**МИНОБРНАУКИ РФ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное

Учреждение высшего образования

«Тульский Государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В. П. Грязева

**КАФЕДРА ЭЛЕКТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

**КУРСОВАЯ РАБОТА**

по дисциплине «Электрооборудование промышленности»

на тему

« Расчет силового трансформатора »

Студент:

Группа:Б161202.

Вариант: 86

**Руководитель:** Чумаков А. В.  **Дата\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_**

Члены комиссии:\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**Тула 2023 г.**

МИНОБРНАУКИ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

«Тульский Государственный университет»

Институт высокоточных систем им. В. П. Грязева

Кафедра «Электротехники и электрооборудования»

**ЗАДАНИЕ**

На курсовую работу по дисциплине: Электрооборудование промышленности студента группы Б161202.

Тема проекта «Расчет силового трансформатора ТМН 1600/35/0,69»

Выходные данные: Тип трансформатора - ТМН

Номинальная мощность – S = 1600 кВА

Номинальное напряжение обмотки – Uвн = 35 кВ; Uнн = 0,69 кВ

Напряжение к.з: Uк = 6,5%

Ток ХХ: i0 = 1,4%

Потери: Короткого замыкания – Pк = 18кВт

Холостого хода - Px = 3,1 кВт

Материал обмоток – Алюминий

Вид переключения обмоток – РПН

Схема и группа соединений – У/У – 11

Задание получил « \_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г

Срок представления задания «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г

Руководитель \_\_\_\_\_\_\_\_\_ Чумаков А.В. «\_\_\_»\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г

К защите. Руководитель\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ «\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_2023 г

Инв. № подп

Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дубл.

Подп. и дата

Лит

Лист

Листов

3

31

21

у

ТулГУ , ст. гр.Б161202.

*Расчет силового трансформатора*

Пояснительная записка

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Изм.

№ докум.

Лист

Подп.

Дата

.

Разраб.

Чумаков А.В.

Пров.

Т. контр.

Н. контр.

Утв.

СОДЕРЖАНИЕ

[ВВЕДЕНИЕ 6](#_Toc356430395)

[1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛЕЧИН 8](#_Toc356430396)

[2 ВЫБОР ГЛАВНОЙ И ПРОДОЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ 8](#_Toc356430397)

[3 ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ МАГНИТОПРОВОДА 12](#_Toc356430398)

[4ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ТРАНСФОРМАТОРА 15](#_Toc356430399)

[5 ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ОБМОТОК 18](#_Toc356430400)

[6 РАСЧЕТ ОБМОТКИ НИЗШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 20](#_Toc356430401)

[7 РАСЧЕТ ОБМОТКИ ВЫСШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ 23](#_Toc356430402)

[8 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ 27](#_Toc356430403)

[9 РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАТОРА 29](#_Toc356430404)

[СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 33](#_Toc356430405)

### ВВЕДЕНИЕ

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

6

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

В соответствии с ГОСТом 16110-82 трансформатором называется статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанных обмоток и предназначенных для преобразования посредствам электромагнитной индукцииодной или нескольких систем переменного тока в одну или несколько других систем переменного тока. Трансформатор, предназначенный для преобразования электрической энергии в сетях энергосистем и потребителей электроэнергии, называется силовым.

В конструктивном отношении современный силовой трансформатор можно схематически представить состоящим из трех основных систем: магнитной, системы обмоток с их изоляцией и системы охлаждения и вспомогательных систем – устройств регулирования напряжения, измерительных и защитных устройств, арматуры и т.д. конструктивной и механической основой трансформатора является его магнитная система, которая служит для локализации в ней основного магнитного поля трансформатор. Она представляет собой комплект пластин или других элементов из электротехнической стали или другого ферромагнитного материала, собранного в определенной геометрической форме.

Целью данной курсовой работы является изучения основных типов и конструкций трансформатора методом его расчета.

В результате расчета необходимо:

– выбрать конструкцию магнитной системы и конструкцию главной изоляции;

– определить основные размеры трансформатора;

– выбрать конструкцию и произвести расчет обмоток низшего и высшего напряжения;

– определить потери короткого замыкания и напряжения короткого замыкания;

– произвести расчет магнитной системы, определить параметры холостого хода.

Полученные в результате расчета значения величин не должны отличаться от заданных значений более чем на:

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

5

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

 – напряжение короткого замыкания;

 – потери короткого замыкания;

 – потери холостого хода;

 – ток холостого хода.

Выбор исходных данных для расчетов производим из таблиц 1 методички в соответствии с номером варианта.

Таблица1 - Исходные данные для расчета

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  вари-  анта | Тип трансформатора | Номинальная  мощность транс-  форматора *S*,  *КВА* | Номинальное  напряжение  обмоток, кВ | | Напряжение к.з *uк*, % | Ток холостого хода *i0*, % | Потери, кВт | | Материал обмоток | Вид переключения обмоток | Схема и группа соединений |
| *Uвн* | *Uнн* | Короткого замыкания *Pк*, *кВт* | Хол. хода *Pх, кВт* |
| 092 | ТМ | 250 | 10 | 0,4 | 4,5 | 2,3 | 3,7 | 0,74 | Алюм. | ПБВ | У/УН-0 |

Определим конструктивные особенности трансформатора, которые согласно ГОСТу 11677-75 указывают сочетанием букв и цифр [2, с.233]. Для этого «расшифруем» его тип.

ТН – трехфазный, масляный трансформатор с естественным видом охлаждения при защищённом исполнении;

-вид переключения обмоток: ПБВ (регулирование напряжения под нагрузкой).

Итак, нам предстоит рассчитать трехфазный двух обмоточный трансформатор, с регулированием напряжения под нагрузкой, мощностью 250 кВА.

### 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛЕЧИН

1. Определение основных электрических величин

1.1. Мощность одной фазы  и одного стержня 

 (1)

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

6

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

где : *m* – число фаз,  – число стержней.

1.2. Фазные напряжения и токи

 (2)

; ;

где  индекс *1*  относится к ОНН, *2* – к ОВН;

– номинальное линейное напряжение – ой обмотки, приведенное в задании.

Расщепленные обмотки трансформаторов типа ТРДН и ТРДНС рассчитываются на токи одной параллельной ветви ОВН или одной группы ОНН:

 (3)

Активная и реактивная составляющие напряжения короткого

замыкания, 

 (4)

;

### 2 ВЫБОР ГЛАВНОЙ И ПРОДОЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

7

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

2.1 Определим класс напряжения масляного трансформатора и его испытательное напряжение (ГОСТ 1516.1-76) по [1, табл.4.1, с.169]. Под классом напряжения трансформатора понимается класс напряжения его обмотки высшего напряжения, т. е. но­минальное напряжение (линейное) электрической системы, для работы на которую она предназначена. Для каждого класса напряжения установлено наибольшее рабочее напря­жение, длительное воздействие которого изоляция должна выдерживать неограниченное время.

Для надежной работы трансформатора его изоляция должна испытываться в соответствии с ожидаемыми перена­пряжениями, величины которых полностью

пределяются ха­рактеристиками защищающих его вентильных разрядников.

Электрооборудование каждого класса напряжения харак­теризуется определенными величинами испытательных на­пряжения рабочей частоты и импульсного напряжения. Испы­тательные напряжения по воздействию на изоляцию пред­ставляют собой эквивалент соответственно внутренним и атмосферным перенапряжениям с учетом отличия условий испытания от условий работы изоляции в эксплуатации и ряда других обстоятельств. Программа, последовательность, условия и методы испытаний устанавливаются ГОСТами 11677—75 и 1516—73 [1, с.9].

Таблица 2.1 – Классы напряжений обмоток

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обмотка | Класс напряжения, кВ | Испытательное напряжение, кВ |
| ВН | 10 | 35 |
| НН | 0,4 | 3 |

2.2 Выбор конструкции главной изоляции масляных трансформаторов производится на основании [1, рис.4.6,4.7,с.184,187].



Рисунок 2.1 – Главная изоляция обмоток ВН и НН

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

8

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

2.3 Минимальные изоляционные расстояния масляных трансформаторов определяются по [1, табл.4.4, с.183].

Таблица 2.2 – Минимальные изоляционные расстояния обмоток НН

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Мощность трансформатора, *кВА* | , для НН,  *кВ* | НН от ярма , мм | НН от стержня, мм | | | |
|  |  |  |  |
| 250 | 5 | 30 | Картон 2x0,5 | - | 5 | - |

Таблица 2.3 – Минимальные изоляционные расстояния обмотки ВН

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Мощность трансформатора, кВА | , для ВН,  *кВ* | ВН от ярма, мм | | Между ВН и НН, мм | | Выступ цилиндра , мм | Между ВН и НН, мм | |
|  |  |  |  |  |  |
| 250 | 35 | 30 | - | 9 | 3 | 15 | 10 | - |

2.4 Ширина каналов между катушками обмоток по условиям электрической прочности определяем по формуле:

(2.1)

где - рабочие напряжение одной катушки.

Ширина каналов в трансформаторах зависит от класса изоляции приводиться в [1, табл.9.2,б и табл.9.2,в].

Таблица 2.4 – Вертикальные каналы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс изоляции | Допустимое превышение температуры, *0С* | Плотность теплового потока, Вт/м2, при ширине канала, мм | | |
| 7 | 10 | 15 |
| F | 100 | 300 | 600 | 720 |

Таблица 2.5 – Горизонтальные каналы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Класс изоляции | Допустимое превышение температуры, *0С* | Плотность теплового потока, Вт/м2, при ширине канала, мм | | |
| 8 | 10 | 15 |
| F | 100 | 420 | 540 | 720 |

2.5 Толщина изоляции проводоввыбирается по табл.4.6[1, с.189].

мм – ВН и мм – НН.

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

9

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Таблица 2.6 – Выбор витковой изоляции

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Испытательное напряжение обмотки, *кВ* | Марка провода | Толщина изоляции на две стороны, мм | Назначение |
| 3-35 | ПБ | Круглый провод 0,17-0,21 | Для сухих и масляных трансформаторов |

### 3 ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ МАГНИТОПРОВОДА

3.1 Для трехфазных силовых трансформаторов наибольшее распространение получила плоская шихтованная стержневая магнитная система со сборкой в переплет, с четырьмя косыми и двумя прямыми [1, рис.2.17,б,]. Для трансформаторов мощностью до эта система дает возможность уменьшить массу стали примерно на



*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

10

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Рисунок 3.1 – План шихтовки магнитной системы

3.2 Выбираем число ступеней стержней и коэффициент усиления ярма [1, табл. 2.6., с. 84].

Таблица 3.1 – Число ступеней в сечении стержня трансформаторов

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Мощность трансформатора, *кВА* | Ориентировочный диаметр стержня *d*, м | Число ступеней | Коэффициент | Наличие продольных каналов |
| 250 | 0,20 | 7 | 0,928 | Без каналов |

Коэффициент усиления ярма .

3.3 По [1, табл. 2.7., с. 88]охлаждающие каналы в стержнях отсутствуют.

3.4 Коэффициент заполнения круга, равный отношению площади ступенчатой фигуры стержняк площади круга диаметром*d*:

 (3.1)

Он равен 0,928. Подставив в выше показанную формулу, получим:

Коэффициент заполнения площади ступенчатой фигуры стержня сталью, т.е. отношение активного сечения стержня  к площади ступенчатой фигуры. В соответствии с рекомендациями принимаем. Из формулы, представленной выше имеем:

 (3.3)



*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

11

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Общий коэффициент заполнения стальюплощади круга диаметром*d*рассчитывается по формуле:

 (3.4)

.

3.5 Способ прессовки стержней и ярм определяем по[1,табл.2.8., с.92].

****

****

б)

а)

****

Рисунок 2.2 - Способы прессовки; а) – прессовка ярма внешними шпильками; б) – прессовка стержня путем расклинивания с жестким цилиндром обмотки НН

3.6 Согласно рекомендациям для современных трансформаторов обычно применяется холоднокатаная (текстурированная) сталь марок 3404 и3405 с толщиной листов 0,35; 0,3;0,27. Выбираем сталь 3404 с толщиной листов 0,3 мм. Индукция в стержнях трансформатора выбираем равной 1,45Тл [1,табл.2.4., с.78].

Таблица 3.2 – Выбор индуктивности в стержнях

|  |  |
| --- | --- |
| Марка стали | Мощность трансформатора , кВА |
| 250 |
| 3404 | 1,4 – 1,45 |

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

12

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

### 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ТРАНСФОРМАТОРА

4.1 Под основным размером трансформатора понимают: диаметр*d*окружности, в которую вписана ступенчатая фигура стержня, осевой размер*l* (высоту) обмоток (их среднее значение) и средний диаметр витка двух обмоток. Если известны три основных размера, то остальные размеры, определяющие форму и объем магнитной системы и обмоток, можно найти исходя из известных изоляционных расстояний между обмотками и от обмоток до заземленных частей, а так же из условий охлаждения обмоток.

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

13

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Основные размеры трансформатора можно связать с мощностью, приходящейся на один стержень:

(4.1)

где – средняя плотность тока в обмотках (действ.значение);

– площадь поперечного сечения окна, занимаемого обмотками;

– коэффициент заполнения окна проводами.

Основные размеры силового трансформатора могут быть так же связаны с реактивной составляющей напряжения короткого замыкания. Используя эту связь, можно вывести формулу, связывающую диаметр трансформатора с его мощностью и значения :

Где величины указаны в следующих размерностях:

-

- , %;

- ,Тл;

- ар, м;

- – отношение длины канала между двумя обмотками к высоте обмоток;

- -коэффициент Роговского (;

- -коэффициент заполнения сталью (найден в п. 3.4).

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

14

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Для определения диаметра стержня, необходимо найти величины, которые входят в формулу, но являются неизвестными. Выбор этих данных () может быть сделан на основе исследования ряда вариантов или путем использования разработанных рекомендаций. Для определения предварительных значений ар и используются приближенные методы, затем значения уточняются после расчета обмоток.

4.2 Выбор оптимального значения отношения производится по табл.3.12 [1,с.159]. Принимаем

4.3 Ширина приведенного канала рассеяния определяется по приближенной формуле:

Значение, беретсяиз п.2.3. Приведенная ширина двух обмоток определяется по приближенной формуле:

где*k*, согласно примечаниям 1 и 3 к [1,табл. 3.3,с. 121]:

– для алюминиевого провода

Тогда получим:

4.4 Согласно формуле (4.2) находим:

Полученное значениеокругляем до ближайшего нормализованного значения*d.*Согласно нормализованные значения диаметров принимаем

[1, с.87–89].

4.5 Уточняем значение :

4.6 Радиальный размер ОНН приближенно находиться по формуле:

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

15

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

где берем из п.4.3, а значение принимаем равным 1,1 – для трансформаторов мощностью до 630кВА с плоской магнитной системой [1,с.164].

Средний размер витка обмоток (средний диаметр канала рассеяния) определяем предварительно по формуле:

где и определены в п.3.2.

Найденное значение является предварительным, оно должно быть уточнено после расчета обмотки НН.

4.7 Высота обмоток:

Это значение высоты обмоток является приближенным; оно уточняется после расчета обмотки НН, т.е. после определения и .

4.8Активное сечение стержня определяется по формуле:

– площадь сечения стержня с учетом охладительного канала

[1, с.364];

### 5 ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ОБМОТОК

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

16

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

5.1 ЭДС витка(предварительно), *B:*

где значение в см2 берем из п.4.8.

5.2 Число витков обмотки НН (предварительно)

Значение округляем до целого числа: .

Уточняем ЭДС витка:

Номинальное число витков обмотки ВН определяется по формуле:

Значение округляем до целого числа:

5.3 Средняя плотность тока в проводах обмотках , :

где – коэффициент, учитывающий добавочные потери в обмотках, определяем по [1,табл.3.6,c.131] принимаем .

– коэффициент, зависящий от материала проводов, определяем его по таблице 9:

Таблица 5.1 –Значения

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

17

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Материал проводов | Расчетная температура, *оС* | Значение |
| Медь | 75 | 0,746 |
| Медь | 115 | 0,658 |
| Алюминий | 75 | 0,463 |
| алюминий | 115 | 0,4105 |

Принимаем для алюминиевых проводов с изоляцией класса *B.*

Полученное значение сверяем со средним значением плотности тока применяемого в трансформаторе по [1,табл.5.7,с.257].

5.4 Сечение витка(предварительно), мм2:

5.5 Выбираем число реек принимаем согласно [1, с.225].

5.6 Произведем выбор типа обмоток согласно [1, с. 258].

Обмотка низкого напряжения:

для –цилиндрическая двухслойная из прямоугольного провода.

Обмотка высшего напряжения:

–цилиндрическая многослойная из круглого провода.

### 6 РАСЧЕТ ОБМОТКИ НИЗШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

18

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

6.1Определяем число витков в слое:

где

6.2 Определяем высоту витка:

6.3 Перебираем размер *a* ([1, табл.5.3], выбирают первый(осевой) размер провода так, чтобы число:

было близким к целому(отклонение от целого числа должно быть не более 1-2%).

*a*=4 мм.

6.4 Зная первый размер провода, перебирая второй размер по [1, табл.5.3], выбираем второй (радиальный) размер провода так, чтобы:

Это равенство должно соблюдаться с точностью до 1 – 3%, чтобы фактическое значение отличалось от полученного в п.5.3 значения не более чем на 0,1.

В целях обеспечения механической прочности обмотки рекомендуется, чтобы

6.5 Проверяем размер*a* по нагреву:, гденаходят по формуле:

где – для цилиндрической обмотки,

*q –* тепловая нагрузка, .

6.6 Проверяем размер*a*по величине коэффициента [1, табл.5.9].

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

19

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

6.7 Определяем остальные размеры обмотки:

где [1, с.267].

Определяем внутренний диаметр:

Определяем наружный диаметр:

где

– число и средний диаметр охлаждаемых поверхностей[1, рис.5.22].

где – число реек;

– ширина прокладок;

 – средний диаметр катушки.

6.8 Определяем тепловую нагрузку

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

20

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Определяем: массу проводов по формуле:

где – для алюминиевых проводов,

Определяем электрические потери:

где – коэффициент, зависящий от материала обмотки и расчетной температуры, ;

коэффициент

### 7 РАСЧЕТ ОБМОТКИ ВЫСШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

21

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

7.1 Регулирование напряжения без перерыва нагрузки и без отключения обмоток трансформатора от сети. Пределы регулирования %. На рисунке 7.1 представлена схема регулирования напряжения под нагрузкой.



Рисунок 7.1 – Схема регулирования напряжения

7.2 Число витков на одной ступени регулирования

Где – число витков обмотки ВН при номинальном напряжении (берется из п.5.2);

Выражение (7.2) – относительное значение напряжения одной ступени регулирования.

Принимаем

7.2 Число витков на ответвлениях:

ступень

где – число ступеней регулирования вниз и вверх от номинального;

;

ступень ;

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

22

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

ступень

.

7.3Ориентировочная плотность тока

Ориентировочное сечение витка

7.4По [1, табл.5.1] выбираем один провод нужного сечения диаметром *d=3мм.*

Фактическая плотность тока:

7.5 Определяем число витков в слое ориентировочно:

7.6 Число слоев ориентировочно:

Принимаем .

7.7 Рабочее напряжение

По рабочему напряжению по [1, табл.4.7] выбираем число слоев и общая толщина кабельной бумаги.

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

23

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Принимаем изоляцию 4х0,12; выступ межслойной изоляции на торцах обмотки(на одну сторону), 16мм.

7.8 Разбиваем обмотку на две катушки с осевым каналом между катушками. Число слоев внутренней катушкиМинимальная ширина каналавыбирается по [1, табл.9.2]

В обмотках класса напряженияпод внутренним слоем обмотки устанавливается экран – незамкнутый цилиндр из латуни толщинойизолированный с обеих сторон листами картона толщиной.Радиальный размер обмотки с экраном и каналом.

7.9 Определяем остальные размеры:

расчетную ширину канала между обмотками

внутренний диаметр обмотки

наружный диаметр обмотки

7.10 Поверхность охлаждения при намотке обмотки на рейки и наличии канала между двумя частями,

где – число стержней;

– коэффициент закрытия поверхности охлаждения;

7.11Определяем тепловую нагрузку

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

24

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Определяем: массу проводов по формуле:

где – для алюминиевых проводов,

Определяем электрические потери:

где – коэффициент, зависящий от материала обмотки и расчетной температуры, ;

### 8 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

25

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

8.1 Определим потери короткого замыкания, складывающиеся из:

– электрических потерь (основных и дополнительных) в обмотках НН и ВН;

– электрических потерь в отводах обмоток;

– потерь в стенках бака и других металлических элементах конструкции трансформатора.

а) электрические потери и обмоток с учетом добавочных потерь от поля рассеяния определены выше при расчете обмоток.

б) потери в отводах:

где – масса одной обмотки, кг;

– длина одной обмотки, м;

– сечение одной обмотки, мм2.

отводы НН :

,

*,*

,

*.*

отводы ВН:

,

*,*

,

.

в) потери в стенках бака:

где – коэффициент, определяемый по табл.7.1 [1,с.319].

Полные потери короткого замыкания:

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

26

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

8.2Расчет напряжения короткого замыкания:

Активная составляющая напряжения короткого замыкания:

Коэффициент Роговского:

Приведенная ширина канала рассеяния

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания:

Полученное значениеотличаются от заданного не более чем на 5%, значит расчеты приведенные выше верны.

### 9 **РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАТОРА**

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

27

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

9.1 Определение размеров магнитной системы.

Принята конструкция трехфазной плоской шихтованной магнитной системы, собираем из пластин холоднокатаной текстурованной стали марки 3404, 0,27мм. Стержни магнитной системы скрепляются бандажами из стеклоленты, ярма прессуются ярмовыми балками.

Размеры пакетов выбираем по [1,табл.8.3] для стержня *d=0,20м*с прессующей пластиной. Число ступеней в сечении стержня и ярма соответственно 6 и 5.

Полное сечение стержня определяем по табл. 8.7 [1,с.365]

Активное сечение стержня:

Полное сечение ярма определяем по табл. 8.7 [1,с.365]

Активное сечение ярма:

Объем угла магнитной системы:

Объем стали угла магнитной системы:

Длина стержня магнитной системы:

где и – расстояние от обмотки до верхнего и нижнего ярма.

Расстояние между осями соседних стержней:

Масса стали угла:

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

28

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Масса стали стержней в пределах окна магнитной системы:

Масса стали в местах стыка пакетов стержня и ярма:

Масса стали стержней:

Масса стали в ярмах:

Полная масса стали трансформатора:

9.2 Расчет потерь холостого хода

Магнитная система шихтуется из электротехнической тонколистовой рулонной холоднокатаной текстурированной стали марки 3404 толщиной 0,30 мм.

Индукция в стержне:

Индукция в ярме:

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

29

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

По табл.8.10 [1,с.376] находим удельные потери:

при

при

при

По [1,табл.8.13] находим коэффициенты для стали 3404 толщиной 0,30 мм при наличии отжига:

Потери холостого хода определяем по формуле:

(9.15)

9.3 Расчет тока холостого хода:

По табл. 8.17 находим удельные намагничивающие мощности:

при

при

при

По [1,табл.8.12,табл.8.20,табл.8.21] находим коэффициенты для стали 3404 толщиной 0,30 мм при наличии отжига:

Полная намагничивающая мощность определяется по формуле:

(9.15)

Относительное значение тока холостого хода:

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

30

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

Активная составляющая тока холостого хода:

Реактивная составляющая:

Ток холостого хода:

Коэффициент полезного действия трансформатора:

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Изм.*

Лист

*№ Документа*

*Подпись*

*Дата*

*Лист*\_

31

ЭТЭО.004.000.000.ПЗ

1. Тихомиров П.М. Расчет трансформатора / П.М. Тихомиров. М.: Альянс, 2013. 528с

2. Копылов П.П. Электрические машины / П.П. Копылов. М.: Юрайт, 2019. Т. 1. 267 с.

3. Вольдек А. И. Электрические машины. Введение в электротехнику. Машины постоянного тока и трансформаторы/ А.П. Вольдек. В.В. Попов. СПб: Питер, 2008ю 320с.

4. ГОСТ 11920-85. Трансформаторы сидлвые масляные общего назначения до 35 кВ включительно. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1985. 29с.

5. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2002. 38с.