

Содержание

1 Исходные данные	4
2 Расчет основных электрических величин	5
3 Расчет основных размеров трансформатора	7
4 Расчет обмотки НН	9
5 Расчет обмотки ВН	12
6 Расчет параметров короткого замыкания	16
7 Расчет магнитной цепи	20
8 Тепловой расчет	25
9 Заключение	30
10 Список использованных источников	31

diplom-electro.ru

1 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Тип трансформатора и схема соединения обмоток ТМ Δ/Y

Частота питающей сети:

$$f = 50 \text{ Гц}$$

Номинальная мощность трансформатора:

$$S_n = 2500 \text{ кВА}$$

Номинальное линейное напряжение обмотки высшего напряжения (ВН):

$$U_{\text{ВН}} = 6,3 \text{ кВ}$$

Номинальное линейное напряжение обмотки низшего напряжения (НН):

$$U_{\text{НН}} = 1,14 \text{ кВ}$$

Материал обмоток - алюминий

diplom-electro.ru

2 РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Номинальный линейный ток обмотки ВН, А:

$$I_{\text{ВН}} = \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 229,107 \text{ А}$$

Номинальный линейный ток обмотки НН, А:

$$I_{\text{НН}} = \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НН}}} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 1,14} = 1266,119 \text{ А}$$

Номинальный фазный ток обмотки ВН (действующее значение), А:

$$I_{\text{фВН}} = \frac{I_{\text{ВН}}}{\sqrt{3}} = \frac{229,107}{\sqrt{3}} = 132,275 \text{ А}$$

Номинальный фазный ток обмотки НН (действующее значение), А:

$$I_{\text{фНН}} = I_{\text{НН}} = 1266,119 \text{ А}$$

Фазное напряжение обмотки ВН (действующее значение):

$$U_{\text{фВН}} = \frac{U_{\text{ВН}}}{\sqrt{3}} = \frac{6,3}{\sqrt{3}} = 3,637 \text{ кВ}$$

Фазное напряжение обмотки НН (действующее значение):

$$U_{\text{фНН}} = \frac{U_{\text{НН}}}{\sqrt{3}} = \frac{1,14}{\sqrt{3}} = 0,658 \text{ кВ}$$

Нормированные испытательные напряжения обмоток трансформатора определяется по величине заданных линейных напряжений. Изоляционные расстояния в трансформаторе выбираются в зависимости от испытательных напряжений по ГОСТ 1516.1-76.

$$U_{\text{испВН}} = 25 \text{ кВ}$$

$$U_{\text{испНН}} = 5 \text{ кВ}$$

Выбираем изоляционные расстояния обмоток ВН и НН.

Таблица 2.1 - Главная изоляция. Минимальные изоляционные расстояния обмоток ВН, мм.

Мощность трансформатора S, кВА	U _{исп} для ВН, кВ	ВН от ярма		Между ВН и НН		Выступ цилиндра a ₁₂	Между ВН и НН	
		l ₀₂	δ _ш	a ₁₂	δ ₁₂		a ₂₂	δ ₂₂
1000—6300	18; 25 и 35	50	—	20	4	20	18	-

Таблица 2.2 - Главная изоляция. Минимальные изоляционные расстояния обмоток НН, мм

Мощность трансформатора S, кВА	U _{исп} для НН, кВ	НН от ярма l ₀₁	НН от стержня			
			δ_{01}	a _{ц1}	a ₀₁	l _{ц1}
1000—2500	5	50	4	6	15	18

Минимальные изоляционные расстояния обмоток НН (1, табл. 4.4)

$$a_{01} = 15 \text{ мм}$$

Вид изоляции - воздушный промежуток и картон 2 x 0,5 мм (1, с. 183)

$$l_{01} = 50 \text{ мм}$$

Вид изоляции - опорная изоляция из дерева или электрокартона

Минимальные изоляционные расстояния обмоток ВН (1, с. 184)

$$a_{12} = 20 \text{ мм}$$

Вид изоляции - воздушный промежуток с бумажно-бакелитовым цилиндром толщиной 2,5 мм

$$l_{02} = 50 \text{ мм}$$

Вид изоляции - опорная изоляция из электрокартона

$$a_{22} = 18 \text{ мм}$$

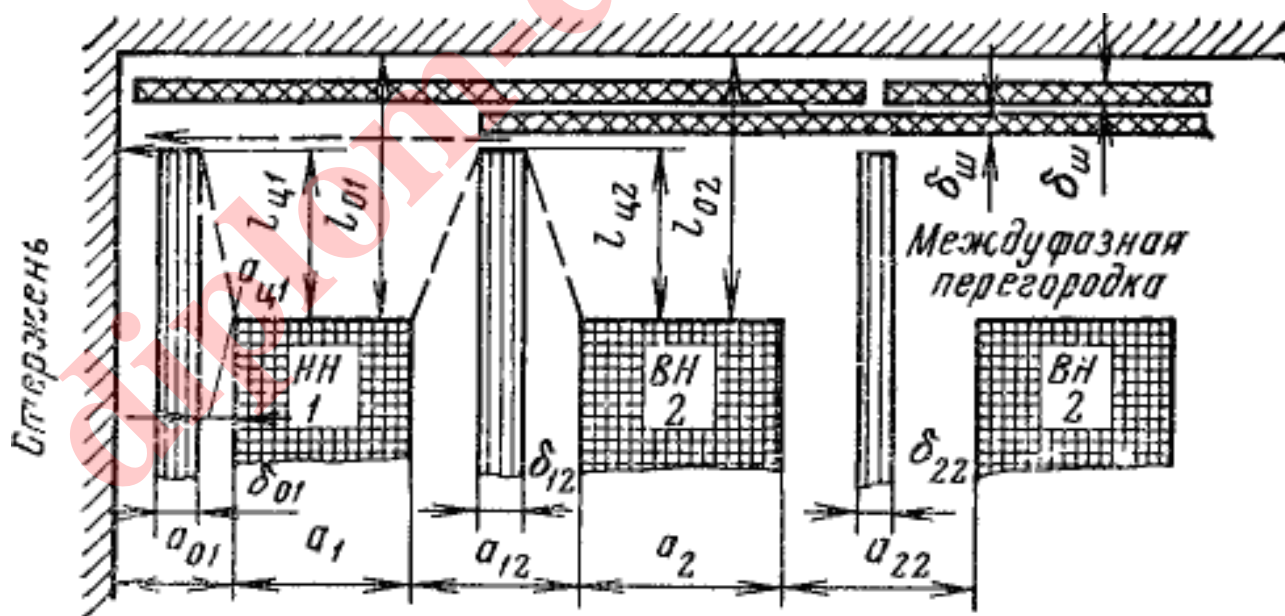


Рисунок 2.1 - Главная изоляция обмоток ВН и НН

3 РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ТРАНСФОРМАТОРА

Мощность обмоток одного стержня

$$S' = \frac{S_H}{3} = \frac{2500}{3} = 833,333 \text{ кВА}$$

Основные размеры связаны между собой коэффициентом, представляющим собой отношение средней длины окружности канала между обмотками к высоте обмотки. Этот коэффициент определяет соотношение между шириной и высотой трансформатора, между весом стали и меди, оказывает влияние на стоимость трансформатора, а также на такие его технические характеристики, как потери и ток холостого хода, механическая прочность и нагревостойкость обмоток.

Соотношение средней длины витка к длине обмотки принимаем по [1, табл. 3.12]

$$\beta = 1,7$$

Ширина приведенного канала рассеяния, м

$$a_p = a_{12} \cdot 10^{-3} + \frac{a_1 + a_2}{3} = 20 \cdot 10^{-3} + 0,0343 = 0,0543 \text{ м}$$

где a_{12} – размер канала между обмотками ВН и НН

Приведенная ширина двух обмоток в предварительном расчете определяется по формуле

$$\frac{a_1 + a_2}{3} = k \cdot \sqrt[4]{S'} \cdot 10^{-2} = 0,638 \cdot \sqrt[4]{833,333 \cdot 10^{-2}} = 0,0343 \text{ м}$$

где коэффициент k определяется по [1, табл. 3.3]

$$k = 0,63 \cdot 1,25 = 0,638$$

Коэффициент приведения идеального поля рассеяния к реальному полю (коэффициент Роговского) приближено принимается в предварительном расчете [1, с. 162]

$$K_p = 0,95$$

Активная составляющая напряжения, определяемая по формуле

$$U_a = \frac{\Delta P_{кз}}{10 \cdot S_H} = \frac{12200}{10 \cdot 2500} = 0,488 \%$$

Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания, %

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{6,5^2 - 0,488^2} = 6,482 \%$$

Индукция в стержне для материала магнитопровода стали 3405 и заданной мощности трансформатора

$$B_c = 1,6 \text{ Тл}$$

Коэффициент заполнения стержня (или яра) сталью [1, табл. 2.3] $K_3 = 0,97$

Коэффициент заполнения активным сечением стали площади круга, описанного около сечения стержня, K_c зависит от выбора числа ступеней в сечении стержня, способа прессовки стержня и размеров охлаждающих каналов, толщины листов стали и вида междулистовой изоляции. Общий коэффициент заполнения определится [1, табл. 2.5]

$$K_{кр} = 0,913$$

Коэффициент заполнения активным сечением стали площади круга, описанного около сечения стержня

$$K_c = K_3 \cdot K_{кр} = 0,97 \cdot 0,913 = 0,886$$

Диаметр стержня, м

$$d = 0,507 \cdot \sqrt[4]{\frac{S' \cdot a_p \cdot \beta \cdot K_p}{f \cdot U_p \cdot B_c^2 \cdot K_c^2}} = 0,507 \cdot \sqrt[4]{\frac{833,333 \cdot 0,0543 \cdot 1,7 \cdot 0,95}{50 \cdot 6,482 \cdot 1,6^2 \cdot 0,886^2}} = 0,293 \text{ м}$$

полученный диаметр необходимо округлить до ближайшего по нормализованной шкале

$$d_H = 0,29 \text{ м}$$

Определяем β_H

$$\beta_H = \beta \cdot \left(\frac{d_H}{d}\right)^4 = 1,7 \cdot \left(\frac{0,29}{0,293}\right)^4 = 1,631$$

Средний диаметр канала между обмотками d_{12} в предварительном расчете приближенно определяется по формуле

$$d_{12} = d_H + (2 \cdot a_{01} + a_{12}) \cdot 10^{-3} + 2 \cdot a_1 = 0,29 + (2 \cdot 15 + 20) \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,04802 = 0,436$$

Радиальный размер обмотки НН, м

$$a_1 = k_1 \cdot \frac{a_1 + a_2}{3} = 1,4 \cdot 0,0343 = 0,04802 \text{ м}$$

где где при мощности 1000-6300 кВА [1, с. 164] $k_1 = 1,4$

Высота обмотки, м

$$l = \frac{\pi \cdot d_{12}}{\beta_H} = \frac{3,14 \cdot 0,436}{1,631} = 0,84 \text{ м}$$

Активное сечение стержня,

$$P_c = K_3 \cdot K_{кр} \cdot \frac{\pi \cdot d_H^2}{4} = 0,97 \cdot 0,913 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,29^2}{4} = 0,0585 \text{ м}^2$$

Электродвижущая сила одного витка

$$u_B = 4,44 \cdot f \cdot B_c \cdot P_c = 4,44 \cdot 50 \cdot 1,6 \cdot 0,0585 = 20,779 \text{ В}$$

4 РАСЧЕТ ОБМОТКИ НН

Принимаем значение средней плотности тока по рекомендации [1, табл.5.7]

$$J_{cp} = 1,5 \frac{A}{mm^2}$$

Ориентировочное сечение витка

$$S'_2 = \frac{I_{фнн}}{J_{cp}} = \frac{1266,119}{1,5} = 844,079 \text{ мм}^2$$

Принимаем в качестве обмотки НН цилиндрическую обмотку из прямоугольного провода по [1, табл. 5.8]

Число витков на одну фазу

$$w_2 = \frac{U_{фнн} \cdot 10^3}{4,44 \cdot f \cdot B_c \cdot \Pi_c} = \frac{0,658 \cdot 10^3}{4,44 \cdot 50 \cdot 1,6 \cdot 0,0585} = 31,67$$

принимаем $w_2 = 32$

Уточняем ЭДС одного витка, В

$$u_B = \frac{U_{фнн} \cdot 10^3}{w_2} = \frac{1,14 \cdot 10^3}{32} = 20,563 \text{ В}$$

Уточнение индукции в стержне, Тл

$$B_c = \frac{u_B}{4,44 \cdot f \cdot \Pi_c} = \frac{20,563}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,0585} = 1,5834 \text{ Тл}$$

число слоев согласно [1] как правило принимается равным двум $n_{сл} = 2$

Число витков в одном слое

$$w_{сл2} = \frac{w_2}{n_{сл}} = \frac{32}{2} = 16$$

Размер радиального канала предварительно

$$h_k = 5 \text{ мм}$$

Ширина междувитковых прокладок при числе реек по окружности обмотки 12

$$b_{пр} = 40 \text{ мм}$$

Ориентировочный осевой размер витка

$$h_{в2} = \frac{1 \cdot 10^3}{w_{сл2} + 1} = \frac{0,84 \cdot 10^3}{16 + 1} = 49,41 \text{ мм}$$

По полученным ориентировочным значениям по [1, табл. 5.2] подбираем сечение провода

$$\text{АПБ } 6 \times \frac{4,5 \cdot 16}{5 \cdot 16,5}$$

число параллельных витков $n_{в2} = 6$

принимается алюминиевый провод марки АПБ с намоткой плашмя с размерами

$$a_2 = 4,5 \text{ мм}; b_2 = 16 \text{ мм}$$

Расчетная толщина изоляции на две стороны

$$\Delta_2 = 0,5 \text{ мм}$$

Размеры провода с учетом изоляции

$$a' = a_2 + \Delta_2 = 4,5 + 0,5 = 5$$

$$b' = b_2 + \Delta_2 = 16 + 0,5 = 16,5$$

Полное сечение витка

$$\Pi_2 = 6 \cdot 142,2 = 853,2 \text{ мм}^2$$

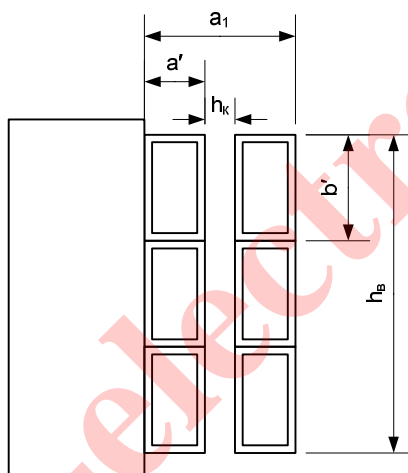


Рисунок 4.1 - Схема витка обмотки НН

Осевой размер витка обмотки по рисунку 3.1

$$h_{в2} = n_{в1} \cdot b' \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 16,5 \cdot 10^{-3} = 0,0495 \text{ м}$$

Уточняем плотность тока

$$J_2 = \frac{I_{фнн}}{\Pi_2} = \frac{1266,119}{853,2} = 1,484 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

Высота обмотки

$$l_2 = h_{в2} \cdot (w_{сл2} + 1) + 0,01 = 0,0495 \cdot (16 + 1) + 0,01 = 0,8515 \text{ м}$$

Радиальный размер обмотки

$$a_1 = (2 \cdot a' + a_{11}) \cdot 10^{-3} = (2 \cdot 16,5 + 5) \cdot 10^{-3} = 0,015 \text{ м}$$

где радиальный размер канала между слоями

$$a_{11} = 5 \text{ мм}$$

Внутренний диаметр обмотки

$$D'_2 = d_H + 2 \cdot a_{01} \cdot 10^{-3} = 0,29 + 2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} = 0,32 \text{ м}$$

Внешний диаметр обмотки

$$D''_2 = D'_2 + 2 \cdot a_1 = 0,32 + 2 \cdot 0,04802 = 0,41604 \text{ м}$$

Средний диаметр обмотки

$$D_{2cp} = \frac{D'_2 + D''_2}{2} = \frac{0,32 + 0,41604}{2} = 0,36802 \text{ м}$$

Полная охлаждаемая поверхность обмотки НН представляет собой две цилиндрические и две кольцевые поверхности. Кроме того на обеих цилиндрических поверхностях имеются рейки заданной ширины. Исходя из этого найдем поверхность охлаждения

$$\Pi_{o2} = \pi \cdot l_2 \cdot (D'_2 + D''_2) + 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D''_2{}^2 - D'_2{}^2) - 2 \cdot N_p \cdot c \cdot 10^{-3} \cdot l_2 =$$

$$\Pi_{o2} = 3,14 \cdot 0,8515 \cdot (0,32 + 0,41604) + 2 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot (0,41604^2 - 0,32^2) - 2 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8515 = 1,9165 \text{ м}^2$$

где количество реек $N_p = 12$ шт шириной $c = 8$ мм

Масса металла обмотки НН [1, с. 306]

$$G_2 = 8,47 \cdot 10^3 \cdot c \cdot D_{2cp} \cdot w_2 \cdot \Pi_2 \cdot 10^{-6} = 8,47 \cdot 10^3 \cdot 0,36802 \cdot 32 \cdot 853,2 \cdot 10^{-6} = 255,315 \text{ кг}$$

Масса провода обмотки

$$G_{пр2} = 1,06 \cdot G_2 = 1,06 \cdot 255,315 = 270,634 \text{ кг}$$

Плотность теплового потока на поверхности обмотки по [1,7.17]

$$q_2 = \frac{172}{k_3} \cdot 10^{-10} \cdot k_d \cdot n_{сл} \cdot b \cdot 10^{-3} \cdot \frac{a}{a'} \cdot (J_2 \cdot 10^6)^2$$

$$q_2 = \frac{172}{0,75} \cdot 10^{-10} \cdot 0,93 \cdot 2 \cdot 16 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{4,5}{5} \cdot (1,484 \cdot 10^6)^2 = 1352,73 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

5 РАСЧЕТ ОБМОТКИ ВН

Число витков при номинальном напряжении

$$w_{н1} = w_2 \cdot \frac{U_{фвн}}{U_{фнн}} = 32 \cdot \frac{3,637}{0,658} = 176,875$$

примаем $w_{н1} = 177$

Принимаем, что трансформатор снабжен устройством ПБВ на стороне ВН.

Диапазон регулирования $\pm 2,5 = \pm 5 \%$

Число витков на одной ступени регулирования

$$w_p = \frac{\Delta U}{u_b} = \frac{157,5}{20,779} = 8$$

где напряжение на одной ступени регулирования

$$\Delta U = \frac{U_{вн} \cdot 10^3 \cdot 2,5}{100} = \frac{6,3 \cdot 10^3 \cdot 2,5}{100} = 157,5 \text{ В}$$

где 2,5% одна ступень регулирования трансформатора

Число витков обмотки на ответвлениях:

верхняя ступень

$$w_{1\max} = w_{н1} + 2 \cdot w_p = 177 + 2 \cdot 8 = 193$$

при номинальном напряжении

$$w_{1н} = w_{н1} = 177$$

нижняя ступень

$$w_{1\min} = w_{н1} - 2 \cdot w_p = 177 - 2 \cdot 8 = 161$$

Плотность тока в обмотке ВН, А/кв.м

$$J_1 = 2 \cdot J_{cp} - J_2 = 2 \cdot 1,5 - 1,484 = 1,516 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

Ориентировочное сечение витка обмотки ВН

$$\Pi_1 = \frac{I_{фвн}}{J_1} = \frac{1266,119}{1,516} = 87,253 \text{ мм}^2$$

Принимаем в качестве обмотки ВН цилиндрическую обмотку из круглого провода. По ориентировочному сечению витка обмотки из [1, табл. 5.1] выбираем подходящий провод

$$\text{АПБ } 4 \times \frac{5,3}{5,7} \times 22,06$$

число параллельных витков $n_{в1} = 4$

диаметр провода $d_1 = 5,3 \text{ мм}$

толщина изоляции на две стороны $\Delta_1 = 0,4$ мм

тогда толщина провода в изоляции

$$d'_1 = d_1 + \Delta_1 = 5,3 + 0,4 = 5,7 \text{ мм}$$

сечение одного провода $F = 22,06 \text{ мм}^2$

Полное сечение витка

$$П_{\text{пр1}} = n_{\text{в1}} \cdot F = 4 \cdot 22,06 = 88,24 \text{ мм}^2$$

Уточняем плотность тока

$$J_1 = \frac{I_{\text{фвн}}}{П_{\text{пр1}}} = \frac{1266,119}{88,24} = 1,499 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$$

Число витков в одном слое

$$w_{\text{сл1}} = \frac{1 \cdot 10^3}{n_{\text{в1}} \cdot d'_1 - 1} = \frac{0,84 \cdot 10^3}{4 \cdot 5,7 - 1} = 36$$

Число слоев в обмотке

$$n_{\text{сл1}} = \frac{w_{\text{н1}}}{w_{\text{сл1}}} = \frac{177}{36} = 5$$

Рабочее напряжение двух слоев

$$U_{\text{мсл}} = 2 \cdot w_{\text{сл1}} \cdot u_{\text{в}} = 2 \cdot 36 \cdot 20,779 = 1496,1 \text{ В}$$

По [1, табл. 4.7] выбирается число слоев и общая толщина кабельной бумаги в изоляции между двумя слоями обмотки.

Таблица 5.1 - Номинальная междуслойная изоляция в многослойных цилиндрических обмотках

Суммарное рабочее напряжение двух слоев, В	Число слоев кабельной бумаги на толщину листов $d_{\text{мсл}}$ мм	Выступ междуслойной изоляции на торцах обмотки (на одну сторону), мм
От 1001 до 2000	4x0,12	20

Толщина кабельной бумаги

$$\delta_{\text{мсл}} = 0,48 \text{ мм}$$

В большинстве случаев по условиям охлаждения обмотка каждого стержня выполняется в виде двух концентрических катушек с осевым масляным каналом между ними. Число слоев внутренней катушки при этом должно составлять не более $1/3$ — $2/5$ общего числа слоев обмотки. В случае применения этого типа обмотки на стороне НН между двумя цилиндрами числа слоев внутренней и наружной катушек делаются равными.

Минимальная ширина масляного канала между катушками

$$a'_{22} = 6 \text{ мм}$$

Радиальный размер обмотки, состоящей из двух катушек без экрана, м

$$a_2 = (d'_{1\text{ссл}} + \delta_{\text{мсл}} \cdot (n_{\text{ссл}} - 1) + a'_{22}) \cdot 10^{-3} = (5,7 \cdot 5 + 0,48 \cdot (5 - 1) + 6) \cdot 10^{-3} = 0,0364 \text{ м}$$

Внутренний диаметр обмотки

$$D'_1 = D''_2 + 2 \cdot a_{12} \cdot 10^{-3} = 0,41604 + 2 \cdot 10^{-3} = 0,45604 \text{ м}$$

Наружный диаметр

$$D''_1 = D'_1 + 2 \cdot a_2 = 0,45604 + 2 \cdot 0,0364 = 0,52884 \text{ м}$$

Средний диаметр обмотки

$$D_{1\text{ср}} = \frac{D'_1 + D''_1}{2} = \frac{0,45604 + 0,52884}{2} = 0,49244 \text{ м}$$

Поверхность охлаждения

$$\Pi_{o1} = c \cdot n \cdot k \cdot \pi \cdot (D'_1 + D''_1) \cdot l = 1,5 \cdot 0,83 \cdot 3,14 \cdot (0,45604 + 0,52884) \cdot 0,84 = 9,707 \text{ м}^2$$

где для двух катушек по [1, с. 288]

$$n = 1,5$$

$$k = 0,83$$

Плотность теплового потока на поверхности обмотки

$$q_2 = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{2 \cdot \Pi_{o1}} = \frac{12200}{2 \cdot 9,707} = 628,41 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Масса металла обмотки, кг

$$G_1 = k \cdot 10^3 \cdot c \cdot D_{1\text{ср}} \cdot w_{\text{нл}} \cdot \Pi_{\text{пр1}} \cdot 10^{-6} = 8,47 \cdot 10^3 \cdot 0,49244 \cdot 177 \cdot 88,24 \cdot 10^{-6} = 195,432$$

для обмотки из алюминия

$$k = 8,47$$

Средний диаметр между обмотками НН и ВН

$$d_{12} = D''_2 = 0,41604$$

Таблица 5.2 - Основные данные обмоток.

Параметр	Обмотка ВН	Обмотка НН
Число слоев	5	2
Число витков в слое	36	16
Всего витков	177	32
Размеры провода без изоляции (с изоляцией), мм		
- радиальный	--	4,5(5)
- осевой	--	16(16,5)
Диаметр, мм	5,3(5,7)	
Число параллельных проводов	4	6
Сечение витка, мм ²	88,24	853,2
Плотность тока, А/мм ²	1,499	1,484
Радиальный размер обмотки, м	0,0364	0,015
Высота обмотки, м	0,84	0,84
Диаметры, м		
- внутренний	0,45604	0,32
- наружный	0,52884	0,41604
- средний	0,49244	0,36802
Плотность теплового потока, Вт/м ²	628,41	1352,73

6 РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Основная цель раздела – проверка соответствия расчетных значений потерь КЗ и напряжения КЗ исходным данным, а также проверка механической прочности и нагревостойкости обмоток при внезапном КЗ.

Определение потерь КЗ производится следующим образом.

Основные потери в обмотке НН, Вт

$$P_{\text{осн2}} = k \cdot (J_2 \cdot 10^6)^2 \cdot G_2 \cdot 10^{-12} = 12,75 \cdot (1,484 \cdot 10^6)^2 \cdot 255,315 \cdot 10^{-12} = 7168,9 \text{ Вт}$$

$$k = 12,75$$

Основные потери в обмотке ВН

$$P_{\text{осн1}} = k \cdot (J_1 \cdot 10^6)^2 \cdot G_1 \cdot 10^{-12} = 12,75 \cdot (1,499 \cdot 10^6)^2 \cdot 195,432 \cdot 10^{-12} = 5599 \text{ Вт}$$

Коэффициент, учитывающий добавочные потери в обмотке НН:

$$k_{\text{д2}} = 1 + k \cdot 10^8 \cdot \beta_2^2 \cdot (a \cdot 10^{-3})^4 \cdot n_2^2 = 1 + 0,037 \cdot 10^8 \cdot 0,081^2 \cdot (4,5 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 6^2 = 1$$

где для прямоугольного алюминиевого провода

$$k = 0,037$$

$$\beta_2 = \frac{a \cdot 10^{-3} \cdot m_2 \cdot K_p}{1} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 16 \cdot 0,95}{0,84} = 0,081$$

где n – число проводников обмотки в направлении, перпендикулярном направлению потока рассеяния

$$n_2 = n_{\text{в2}} = 6$$

m – число проводников обмотки в направлении, параллельном направлению магнитной индукции поля рассеяния. Численно равно количеству витков в слое

$$m_2 = w_{\text{сл2}} = 16$$

a – радиальный размер провода, м;

Коэффициент, учитывающий добавочные потери в обмотке ВН

$$k_{\text{д1}} = 1 + k \cdot 10^8 \cdot \beta_1^2 \cdot (d_1 \cdot 10^{-3})^4 \cdot n_1^2 = 1 + 0,017 \cdot 10^8 \cdot 0,216^2 \cdot (5,3 \cdot 10^{-3})^4 \cdot 4^2 = 1,001$$

где для круглого алюминиевого провода $k = 0,017$

$$\beta_1 = \frac{d_1 \cdot 10^{-3} \cdot m_1 \cdot K_p}{1} = \frac{5,3 \cdot 10^{-3} \cdot 36 \cdot 0,95}{0,84} = 0,216$$

где n – число проводников обмотки в направлении, перпендикулярном направлению потока рассеяния $n_1 = n_{\text{в1}} = 4$

m – число проводников обмотки в направлении, параллельном направлению магнитной

индукции поля рассеяния. Численно равно количеству витков в слое $m_1 = w_{сн1} = 36$

Длина отводов обмоток ВН и НН приближенно

$$l_{отв1} = 14 \cdot 1 = 14 \cdot 0,84 = 11,76 \text{ м}$$

при соединении обмотки в звезду $l_{отв2} = 7,5 \cdot 1 = 7,5 \cdot 0,84 = 6,3 \text{ м}$

Принимаем что отводы выполнены проводом примерно такого же сечения что и обмотки трансформатора.

Масса металла проводов отводов обмотки НН

$$G_{отв2} = l_{отв2} \cdot \Pi_2 \cdot 10^{-6} \cdot \gamma_M = 6,3 \cdot 853,2 \cdot 10^{-6} \cdot 2700 = 14,513 \text{ кг}$$

где плотность металла отводов

$$\gamma_M = 2700$$

Основные потери в отводах обмотки НН, Вт

$$P_{отв2} = k \cdot (J_2 \cdot 10^6)^2 \cdot G_{отв2} \cdot 10^{-12} = 12,75 \cdot (1,484 \cdot 10^6)^2 \cdot 14,513^2 \cdot 10^{-12} = 5914,151 \text{ Вт}$$

Масса металла проводов отводов обмотки ВН

$$G_{отв1} = l_{отв1} \cdot \Pi_{пр1} \cdot 10^{-6} \cdot \gamma_M = 11,76 \cdot 88,24 \cdot 10^{-6} \cdot 2700 = 2,802 \text{ кг}$$

Основные потери в обмотках ВН, Вт

$$P_{отв1} = k \cdot (J_1 \cdot 10^6)^2 \cdot G_{отв1} \cdot 10^{-12} = 12,75 \cdot (1,499 \cdot 10^6)^2 \cdot 2,802^2 \cdot 10^{-12} = 224,931 \text{ Вт}$$

Потери в стенках бака и других элементах конструкции

$$P_б = 10 \cdot k \cdot S_H = 10 \cdot 0,025 \cdot 2500 = 625 \text{ Вт}$$

где согласно [1, табл. 7.1] для трансформаторов до 1000кВА

$$k = 0,025$$

Полные потери короткого замыкания

$$P_K = P_{осн2} \cdot K_{д2} + P_{осн1} \cdot K_{д1} + P_{отв2} \cdot K_{д2} + P_{отв1} \cdot K_{д1} + P_б$$

$$P_K = 7168,9 \cdot 1 + 5599 \cdot 1,001 + 5914,151 \cdot 1 + 224,931 \cdot 1,001 + 625 = 19537,81$$

Определение напряжения КЗ.

Активная составляющая напряжения КЗ, %

$$U_a = \frac{P_K}{10 \cdot S_H} = \frac{19537,81}{10 \cdot 2500} = 0,782 \%$$

Уточняем значение коэффициента β

$$\beta = \frac{\pi \cdot d_{12}}{l} = \frac{3,14 \cdot 0,436}{0,84} = 1,631$$

Уточняем ширину приведенного канала рассеяния, м

$$a_p = a'_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} = 0,021 + \frac{0,015 + 0,0364}{3} = 0,0381 \text{ м}$$

$$a'_{12} = (a_{12} + 2 \cdot \delta_{\text{мсл}}) \cdot 10^{-3} = (20 + 2 \cdot 0,48) \cdot 10^{-3} = 0,021 \text{ м}$$

Уточняем коэффициент приведения идеального поля рассеяния к реальному:

$$k_p = 1 - \sigma = 1 - 0,0274 = 0,9726$$

$$\text{где коэффициент } \sigma = \frac{a'_{12} + a_1 + a_2}{3,14 \cdot l} = \frac{0,021 + 0,015 + 0,0364}{3,14 \cdot 0,84} = 0,0274$$

Коэффициент, учитывающий неравномерное распределение витков по высоте $k_q = 1$

Реактивная составляющая напряжения КЗ, %

$$U_p = \frac{7,92 \cdot f \cdot \beta_{\text{н}} \cdot a_p \cdot K_p \cdot S' \cdot 10^{-1}}{u_{\text{в}}^2} = \frac{7,92 \cdot 50 \cdot 1,631 \cdot 0,0543 \cdot 0,95 \cdot 833,333 \cdot 10^{-1}}{20,779^2} = 4,619 \%$$

Расчетное напряжение короткого замыкания

$$U_k = \sqrt{U_a^2 + U_p^2} = \sqrt{0,782^2 + 4,619^2} = 4,685 \%$$

Расчет механических сил в обмотках

Установившийся ток КЗ обмотки ВН, А

$$I_{\text{кз}} = \frac{I_{\text{фвн}} \cdot 100}{U_k} = \frac{132,275 \cdot 100}{4,685} = 2823,37$$

Мгновенное максимальное значение тока КЗ обмотки ВН, А

$$i_{\text{км}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{max}} \cdot I_{\text{кз}} = \sqrt{2} \cdot 1,6 \cdot 2823,37 = 6388,56$$

где коэффициент учитывающий максимально возможную апериодическую составляющую тока короткого замыкания по [1, табл. 7.3]

$$k_{\text{max}} = 1,6$$

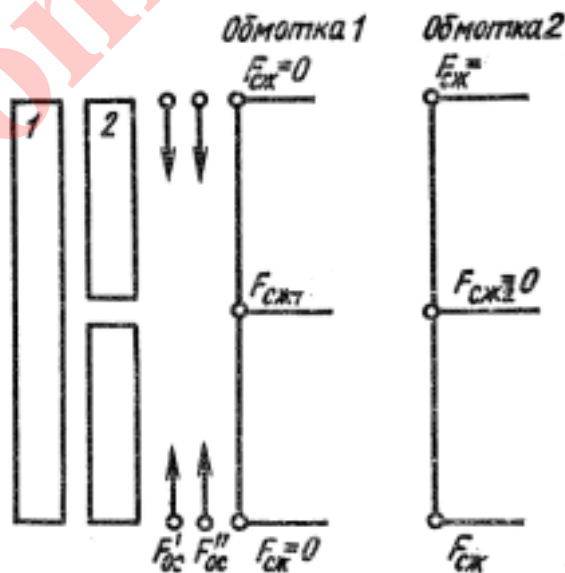


Рисунок 6.1 - Механические силы действующие в обмотках трансформатора

Радиальная сила, действующая на обмотку ВН

$$F_p = 0,628 \cdot (i_{\text{км}} \cdot w_{1\text{н}})^2 \cdot U_a \cdot k_p \cdot 10^{-6}$$

$$F_p = 0,628 \cdot (6388,56 \cdot 177)^2 \cdot 0,782 \cdot 0,9726 \cdot 10^{-6} = 610735,5 \text{ Н}$$

Растягивающее напряжение в проводе обмотки ВН

$$\sigma_p = \frac{F_p \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3,14 \cdot w_{\text{н1}} \cdot \Pi_{\text{пр1}} \cdot 10^{-6}} = \frac{610735,5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3,14 \cdot 177 \cdot 88,24 \cdot 10^{-6}} = 6,23 \text{ МПа}$$

Допустимое значение для алюминия - 30 МПа

Напряжение сжатия от радиальных сил в проводе обмотки НН, МПа

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F_p \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3,14 \cdot w_2 \cdot \Pi_2 \cdot 10^{-6}} = \frac{610735,5 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 3,14 \cdot 32 \cdot 853,2 \cdot 10^{-6}} = 3,56 \text{ МПа}$$

Допустимое значение по условию стойкости обмотки для алюминия - 15 МПа

Осевые силы, обусловленные конечным соотношением высоты и ширины обмоток

$$F'_{\text{ос}} = \frac{F_p \cdot a_p}{2 \cdot l} = \frac{610735,5 \cdot 0,0381}{2 \cdot 0,84} = 13850,61 \text{ Н}$$

Максимальные сжимающие силы в обмотках, по рис. 2. – в середине высоты обмоток ВН и НН

$$F_{\text{сж}} = F'_{\text{ос}} = 13850,61 = 13850,61 \text{ Н}$$

Наибольшее напряжение сжатия для цилиндрических обмоток наблюдается в середине высоты обмотки НН в изоляции витков, МПа

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{F_{\text{сж}} \cdot 10^{-6}}{n_{\text{сл}} \cdot a \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot D_{2\text{ср}}} = \frac{13850,61 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 0,36802} = 1,33 \text{ МПа}$$

Полученное значение удовлетворяет условию стойкости.

Температура обмотки ВН через 4 секунды после возникновения КЗ [1, с.344]

$$v_k = \frac{2680}{6,5 \cdot (U_k / J_2)^2 - 4} + 90 = \frac{2680}{5,5 \cdot (4,685 / 1,484)^2 - 4} + 90 = 142,74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допустимая температура 250°C

7 РАСЧЕТ МАГНИТНОЙ ЦЕПИ

Определяем размеры пакетов стержня и ярма для выбранного диаметра стержня d_n и проставляем на эскизе по [1, табл. 8.2]

Таблица 7.1 - Размеры пакетов – ширина пластин a и толщина b , мм, для магнитных систем без прессующей пластины с прессовкой стержня обмоткой без бандажей (n_c и n_y – число ступеней в сечении стержня и ярма; a_y – ширина крайнего наружного пакета ярма, $k_{кр}$ – коэффициент заполнения окна магнитопровода

Диаметр стержня d , м	n_c	$k_{кр}$	n_y	a_y , мм	Размеры пакетов $a \times b$ в стержне, мм					
0,29	7	0,899	6	165	280x37	260 x 27	235x21	210x15	180x13	165x6

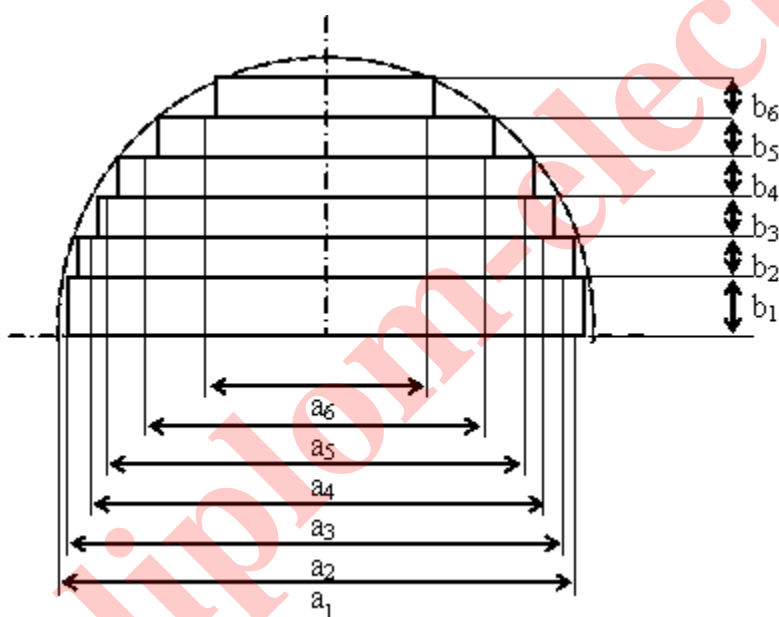


Рисунок 7.1 - Сечение стержня ярма

По таблице [1, табл. 8.6-8.7] определяем площади сечения стержня и ярма

$$P_{фс} = 594 \text{ см}^2$$

$$P_{фя} = 596,4 \text{ см}^2$$

$$K_3 = 0,97$$

Активное сечение стержня

$$\Pi_c = K_3 \cdot \Pi_{\text{фс}} \cdot 10^{-4} = 0,97 \cdot 594 \cdot 10^{-4} = 0,0576 \text{ м}^2$$

Активное сечение ярма

$$\Pi_{\text{я}} = K_3 \cdot \Pi_{\text{фя}} \cdot 10^{-4} = 0,97 \cdot 596,4 \cdot 10^{-4} = 0,0579 \text{ м}^2$$

Ширина ярма

$$b_{\text{я}} = 2 \cdot (37 + 27 + 21 + 15 + 13 + 6) \cdot 10^{-3} = 0,238 \text{ м}$$

Длина стержня

$$l_c = 1 + 2 \cdot l_{02} = 0,84 + 2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 0,94 \text{ м}$$

где l_{02} - по таблице 1.1

Объем угла магнитной системы [1, табл. 8.3] $V_y = 14554 \text{ см}^3$

Расстояние между осями соседних стержней, м

$$C = D''_2 + a_{22} = 0,41604 + 50 \cdot 10^{-3} = 0,43404 \text{ м}$$

где a_{22} - по таблице 1.1

Полученные размеры магнитопровода проставляем на эскизном рисунке. Выбираем конструкцию магнитопровода с косыми стыками на крайних стержнях 4,5,6,7 и прямыми на среднем стержне (1,2,3).

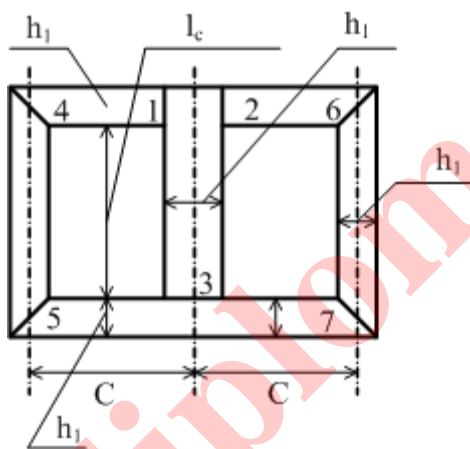


Рисунок 7.2 - Основные размеры магнитной системы

Масса стали угла магнитной системы, кг

$$G_y = \gamma_{\text{ст}} \cdot 0,919 \cdot V_y \cdot 10^{-6} = 7650 \cdot 0,899 \cdot 14554 \cdot 10^{-6} = 100,09 \text{ кг}$$

где удельная масса стали $\gamma_{\text{ст}} = 7650$

Масса стали в ярмах

$$G_{\text{я}} = G'_{\text{я}} + G''_{\text{я}} = 769,01 + 200,18 = 969,19 \text{ кг}$$

где $G'_{\text{я}} = 4 \cdot C \cdot \Pi_{\text{я}} \cdot \gamma_{\text{ст}} = 4 \cdot 0,43404 \cdot 0,0579 \cdot 7650 = 769,01 \text{ кг}$

$$G''_{\text{я}} = 2 \cdot G_y = 2 \cdot 100,09 = 200,18 \text{ кг}$$

Масса стали в стержнях

$$G_c = G'_c + G''_c = 1242,6 + 69,87 = 1312,47 \text{ кг}$$

$$\text{где } G'_c = 3 \cdot \Pi_c \cdot l_c \cdot \gamma_{ст} = 3 \cdot 0,0576 \cdot 0,94 \cdot 7650 = 1242,6 \text{ кг}$$

$$G''_c = 3 \cdot (\Pi_c \cdot 145 \cdot \gamma_{ст} \cdot 10^{-3} - G_y) = 3 \cdot (0,0576 \cdot 280 \cdot 7650 \cdot 10^{-3} - 100,09) = 69,87 \text{ кг}$$

Полная масса стали магнитной системы

$$G_{ст} = G_c + G_y = 1312,47 + 969,19 = 2281,66 \text{ кг}$$

Определение потерь холостого хода

Индукция в стержне

$$B_c = \frac{u_b}{4,44 \cdot f \cdot \Pi_c} = \frac{20,563}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,0576} = 1,608 \text{ Тл}$$

Индукция в ярме магнитопровода

$$B_y = B_c \cdot \frac{\Pi_c}{\Pi_y} = 1,608 \cdot \frac{0,0576}{0,0579} = 1,6 \text{ Тл}$$

Индукция в косом стыке

$$B_{ст} = B_c \cdot \sqrt{2} = 1,608 \cdot \sqrt{2} = 1,137 \text{ Тл}$$

По [1, табл. 8.10] определяем удельные потери в стали 3405 толщиной 0,3 мм: в сердечнике и в зазоре 3, в ярме и зазорах 1 и 2, в зазорах 4,5,6, и 7

$$p_c = 0,82 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$$

$$p_{зс} = 700 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$p_y = 0,81 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$$

$$p_{зя} = 693 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

$$p_{ст} = 0,39 \frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$$

$$p_{зст} = 322 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Определяем потери холостого хода

$$P_x = K_{мп} \cdot K_{пш} \cdot (K_{пр} \cdot (p_c \cdot G_c + p_y \cdot G'_y - 4 \cdot p_y \cdot G_y + \frac{p_c + p_y}{2} \cdot K_{пш} \cdot G_y) + 4 \cdot \sqrt{2} \cdot p_{ст} \cdot \Pi_c + p_{зс} \cdot \Pi_c + 2 \cdot p_{зя} \cdot \Pi_y)$$

$$P_x = 1,03 \cdot 1,01 \cdot (1,05 \cdot (0,82 \cdot 1312,47 + 0,81 \cdot 769,01 - 4 \cdot 0,81 \cdot 100,09 + \frac{0,82 + 0,81}{2} \cdot 10,64 \cdot 100,09) +$$

$$+ 4 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,39 \cdot 0,0576 + 700 \cdot 0,0576 + 2 \cdot 693 \cdot 0,0579) = 2575,4 \text{ Вт}$$

где коэффициент учитывающий влияние прессовки стержня на потери холостого хода

$$K_{\text{ПШ}} = 1,03$$

коэффициент, учитывающий влияние перешихтовки верхнего ярма остова при установке обмоток на величину потерь холостого хода $K_{\text{ПШ}} = 1,01$

коэффициент, учитывающий влияние механических напряжений при резке пластин, для отожженной стали $K_{\text{пр}} = 1,05$

коэффициент, учитывающий увеличение потерь в углах сердечника [1, табл. 8.13] $K_{\text{Пу}} = 10,64$

Расчет тока холостого хода.

Определяем удельные намагничивающие мощности: в сердечнике и в зазоре 3, в ярме и в зазорах 1 и 2, в зазорах 4,5,6 и 7

$$q_c = 1,66 \frac{\text{ВА}}{\text{кг}}$$

$$q_{3c} = 19610 \frac{\text{ВА}}{\text{м}^2}$$

$$q_{\text{я}} = 1,63 \frac{\text{ВА}}{\text{кг}}$$

$$q_{3\text{я}} = 19100 \frac{\text{ВА}}{\text{м}^2}$$

$$q_{\text{ст}} = 0,57 \frac{\text{ВА}}{\text{кг}}$$

$$q_{3\text{ст}} = 2360 \frac{\text{ВА}}{\text{м}^2}$$

Реактивная составляющая мощности холостого хода

$$Q_x = K_{\text{ТП}} \cdot K_{\text{ПШ}} \cdot (K_{\text{ТР}} \cdot (q_c \cdot G_c + q_{\text{я}} \cdot G'_{\text{я}} \cdot 4 \cdot q_{\text{я}} \cdot G_{\text{у}} + \frac{q_c + q_{\text{я}}}{2} \cdot K_{\text{ту}} \cdot K_{\text{пл}} \cdot G_{\text{у}}) +$$

$$+ 4 \cdot \sqrt{2} \cdot q_{3\text{ст}} \cdot \Pi_c + q_{3c} \cdot \Pi_c + q_{3\text{я}} \cdot \Pi_{\text{я}})$$

$$Q_x = 1,045 \cdot 1,01 \cdot (1,18 \cdot (1,66 \cdot 1312,47 + 1,63 \cdot 769,01 \cdot 4 \cdot 1,63 \cdot 100,09 + \frac{1,66 + 1,63}{2} \cdot 40,5 \cdot 1,38 \cdot 100,09) +$$

$$+ 4 \cdot \sqrt{2} \cdot 2360 \cdot 0,0576 + 19610 \cdot 0,0576 + 19100 \cdot 0,0579) = 18093,5 \text{ Вар}$$

коэффициент, учитывающий прессовку магнитной системы $K_{\text{ТП}} = 1,045$

коэффициент, учитывающий перешихтовку верхнего ярма $K_{\text{ПШ}} = 1,01$

коэффициент, учитывающий влияние резки полосы рулона на пластины $K_{\text{ТР}} = 1,18$

коэффициент, учитывающий увеличение намагничивающей мощности в углах сердечника

$$K_{\text{ту}} = 40,5$$

коэффициент, учитывающий ширину пластин в углах магнитной системы $K_{\text{пл}} = 1,38$

Реактивная составляющая тока холостого хода в процентах номинального тока

$$i_{0p} = Q_x / (10 \cdot S_H) = 18093,5 / (10 \cdot 2500) = 0,72 \%$$

Активная составляющая тока ХХ

$$i_{0a} = \frac{P_x}{10 \cdot S_H} = \frac{2575,4}{10 \cdot 2500} = 0,1 \%$$

diplom-electro.ru

8 ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ

Тепловой расчет обмоток.

Внутренний перепад температуры в обмотке НН,

$$\theta_{02} = \frac{q_2 \cdot \Delta_2 \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{из}}} = \frac{0,25 \cdot 10^{-3}}{0,17} = 1,99 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где толщина изоляции провода на одну сторону

$$\Delta_2 = \frac{\Delta_2}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ м}$$

теплопроводность изоляции провода

$$\lambda_{\text{из}} = 0,17 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$$

Внутренний перепад температуры в обмотке ВН,

$$\theta_{01} = \frac{q_2 \cdot \Delta_1 \cdot 10^{-3}}{\lambda_{\text{из}}} = \frac{628,41 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}}{0,17} = 0,74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta_1 = \frac{\Delta_1}{2} = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ мм}$$

Полный внутренний перепад температуры обмотки ВН

$$\theta_{01} = \frac{p \cdot a^2}{8 \cdot \lambda_{\text{ср}}} = \frac{48558,02 \cdot 0,03042^2}{8 \cdot 0,668} = 8,41 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где a – ширина наиболее широкой катушки, имеющей от 2/3 до 3/5 общего числа слоев, м

$$a = (d'_1 \cdot n_{\text{сл1}} + \delta_{\text{мсл}} \cdot (n_{\text{сл1}} - 1)) \cdot 10^{-3} = (5,7 \cdot 5 + 0,48 \cdot (5 - 1)) \cdot 10^{-3} = 0,03042$$

p – потери, выделяющиеся в 1 куб.м общего объема обмотки

$$p = 10^{-8} \cdot k_1 \cdot \frac{(J_1 \cdot 10^6)^2 \cdot d_1^2}{(d'_1 + \delta_{\text{мсл}}) \cdot d_1}$$

$$p = 10^{-8} \cdot 2,71 \cdot \frac{(1,499 \cdot 10^6)^2 \cdot 5,3^2}{(5,7 + 0,48) \cdot 5,7} = 48558,02 \text{ Вт/м}^3$$

$$k_1 = 2,71$$

средняя теплопроводность обмотки

$$\lambda_{\text{ср}} = \lambda \cdot \lambda_{\text{из}} \cdot \frac{d'_1 + \delta_{\text{мсл}}}{\lambda \cdot \delta_{\text{мсл}} + \lambda_{\text{из}} \cdot d'_1} = 0,887 \cdot 0,17 \cdot \frac{5,7 + 0,48}{0,887 \cdot 0,48 + 0,17 \cdot 5,7} = 0,668$$

где коэффициент

$$\lambda = \frac{\lambda_{\text{из}}}{0,7 \cdot \sqrt{\alpha}} = \frac{0,17}{0,7 \cdot \sqrt{0,075}} = 0,887$$

$$\alpha = \frac{d'_1 - d_1}{d_1} = \frac{5,7 - 5,3}{5,3} = 0,075$$

Средний перепад температуры обмотки ВН

$$\theta_{01cp} = \frac{2}{3 \cdot \theta_{01}} = \frac{2}{3 \cdot 8,41} = 5,61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Перепад температуры на поверхности обмотки НН,

$$\theta_{o.m.2} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot 0,35 \cdot q_2^{0,6} = 1 \cdot 1,1 \cdot 0,85 \cdot 0,35 \cdot 0,6 = 24,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

где коэффициент, учитывающий скорость движения масла внутри обмотки для естественного масляного охлаждения принимаем $k_1 = 1$

коэффициент, учитывающий затруднение конвекции масла в каналах внутренних обмоток НН $k_2 = 1,1$

коэффициент, учитывающий влияние на конвекцию масла в зависимости от отношения высоты к глубине масляного канала по [1, табл. 9.3] $k_3 = 0,85$

Перепад температуры на поверхности обмотки ВН,

$$\theta_{o.m.1} = 0,285 \cdot q_2^{0,6} = 0,285 \cdot 628,41^{0,6} = 13,61 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Полный средний перепад температуры от обмотки НН к маслу,

$$\theta_{o.m.cp2} = \theta_{02} + \theta_{o.m.2} = 1,99 + 24,75 = 26,74 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Полный средний перепад температуры от обмотки ВН к маслу,

$$\theta_{o.m.cp1} = \theta_{01cp} + \theta_{o.m.1} = 5,61 + 13,61 = 19,22 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Тепловой расчет бака.

По [1, табл. 9.4] при мощности 100-6300 кВА выбираем конструкцию гладкого бака с навесными радиаторами с прямыми трубами. Этот тип бака является более технологичным в производстве, чем бак с охлаждающими гнутыми трубами и в последние годы пришел ему на замену [1, с. 437]. В изготовлении бак с прямыми радиаторами имеет преимущество перед баком с трубами, поскольку отпадает необходимость в гибке труб и сверлении или штамповке отверстий под трубы в заготовке стенки бака, возникает возможность замены ручной сварки труб со стенкой бака автоматической сваркой труб с коллекторами и, главное, возможность выделить изготовление радиаторов в отдельное самостоятельное производство.

Изоляционные расстояния находим по [1, табл. 4.11]

изоляционное расстояние от изолированного отвода обмотки ВН с Уисп до собственной обмотки или прессующей балки ярма $s_1 = 10 \text{ мм}$

изоляционное расстояние от изолированного отвода обмотки ВН с Уисп до стенки бака

$$s_2 = 10 \text{ мм}$$

диаметр изолированного отвода обмотки ВН $d_1 = 20 \text{ мм}$

изоляционное расстояние от неизолированного или изолированного отвода обмотки НН до обмотки ВН $s_3 = 10$ мм

изоляционное расстояние от отвода обмотки НН до стенки бака $s_4 = 10$ мм

размер неизолированного отвода НН (шины), равный 10-15 мм $d_2 = 10$ мм

Минимальная ширина бака

$$B = D''_1 + (s_1 + s_2 + d_1 + s_3 + s_4 + d_2) \cdot 10^{-3}$$

$$B = 0,52884 + (10 + 10 + 20 + 10 + 10 + 10) \cdot 10^{-3} = 0,59884 \text{ м}$$

Принимаем ширину бака при центральном положении активной части трансформатора в баке

$$B = 0,6 \text{ м}$$

Длина бака

$$A = 2 \cdot C + B = 2 \cdot 0,3 + 0,6 = 1,2 \text{ м}$$

$$C = 0,3 \text{ м}$$

$$s_5 = s_3 + d_2 + s_4 = 10 + 10 + 10 = 30 \text{ мм}$$

Высота активной части

$$H_{\text{ач}} = (323 + 2 \cdot 160 + n) \cdot 10^{-3} = (323 + 2 \cdot 160 + 50) \cdot 10^{-3} = 0,693 \text{ мм}$$

где толщина прокладки под нижнее ядро $n = 50$ мм

Глубина бака определяется высотой активной части и минимальным расстоянием от верхнего яра до крышки бака, обеспечивающим размещение внутренних частей проходных изоляторов, отводов и переключателей.

Минимальное расстояние от яра до крышки бака [1, табл. 9.5]

$$H_{\text{як}} = 0,16 \text{ м}$$

Глубина бака

$$H_{\text{б}} = H_{\text{ач}} + H_{\text{як}} = 0,693 + 0,16 = 0,853 \text{ м}$$

Для развития должной поверхности охлаждения используем радиаторы с прямыми трубами по [1, рис.9.16] с расстоянием между осями фланцев

$$A_{\text{р}} = 2400 \text{ мм}$$

с поверхностью охлаждения труб $\Pi_{\text{к.тр}} = 7,533 \text{ м}^2$

и двух коллекторов $\Pi_{\text{к.к}} = 0,34 \text{ м}^2$

Масса стали радиатора [1, табл. 9.9]:

$$G_{\text{ст.р}} = 95,68 \text{ кг}$$

Масса масла в радиаторе [1, табл. 9.9]:

$$G_{\text{м.р}} = 78 \text{ кг}$$

Допустимое превышение средней температуры масла над температурой окружающего воздуха для наиболее нагретой обмотки НН:

$$\theta_{\text{м.в}} = 65 - \theta_{\text{о.м.сп1}} = 65 - 19,22 = 45,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

Принимая предварительно перепад температуры на внутренней поверхности стенки бака 5°C и запас 2°C , находим среднее превышение температуры наружной стенки бака над температурой воздуха

$$\theta_{\text{б.в}} = \theta_{\text{м.в}} - 5 - 2 = 45,78 - 5 - 2 = 38,78 \text{ }^\circ\text{C}$$

Для выбранного размера бака рассчитываем поверхность конвекции гладкой стенки бака

$$\Pi_{\text{к.гл}} = H_{\text{б}} \cdot (2 \cdot (A - B) + 3,14 \cdot B) = 0,853 \cdot (2 \cdot (1,2 - 0,6) + 3,14 \cdot 0,6) = 2,631 \text{ м}^2$$

Ориентировочная поверхность излучения бака с радиаторами

$$\Pi_{\text{и}} = k \cdot \Pi_{\text{к.гл}} = 1,5 \cdot 2,631 = 3,947 \text{ м}^2$$

где k – коэффициент, учитывающий отношение периметра поверхности излучения к поверхности гладкой части бака и приближенно равный 1,5

Ориентировочная необходимая поверхность конвекции

$$\Pi'_{\text{к}} = 1,05 \cdot \frac{P_{\text{к}} + \Delta P_{\text{х}}}{2,5 \cdot \theta_{\text{б.в}}^{1,25}} - 1,12 \cdot \Pi_{\text{и}} = 1,05 \cdot \frac{19537,81 + 2100}{2,5 \cdot 38,78^{1,25}} - 1,12 \cdot 3,947 = 17,897 \text{ м}^2$$

Поверхность конвекции составляется из

-Поверхности гладкого бака

$$\Pi_{\text{к.гл}} = 2,631 \text{ м}^2$$

-Поверхности крышки бака

$$\Pi_{\text{к.кр}} = 0,5 \cdot (A - B) \cdot (B + 0,16)^2 + 3,14 \cdot \frac{(B + 0,16)^2}{4}$$

$$\Pi_{\text{к.кр}} = 0,5 \cdot (1,2 - 0,6) \cdot (0,6 + 0,16)^2 + 3,14 \cdot \frac{(0,6 + 0,16)^2}{4} = 0,4 \text{ м}^2$$

где 0,16 – удвоенная ширина верхней рамы бака;

коэффициент 0,5 учитывает закрытие поверхности крышки вводами и арматурой.

-Поверхности конвекции радиаторов

$$\Pi_{\text{к.р}} = \Pi'_{\text{к}} - \Pi_{\text{к.гл}} - \Pi_{\text{к.кр}} = 17,897 - 2,631 - 0,4 = 14,866 \text{ м}^2$$

Поверхность конвекции одного радиатора, приведенная к поверхности гладкой стенки

$$\Pi_{\text{к.р}} = \Pi_{\text{к.тр}} \cdot k_{\text{ф}} + \Pi_{\text{к.к}} = 7,533 \cdot 1,26 + 0,34 = 9,832 \text{ м}^2$$

где коэффициент, учитывающий улучшение или ухудшение теплоотдачи конвекцией для данной формы поверхности по сравнению с вертикальной гладкой стенкой.

$$k_{\text{ф}} = 1,26$$

Необходимое число радиаторов

$$n_p = \frac{\Pi_{к,р}}{\Pi_{к,р}} = \frac{14,866}{9,832} = 1,51 \text{ принимаем } 2 \text{ шт}$$

Поверхность конвекции бака

$$\Pi_k = n_p \cdot \Pi_{к,р} + \Pi_{к,гл} + \Pi_{к,кр} = 2 \cdot 9,832 + 2,631 + 0,4 = 22,695 \text{ м}^2$$

Среднее превышение температуры наружной поверхности стенки бака над температурой воздуха

$$\theta_{б,в} = \left(k \cdot \frac{P_k + \Delta P_x}{2,8 \cdot \Pi_{н} + 2,5 \cdot \Pi_k} \right)^{0,8} = \left(1,05 \cdot \frac{19537,81 + 2100}{2,8 \cdot 3,947 + 2,5 \cdot 22,695} \right)^{0,8} = 20,95 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

где коэффициент, повышающий потери против расчетных значений.

$$k = 1,05$$

Среднее превышение температуры масла вблизи стенки над температурой внутренней поверхности стенки бака

$$\theta_{м,б} = 1 \cdot 0,165 \cdot 1,05 \cdot \left(\frac{P_k + \Delta P_x}{\Pi_k} \right)^{0,6} = 1 \cdot 0,165 \cdot 1,05 \cdot \left(\frac{19537,81 + 2100}{22,695} \right)^{0,6} = 10,42 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Превышение средней температуры масла над температурой воздуха

$$\theta_{м,в} = \theta_{б,в} + \theta_{м,б} = 20,95 + 10,42 = 31,37 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Превышение температуры масла в верхних слоях над температурой воздуха

$$\theta_{мв,в} = 1,2 \cdot \theta_{м,в} = 1,2 \cdot 31,37 = 37,64 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

что меньше допустимых 60 °С

Превышение средней температуры обмоток над температурой воздуха

$$\theta_{о,в,в} = \theta_{02} + \theta_{о,м,2} + \theta_{мв,в} = 1,99 + 24,75 + 37,64 = 64,38 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta_{о,в,в} = \theta_{о,м,ср1} + \theta_{о,м,1} + \theta_{мв,в} = 0,74 + 13,61 + 37,64 = 51,99 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

что меньше допустимых значений по ГОСТ 11677-85 (65 °С)

9 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате расчета получили масляный трансформатор с требуемой мощностью 2500 кВА и напряжениями высокой и низкой сторон 6,3 и 1,14 кВ.

Обмотки трансформатора выполнены : обмотка НН – прямоугольным, а обмотка ВН – круглым проводами, чтобы уменьшить потери в обмотках и, нагрев трансформатора, габаритные размеры трансформатора, но при этом увеличить электродинамическую и тепловую прочности обмоток трансформатора. Расчет характеристик короткого замыкания показал, что расчетные значения потерь КЗ и напряжения КЗ соответствуют исходным данным. Механическая прочность и нагревостойкость обмоток трансформатора при внезапном КЗ находятся в пределах нормы.

diplom-electro.ru

10 СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Тихомиров П.М. Расчет трансформаторов: Учеб. пособие для вузов.- 5-е изд., перераб. и доп.
– М.: Энергоатомиздат, 1986. – 528с.: ил.

Методические указания к курсовому проекту по расчету силовых трансформаторов. – Харьков: Харьковский политехнический институт, 1992.

diplom-electro.ru