Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования

*Амурский государственный университет*

(ГОУВПО «АмГУ»)

Кафедра АПП и Э

**КУРСОВОЙ ПРОЕКТ**

на тему: Проектирование трехфазного двухобмоточного масляного трансформатора

по дисциплине Электромеханика

Исполнитель

студент гр.444 А.А.Гончар

Руководитель В.И.Усенко

доцент, канд. техн. наук

Нормоконтроль И.В.Хисматова

Благовещенск 2007

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРА

**Исходные данные:**

Полная мощность трансформатора, *S* = 1000 кВ · А

Номинальное линейное напряжение обмотки ВН, *U2*  = 10 кВ

Номинальное линейное напряжение обмотки НН, *U1* = 0.69кВ

Потери холостого хода, *Рх* = 2200 Вт

Потери короткого замыкания, *Рк* = 12200 Вт

Напряжение короткого замыкания, *uk* = 8 %

Ток холостого хода, *i0* = 1.4%

Схема и группа соединения, *D / YН* -11.

Нагрузка длительная.

Материал магнитопровода – рулонная холоднокатанная электротех-

ническая сталь марки 3404 толщиной 0.35мм.

Материал обмоток – аллюминий.

Конструктивная схема трансформатора – трехстержневой с концентри-

ческими обмотками.

Частота,  Гц

РЕФЕРАТ

Работа 45с., 5 рисунков, 3 источника.

Спроектирован отдельный силовой трансформатор, входящий в уже известную серию, отвечающий требованиям ГОСТ в отношении номинальной мощности и напряжений обмоток, параметров холостого хода и короткого замыкания. Определены основные размеры трансформатора. Подобраны обмот-

ки для низшего и высшего напряжения. Выбрана схема с отводами для получе-

ния двух ступеней регулирования напряжения.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 6

1 Расчет основных электрических величин и выбор главной изоляции 7

1.1 Мощность одной фазы трансформатора 7

1.2 Мощность на один стержень 7 1.3 Линейные (номинальные) токи обмоток 7

1.4 Фазные токи обмоток 7

1.5 Фазные напряжения обмоток 8

1.6 Испытательные напряжения обмоток 8

1.7 Изоляционные расстояния обмоток ВН и НН 9 2 Определение основных размеров трансформатора 10

2.1 Отношение средней длины окружности канала между обмотками к высоте обмотки 10

2.2 Ширина приведенного канала рассеяния 10

2.3 Коэффициент приведения идеального поля рассеяния к реальному полю (коэффициент Роговского) 10

2.4 Составляющие напряжения короткого замыкания 10

2.5 Магнитная индукция в стержне, *Вс* 10

2.6 Общий коэффициент заполнения сталью, *Кс* 11

2.7 Диаметр стрежня 11

2.8 Значение коэффициента *β*, соответствующее нормализованному диаметру 11

2.9 Средний диаметр канала между обмотками 12

2.10 Предварительная высота обмотки 12

2.11 Активное сечение стержня, П 12

2.12 Электродвижущая сила одного витка 12

3 Расчет обмотки низшего напряжения (НН) 14

3.1 Средняя плотность тока 14

3.2 Ориентировочное сечение витка 14

3.3 Выбор обмотки 15

3.4 Число витков на одну фазу 15

3.5 Уточняем ЭДС одного витка 15

3.6 Уточняем индукцию в стержне 15

3.7 Расчет цилиндрической обмотки из прямоугольного провода 15

3.8 Внутренний диаметр обмотки 18

3.9 Наружный диаметр обмотки 19

3.10 Средний диаметр обмотки 19

4 Расчет обмотки высшего напряжения (ВН) 20

4.1 Число витков при номинальном напряжении 20

4.2 Напряжение на одной ступени регулирования 20

4.3 Число витков на одной ступени регулирования напряжения 20

4.4 Число витков обмотки на ответвлениях 20

4.5 Плотность тока в обмотке ВН 21

4.6 Сечение витка обмотки ВН 21

4.7 расчет многослойной цилиндрической обмотки из прямоугольного

провода 21

5 Расчет параметров короткого замыкания 27

5.1 Определение потерь короткого замыкания 27 5.2 Расчет напряжения короткого замыкания 31 5.3 Расчет механических сил в обмотках 32

6 Расчет магнитной системы, потерь и тока холостого хода 35

6.1 Определение размеров магнитной системы 35

6.2 Определение потерь холостого хода 39

6.3 Определение тока холостого хода 41

Заключение 44 Библиографический список 45

ВВЕДЕНИЕ

Трансформатор представляет собой электромагнитный аппарат, пред-

назначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения той же частоты.

Это устройство чаще всего состоит из двух (а иногда и большего числа) взаимно неподвижных электрически не связанных между собой обмоток, расположенных на ферромагнитном проводе. Обмотки имеют между собой магнитную связь, осуществляемую переменным магнитным полем.

Ферромагнитный магнитопровод предназначен для усиления магнитной связи между обмотками.

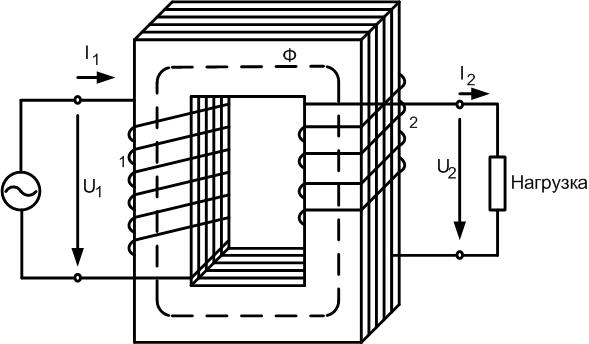


Рисунок 1 - Общий вид трансформатора

Обмотка трансформатора, потребляющая энергию из сети, называется первичной обмоткой (обмотка 1 на рис.1), а обмотка, отдающая энергию в сеть, - вторичной.

Целью данного проекта является изучение приемов проектирования силовых трансформаторов.

Актуальность данной темы проекта выражена в том, что в настоящее время трансформаторы нашли очень широкое применение в промышленности, сельском хозяйстве и в ряде других отраслей энергопотребления.

1 РАСЧЁТ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ВЫБОР ГЛАВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ

1.1 **Мощность одной фазы трансформатора**

*Sф* = = 333.33 кВ · А

1.2 **Мощность на один стержень**

*S′* = = 333.33 кВ · А

1.3 **Линейные (номинальные) токи обмоток**

Номинальный линейный ток обмотки НН:

*I1*= **= 836.74А

Номинальный линейный ток обмотки ВН:

*I2*= * =* 57.735А

1.4 **Фазные токи обмоток**

Фазный ток обмотки НН при соединении в звезду:

*Iф1* = *I1* = 836.74А

Фазный ток обмотки ВН при соединении в треугольник:

Фазный ток обмотки одного стержня трёхфазного трансформатора при соединении обмоток в треугольник меньше линейного в :

*Iф2 = *

*Iф2* = 33.333 А

1.5 **Фазные напряжения обмоток**

Фазное напряжение обмотки НН при соединении в звезду:

*Uф1*=

*Uф1* = 0.398кВ

Фазное напряжение обмотки ВН при соединении в треугольник:

*Uф2* = = 10кВ

1.6 **Испытательные напряжения обмоток**

Для определения изоляционных промежутков между обмотками и дру-

гими токоведущими частями и заземлёнными деталями трансформатора суще-

ственное значение имеют испытательные напряжения, при которых проверяет-

ся электрическая прочность изоляции трансформатора.

Испытательное напряжение обмотки ВН:

*U2* = 10 кВ *Uисп2*= 35кВ

Испытательное напряжение обмотки НН:

*U1* = 0.69кВ *Uисп1*= 5кВ

1.7 **Изоляционные расстояния обмоток ВН и НН**

Расстояние обмотки ВН от ярма *l02* = 50мм

Толщина шайбы  *δш* = 0 мм

Расстояние между обмотками ВН и НН  *а12* = 20 мм

Толщина цилиндра *δ12* = 4 мм

Выступ цилиндра *lц2* = 20 мм

Расстояние между обмотками ВН и ВН *а22* = 18мм

Толщина цилиндра *δ22* = 0мм

Расстояние обмотки НН от ярма *l01* = 50мм

Толщина цилиндра *δ01* = 4мм

Ширина канала между цилиндром и обмоткой НН *ац1* = 6мм

Расстояние обмотки НН от стержня *а01* = 15мм

Выступ цилиндра *lц1* = 18 мм



Рисунок 2 – Главная изоляция обмоток ВН и НН

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ТРАНСФОРМАТОРА

2.1 **Отношение средней длины окружности канала между обмотками к высоте обмотки**

*β* = 1.3

2.2 **Ширина приведенного канала рассеяния**

**= 54.183 мм,

где *k* = 0.8

2.3 **Коэффициент приведения идеального поля рассеяния к реальному полю (коэффициент Роговского)**

Данный коэффициент приближённо принимается в предварительном расчёте:

*kр* = 0.95

2.4 **Составляющие напряжения короткого замыкания**

Активная составляющая:

**= 1.22 %

Реактивную составляющую определяем из треугольника напряжений:

**= 7.906 %

2.5 **Магнитная индукция в стержне *Вс***

Пусть индукция в стержне имеет значение:

*Вс* = 1.65 Тл

2.6 **Общий коэффициент заполнения сталью *Кс***

*Кс = Ккр · КЗ* = 0.913 · 0.97 = 0.866,

где *Ккр* = 0.913 , *КЗ* = 0.97

2.7 **Диаметр стержня**

= 0.204 м

Полученный диаметр округляем до ближайшего нормализованного значения:

*dн* = 0.22м

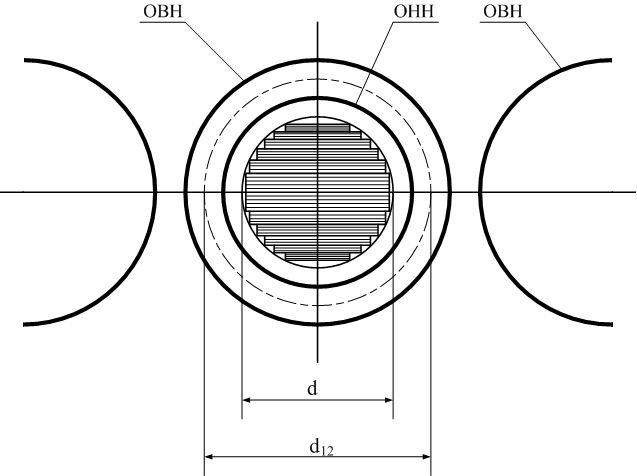


Рисунок 3 - Диаметр стержня

2.8 **Значения коэффициента *β*, соответствующее нормализованному диаметру:**

= 1.744

2.9 **Средний диаметр канала между обмотками**

Средний диаметр канала между обмотками *d12* в предварительном рас-

чёте определяется приближенно с использованием коэффициента *К1*. Для транс-

форматоров мощностью 25-630 кВ · А *К1* = 1.1, мощностью 1000-6300 кВ · А *К1=* = 1.4 *.*

Приближенно определяется и радиальный размер обмотки НН.

Принимаем *К1* = 1.4.

Радиальный размер обмотки НН:

= 47.856 мм

Средний диаметр канала между обмотками:

= 365.712 мм

2.10 **Предварительная высота обмотки**

= 658.707 мм

2.11 **Активное сечение стержня Пс**

= 0.03366 м2

2.12 **Электродвижущая сила одного витка**

= 12.331В

3 РАСЧЁТ ОБМОТКИ НИЗШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ (НН)

3.1 **Средняя плотность тока**

= 1.809 А/м2,

где *Км* = 0.463, *Кd* = 0.95

Найденное значение плотности тока является ориентировочным средним значением для обмоток ВН и НН. Действительная плотность тока должна быть близкой к этой. Плотности тока в каждой из обмоток масляного трансформато-

ра с медными или алюминиевыми обмотками могут отличаться от среднего зна-чения, но желательно, чтобы не более чем на 10 % .

Отклонение действительной средней плотности тока от найденной в сторону возрастания увеличивает потери короткого замыкания, в сторону уменьшения – снижает эти потери.

Основным элементом обмотки трансформатора является виток – элек-

трический проводник или несколько параллельно соединенных проводников, однократно охватывающих часть магнитной системы. Ток витка совместно с токами других витков и других частей трансформатора, в которых возникает электрический ток, создают магнитное поле трансформатора.

Под воздействием этого поля в каждом витке наводится ЭДС. В зависи-

мости от тока нагрузки виток может быть выполнен одним проводом круглого сечения, либо проводом прямоугольного сечения, либо группой параллельных проводов круглого или чаще прямоугольного сечения. Ряд витков, намотанных на цилиндрической поверхности, называется слоем.

Отдельные витки обмотки группируются в катушки. Катушка – это группа последовательно соединённых витков обмотки, конструктивно объеди-

ненных, и отделённая от других таких же групп или других обмоток трансфор-

матора.

3.2 **Ориентировочное сечение витка**

= 462.435 мм2



Обмотка трансформатора должна отвечать требованиям эксплуатации и в то же время быть простой и дешёвой в производстве. В процессе расчёта об-

мотки после выбора её типа следует добиваться наибольшей компактности в ее размещении, распределении витков и катушек, чтобы получить наилучшее за-

полнение окна трансформатора. Потери энергии, выделяющиеся в обмотках в виде тепла, должны быть полностью отведены в среду, охлаждающую транс-

форматор.

3.3 **Выбор обмотки**

По табл.4.3 выбираем цилиндрическую обмотку из прямоугольного про-вода.

3.4 **Число витков на одну фазу**

= 33

Функция *ceil* округляет значение до большего целого.

3.5 **Уточняем ЭДС одного витка**

= 12.072 В

3.6 **Уточняем индукцию в стержне**

= 1.615 Тл

3.7 **Расчёт цилиндрической обмотки из прямоугольного провода**

3.7.1 Число слоёв обмотки

*nсл1* = 6

3.7.2 Число витков в одном слое

= 6

Функция *ceil* округляет значение до большего целого.

3.7.3 Ориентировочный осевой размер витка

= 94.101 мм

Ориентировочное сечение провода, рассчитанное ранее, равно:

*П′В1* = 462.435мм2

3.7.4 По значениям *hВ1* и *П’В1* по сортаменту обмоточного провода для трансформаторов подбираем подходящие провода и способ намотки

В многослойной цилиндрической обмотке из прямоугольного провода возникают добавочные потери, вызываемые вихревыми токами. В обмотках этого типа стараются выбрать число слоёв обмотки и радиальный размер про-

вода так, чтобы добавочные потери не превысили 5 % основных потерь обмот-ки. Иногда, сравнительно редко, допускают добавочные потери до 10 % .

При расчёте обмоток существенное значение имеет правильный выбор размеров проводов.

*а* = 5мм *b* = 15мм

Число параллельных проводов:

*nпр1* = 6

Сечение одного провода:

*П′′1* = 74.1мм2

Толщина изоляции на две стороны:

*δ1* = 0.45мм

Осевой размер провода:

*b′ = b+ δ1* = 15+0.45 = 15.45мм

Осевой размер витка:

*hB1 = nпр1 · b′* = 6 · 15.45 = 92.7мм

Полное сечение витка из *nпр1* параллельных проводов:

*П1 = nлр1 · П′′1* = 6 · 74.1 = 444.6 мм2

3.7.5 Уточняем плотность тока

**= 1.882 А/мм2

3.7.6 Осевой размер обмотки *l1*

Длина обмотки найденная выше *L1* = 658.9мм

*l1 = hB1* · (*wсл1*+1) = 92.7 · (6+1) + 10 = 658.9мм

3.7.7 Радиальный размер обмотки

Радиальный размер витка:

*аВ1 = а+ δ1* = 5+0.45= 5.45мм

Суммарное рабочее напряжение двух слоёв:

**= 144.862 В

По рабочему напряжению двух слоёв по таблице 4.6 выбираем число слоёв и толщину *dМСЛ* кабельной бумаги:

 = 2 · 0.12 = 0.24мм

Радиальный размер канала *а11*, выбираем по таблице 4.7:

**= 6 мм

Радиальный размер обмотки:

**= 39.9 мм

3.8 **Внутренний диаметр обмотки**

**=250 мм

3.9 **Наружный диаметр обмотки**

**= 329.8 мм

3.10 **Средний диаметр обмотки**

**= 289.9 мм

4 РАСЧЁТ ОБМОТКИ ВЫСШЕГО НАПРЯЖЕНИЯ (ВН)

При выборе типа обмотки ВН следует учитывать необходимость выпол-

нения в обмотке ответвлений для регулирования напряжения. В ГОСТ6110-82 предусмотрены два вида регулирования напряжения силового трансформатора:

а) переключением ответвлений обмотки без возбуждения (ПБВ) после отключения всех обмоток трансформатора от сети;

б) без перерыва нагрузки (РПН) и без отключения обмоток трансформа-

тора от сети.

Регулировочные ответвления на обмотках ВН служат обычно для под-

держания напряжения у потребителей электрической энергии на одном уровне при колебаниях нагрузки.

4.1 **Число витков при номинальном напряжении**

**= 829

4.2 **Напряжение на одной ступени регулирования**

*=* 500В

4.3 **Число витков на одной ступени регулирования напряжения**

**= 42

где *dU* – напряжение на одной ступени регулирования напряжения обмотки или разность напряжений двух соседних ответвлений, В;

*uB* – напряжение одного витка обмотки, В.

4.4 **Число витков обмотки на ответвлениях**

верхняя ступень:

*w2 = wн2+ wp* = 829+42 = 871

при номинальном напряжении:

*wн2* = 829

нижняя ступень:

*wн2- wp* = 829 – 42 = 787

4.5 **Плотность тока в обмотке ВН**

*Jcp* = 1.809

*J′2* = 2 · *Jcp - J1* = 2 · 1.809 – 1.882 = 1.737А/мм2

4.6 **Сечение витка обмотки ВН**

*Iф2* = 33.333А

**= 19.192 мм2

4.7 **Расчёт многослойной цилиндрической обмотки из круглого**

**провода**

По таблице 4.3 выбираем цилиндрическую многослойную обмотку из круглого провода.

4.7.1 Выбор провода

По значению  по сортаменту обмоточного провода для трансформа-

торов (таблица 4.5) подбираем провод:

АПБ13.75/4.15

*аВН* = 5мм

*bBH* = 15 мм

Число параллельных проводов:

*nпр2 =* 1

Сечение одного провода:

*П2′′* = 19.635 мм2

Толщина изоляции на две стороны:

*δ2* = 0.40 мм

Осевой размер провода:

*bBH′ = bBH+ δ2 =* 15+0.45 = 15.45 мм

Радиальный размер провода:

*a′BH = 5+ δ2 =* 5+0.45 = 5.45 мм

Осевой размер витка:

*hB2 = nпр2 · bBH′ =* 1 · 15.45 = 15.45 мм

Полное сечение витка из *nB2*параллельных проводов:

*П2 = nпр2 · П2′′ =* 1 · 19.635 =19.635 мм2

4.7.2 Уточняем плотность тока

*J2 ==* 1.698 А/мм2

4.7.3 Число витков в слое

**= 122

4.7.4 Число слоёв в обмотке

**= 9

4.7.5 Суммарное рабочее напряжение двух слоёв

**= 2.946 · 103 В

По рабочему напряжению двух слоёв (таблица 4.6) выбираем число слоёв и толщину *dМСЛ* кабельной бумаги:

*δмсл2* = 3 · 0.12 = 0.36мм

Радиальный размер канала  выбираем по таблице 4.7:

= 18 мм

4.7.6 Радиальный размер обмотки

В обмотках класса напряжения 20 и 35 кВ под внутренним слоем обмот-

ки устанавливается металлический экран – незамкнутый цилиндр из листа не-

магнитного металла. За счёт экрана и изоляции, накладываемой на экран с двух сторон, радиальный размер обмотки увеличивается на величину *аЭ*:

**= 69.48мм

4.7.7 Внутренний диаметр обмотки

**= 369.8 мм

4.7.8 Наружный диаметр обмотки

**= 508.76 мм

4.7.9. Средний диаметр обмотки

**= 439.28 мм

Число слоев:

6  **9

Число витков в слое:

6 122

Всего витков:

331.066· 103

Число витков при номинальном напряжении:

829

Размеры провода без изоляции:

радиальный размер:

5мм 5мм

Осевой размер:

15мм 15мм

Число параллельных проводов:

6 1

Сечение витка:

444.6мм2 19.635мм2

Плотность тока:

1.882А/мм2 1.698А/мм2

Радиальный размер обмотки:

39.9мм 69.48мм

Высота обмотки:

659 мм

Основные диаметры:

внутренний:

250мм 369.8мм

средний:

289.9мм 439.28мм

наружный:

329.8мм 508.76мм

5 РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

5.1 **Определение потерь короткого замыкания**

Потерями короткого замыкания двухобмоточного трансформатора сог-

ласно ГОСТ16110-82 называются потери, возникающие в трансформаторе при номинальной частоте и установлении в одной из обмоток тока, соответствуеще-го её номинальной мощности, при замкнутой накоротко второй обмотке.

5.1.1 Масса металла обмотки низшего напряжения (НН)

Удельная плотность для аллюминия *γ =* 2700 кг/м3

**= 108.235 кг

5.1.2 Масса металла обмотки высшего напряжения (ВН)

**=191.172 кг

5.1.3 Электрические потери в обмотке низшего напряжения (НН)

Удельное электрическое сопротивление при *t* = 75 0С для аллюминия:

*ρ =* 0.034 мкОм · м

**= 4.884 · 103 Вт

5.1.4 Электрические потери в обмотке высшего напряжения (ВН)

**= 7.02 · 103 Вт

5.1.5 Коэффициент *КД1*, учитывающий добавочные потери в обмотке НН

Коэффициент приведения поля рассеяния:

**= 0.938

В формулу для коэффициента добавочных потерь входит величина *β*, которая подсчитывается по формуле:

для прямоугольного провода:

*=* 0.768

Коэффициент увеличения основных потерь:

- для обмотки из прямоугольного провода:

**

**1.048

5.1.6 Коэффициент *КД2*, учитывающий добавочные потери в обмотке ВН.

Определение коэффициента *β*:

для круглого провода:

**= 0.868

Коэффициент увеличения основных потерь:

- для обмотки из круглого провода:

**

**= 1.065

5.1.7 Масса металла проводов отводов обмотки НН

Расчёт основных потерь в отводах сводится к определению длины про-

водников и массы металла в отводах. Принимая сечение отвода равным сече-

нию витка обмотки, а общую длину проводов в метрах, можно определять по формулам:

- для соединения в звезду:

=4.942 мм

- сечение отвода:

**=4.446 · 10-4 м2

- масса металла проводов отводов обмотки НН:

**= 5.933 кг

5.1.8 Электрические потери в отводах обмотки НН

**= 267.742 Вт

5.1.9 Масса металла проводов отводов обмотки ВН

Общая длина отводов обмотки ВН:

- для соединения в треугольник:

9.226 мм

- сечение отвода:

**= 1.963 · 10-4 м2

- масса металла проводов отводов обмотки ВН:

**= 0.489 кг

5.1.10 Электрические потери в отводах обмотки ВН

**= 17.96 Вт

5.1.11 Потери в стенках бака и других элементах конструкции

На этапе расчёта обмоток, когда размеры бака ещё не известны, для трансформаторов мощностью от 100 до 63000 кВА можно с достаточным приб-

лижением определить потери в баке и деталях конструкции по формуле:

**= 200 Вт

Коэффициент *Кб* определяется по таблице 6.1:

*kб* = 0.02

5.1.12 Полные потери короткого замыкания

**

**= 1.308 · 104 Вт

При расчёте следует допускать отклонение расчётных потерь короткого замыкания от гарантийного значения не более чем на 10 %:

= 7.22 %

Если это условие не выполняется, следует уменьшить плотность тока в обмотках при небольших отклонениях рекомендуется пересчитать только одну обмотку на меньшую плотность тока, обычно обмотку ВН.

5.2 **Расчёт напряжения короткого замыкания**

Напряжением короткого замыкания двухобмоточного трансформатора называется приведенное к расчётной температуре напряжение, которое следует подвести при номинальной частоте к зажимам одной из обмоток при замкнутой накоротко другой обмотке, чтобы в обоих обмотках установились номинальные токи. При этом переключатель должен находится в положении, соответствую-

щем номинальному напряжению. Напряжение короткого замыкания определяет падение напряжение в трансформаторе, его внешнюю характеристику и ток ко-

роткого замыкания. Оно учитывается также при подборе трансформатора для параллельной работы. Весь расчёт напряжения короткого замыкания проводит-

ся для одного стержня.

5.2.1 Активная составляющая напряжения короткого замыкания

= 1.308 %

5.2.2 Уточненное значение коэффициента *β*

** = 1.668

5.2.3 Уточненная ширина приведённого канала рассеяния

Ориентировочная ширина канала:

*ap = 5*4.183 мм

Уточненная ширина:

**= 56.46 мм

5.2.4 Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания

= 8.081 %

5.2.5 Напряжение короткого замыкания, *Uk*

**= 8.186 %

Отклонение расчётного напряжения короткого замыкания от гарантий-

ного:

= 2.33 %

При расчёте не следует допускать отклонение расчётного значения нап-

ряжения короткого замыкания от гарантийного более чем на 10 %. В противном случае необходимо заменить *uk* в нужном направлении за счёт изменения реак-

тивной составляющей.

5.3 **Расчёт механических сил в обмотках**

5.3.1 Установившийся ток короткого замыкания обмотки ВН

**= 407.181 А

5.3.2 Мгновенное максимальное значение тока короткого замыкания обмотки ВН

** = 1.601

**= 922.148 А

5.3.3 Радиальная сила, действующая на обмотку ВН

*=*

= 5.738 · 105 Н

5.3.4 Растягивающее в проводе обмотки ВН и сжимающее в проводе обмотки НН напряжения

**= 5.61 МПа

**= 6.224 МПа

Проверяем условие *σсж* =6.224 должно быть меньше 15 МПа для аллюминия. Условие выполняется, но мы допускаем в данной работе некоторую погрешность.

5.3.5 Осевые силы, обусловленные конечным соотношением высоты и ширины обмоток, *Foc*

**= 2.458 · 104 Н

5.3.6 Максимальные сжимающие силы в обмотке

*Fсж2* = *Foc* = 2.458 · 104 Н

*Fсж1* = *Fсж2*= 2.458 · 104 Н

5.3.7 Напряжение сжатия на опорных поверхностях

-число прокладок по окружности обмотки:

*n0* = 12

- ширина прокладки:

*bпр* = 50мм

**= 1.0267 МПа

Проверяем условие *σсжат* = 1.0267 < 20 МПа

5.3.8 Температура обмоток через *tk =* 4с после возникновения короткого замыкания

Для аллюминия *Кt* = 5.5

**= 112.686 0С

Температура обмоток не должна превышать 2000С для аллюминия.

6 РАСЧЁТ МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ, ПОТЕРЬ И ТОКА ХОЛОСТОГО ХОДА

6.1 **Определение размеров магнитной системы**

При окончательном расчете магнитной системы, который производится после завершения полного расчёта обмоток, параметров и токов короткого за-

мыкания трансформатора, для плоской шихтованной магнитной системы опре-

деляют: число ступеней в сечении стержня и ярма, размеры пакетов – ширину пластин и толщину пакетов, расположение и размеры охлаждающих каналов, полные и активные сечения стержня и ярма, высоту стержня, расстояние между осями стержней, массу стали стержней, ярм и углов магнитной системы и пол-

ную массу магнитной системы определяются потери и ток холостого хода трансформатора.

Выбор правильной формы и размеров поперечного сечения ярма, осо- бенно в магнитных системах, собираемых из холоднокатаной текстурованной стали, играет существенную роль. Наиболее рациональна многоступенчатая форма сечения ярма с числом ступеней, равным или несколько большим актив-

ного сечения стержня. Форма поперечного сечения ярма в средней части по размерам пакетов повторяет сечение стержня. Крайние пакеты, в целях улуч-

шения прессовки ярма ярмовыми балками более равномерного распределения давления по ширине пакетов и уменьшение веера пластин на углах, делаются более широкими объединением двух – трёх в один.

6.1.1 Размеры пакетов стержня и ярма

Ширина пластин:

**(215 195 175 155  135 120 105 75)мм

Толщина пакетов:

*bi* = (23 18 15 12 9 5 4 7) мм

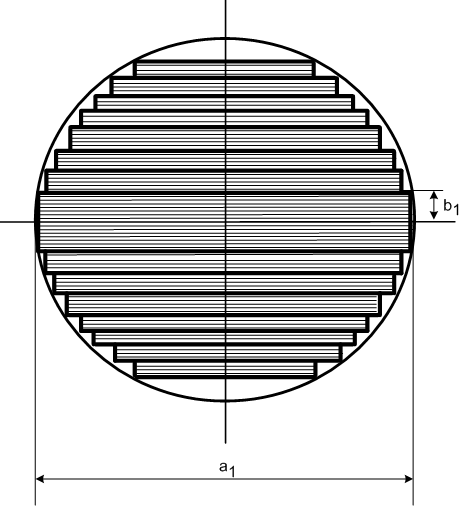


Рисунок 4 - Сечение стержня.

Общая толщина пакета стержня (ширина ярма):



= 0.092 м

Ширина наибольшей пластины:

 = 0.215 м

6.1.2 Площади ступенчатой фигуры сечения стержня, ярма и объём угла

*Пфс(dH)* = 353 см2

*Пфя(dH)* = 360.5 см2

*Vy(dH)* = 6460см3

Активное сечение стержня:

= 0.034 м2

Активное сечение ярма:

= 0.035 м2

Объём стали угла магнитной системы:

**= 0.0063 м3

6.1.2 Длина стержня

Приращение расстояния:

*dl* = 25 мм

Длина стержня:

**= 0.759 м

6.1.4 Расстояние между осями соседних стержней

**= 0.527 м

6.1.5 Проставление полученных размеров магнитопровода на эскизе

Выбираем конструкцию шихтованного магнитопровода с косыми стыками на крайних стержнях и прямыми на среднем стержне.

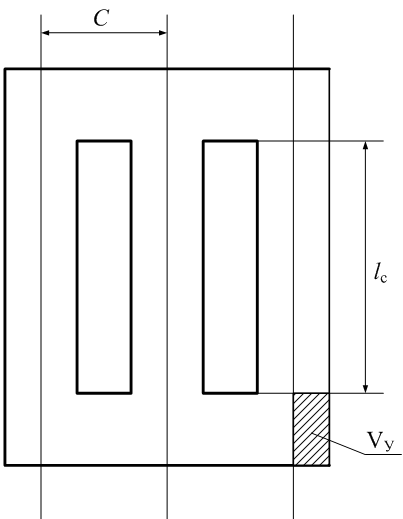


Рисунок 5 - Эскиз магнитопровода.

Плотность холоднокатаной стали:

 кг/м3

6.1.6 Масса стали угла магнитной системы

**= 47.936 кг

6.1.7 Масса стали ярем

**= 659.525 кг

6.1.8 Масса стали стержней



**= 621.59 кг

6.1.9 Общая масса стали магнитной системы

*Gст = Gя + Gc =* 659.525+621.59= 1.281 · 103кг

6.2 **Определение потерь холостого хода**

Магнитная индукция в стержнях и ярмах плоской шихтованной магнит-

ной системы определяется для рассчитанного напряжения витка обмотки и окончательно установленных значений активных сечений стержня и ярма.

6.2.1 Индукция в стержне

**= 1.65 Тл

6.2.2 Индукция в ярме

**= 1.616 Тл

6.2.3 Индукция в косом стыке

**= 1.167 Тл

6.2.4 Потери холостого хода

Удельные потери:

- в стали стержня:

*рс* = 1.443 Вт/м2

- в зоне стыка стержня

*рc3* = 686.736Вт/м2

- в стали ярма:

*ря* = 1.34 Вт/кг

- в зоне стыка ярма:

*ряз* = 657.438 Вт/м2

- в зоне косого стыка:

*ркос* = 355.863 Вт/м2

Коэффициент перешихтовки *Кпш* зависит от мощности трансформатора:

*Кпш* = 1.05

*Кпя* = 1 – коэффициент формы сечения ярма

*Кпп* = 1.03 – коэффициент прессовки

Потери холостого хода:



=

= 2178.4 Вт



= 137.81 Вт

**= 2.505 · 103 Вт

Заданные потери холостого хода:

*Pх* = 2.2 · 103 Вт

В расчёте следует выдерживать потери холостого хода в пределах нормы соответствующего ГОСТ плюс 15 %:

 = 13.885 %

6.3 **Определение тока холостого хода**

6.3.1 Полные удельные намагничивающие мощности

Полные удельные намагничивающие мощности в стали, *q*:

*qc* = 2.345 В · А/кг

*qя* = 1.16 В · А/кг

*qкос* = 3.221 В · А/кг

*qсз* = 2.764 · 104В · А/кг

*qяз* = 1.34 · 104 В · А/кг

6.3.2 Намагничивающая мощность





= 8170В · А



**= 3.302 · 103 В · А

**= 1.223 · 104 В · А

6.3.3 Относительное значение тока холостого хода в процентах от номинального тока

**= 1.223 %

*i0* = 1.4

Отклонение расчётного значения тока холостого хода от заданного га-

рантийного не должно быть более +15 %:

 %= -12.643 %

6.3.4 Активная составляющая тока холостого хода в процентах от номи-

нального тока

**= 0.251%

6.3.5 Реактивная составляющая тока холостого хода в процентах от номинального тока

**= 1.197 %

 = 0.205

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном курсовом проекте был спроектирован двухобмоточный трехфазный трансформатор. Были определены основные параметры трансфор-

матора, такие как мощность и напряжение короткого замыкания, мощность и ток холостого хода, число витков обмоток высшего и низшего напряжения. Таким образом, была выполнена главная цель курсового проекта – мы научи-

лись проектировать силовые трансформаторы, входящие в уже известную серию трансформаторов по ГОСТ. В процессе расчетов были выполнены неко-

торые допущения в связи с тем, что данный курсовой проект является учебным.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Усенко В.И., Серов А.Е., Русинов В.Л., Расчет трансформаторов – учебное пособие. Благовещенск, 2002. – 122 с.

2. Вольдек А.И. Электрические машины. Ленинград: Издательство "Энергия", 1976 г. – 818 с.

3. Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов. Москва, 1986 г. – 356 с.

ЗАДАЧА№1

Тема: «Расчёт системы искусственного освещения»

Задание: рассчитать систему искусственного освещения для помещения (компьютерная аудитория) с размерами 10\*15\*2,7; занавески присутствуют, стены и потолок свежепобелены.

Решение

**1**. Выбираем систему общего освещения.

**2**. Выбраем источники света: выбираем люминесцентные лампы, так как они являются наиболее экономически выгодными, дают большую равномерность освещения, параметры помещения являются критическими.

**3**. Используем светильники типа ШОД.

Определим высоту подвеса светильников



 = 0.8 м,  = 0.1 м, = 2.7 м,

тогда  = 2.7- 0.8 - 0.1=1.8 м

**4**. Согласно /1/ для данных производственных условий нормиро-

ванная освещённость Eн=400 Лк.

**5**. Определяем коэффициент запаса для данных производственных условий.

Выбираем значение k=1.8, что соответствует помещениям со средним вы-

делением пыли.

**6**. Определение необходимого количества светильников и мощности источ-

ников света.

Найдём суммарный световой поток по формуле:



z = 0,9 – коэффициент неравномерности освещения;

-коэффициент использования светового потока, выбирается исходя из

значений i, pc, pn.

pc, pn- коэффициенты отражения стен и потолка соответственно/1/табл.12/ и имеют значения: pc=70% и pn=70%

– индекс помещения, определяемый по формуле:



i=3.33

Выбираем = 0.6 /1/табл.11/.

Находим значение суммарного светового потока





Число ламп определяем по формуле:



 - световой поток от одной лампы и для ламп мощностью 80 Вт он

равен 3440 Лм.



= 48, тогда количество светильников составит 24 шт.

**7**. Выбор рационального расположения светильников.

Найдём расстояние между рядами светильников по формуле:



- наивыгоднейшее относительное расстояние между лампами и имеет

значение равное 1.2 ,

тогда L = 2.6 м

По/1/ табл.14/ имеем следующие размеры лампы: ширина- 0.284 м,

длина- 1.530 м.

Выбираем следующее расположение светильников: 4 ряда по 6 светильников

в каждом.

Определим расстояние между светильниками в ряду:



А- длина аудитории,

   ,

- длина одного светильника ,

N – число промежутков между светильниками в ряду.

 = 0.83 м

Схема рационального расположения светильников приведена в Приложении 1.

Задача№2

Тема: Расчёт потребного воздухообмена

Задание: рассчитать потребный воздухообмен для помещения (компьютер-

ная аудитория) с размерами 10\*15\*2.7;непостоянное рабочее место, мони-

тор на базе ЭЛТ, одно место без принтера, но со сканером.

Исходные данные:

V=405м3

n= 13

Решение:

**Расчёт потребного воздухообмена для удаления избытка тепла**

Потребный воздухообмен определяется по формуле:

,

где Lизб - избыточное тепло;

 - удельная масса приточного воздуха (=1,206 кг/м3);

 - теплоемкость воздуха (=0,24 ккал/(кг\*град));

 - разница температур приточного и удаляемого воздуха ( выбирается в зависимости от теплонапряженности воздуха Lн);

,

где Vпомещ – внутренний объем помещения.

,

где Lоб – количество тепла, выделяемое оборудованием;

Lосв – количество тепла, выделяемое осветительными установками;

Lл – количество тепла, выделяемое людьми, работающими в помещении.

Кратность воздухообмена для удаления избытка тепла определяется по следующей формуле:



где Q – воздухообмен;

V – объем помещения.

1. 

- коэффициент перехода тепла в помещение зависит от вида оборудования;

- коэффициент использования установки мощности;

- коэффициент загрузки;

 - коэффициент одновременности работы оборудования.



, ккал/(м3\*ч),

где -номинальная(установленная)мощность, кВт

=9,02 кВт

=860\*0,25\*9,02=1939,3 ккал/час

2. ,

где α – коэффициент перевода электрической энергии в тепловую;

α для ламп накаливания = 0,92-0,97;

α для люминесцентных ламп = 0,46-0,48;

β – коэффициент одновременной работы оборудования(β=1);

-коэффициент мощности=0,7-0,8.

Примем α=0,47

 ккал/час

3. ,

где n – количество людей, находящихся в помещении;

q – количество тепла, выделяемое одним человеком (табл.).

При выполнении работы оператора, которая относится к категории работ 1а и при температуре воздуха окружающей среды, равной 200С



 ккал/час

4. = 1939,3++910 = 3431,35 ккал/час

5.Определим величину теплонапряженности:

 ккал/(м3\*ч),

если LН< 20 ккал/(м3\*ч), то = 60С;

если LН> 20 ккал/(м3\*ч), то = 80С.

= 60С

6. Потребный воздухообмен для удаления избыточного тепла:

7.Кратность воздухообмена для удаления избытка тепла:

**Расчёт потребного воздухообмена для очистки воздуха**

Потребный воздухообмен для очистки воздуха:



где х- предельно допустимая концентрация вредностей в воздухе рабочей зоны

помещения(х=1,25 л/м3)

х- максимально допустимая концентрация вредностей в наружном воздухе

(х=0,4 л/м3)

q – количество вредностей, приходящихся на одного человека(q= 23 л/час)



Кратность воздухообмена для очистки воздуха:





Схема размещения рабочих мест в компьютерной аудитории с заданными раз-

мерами приведена в Приложении 2.