетно-графической работы	6
8	2.3 Задание к расчетно-графической работе	7
9	2.4 Методические указания к выполнению работы	7
	Список литературы	17

Елена Григорьевна Михалкова
Ернар Танирбергенұлы Әмитов

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Методические указания по выполнению расчетно-графических работ
для студентов, обучающихся по образовательной программе
6В07101 – Электроэнергетика

Редактор:

Жанабаева Е.Б.

Специалист по стандартизации:

Ануарбек Ж.А.

Подписано в печать _____

Тираж 50 экз.

Объем _1.0_ уч.-из. л.

Формат 60×84 1/16

Бумага типографская № 1

Заказ ___ цена _500__тг.

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, Байтурсынова, 126/1