

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ІНІТІ ім. акад. І.С. Тудого
Кафедра Електропостачання і електроенергетики

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Блатенко С.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » 20 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Башота С.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« » 20 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 141, Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми, „Електротехніка та Електротес-
исловий”

на тему: „Проект трифазного сицевого трансформатора потужністю 160 кВ·А з природними
магнітним охолодженням (так з двофазним живленням) зі схемою з'єднання лідних обмоток У/У-0 та
ствідморенням лінійної напруги 35/10,4 кВ та суттєве додаткове обладнання сицевого трансфор-
маторів з магнітним охолодженням.

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ЕА-4-3

Дрошик Вадим Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Кувсда Валерій Петрович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти Сирик А.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Шевченко В.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач

(підпис)

Київ - 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інститут механіки та інструментування ім. І.С. Яворського

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь Бакалавр

Спеціальність Інженер електричної енергетики, електротехніки та електромеханіки
(код і назва)

Освітньо-професійна програма "Електротехніка та електроенергетика"
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри _____

“ ____ ” _____ 20 ____ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Аргашки Вадим Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект трифазного силового трансформатора потужністю 160 кВА з природним масляним охолодженням (баку Фальберга з відкритим лідним обмоткам Y/Y-0 на ст. відношеннями лінійних напруг 35/10,4 кВ та сучасне додаткове обладнання силових трансформаторів
керівник роботи Кусьва Вікторій Петрович, професор канд. техн. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від “ ____ ” _____ 20 ____ року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи _____

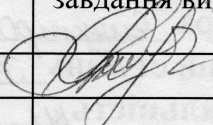
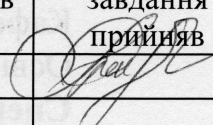
3. Вихідні дані до роботи Товна номінальна потужність трансформатора 160 кВА і число фаз - 3; ном. частота $f_n = 50$ Гц; ВН = 35 кВ; НН = 0,4 кВ; $U_k = 6,5\%$; $P_k = 1,65$ кВт; $P_{ж0} = 0,66$ кВт; $i_0 = 2,4\%$; ПБЗ $\pm 2,5\%$, $\pm 5,0\%$; Y/Y-0; матеріал обмотки - лідний провід; сердеч - холодокатана сталь марки 3404; встановлення - звичайне; режими - довготривалий

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Визначення основних електричних величин імовірних розмирів силового масляного трансформатора потужністю 160 кВА з номінальною напругою. Визначення його головних розмирів. Визначення характеристик короткого замикання. Розрахунок магнітної системи трансформаторів. Темовий розрахунок баку. Розрахунок рабали

5. Перелік графічного матеріалу характеристики

- 1. Магнітопровід.
- 2. Холодкатана сталь.
- 3. Обмотки.

6. Консультанти розділів роботи

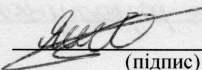
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
ОП	доц. Сірик А. О.		

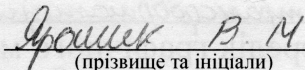
7. Дата видачі завдання 15.04.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

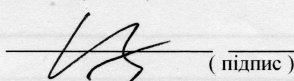
№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Отримання завдання на дипломний проєкт	14.04.2021р.	
2.	Визначення основних електричних величин номінальних розмірів трансформатора.	18.04.2021р.	
3.	Визначення основних розмірів трансформатора	25.04.2021р.	
4.	Вибір типу та розрахунок обмоток трансформатора	02.05.2021р.	
5.	Визначення параметрів короткого замикання	09.05.2021р.	
6.	Розрахунок магнітної системи трансформатора.	16.05.2021р.	
7.	Тепловий розрахунок бака	21.05.2021р.	
8.	Розрахунок робочих характеристик	24.05.2021р.	
9.	Спец питання	27.05.2021р.	
10.	Розділ з оформлення праці Представлення проєкту на кінцеву перевірку.	31.05.2021р.	

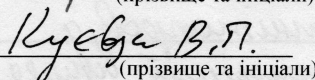
Здобувач


(підпис)


(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)


(прізвище та ініціали)

Анотація

Ярошик В. М. «Проект трифазного силового трансформатора потужністю 160 кВА з природнім масляним охолодженням (бак з овальними хвилями) зі схемою з'єднання мідних обмоток $Y/Y-0$ та співвідношенням лінійних напруг 35/0,4 кВ. Сучасне додаткове обладнання силових трансформаторів з масляним охолодженням.

Національний Університет Харчових Технологій , Київ 2021

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Пояснювальна записка складається зі вступу, дев'яти розділів та списку використаної літератури. Загальний обсяг пояснювальної записки становить 61 стор. Також було виконано графічну частину, яка складається із трьох креслень: загальний вигляд трансформатора, магнітопровід та обмотки. У дипломному проекті наведено визначення основних електричних величин трансформатора, його основних розмірів, вибір та розрахунок обмоток, визначення параметрів короткого замикання, розрахунок магнітної системи, тепловий розрахунок , розрахунок робочих характеристик. Також було продемонстровано можливість імітації режимів роботи трансформатора.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: трансформатор, втрати енергії, коефіцієнт завантаження, втрати холостого ходу, струм холостого ходу, тепловий розрахунок, робочі характеристики, параметри магнітної системи.

ANNOTATION

Yaroshyk V._M. Project of three-phase power transformer with a capacity of 160 kVA with natural oil cooling (tank with oval waves) with the connection circuit of copper wrappers Y/Y-0 and the ratio of linear voltages 35/0,4 kV. Modern additional equipment of power transformers with oil cooling.

National University of Food Technology Kyiv 2021

141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics"

The explanatory note consists of an introduction, nine sections and a list of used literature. The total volume of the explanatory note is 61 pages. A graphical part consisting of three drawings was also made: the general view of the transformer, the magnetic cord and the wrapper.

The thetotor project provides the definition of the main electrical values of the transformer, its main dimensions, the choice and calculation of the wrappings, the determination of short-circuit parameters, the calculation of the magnetic system, thermal calculation, the calculation of performance characteristics. The possibility of simulating the modes of operation of the transformer was also demonstrated.

KEYWORDS: transformer, energy loss, load factor, idling loss, idling current, thermal calculation, performance characteristics, parameters of the magnetic system.

ЗМІСТ

	Аркуш
Завдання до дипломного проекту	2
Вступ	3
1. Визначення основних електричних величин та головних розмірів трансформатора	5
2. Визначення основних розмірів трансформатора	7
3. Вибір типу та розрахунок обмоток трансформатора	13
4. Визначення параметрів короткого замикання	21
5. Розрахунок магнітної системи трансформатора	26
6. Тепловий розрахунок бака	32
7. Розрахунок робочих характеристик	39
8. Спец. питання	44
9. Розділ з охорони праці	53
Перелік джерел	60

Завдання на дипломний проект

Розрахувати трансформатор ТМ – 160/35 за такими даними:

трансформатор трифазний, тристержневий, з природним масляним охолодженням;

повна номінальна потужність трансформатора $S_N = 160 \text{ кВ}\cdot\text{А}$;

число фаз $m = 3$;

номінальна частота $f_N = 50 \text{ Гц}$;

номінальна (лінійна) напруга обмотки вищої напруги (ВН) $U_2 = 35 \text{ кВ}$;

номінальна (лінійна) напруга обмотки нижчої напруги (НН) $U_1 = 0,4 \text{ кВ}$;

напруга короткого замикання $u_k = 6.5 \%$;

втрати короткого замикання $P_k = 2.65 \text{ кВт}$;

втрати холостого ходу $P_x = 0,66 \text{ кВт}$;

струм холостого ходу $i_0 = 2,4 \%$.

Регулювання напруги – ПБЗ $\pm 2,5 \%$, $\pm 5,0 \%$.

Схема та група з'єднання обмоток – Y/Y -0 .

Матеріал обмоток – мідний провід.

Осердя – холодокатана сталь марки 3404 .

Встановлення – зовнішнє.

Режим роботи – довготривалий.

ВСТУП

Силові трансформатори мають найбільше застосування в електротехнічному обладнанні, а також в енергетичних системах передачі та розподілення електроенергії. За допомогою трансформаторів змінюють значення змінної напруги та струму. При цьому кількість фаз, форма кривої напруги, струму та частоти залишаються незмінними.



Силові трансформатори використовуються в мережі передачі більш високих напруг. Рейтинги силового трансформатора наступні: 400 кВ, 200 кВ, 110 кВ, 66 кВ, 33 кВ. Вони в основному оцінюються вище 200 МВА. В основному встановлюються на електростанціях і трансмісійних підстанціях. Вони розраховані на максимальну ефективність 100%. Вони більші за розміром порівняно з розподільчим трансформатором.

При дуже високій напрузі живлення не може бути розподілений безпосередньо споживачеві, тому потужність знижується до бажаного рівня за допомогою понижувального силового трансформатора. Трансформатор не завантажується повністю, отже втрати серцевини відбуваються протягом усього дня, але втрата міді заснована на циклі навантаження розподільної мережі. Якщо силовий

трансформатор підключений до мережі передачі, коливання навантаження будуть значно менші оскільки вони не з'єднані безпосередньо зі споживачем, але при підключенні до розподільної мережі відбуваються коливання навантаження.

Трансформатор завантажується протягом 24 годин передавальною станцією, таким чином, втрати серцевини і міді відбуватимуться протягом всього дня. Якщо рівень напруги підвищується, то струм силового трансформатора зменшується, в результаті чого I^2R втрати і регулювання напруги також збільшуються.

Трансформатор розподілу

Цей тип трансформатора має нижчі рейтинги 11 кВ, 6,6 кВ, 3,3 кВ, 440 В і 230 В. Вони розраховані на потужність менше 200 МВА і використовуються в розподільчій мережі для забезпечення перетворення напруги в енергосистемі шляхом зниження рівня напруги, на якому розподіляється і використовується електрична енергія на кінці споживача. Первинна котушка розподільного трансформатора намотана мідним або алюмінієвим дротом з емальованим покриттям. Товста стрічка з алюмінію і міді використовується, щоб зробити вторинний трансформатор, який є високим струму, низької напруги обмотки. Для цілей ізоляції використовується папір і масло.

В даній дипломній роботі необхідно визначити основні електричні величини силового масляного трансформатора потужністю 160 кВ*А з номінальною напругою первинної обмотки (ВН) 35 кВ і вторинної обмотки (НН) 0,4 кВ, визначити його головні розміри, вибрати тип і розрахувати обмотки НН та ВН, визначити характеристики короткого замикання трансформатора (P_k, u_k), розрахувати його робочі характеристики, визначити втрати і струм холостого ходу трансформатора та здійснити тепловий розрахунок трансформатора та баку.

1. Визначення основних електричних величин трансформатора

1.1. Розрахунок основних електричних величин

Потужність трансформатора на одну фазу:

$$S_{\phi} = \frac{S_N}{m} = \frac{160}{3} = 53.33 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

де S_N – потужність трансформатора, кВ·А; m – кількість фаз трансформатора.

Номінальний (лінійний) струм обмотки НН, А:

$$I_1 = \frac{S_N \times 10^3}{\sqrt{3} \times U_1} = \frac{160 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 0.4 \times 10^3} = 231,$$

де S_N – потужність трансформатора, кВ·А; U_1 – номінальна (лінійна) напруга обмотки НН, В.

Номінальний (лінійний) струм обмотки ВН:

$$I_2 = \frac{S_N \times 10^3}{\sqrt{3} \times U_2} = \frac{160 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 35 \times 10^3} = 2.64 \text{ А},$$

де S_N – потужність трансформатора, кВ·А; U_2 – номінальна (лінійна) напруга обмотки ВН, В.

Фазний струм обмотки ВН (при з'єднанні обмотки в зірку):

$$I_{2\phi} = I_2 = 2.64 \text{ А}$$

Фазна напруга обмотки ВН (при з'єднанні обмотки в зірку):

$$U_{2\phi} = \frac{U_2}{\sqrt{3}} = \frac{35}{\sqrt{3}} = 20.21 \text{ кВ}.$$

Фазний струм обмотки НН (при з'єднанні обмотки в зірку):

$$I_{1\phi} = I_1 = 231 \text{ А}$$

Фазна напруга обмотки НН (при з'єднанні обмотки в зірку):

$$U_{1\phi} = \frac{U_1}{\sqrt{3}} = \frac{0.4}{\sqrt{3}} = 0.231 \text{ кВ.}$$

За втратами потужності короткого замикання визначаємо активну складову напруги короткого замикання:

$$U_a = \frac{P_k \times 10^3}{10 \times 160} = \frac{2650 \times 10^3}{10 \times 160} = 1.656 \%,$$

де P_k – потужність короткого замикання, кВт; S_N – номінальна потужність трансформатора, кВ · А.

Реактивна складова напруги короткого замикання:

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{6.5^2 - 1.656^2} = 6.286 \%,$$

де u_k – напруга короткого замикання, %.

З табл. 4.1 [1] визначаємо випробувальні напруги обмоток для силових масляних трансформаторів:

обмотка НН – $U_{1\text{вип}} = 5 \text{ кВ}$;

обмотка ВН – $U_{2\text{вип}} = 85 \text{ кВ}$.

2. Визначення основних розмірів трансформатора

Розрахунок основних розмірів трансформатора розпочнемо з визначень діаметра стержня за формулою:

$$d = 0,507 \cdot \sqrt[4]{\frac{S' \cdot a_p \cdot \beta \cdot k_p}{f \cdot u_p \cdot B_c^2 \cdot k_c^2}}$$

Потужність трансформатора на один стержень:

$$S' = \frac{S_n}{c} = \frac{160}{3} = 53.33 \text{ кВ} \cdot \text{А},$$

де S_n – номінальна потужність трансформатора за завданням, кВ·А; c – число активних (несучих обмотки) стержнів трансформатора.

Ширину зведеного каналу розсіювання визначаємо за формулою:

$$a_p = a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3},$$

де a_{12} – розмір каналу між обмотками НН та ВН, який визначається як ізоляційний проміжок з табл. 4.5 [1] за випробувальною напругою обмотки ВН (рис. 1), $a_{12} = 27$ мм, або $a_{12} = 0.027$ м.

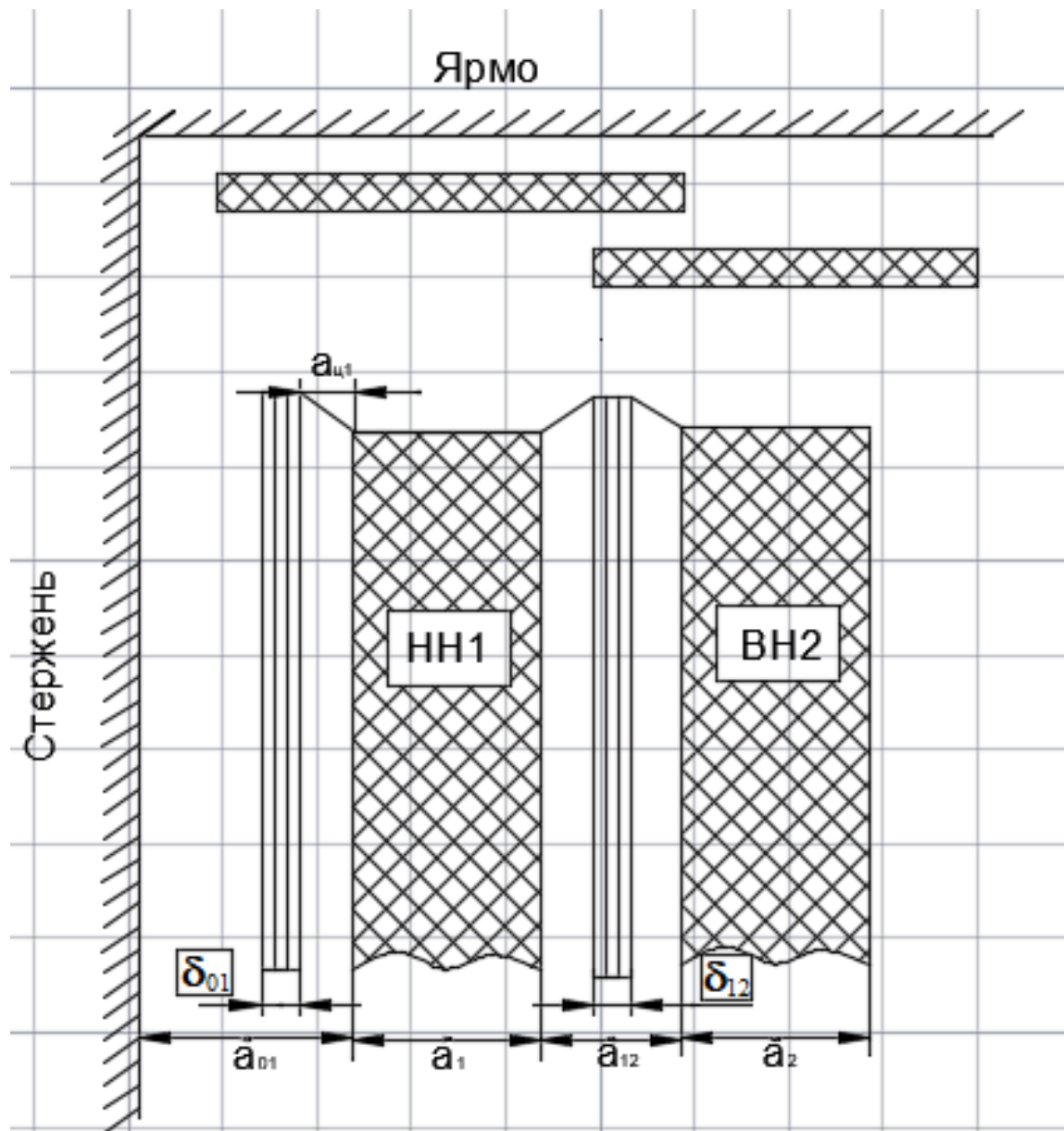


Рис. 1. Головна ізоляція обмоток ВН та НН

Сумарний зведений радіальний розмір обмоток ВН та НН:

$$\frac{a_1 + a_2}{3} = k \cdot \sqrt[4]{S'} \cdot 10^{-2},$$

де k – коефіцієнт, який залежить від потужності трансформатора, металу обмоток, напруги обмоток ВН та втрат короткого замикання і визначається з табл. 3.3 [1].

$$k = 0.63 \times 1.25 = 0.78$$

$$\frac{a_1 + a_2}{3} = k \times \sqrt[4]{S'} \times 10^{-2} = 0.78 \times \sqrt[4]{53.33} \times 10^{-2} = 0.021 \text{ м.}$$

$$a_p = a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} = 0.027 + 0.02 = 0.048 \text{ м.}$$

Значення β , яке приблизно дорівнює відношенню середньої довжини витка обмоток трансформатора $l_{в\text{ср}}$ до їх висоти l визначається з табл. 3.12 [1]:

$$\beta = 1.8$$

Коефіцієнт зведення ідеального поля розсіювання до реального поля при визначенні основних розмірів можна приблизно прийняти:

$$k_p = 0.95$$

Індукцію в стержні B_c згідно з заданою маркою сталі вибираємо з табл. 2.4 [1]:

$$B_c = 1.55 \text{ Тл.}$$

Коефіцієнт заповнення активним перерізом сталі площі круга, описаного навколо перерізу стержня, k_c , залежить від вибору числа ступенів в перерізах стержнів, способу пре совки стержня і розмірів охолоджуючих каналів, товщини листів сталі та виду між листової ізоляції. Загальний коефіцієнт заповнення k_c визначається за формулою:

$$k_c = k_{кр} \cdot k_3,$$

де $k_{кр}$ – коефіцієнт заповнення площі кола, визначаємо з табл. 2.5 [1]:

$$k_{kp} = 0.913;$$

k_3 – коефіцієнт заповнення, що враховує наявність електричної ізоляції між окремими листами сталі, визначаємо з табл. 2.2 [1]:

$$k_3 = 0.95$$

$$k_c = k_3 \times k_{kp} = 0.95 \times 0.913 = 0.867;$$

Тоді, діаметр стержня трансформатора:

$$d = 0.507 \times \sqrt[4]{\frac{S' \times a_p \times \beta \times k_p}{f \times U_p \times B_c^2 \times k_c^2}} = 0.507 \times \sqrt[4]{\frac{53.33 \times 0.048 \times 1.8 \times 0.95}{50 \times 6.286 \times 1.55^2 \times 0.867^2}} \\ = 0.15 \text{ м.}$$

Отриманий діаметр d відповідає нормалізованій шкалі діаметрів d_n , м:
0,08; 0,085; 0,09; 0,095; 0,10; 0,105; 0,11; 0,115; 0,12; 0,125; 0,13; 0,14; 0,15; 0,16;
0,17; 0,18; 0,19; 0,20; 0,21; 0,22; 0,225; 0,23; 0,24; і т.ін.

β_n визначається по формулі:

$$\beta_n = \beta \times \left(\frac{d_n}{d}\right)^4 = 1.8 \times \left(\frac{0.15}{0.15}\right)^4 = 1.8$$

Другий основний розмір трансформатора – діаметр середній каналу між обмотками d_{12} (рис. 2) визначаємо за формулою:

$$d_{12} = d + 2 \cdot a_{01} + 2 \cdot a_1 + a_{12},$$

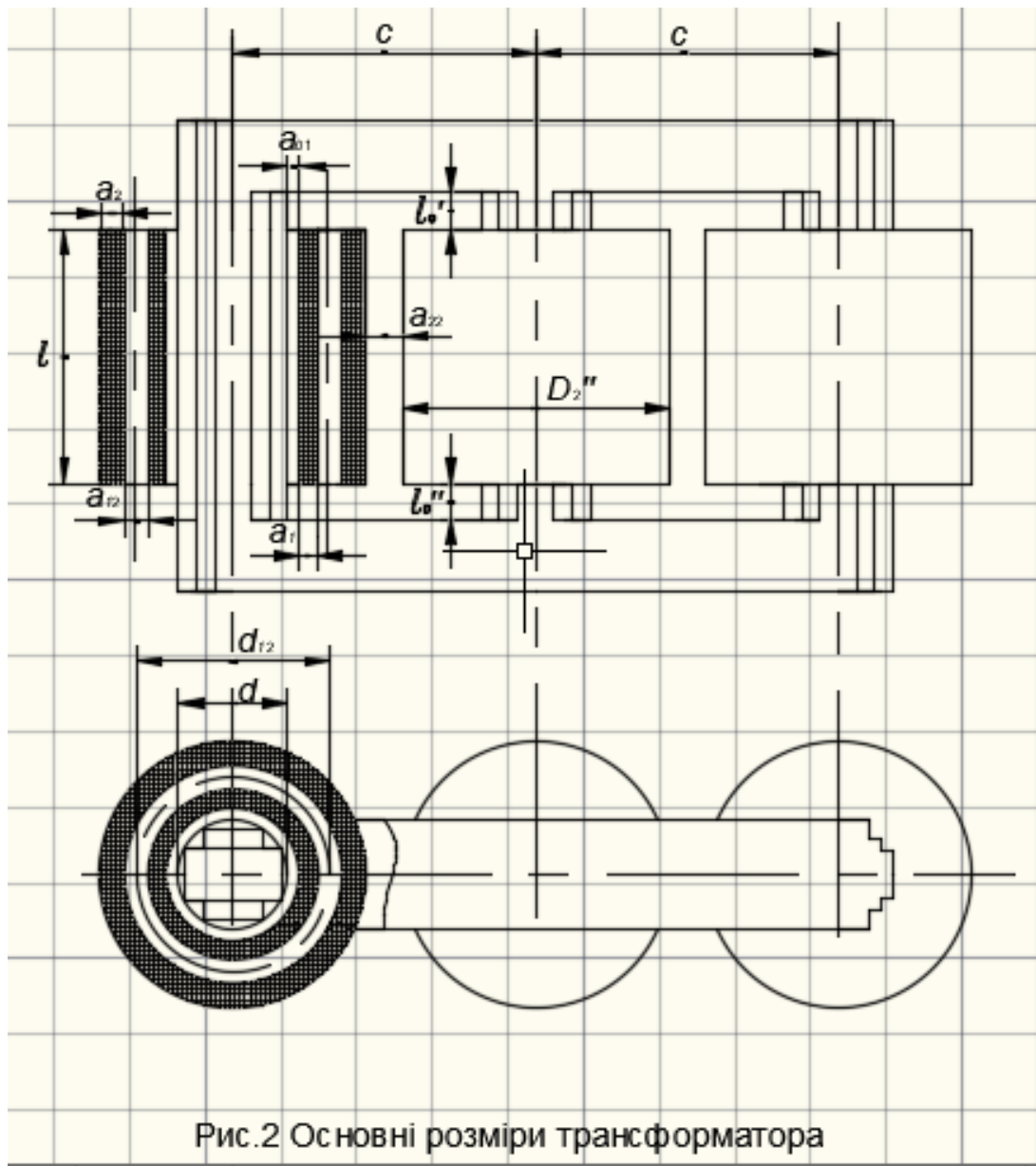


Рис.2 Основні розміри трансформатора

де a_{01} – радіальний розмір осевого каналу між стержнем та обмоткою НН визначаємо з табл. 4.4 [1]. Так як у подальшому передбачається виконання обмотки НН циліндричною, то згідно примітки до табл. 4.4 [1] приймаємо:

$$a_{01} = 4 \text{ мм} = 0.004 \text{ м};$$

Радіальний розмір обмотки НН a_1 знаходимо за формулою:

$$a_1 = k_1 \cdot \frac{a_1 + a_2}{3},$$

де $\frac{a_1 + a_2}{3}$ – сумарний зведений радіальний розмір обмоток НН та ВН, м;
коефіцієнт k_1 приймається рівним 1,1 для трансформаторів з потужністю 25-630 кВ·А з пласкою магнітною системою.

$$a_1 = k_1 \times \frac{a_1 + a_2}{3} = 1.1 \times 0.021 = 0.023 \text{ м};$$

$$d_{12} = d + 2 \times a_{01} + 2 \times a_1 + a_{12} = 0.15 + 2 \times 0.004 + 2 \times 0.023 + 0.027 \\ = 0.231 \text{ м},$$

де за d приймаємо вже нормалізований діаметр стержня d_n .

Третій основний розмір трансформаторів – висота обмоток (рис.2).

$$l = \frac{\pi \times d_{12}}{\beta_H} = \frac{\pi \times 0.231}{1.8} = 0.403 \text{ м}.$$

Активний переріз стержня, тобто чистий переріз сталі:

$$P_c = k_3 \times k_{kp} \times \frac{\pi \times d^2}{4} = 0.95 \times 0.913 \times \frac{\pi \times 0.15^2}{4} = 0.015 \text{ м}^2$$

Електрорушійна сила одного витка:

$$u_{в} = 4.44 \times f \times P_c \times B_c = 4.44 \times 50 \times 0.015 \times 1.55 = 5.162 \text{ В}.$$

3. Вибір типу та розрахунок обмоток трансформатора

Розрахунки обмоток трансформатора розпочинаємо з обмотки НН, яка знаходиться між стержнем та обмоткою ВН.

Число витків на одну фазу обмотки НН:

$$W_1 = \frac{U_{1\phi}}{4.44 \times f \times B_c \times \Pi_c} = \frac{231}{4.44 \times 50 \times 1.55 \times 0.015} = 44.754$$

Отримане значення w_1 заокруглюємо до ближчого цілого числа, яке може бути як парне так і непарне: $W1 = 45$.

Напруга одного витка:

$$u_B = \frac{U_{1\phi}}{W_1} = \frac{231}{45} = 5.133 \text{ В.}$$

Дійсна індукція в стержні:

$$B_c = \frac{u_B}{4.44 \times f \times \Pi_c} = \frac{5.133}{4.44 \times 50 \times 0.015} = 1.541 \text{ Тл.}$$

Середня густина струму в обмотках із мідного проводу:

$$J_{cp} = 0.746 \times k_d \times \frac{P_k \times u_B}{S_N \times d_{12}} = 0.746 \times 0.96 \times \frac{2650 \times 5.133}{160 \times 0.231} \times 10^4 = 2.636 \times 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}.$$

де S_N – повна потужність трансформатора, кВ·А; P_k – втрати короткого замикання, Вт; u_B – напруга одного витка, В; d_{12} – середній діаметр каналу між обмотками, м; k_d – коефіцієнт, який враховує присутність додаткових втрат в обмотках, втрати в відводах та стінках бака (табл. 3.47 [1]).

Орієнтовний переріз витка обмотки НН:

$$\Pi_1 = \frac{I_{1\phi}}{J_{cp} \times 10^{-6}} = \frac{231}{2.636 \times 10^6 \times 10^{-6}} = 87.6 \text{ мм}^2,$$

де $I_{1\phi}$ – фазний струм обмотки НН, А; J_{cp} – середня густина струму в обмотці НН, $\frac{\text{А}}{\text{м}^2}$.

Згідно з рекомендаціями табл. 5.8 [1] вибираємо конструкцію обмотки НН, як циліндричну двошарову з прямокутного проводу.

3.1. Розрахунки циліндричної двохшарової обмотки НН з прямокутного проводу.

Кількість витків при номінальній напрузі:

$$W_1 = 45.$$

Осьовий розмір обмотки НН l_1

$$l_1 = 0.403 \text{ м.}$$

Визначаємо число витків в одному шарі:

$$W_{\text{сл1}} = \frac{W_1}{2} = \frac{45}{2} = 27.5.$$

Орієнтовний осьовий розмір витка:

$$h_{\text{в1}} = \frac{l_1}{W_{\text{сл1}}+1} = \frac{0.403}{27.5+1} = 0.014 \text{ м.}$$

Площа поперечного перерізу:

$$\Pi_1 = 87.6 \text{ мм}^2.$$

До отриманих значень Π_1 та $h_{\text{в1}}$ підбираємо з таблиці 5.2[1] провід для обмотки НН. Приймаємо кількість паралельних проводів в одному витку $n_{\text{в1}} =$

4. Площа перерізу одного проводу (розрахункове значення)

$$\Pi'_1 = \frac{\Pi_1}{n_{\text{в1}}} = \frac{87.6}{4} = 21.9 \text{ мм}^2$$

Орієнтовний розмір проводу в осьовому напрямку обмотки:

$$b = \frac{h_{\text{в1}}}{n_{\text{в1}}} = \frac{14}{4} - 0.5 = 3 \text{ мм.}$$

З табл. 5.2 [1] за площиною перерізу витка підбираємо 4 паралельних прямокутних проводів ПБ з перерізом

$$\Pi'_1 = 21.9 \text{ мм}^2$$

Підібрані з таблиці 5.2 [1] проводи записуємо наступним чином

$$\text{Марка проводу} \times 4 \times \frac{a \times b}{a' \times b'},$$

$$\text{або } \text{ПБ} \times 4 \times \frac{8 \times 2.8}{8.5 \times 3.3},$$

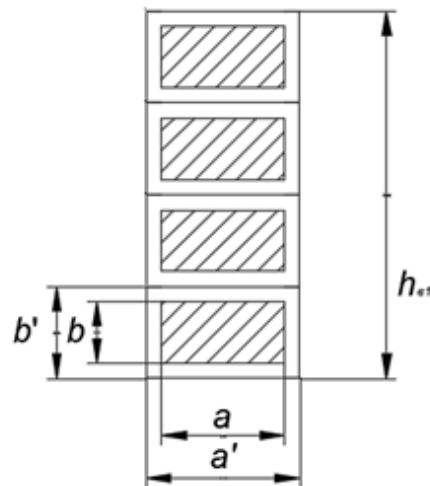
,де a та b – відповідно радіальний та осьовий розміри проводу, мм; a' та b' - ці ж розміри з урахуванням товщини ізоляції на дві сторони, $2\delta_{\text{мсл}}$ = 0.5 мм.

Реальний переріз витка:

$$\Pi_1 = n_{\text{в1}} \times \Pi'_1 \times 10^{-6} = 4 \times 21.9 \times 10^{-6} = 8.76 \times 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Реальна густина струму обмотки НН:

$$J_1 = \frac{I_1}{\Pi_1} = \frac{231}{8.76 \times 10^{-5}} = 2.637 \times 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}.$$



Осьовий розмір витка (реальний). Рис. 3а

$$h_{\text{в1}} = n_{\text{в1}} \times b' \times 10^{-3} = 4 \times 3.3 \times 10^{-3} = 0.013 \text{ м}.$$

Осьовий розмір (висота) обмотки НН

$$l_1 = h_{\text{в1}} \times (W_{\text{сл}} + 1) + 0.015 = 0.013 \times (27.5 + 1) + 0.015 = 0.386 \text{ м}.$$

Радіальний розмір обмотки:

$$a_1 = (a'_1 \times 2 + a'_{11}) \times 10^{-3} = (8.5 \times 2 + 5) \times 10^{-3} = 0.021 \text{ м},$$

,де $a_{11}=5$ мм – мінімальна ширина масляного каналу між котушками, вибирається з табл. 4.9 [1].

Внутрішній діаметр обмотки НН

$$D'_1 = d + 2 \times a_{01} = 0.15 + 2 \times 0.004 = 0.158 \text{ м,}$$

,де a_{01} – ширина каналу між обмоткою НН та стержнем, визначається з табл. 4.4[1]

Зовнішній діаметр обмотки НН (рис.2)

$$D''_1 = D'_1 + 2 \times a_1 = 0.158 + 2 \times 0.021 = 0.2$$

Поверхня охолодження обмотки НН (згідно рис. 5.22):

$$\begin{aligned} P_{01} &= c \times n \times k \times \pi \times (D'_1 + D''_1) \times l_1 \\ &= 3 \times 2 \times 0.75 \times 3.14 \times (0.158 + 0.2) \times 0.386 = 1.953, \end{aligned}$$

де c – число стержнів, k – враховує закриті частини поверхні обмотки рейками і другими ізоляційними деталями. При розрахунку приймаємо k - 0.75.

3.2. Розрахуни обмотки ВН як багат шарову з круглого мідного проводу.

Розрахунок обмотки ВН розпочинаємо з визначення числа витків, необхідних для отримання номінальної напруги та для напруг всіх інших відгалужень (рис.4 б)

Число витків при номінальній напрузі:

$$W_{2N} = W_1 \times \frac{U_{2\phi}}{U_{1\phi}} = 45 \times \frac{20210}{231} = 3937$$

Приймаємо $W_{2N} = 3937$

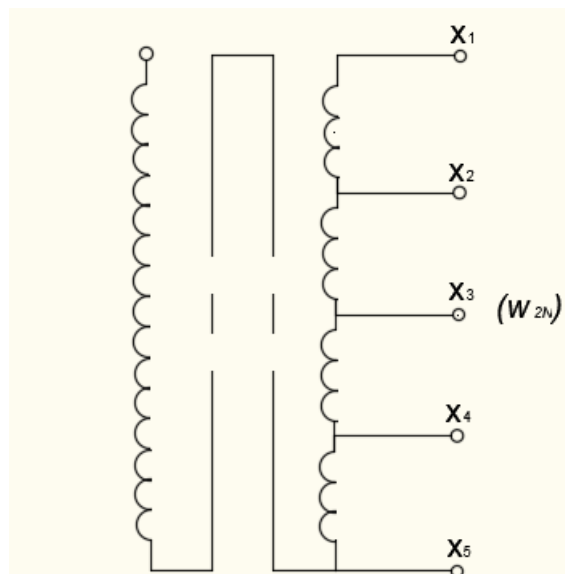


Рис.4. Схема регулювання напруги (ПБЗ)

Число витків на одній ступені регулювання напруги обмотки ВН:

$$W_p = \frac{\Delta U}{u_b} = \frac{505.25}{5.133} = 98.4$$

Приймаємо $W_p = 99$.

$$\Delta U = \frac{2.5 \times U_{2\phi}}{100} = \frac{2.5 \times 20210}{100} = 505.25 \text{ В ,}$$

де $\Delta U = \frac{2,5 \cdot U_{2\phi}}{100}$ – напруга на одній ступені регулювання обмотки або

різниця напруг двох сусідніх відгалужень, В; u_b – напруга одного витка обмотки, В.

Визначаємо кількість витків та напругу на відгалуження:

Ступінь	Витків на відгалуженнях
+5%	$W_{2N} + 2 \times W_p = 3937 + 2 \times 99 = 4235;$
+2,5%	$W_{2N} + W_p = 3937 + 99 = 4136;$
0	$W_{2N} = 3937;$
- 2,5 %	$W_{2N} - W_p = 3937 - 99 = 3838;$
- 5%	$W_{2N} - 2 \times W_p = 3937 - 2 \times 99 = 3739.$

Осьовий розмір обмотки ВН l_2 приймається рівним раніше визначеному осьовому розміру обмотки НН l_1 :

$$l_2 = l_1 = 0.386 \text{ м.}$$

Попередньо визначаємо густину струму в обмотці ВН:

$$J_2 = 2 \times J_{cp} - J_1 = 2 \times 2.636 \times 10^6 - 2.637 \times 10^6 = 2.635 \times 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2} .$$

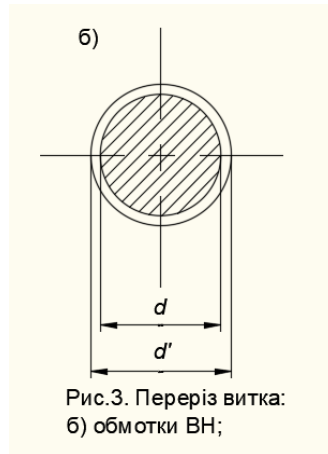
Попередня площа перерізу витка обмотки:

$$П'_2 = \frac{I_{2\phi}}{J_2 \times 10^{-6}} = \frac{2.64}{2.635} = 1.002 \text{ мм}^2 .$$

З табл. 5.1 [1] за площиною перерізу обмоткового проводу підбираємо провід з діаметром проводу без ізоляції d_2 та діаметром проводу в ізоляції d'_2 , мм. Підібрані розміри проводу записуємо наступним чином:

$$\text{Марка проводу ПБ} \times n_{B2} \times \frac{d_2}{d'_2},$$

,де $n_{B2}=1$ – число паралельних проводів (рис.3).



$$ПБ \times 1 \times \frac{1.18}{1.58}$$

Площина перерізу підбраного проводу $П''2 = 1.094 \text{ мм}^2$ 5.2 (1)

Повний переріз витка:

$$П_2 = n_{B2} \times П''2 \times 10^{-6} = 1 \times 1.094 \times 10^{-6} = 1.094 \times 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Реальна густина струму обмотки ВН:

$$J_2 = \frac{I_2}{П_2} = \frac{2.64}{1.094 \times 10^{-6}} = 2.413 \times 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}^2}.$$

Число витків в шарі:

$$W_{\text{сл}2} = \frac{l_2}{n_{B2} \times d'_2} - 1 = \frac{0.386}{1 \times 1.58 \times 10^{-3}} - 1 = 243.3.$$

Приймаємо $W_{\text{сл}2} = 244$

Число шарів в обмотці ВН:

$$n_{\text{сл}2} = \frac{W_{2N} + 2 \times W_p}{W_{\text{сл}2}} = \frac{3937 + 2 \times 99}{244} = 16.95.$$

Приймаємо $n_{\text{сл}2} = 17$ (найближче більше ціле число).

Робоча напруга двох шарів обмотки ВН:

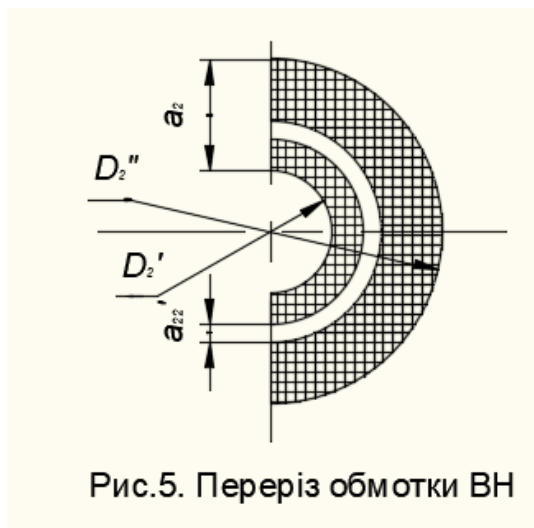
$$U_{\text{мсл}} = 2 \times W_{\text{сл}2} \times u_B = 2 \times 244 \times 5.133 = 2505 \text{ В}.$$

За робочою напругою двох шарів обмотки з табл. 4.7 [1] вибираємо кількість шарів і загальну товщину $\delta_{\text{мсл}}$ кабельного паперу в ізоляції між двома шарами обмотки:

$$\delta_{\text{мсл}} 4 \times 0.12 = 0.48 \text{ мм}.$$

За умовами охолодження обмотки ВН кожного із стержнів виконується у вигляді двох концентричних котушок із осьовим масляним каналом між ними

a'_{22} (рис.5).



Радіальний розмір обмотки ВН:

$$a_2 = (d'_2 \times n_{\text{сл}2} + \delta_{\text{мсл}} \times (n_{\text{сл}2} - 1) + a'_{22}) \times 10^{-3}$$

$$= (1.58 \times 17 + 0.48 \times 16 + 5) \times 10^{-3} = 0.039 \text{ м},$$

де $a'_{22} = 5$ мм – мінімальна ширина масляного каналу між котушками, вибирається з табл. 4.9 [1].

Внутрішній діаметр обмотки ВН:

$$D'_2 = D''_1 + 2 \times a_{12} = 0.2 + 2 \times 0.027 = 0.254 \text{ м}.$$

Зовнішній діаметр обмотки ВН:

$$D''_2 = D'_2 + 2 \times a_2 = 0.254 + 2 \times 0.039 = 0.332 \text{ м}.$$

Поверхня охолодження обмотки ВН:

$$\Pi_{02} = c \times n \times k \times \Pi \times (D'_2 + D''_2) \times l_2$$

$$= 3 \times 2 \times 0.83 \times 3.14 \times (0.254 + 0.332) \times 0.386 = 3.537,$$

де $k = 0,83$ – коефіцієнт, який враховує закриття частини поверхні обмотки ізоляційними деталями; $n = 2$ – враховує числа внутрішніх та зовнішніх поверхонь охолодження.

4. Визначення параметрів короткого замикання

4.1. Розрахунок втрат короткого замикання.

$$D_{\text{ср}} = \frac{D' + D''}{2} - \text{середній діаметр обмотки, м; } w - \text{число витків обмотки;}$$

Π – переріз витка, м^2 .

Середній діаметр обмотки НН:

$$D_{cp} = \frac{D' + D''}{2} = \frac{0.158 + 0.2}{2} = 0.179 \text{ м.}$$

Середній діаметр обмотки ВН:

$$D_{cp} = \frac{D' + D''}{2} = \frac{0.254 + 0.332}{2} = 0.293 \text{ м.}$$

Маса металу обмотки НН, кг:

$$G_a = 28 \times 10^3 \times c \times D_{cp} \times W \times \Pi = 28 \times 10^3 \times 3 \times 0.179 \times 45 \times 8.76 \times 10^{-5} \\ = 59.3 \text{ кг.}$$

Маса металу обмотки ВН, кг:

$$G_a = 28 \times 10^3 \times c \times D_{cp} \times W \times \Pi \\ = 28 \times 10^3 \times 3 \times 0.293 \times 3937 \times 1.094 \times 10^{-6} = 106 \text{ кг.}$$

Основні втрати обмоток НН та ВН, Вт:

$$P_{осн1} = 2.4 \times 10^{-12} \times J^2 \times G_a = 2.4 \times 10^{-12} \times (2.637 \times 10^6)^2 \times 59.3 = \\ 799.4 \text{ Вт.}$$

$$P_{осн2} = 2.4 \times 10^{-12} \times J^2 \times G_a = 2.4 \times 10^{-12} \times (2.413 \times 10^6)^2 \times 106 = \\ 1481 \text{ Вт.}$$

При розрахунку втрат кз визначаємо середній коефіцієнт збільшення втрат для кожної із обмоток, котрий враховує наявність додаткових втрат на вихрові струми в провідниках обмотки, наведених полями розсіювання.

Середній коефіцієнт додаткових втрат для обмотки НН (прямокутний провід):

$$k_{\partial 1} = 1 + 0.037 \times 10^8 \times \beta^2 \times a^4 \times n^2,$$

де a – розмір провідників обмотки в напрямку перпендикулярному лініям магнітної індукції поля розсіювання, м; n – число провідників обмотки в тому ж напрямку; $\rho=0.0344$

$$\beta = \frac{b \times m}{l} k_p,$$

,де b - розмір провідника вздовж висоти обмоток, тобто в напрямку, паралельному лініям магнітної індукції поля розсіювання, м; m – число провідників обмотки в тому ж напрямку; l – загальний розмір обмотки в напрямку, паралельному напрямку ліній магнітної індукції поля розсіювання

(висота обмотки), м; k_p – коефіцієнт, котрий враховує відхилення реального поля розсіювання від ідеального поля розсіювання:

$$k_p = 1 - \sigma \times \left(1 - e^{\frac{-1}{\sigma}}\right) = 1 - 0.064 \times \left(1 - e^{0.064}\right) = 0.936,$$

$$\sigma = \frac{(a_{12} + a_1 + a_2)}{\pi \times l} = \frac{(0.027 + 0.021 + 0.039)}{3.14 \times 0.386} = 0.064,$$

де a_{12} – канал між обмоткою ВН та НН, м; a_1 – радіальний розмір обмотки НН, м; a_2 – радіальний розмір обмотки ВН, м.

$$\beta_1 = \frac{b \times m}{l} k_p = \frac{2.8 \times 27.5 \times 4 \times 10^{-3}}{0.386} \times 0.936 = 0.747;$$

$$\beta_2 = \frac{d \times m}{l} k_p = \frac{1.18 \times 244 \times 1 \times 10^{-3}}{0.386} \times 0.936 = 0.698.$$

Середній коефіцієнт додаткових втрат для обмотки НН (прямокутний провід):

$$k_{d1} = 1 + 0.095 \times 10^8 \times \beta_1^2 \times a^4 \times n^2 = 1 + 0.095 \times 10^8 \times 0.747^2 \times (8 \times 10^{-3})^4 \times 2^2 = 1.087.$$

Середній коефіцієнт додаткових втрат для обмотки ВН (круглий провід):

$$k_{d2} = 1 + 0.044 \times 10^8 \times \beta_2^2 \times d^4 \times n^2 = 1 + 0.044 \times 10^8 \times 0.698^2 \times (1.18 \times 10^{-3})^4 \times 17^2 = 1.001.$$

Втрати у баку та деталях конструкції:

$$P_6 = 10 \times k \times S_N = 10 \times 0.015 \times 160 = 24 \text{ Вт},$$

де S_N – повна потужність трансформатора, кВ·А; k – коефіцієнт, визначається з табл. 15 [1].

У трансформаторів з природнім масляним охолодженням в цілях недопущення надмірного нагрівання обмоток значення q_1 та q_2 обмежуються

$$q \leq 1200 \div 1400$$

Густина теплового потоку на поверхні обмотки НН, Вт/м²:

$$q_1 = \frac{P_{\text{осн1}} \times k_{d1}}{П_{01}} = \frac{799.4 \times 1.087}{1.953} = 445 < 1000.$$

Густина теплового потоку на поверхні обмотки ВН, Вт/м²:

$$q_2 = \frac{P_{\text{очн2}} \times k_{d2}}{P_{02}} = \frac{1481 \times 1.001}{3.537} = 419 < 1000.$$

Розрахунок основних втрат у відводах потребує визначення довжини провідників та маси металу у відводах.

Приймаємо переріз відводу рівним перерізу витка відповідної обмотки:

$$P_{\text{отв1}} = P_1 = 8.76 \times 10^{-5}$$

$$P_{\text{отв2}} = P_2 = 1.094 \times 10^{-6}$$

Загальна довжина провідів обмотки НН для з'єднання в зірку:

$$l_{\text{отв1}} = 7.5 \times l = 7.5 \times 0.386 = 2.895 \text{ м.}$$

Загальна довжина провідів обмотки ВН для з'єднання в зірку:

$$l_{\text{отв2}} = 7.5 \times l = 7.5 \times 0.386 = 2.895 \text{ м.}$$

,де l – осьовий розмір обмотки (висота), м.

Масу провідів відводу визначаємо за формулою:

$$G_{\text{отв}} = l_{\text{отв}} \cdot P_{\text{отв}} \cdot \gamma,$$

де γ – густина металу відводів (для міді $\gamma = 8900 \text{ кг/м}^3$).

$$G_{\text{отв1}} = l_{\text{отв1}} \times P_{\text{отв1}} \times \gamma = 2.895 \times 8.76 \times 10^{-5} \times 8900 = 2.257 \text{ кг};$$

$$G_{\text{отв2}} = l_{\text{отв2}} \times P_{\text{отв2}} \times \gamma = 2.895 \times 1.094 \times 10^{-6} \times 8900 = 0.028 \text{ кг};$$

Основні втрати у відводах визначаємо за формулою:

$$P_{\text{отв}} = k \cdot J^2 \cdot G_{\text{отв}},$$

,де k – в залежності від металу відводів приймається як: $2.4 \cdot 10^{-12}$ - для міді.

Втрати у відводах обмоток НН та ВН:

$$P_{\text{отв1}} = k \times J_1^2 \times G_{\text{отв1}} = 2.4 \times 10^{-12} \times (2.637 \times 10^6)^2 \times 2.257 = 37.7 \text{ Вт.}$$

$$P_{\text{отв2}} = k \times J_2^2 \times G_{\text{отв2}} = 2.4 \times 10^{-12} \times (2.413 \times 10^6)^2 \times 0.028 = 0.4 \text{ Вт.}$$

Повні втрати короткого замикання:

$$\begin{aligned} P_{\text{к}} &= P_{\text{очн1}} \times k_{d1} + P_{\text{очн2}} \times k_{d2} + P_{\text{отв1}} + P_{\text{отв2}} + P_{\text{б}} \\ &= 799.4 \times 1.087 + 1481 \times 1.001 + 37.7 + 0.4 + 24 = 2414 \text{ Вт.} \end{aligned}$$

Розбіжність розрахункових та заданих величин $P_{\text{к}}$:

$$\frac{P_{\text{к}} - P_{\text{к.зад}}}{P_{\text{к.зад}}} \times 100 = \frac{2414 - 2650}{2650} \times 100 = -8.9 \%,$$

що дозволяється.

4.2. Розрахунок напруги короткого замикання.

Активна складова напруги короткого замикання:

$$u_a = \frac{P_k}{10 \times S} = \frac{2414}{10 \times 160} = 1.509 \%$$

При визначенні реактивної складової напруги короткого замикання, а також при всіх подальших розрахунках користуємось реальними розмірами розрахованих обмоток трансформатора ($a_1, a_2, a_{12}, d_{12}, l$), а не наближеними значеннями β та a_p , знайденими при попередньому визначенні основних розмірів трансформатора.

Реактивна складова напруги короткого замикання:

$$u_p = \frac{7,9 \cdot f \cdot S' \cdot \beta \cdot a_p \cdot k_p}{u_b^2} \cdot 10^{-1},$$

де u_b – напруга одного витка, В; a_p – ширина зведеного каналу розсіювання:

$$a_p = a_{12} + \frac{a_1 + a_2}{3} = 0.027 + \frac{0.021 + 0.039}{3} = 0.047 \text{ м.}$$

d_{12} – середній діаметр між обмотками:

$$d_{12} = d + 2 \times a_{01} + 2 \times a_1 + a_{12} = 0.15 + 2 \times 0.004 + 2 \times 0.021 + 0.027 = 0.227 \text{ м.}$$

$$\beta = \frac{n \times d_{12}}{l} = \frac{3.14 \times 0.227}{0.386} = 1.847;$$

$$u_p = \frac{7.9 \times f \times S' \times \beta \times a_p \times k_p}{u_b^2} \times 10^{-1} = \frac{7.9 \times 50 \times 53.3 \times 1.847 \times 0.047 \times 0.95}{5.133^2} \times 10^{-1} = 6.593 \%$$

Напруга короткого замикання:

$$u_k = \sqrt{u_p^2 + u_a^2} = \sqrt{6.593^2 + 1.509^2} = 6.763\%$$

Розбіжність розрахункової та заданої величин напруги короткого замикання:

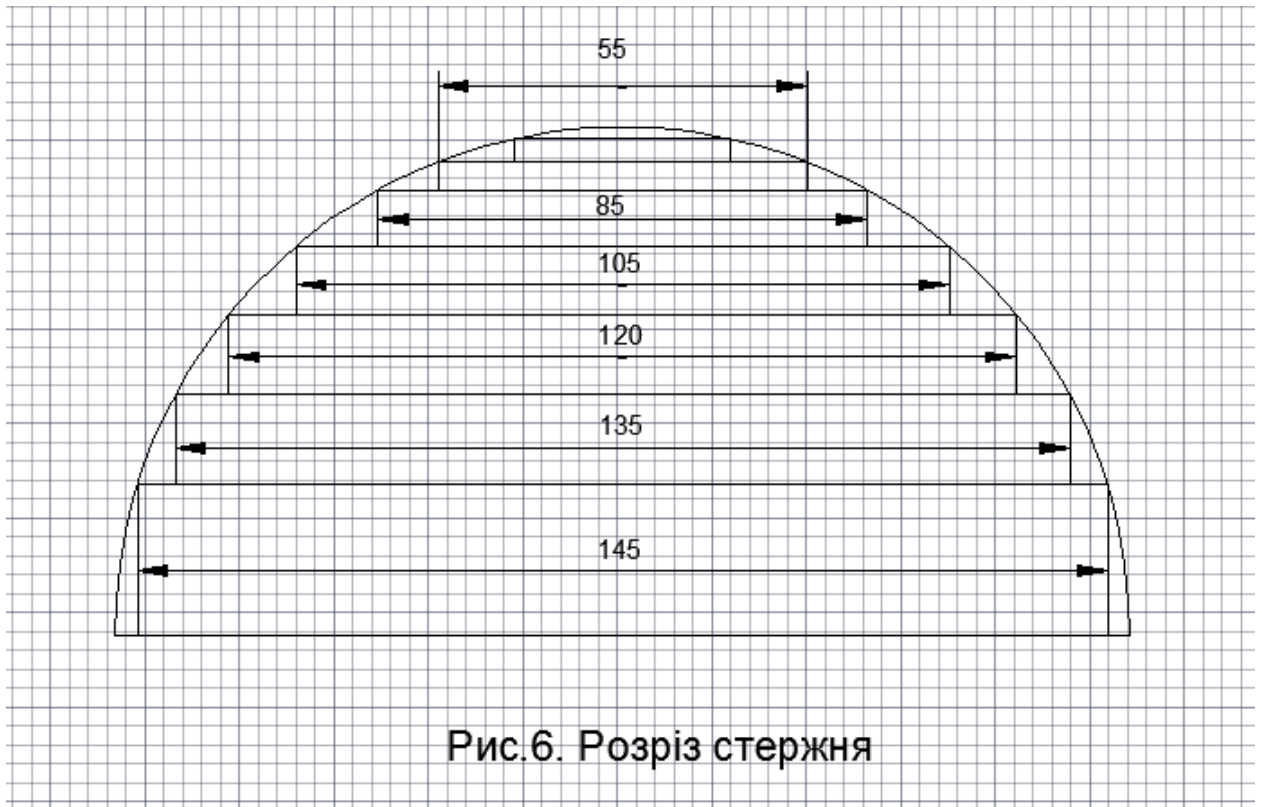
$$\frac{u_k - u_{k,зад}}{u_{k,зад}} \times 100 = \frac{6.763 - 6.5}{6.5} \times 100 = 4 \%,$$

що є допустимим.

5. Розрахунок магнітної системи трансформатора

5.1 Визначення параметрів магнітної системи

Прийнята конструкція трифазної плоскої шихтованої магнітної системи, збирається з пластин холоднокатаної текстурованої сталі марки 3404. Стержні магнітної системи пресуються шляхом забивання дерев'яних планок між стержнем та обмоткою НН чи жорстким ізоляційним паперово – бакелітовим циліндром, ярма пресуються балками. Розмір пакетів вибираємо з табл. 8.2 [1].



Число ступенів в перерізі стержня $n_c = 6$; в перерізі ярма $n_y = 5$.

Розміри пакетів в перерізі стержня та ярма

Таблиця 1

№ пакета	Стержень, мм	Ярмо (в половині поперечного перерізу), мм
1.	145×19	135×13
2.	135×13	120×13
3.	120×13	105×9
4.	105×9	85×8
5.	85×8	55×7

6.	55×7	-
----	------	---

Площа ступінчатої фігури перерізу стержня та ярма знаходиться в таблиці 8.6 [1].та 8.7 [1].

$$P_{\phi,c} = 0.01617 \text{ м}^2$$

$$P_{\phi,y} = 0.01659 \text{ м}^2$$

Активний переріз стержня:

$$P_c = k_3 \times P_{\phi,c} = 0.97 \times 0.01617 = 0.016 \text{ м}^2,$$

де $k_3 = 0.97$ - коефіцієнт заповнення перерізу стержня:

Активний переріз ярма:

$$P_y = k_3 \times P_{\phi,y} = 0.97 \times 0.01659 = 0.016 \text{ м}^2 \text{ ?}$$

Об'єм кута магнітної системи з таблиці 8.6[1].

$$V_y = 0.00204 \text{ м}^3.$$

Об'єм сталі кута магнітної системи:

$$V_{y,ст.} = k_3 \times V_y = 0.97 \times 0.00204 = 0.002 \text{ м}^3 \text{ ?}$$

Довжина стержня:

$$l_c = l + (l'_0 + l''_0) = 0.386 + (0.05 + 0.05) = 0.486 \text{ м},$$

де l - осьовий розмір (висота) обмотки , м; l'_0 та l''_0 – відстані від обмотки відповідно до верхнього та нижнього ярма (рис. 7) вибираються з табл. 4.5[1].

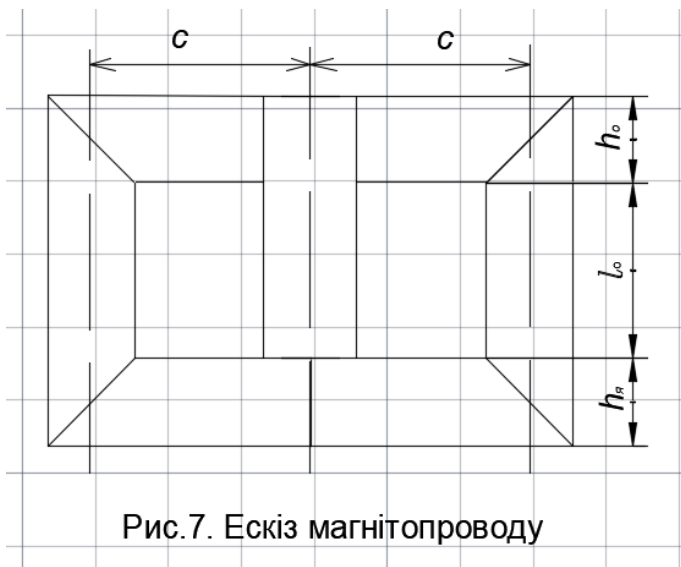


Рис.7. Ескіз магнітопроводу

Відстань між осями сусідніх стержнів :

$$C = D'' + a_{22} \times 10^{-3} = 0.332 + 20 \times 10^{-3} = 0.352 \text{ м},$$

,де D_2'' – зовнішній діаметр обмотки ВН, м; a_{22} – відстань між обмотками сусідніх стержнів, визначається з таблиці (4.5[1].), мм.

Маса сталі кута магнітної системи:

$$G_y = k_3 \times V_y \times \gamma_{ст} = 0.97 \times 0.00204 \times 7650 = 15.1 \text{ кг},$$

,де $\gamma_{ст} = 7650 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ – густина холоднокатаної трансформаторної сталі.

Повна маса двох ярм:

$$\begin{aligned} G_{я} &= 2 \times (c - 1) \times C \times \Pi_{я} \times \gamma_{ст} + 2 \times G_y \\ &= 2 \times (3 - 1) \times 0.352 \times 7650 \times 0.016 + 2 \times 15.1 = 202.5 \text{ кг}, \end{aligned}$$

,де c - число активних (несучих обмоток) стержнів, $\Pi_{я}$ – активний переріз ярма, м^2 .

Маса сталі стержнів в межах вікна магнітної системи:

$$\begin{aligned} G_c'' &= c \times (\Pi_c \times a_{1я} \times \gamma_{ст} \times 10^{-3} - G_y) = 3 \times (0.016 \times 0.135 \times 7650 - \\ &15.1) = 4.3 \text{ кг}, \end{aligned}$$

,де $a_{1я}$ – ширина пакетів стержня, що стикуються, м.

Маса сталі стержнів в межах вікна магнітної системи:

$$G_c' = c \times \Pi_c \times l_c \times \gamma_{ст} = 3 \times 0.016 \times 0.486 \times 7650 = 178.5 \text{ кг}.$$

Маса сталі стержнів:

$$G_c = G_c' + G_c'' = 178.5 + 4.3 = 182.8 \text{ кг}.$$

Загальна маса сталі пласкої магнітної системи:

$$G_{ст} = G_c + G_{я} = 182.8 + 202.5 = 385.3 \text{ кг}.$$

5.2. Розрахунок втрат холостого ходу

Індукція в стержні:

$$B_c = \frac{U_B}{4.44 \times f \times \Pi_c} = \frac{5.133}{4.44 \times 50 \times 0.016} = 1,429 \text{ Тл.} \quad (5.2.1)$$

Індукція в ярмі:

$$B_{я} = \frac{U_B}{4.44 \times f \times \Pi_{я}} = \frac{5.133}{4.44 \times 50 \times 0.016} = 1,439 \text{ Тл.} \quad (5.2.2)$$

Індукція в косих стиках:

$$B_3 = \frac{B_c}{\sqrt{2}} = \frac{1,429}{\sqrt{2}} = 1,01 \text{ Тл.} \quad (5.2.3)$$

Площа косих стиків:

$$\Pi_3 = \sqrt{2} \cdot \Pi_c = \sqrt{2} \cdot 0,016 = 0,02 \text{ м}^2. \quad (5.2.4)$$

За табл. 8.10 [1] для індукції в стержні $B_c = 1,429 \text{ Тл}$ визначимо питомі втрати в сталі p та в зоні шихтованого стика p_3 :

$$p_c = 0.964 \text{ Вт/кг},$$

$$p_3 = 514 \text{ Вт/м}^2.$$

З табл. 8.10[1] для індукції в ярмі $B_{я} = 1,439 \text{ Тл}$ визначимо:

$$p_{я} = 0.97 \text{ Вт/кг},$$

$$p_3 = 520 \text{ Вт/м}^2.$$

З табл. 8.10[1] для індукції в косих стиках $B_3 = 1,01 \text{ Тл}$ визначимо:

$$p_3 = 265 \text{ Вт/м}^2.$$

Втрати холостого ходу (ф.8.32 [1]):

$$P_x = \left[k_{п,р} \cdot k_{п,з} \left(p_c \cdot G_c + p_{я} \cdot G'_{я} - 4p_{я} \cdot G_y + \frac{p_c + p_{я}}{2} \cdot k_{п,у} \cdot G_y \right) + \sum p_3 \cdot n_3 \cdot \Pi_3 \right] \cdot k_{п,я} \cdot k_{п,п} \cdot k_{п,ш} \quad (5.2.5)$$

$$P_x = \left[1,11 \cdot 1,05 \left(0,964 \cdot 182,8 + 0,97 \cdot 202,5 - 4 \cdot 0,97 \cdot 5,1 + \frac{0,964 + 0,97}{2} \cdot 10,18 \cdot 15,1 \right) + 4 \cdot 0,014 \cdot 514 + 1 \cdot 0,01 \cdot 520 + 2 \cdot 0,01 \cdot 265 \right] \cdot 1 \cdot 1,02 \cdot 1,01 = 868,8 \text{ Вт},$$

де - $k_{п,р} = 1,11$ (сталь без віджиги), $k_{п,з} = 1,05$ (задирки не зняти); $k_{п,у} = 10,18$ (плоска шихтована магнітна система має 4 косих кута та 2 прямих кута), $k_{п,я} = 1$ (кількість ступенів в перерізі ярма відрізняється на одну ступень від клк. ступенів в перерізі стержня), $k_{п,п} = 1,02$ (пресовка стержня- розжарення з обмоткою, пресовка ярма – ярмові балки без бандажів), $k_{п,ш} = 1,01$ (ураховує втрати при перешихтовці верхнього ярма), вираз $\sum p_3 \cdot n_3 \cdot \Pi_3$ враховує втрати у зоні стиків пластин магнітної системи із урахуванням кількості стиків різної форми.

Відхилення втрат P_x від заданої величини складає - 14 %

5.3. Розрахунок струму холостого ходу

Активна складова струму холостого ходу:

$$i_{0a} = \frac{P_x}{10 \cdot S} = \frac{868,8}{10 \cdot 160} = 0.543\%. \quad (5.3.1)$$

За табл. 8.17 [1] для різних індукцій визначимо повну питому намагнічуючу потужність в сталі q та в зоні шихтованого стика q_3 :

При $V_c = 1,429$ Тл., маємо:

$$q_c = 1.114 \text{ В} \cdot \text{А/кг},$$

$$q_{3,c} = 12440 \text{ В} \cdot \text{А/м}^2.$$

При $V_y = 1,439$ Тл., маємо:

$$q_y = 1.06 \text{ В} \cdot \text{А/кг},$$

$$q_{3,y} = 11400 \text{ В} \cdot \text{А/м}^2.$$

При $V_3 = 1,01$ Тл., маємо:

$$q_3 = 1000 \text{ В} \cdot \text{А/м}^2.$$

Повна намагнічуюча потужність(ф.8.43 [1]):

$$Q_x = \left[k_{m,p} \cdot k_{m,з} \left(q_c \cdot G_c + q_y \cdot G'_y - 4q_y \cdot G_y + \frac{q_c + q_y}{2} \cdot k_{m,y} \cdot k_{m,пл} \cdot G_y \right) + \sum q_3 \cdot n_3 \cdot \Pi_3 \right] \cdot k_{m,я} \cdot k_{m,п} \cdot k_{m,ш} = \left[1,49 \cdot 1,05 \left(1.114 \cdot 202,5 + 1.06 \cdot 15,1 - 4 \cdot 1.06 \cdot 15,1 + \frac{1.114 + 1.06}{2} \cdot 42,1 \cdot 1,272 \cdot 15,1 \right) + 4 \cdot 1000 \cdot 0,014 + 1 \cdot 12440 \cdot 0,01 + 2 \cdot 11400 \cdot 0,01 \right] \cdot 1 \cdot 1,04 \cdot 1,01 = 2927 \text{ В} \cdot \text{А}, \quad (5.3.2)$$

де - $k_{m,p} = 1,49$ (сталь без віджиги), $k_{m,з} = 1,05$ (задирки не зняти), $k_{m,y} = 42,1$ (плоска шихтована магнітна система має 4 косих кута та 2 прямих кута), $k_{m,я} = 1$ (кількість ступенів в перерізі ярма відрізняється на одну ступень від кількості ступенів в перерізі стержня), $k_{m,п} = 1,04$ (пресування стержня- розжарення із обмоткою, пресування ярма – ярмові балки без бандажів), $k_{m,ш} = 1,01$ (враховує втрати при перешихтовці верхнього ярма), $k_{m,пл} = 1,272$ (табл.8.21[1]).

Реактивна складова струму холостого ходу:

$$i_{0p} = \frac{Q_x}{10 \cdot S} = \frac{2927}{10 \cdot 160} = 1.829\%. \quad (5.3.3)$$

Повний струм холостого ходу:

$$i_0 = \sqrt{i_{0a}^2 + i_{0p}^2} = \sqrt{0.543^2 + 1.829^2} = 1.908\%. \quad (5.3.4)$$

Відхилення значення струму холостого ходу від заданого значення складає – 21%, що відповідає стандартам.

6. Тепловий розрахунок бака

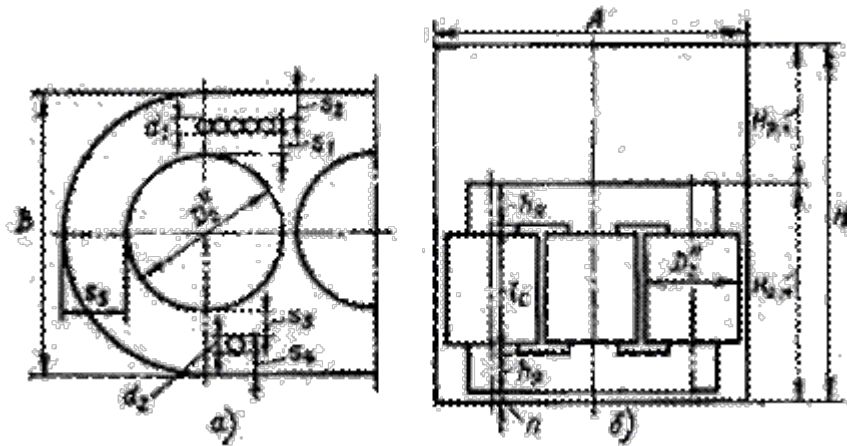


Рис.6.1 Основні розміри бака

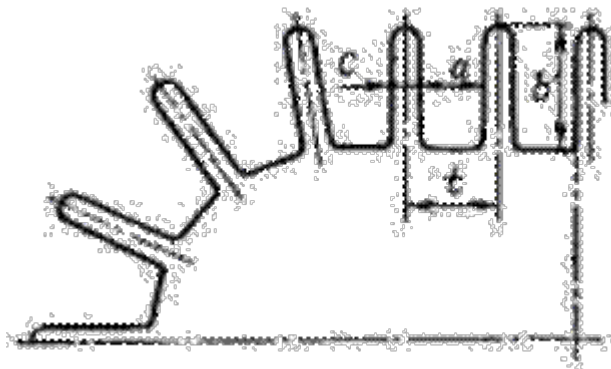


Рис.6.2 Форма і основні розміри стінки бака з хвилями
З табл.9.4 [1] вибираємо бак зі стінками у вигляді хвиль (рис.6.2).
Глибину бака від дна до кришки визначаємо за формулою:

$$H = H_{a.ч} + H_{я.к}, \quad (6.1)$$

,де $H_{я.к}$ – відстань від верхнього ярма трансформатора до кришки бака, визначаємо з табл.9.5 [1], $H_{a.ч}$ – висота активної частини.

$$H_{a.ч} = l_c + 2 * h_{я} + n * 10^{-3} = 0,601 + 2 * 0,125 + 40 * 10^{-3} = 0,891 \text{ м}, \quad (6.2)$$

,де l_c – висота стержня, м; $h_{я}$ – висота ярма, м; n – товщина прокладки під нижнє ярмо ($n = 30 - 50$ мм.).

$$\text{Тоді, } H = H_{a.ч} + H_{я.к} = 0,891 + 0,4 = 1,3 \text{ м}. \quad (6.3)$$

Мінімальну ширину бака визначаємо за формулою (ф.9.22 [1]):

$$B = D_2'' + (s_1 + s_2 + d_1 + s_3 + s_4 + d_2) * 10^{-3}, \quad (6.4)$$

,де d_1 – діаметр ізолюваного відводу ВН: $d_1 = 1,7$ мм; d_2 – розмір ізолюваного відводу НН: $d_2 = 6,3$ мм; s_1 – ізоляційна відстань від ізолюваного відводу обмотки ВН до власної обмотки і рівна йому відстань від відводу s_2 до стінки

бака визначаємо з табл.4.11 [1], $s_1 = s_2 = 50$ мм; s_3 – ізоляційна відстань від відводу обмотки НН до обмотки ВН визначаємо з табл.4.12 [1], $s_3 = 50$ мм; s_4 – ізоляційна відстань від відводу обмотки НН до стінки бака визначаємо з табл.4.11 [1], $s_4 = 22$ мм; D_2'' – зовнішній діаметр обмотки ВН, м.

$$\begin{aligned} \text{Тоді, } B &= D_2'' + (s_1 + s_2 + d_1 + s_3 + d_2) \cdot 10^{-3} = \\ &= 0,254 + (50 + 50 + 6,3 + 50 + 22 + 1,7) \cdot 10^{-3} = 0,434 \text{ м.} \end{aligned} \quad (6.5)$$

Мінімальна довжина бака:

$$A = 2 \cdot C + D_2'' + 2 \cdot s_5 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 0,262 + 0,254 + 2 \cdot 78,3 \cdot 10^{-3} = 0,935 \text{ м,} \quad (6.6)$$

де C – відстань між осями сусідніх стержнів, м;

$$s_5 = s_3 + d_2 + s_4 = 50 + 6,3 + 22 = 78,3 \text{ мм.} \quad (6.7)$$

Перевищення температури масла в верхніх шарах в цьому випадку буде:

$$\theta_{\text{м,в}} = 65 - \theta_{\text{о,м}_2,\text{ср}} = 65 - 18,3423 = 46,6577^\circ\text{С.} \quad (6.8)$$

Допустиме перевищення середньої температури масла над температурою охолоджуючого повітря для найбільш нагрітої обмотки:

$$\theta_{\text{м,в,в}} = 1,2 \cdot \theta_{\text{м,в}} = 1,2 \cdot 46,6577 = 55,9822^\circ\text{С} < 60^\circ\text{С.} \quad (6.9)$$

Приймаємо попередньо перепад температур на внутрішній поверхні стінки баку

$\theta_{\text{м,б}} = 5^\circ\text{С}$ та запас 2°С , знаходимо середнє перевищення температури зовнішньої стінки баку над температурою повітря:

$$\theta_{\text{б,в}} = \theta_{\text{м,в}} - \theta_{\text{м,б}} = 46,6577 - 5 - 2 = 39,6577^\circ\text{С.} \quad (6.10)$$

Для вибраного розміру бака розраховуємо орієнтовну поверхню конвекції гладкої стінки баку $\Pi'_{\text{к,гл}}$, якій дорівнює і орієнтовна поверхня випромінювання Π'_u цієї стінки, м^2 :

$$\Pi'_u = \Pi'_{\text{к,гл}} = [2 \cdot (A - B) + \pi \cdot B] \cdot H + \Pi_{\text{кр}} \cdot 0,5, \quad (6.11)$$

де A, B, H – розміри бака, м; $\Pi_{\text{кр}}$ – поверхня кришка бака, м^2 ; 0,5 – коефіцієнт, який враховує закриття частини поверхні кришки ізоляторами введів НН та ВН та різною арматурою, м^2 :

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{кр}} &= (A - B) \cdot (B + 0,16) + \pi \cdot \frac{(B+0,16)^2}{4} = (0,935 - 0,434) \cdot \\ &(0,434 + 0,16) + \pi \cdot \frac{(0,434+0,16)^2}{4} = 0,575 \text{ м}^2, \end{aligned} \quad (6.12)$$

$$\Pi'_u = \Pi'_{к,г\lambda} = [2 * (A - B) + \pi * B] * H + \Pi_{кр} * 0,5 = [2 * (0.935 - 0.434) + \pi * 0,434] * 1,33 + 0,575 * 0,5 = 5.24 \text{ м}^2. \quad (6.13)$$

Визначаємо орієнтовну поверхню конвекції бака з хвилями, необхідну для забезпечення отриманого значення $\theta_{б,в}$, м^2 :

$$\begin{aligned} \Pi_k &= \frac{1,05 * \sum P}{2,5 * \theta_{б,в} * 1,25} - 1,12 * \Pi'_u = \\ &= \frac{1,05 * (1917 + 543.5)}{2,5 * 39,6577 * 1,25} - 1,12 * 5.24 = 20.8, \end{aligned} \quad (6.14)$$

де $\sum P = P_k + P_x$ - сумарні розрахункові втрати трансформатора, Вт.

За розд. 9.6 [1] (стор. 436) вибираємо розміри однієї хвилі (рис.9.14):

- ширина повітряного каналу $a = 25$ мм;
- ширина масляного каналу $c = 10$ мм;
- глибина хвилі $b = 200$ мм;
- товщина стінки хвилі $\delta = 1,0$ мм;
- висота хвилястої стінки $H_{хв} = H - 0.1 = 1,33 - 0,1 = 1,23$ м.

Тоді, крок хвилі, мм:

$$t = (a + c + 2 \delta) = (25 + 10 + 2 * 1,0) = 37 \text{ мм}. \quad (6.15)$$

Розгорнута довжина хвилі, м:

$$\begin{aligned} l_{хв} &= [2(b - c) + (t - 2c) + \pi c] * 10^{-3} = (2b + t - 0,86c) * 10^{-3} = \\ &= (2 * 200 + 37 - 0,86 * 10) * 10^{-3} = 0,428 \text{ м}^2. \end{aligned} \quad (6.16)$$

Коефіцієнт, що враховує утруднення конвекції повітря у каналах між сусідніми хвилями:

$$K_{хв} = 1 - b^2 / (190 * a^2) = 1 - 200^2 / (190 * 25^2) = 0,663. \quad (6.17)$$

Кількість хвиль, необхідна для забезпечення орієнтовної поверхні конвекції всього бака з хвилями Π'_k :

$$m_{хв} = \frac{\Pi'_k - \Pi'_{к,г\lambda}}{H_{хв} (l_{хв} * K_{хв} - t)} = \frac{20.8 - 5.24}{1,23 * (0,428 * 0,663 - 0,037)} = 51.2. \quad (6.18)$$

Приймаємо кількість хвиль $m_{хв} = 51$.

Повна поверхня конвекції хвиль, м^2 :

$$\Pi_{к,хв.} = m l_{хв} H_{хв} K_{хв} = 51 * 1.23 * 0.428 * 0.663 = 17.8 \text{ м}^2. \quad (6.19)$$

Поверхня конвекції гладкої частини бака, м²:

$$\begin{aligned} P_{k,2l} &= [2(A - B) + \pi B] H - mtH_{xв.} + 0,5 P_{кр} = \\ &= [2 \cdot (0,935 - 0,434) + 3,1416 \cdot 0,434] \cdot 1,33 - \\ &\quad - 51 \cdot 0,037 \cdot 1,23 + 0,5 \cdot 0,575 = 2,92 \text{ м}^2. \end{aligned} \quad (6.20)$$

Повна поверхня конвекції бака з хвилями, м²:

$$P_k = P_{k,хв.} + P_{k,2l} = 17,8 + 2,92 = 20,7 \text{ м}^2. \quad (6.21)$$

При розташуванні всіх хвиль на прямолінійних частинах бокових поверхонь бака можна визначити реальну поверхню випромінювання, як

$$P'_u = P'_{k,2l} = 5,24 \text{ м}^2.$$

6.1. Визначення перевищення температури обмоток та масла над температурою оточуючого середовища.

Середнє перевищення температури стінки бака над температурою оточуючого середовища:

$$\theta_{б,в} = \left[\frac{k \cdot (P_x + P_k)}{2,8 \cdot P_u + 2,5 \cdot P_k} \right]^{0,8} = \left[\frac{1,05 \cdot (1917 + 543,5)}{2,8 \cdot 5,24 + 2,5 \cdot 20,7} \right]^{0,8} = 18,7^\circ\text{C}, \quad (6.22)$$

де $k = 1,05$ при індивідуальному розрахунку; P_x, P_k – втрати холостого ходу та короткого замикання, Вт.

Середнє перевищення температури масла поблизу стінки над температурою стінки бака:

$$\theta_{м,б} = k_1 \cdot 0,165 \cdot \left[\frac{k \cdot (P_x + P_k)}{\sum P_k} \right]^{0,6} = 1 \cdot 0,165 \cdot \left[\frac{1,05 \cdot (1917 + 543,5)}{5,24 + 20,7} \right]^{0,6} = 1,6^\circ\text{C}, \quad (6.23)$$

де $\sum P_k$ – сума поверхонь конвекції гладкої частини, хвиль, кришки без врахування коефіцієнтів покращення чи погіршення конвекції; k_1 – коефіцієнт, рівний 1,0 при природному масляному охолодженні.

Перевищення температури масла в верхніх шарах над температурою оточуючого середовища:

$$\theta_{м,в,в} = \sigma \cdot (\theta_{б,в} + \theta_{м,б}) = 1,2 \cdot (18,7 + 1,6) = 24,4^\circ\text{C}, \quad (6.24)$$

де коефіцієнт σ для баку з хвилями приймається рівним 1,2.

6.2. Наближене визначення маси конструктивних матеріалів і масла трансформатора.

Маса конструктивної сталі, кг:

$$G_{\text{ост}} = 0,1 * (G_{M1} + G_{M2} + G_{\text{отв1}} + G_{\text{отв2}} + G_{\text{ст}}) = \\ = 0,1 \cdot (15,0976 + 22,5294 + 1,9687 + 0,0581 + 250,2) = 29 \text{ кг.} \quad (6.25)$$

Маса картону в ізоляції, кг:

$$G_{\text{карт1}} = 0,135 * G_{M1} = 0,135 \cdot 15,0976 = 2 \text{ кг,} \quad (6.26)$$

$$G_{\text{карт2}} = 0,135 * G_{M2} = 0,135 \cdot 22,5294 = 3 \text{ кг.} \quad (6.27)$$

Маса бака, кг:

$$G_{\text{б}} = \gamma_{\text{ст}} * (\Pi_{\text{к}} * b_{\text{с}} + 2 * \Pi_{\text{кр}} * b_{\text{кр}}) = 7800 \cdot (20,7 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 0,575 \cdot \\ 0,9 \cdot 10^{-3}) = 88 \text{ кг,} \quad (6.28)$$

де $\gamma_{\text{ст}} = 7800 \text{ кг/м}^3$, $b_{\text{с}}$ та $b_{\text{кр}}$ - товщина стінок та кришки (і дна) бака відповідно.

Маса активної частини, тобто остова з обмотками (але без кришки), кг:

$$G_{\text{а,ч}} = 1,2 * (G_{M1} + G_{M2} + G_{\text{отв1}} + G_{\text{отв2}} + G_{\text{ст}}) = \\ = 1,2 \cdot (15,0976 + 22,5294 + 1,9687 + 0,0581 + 250,2) = 347 \text{ кг.} \quad (6.29)$$

Об'єм активної частини, м³:

$$V_{\text{а,ч}} = \frac{G_{\text{а,ч}}}{\gamma_{\text{а,ч}}} = \frac{347}{5500} = 0,063 \text{ м}^3, \quad (6.30)$$

де $\gamma_{\text{а,ч}} = 5500 \div 6000 \text{ кг/м}^3$

Внутрішній об'єм бака, м³:

$$V_{\text{б}} = \Pi_{\text{кр}} * H_{\text{а,ч}} = \left[(A - B) * B + \frac{\pi * B^2}{4} \right] * H = \left[(0,935 - 0,434) \cdot 0,434 + \right. \\ \left. \frac{\pi \cdot 0,434^2}{4} \right] \cdot 1,33 = 0,486. \quad (6.31)$$

Об'єм масла в хвилях, м³:

$$V_{\text{хв}} = c * \nu * H_{\text{хв}} * m_{\text{хв}} = 0,01 \cdot 0,2 \cdot 1,0435 \cdot 51 = 0,11. \quad (6.32)$$

Маса масла трансформатора, кг:

$$G_{\text{м}} = 1,05 * \rho_{\text{м}} * (V_{\text{б}} - V_{\text{а,ч}} + V_{\text{м,хв}}) = 1,05 \cdot 900 \cdot (0,486 - 0,063 + 0,11) = \\ = 503. \quad (6.33)$$

Об'єм масла в трансформаторі, м³:

$$V_{\text{м}} = \frac{G_{\text{м}}}{\rho_{\text{м}}} = \frac{503}{900} = 0,559. \quad (6.34)$$

де ρ_m – густина масла, $\rho_m = 900 \text{ кг/м}^3$.

7. Розрахунок робочих характеристик

7.1. Розрахунок залежності ККД від навантаження

Розрахунок залежності ККД від навантаження при $\cos \varphi_2 = 0,8$ та

$$\cos \varphi_2 = 1$$

ККД визначаємо за формулою:

$$\eta = 1 - \frac{\beta^2 \cdot P_k + P_x}{\beta \cdot S_N \cdot \cos \varphi_2 + \beta^2 \cdot P_k + P_x},$$

,де $\beta = \frac{I_2}{I_{2N}}$ – коефіцієнт завантаження; P_k, P_x – втрати короткого

замикання та холостого ходу, кВт; S_N – номінальна потужність трансформатора, кВ·А.

$$\beta := 0,0.1..1.2;$$

$$P_x = 0.66 \text{ кВт.}$$

$$P_k = 2.65 \text{ кВт.}$$

$$S_n = 160 \text{ кВт.}$$

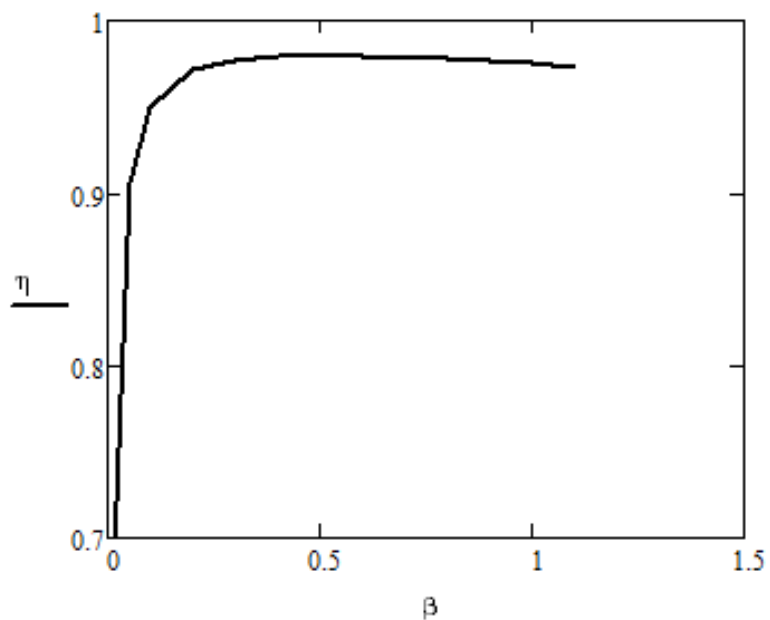
$$\cos \gamma_2 = 0.8$$

$$\eta_{0.8} = 1 - \frac{\beta^2 \times P_k + P_x}{\beta \times S_N \times \cos \gamma_2 + \beta^2 \times P_k + P_x}$$

	0
0	0.01
1	0.05
2	0.1
3	0.2
4	0.3
5	0.4
6	0.5
7	0.6
8	0.7
9	0.8
10	0.9
11	1
12	1.1

	0
0	0.66
1	0.906
2	0.949
3	0.971
4	0.977
5	0.979
6	0.98
7	0.979
8	0.979
9	0.978
10	0.976
11	0.975
12	0.973

Залежність $\eta = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 0,8$

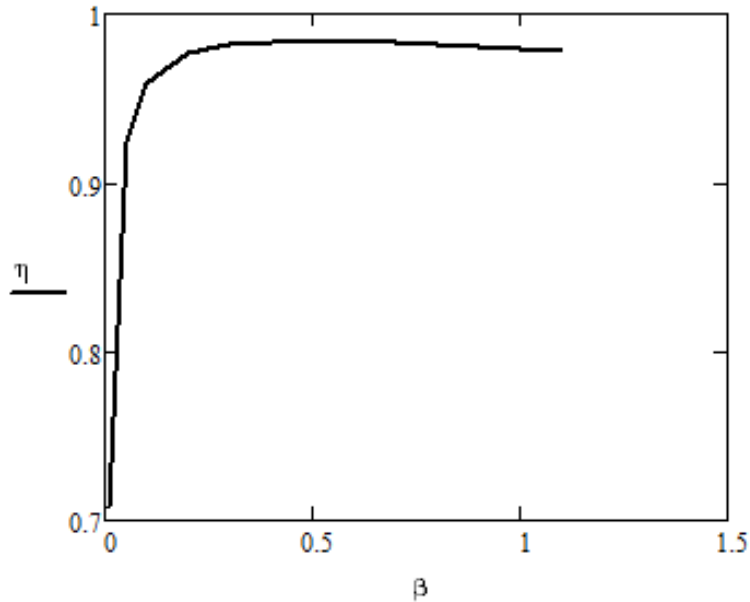


$$\cos \gamma_2 = 1$$

$$\eta_1 = 1 - \frac{\beta^2 \times P_K + P_X}{\beta \times S_N \times \cos \gamma_2 + \beta^2 \times P_K + P_X}$$

$\beta =$	0	$\eta =$	0
0	0.01	0	0.708
1	0.05	1	0.923
2	0.1	2	0.959
3	0.2	3	0.977
4	0.3	4	0.982
5	0.4	5	0.983
6	0.5	6	0.984
7	0.6	7	0.983
8	0.7	8	0.983
9	0.8	9	0.982
10	0.9	10	0.981
11	1	11	0.98
12	1.1	12	0.979

Залежність $\eta = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 1$.



7.2. Залежність вторинної напруги трансформатора від навантаження
 Розрахунок залежності вторинної напруги трансформатора від
 навантаження при $\cos \varphi_2 = 0,8$

Значення вторинної напруги визначаємо за формулою:

$$U_2' = U_{2N}' - \Delta U_1,$$

де $\Delta U_1 = (u_a \cdot \cos \varphi_2 + u_p \cdot \sin \varphi_2) \cdot \beta$; u_a, u_p – активна та реактивна складові напруги короткого замикання, %; U_{2N}' - 100% – номінальна напруга.

$$u_a = 1.509\%$$

$$u_p = 6.593\%$$

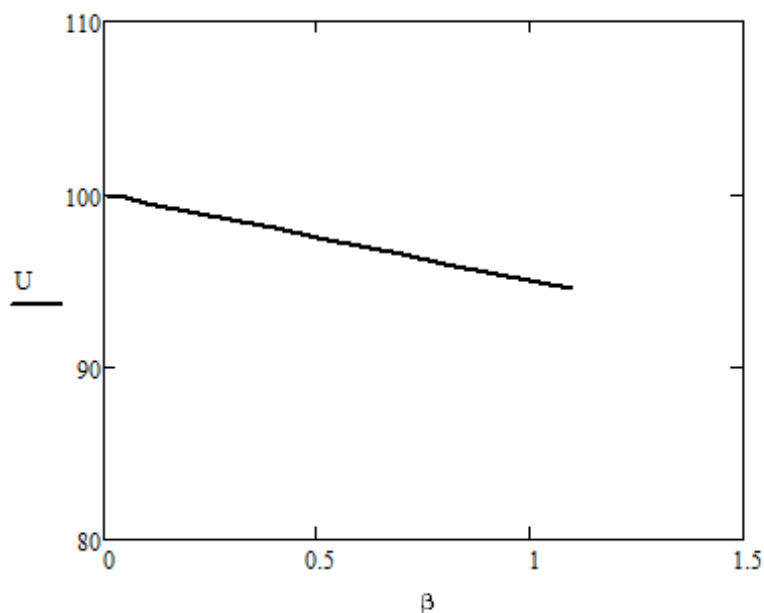
$$\cos \varphi_2 = 0.8$$

$$\sin \varphi_2 = 0.6$$

$$U_2(\beta) := U_{2N}' - (u_a \cdot 0.8 + u_p \cdot 0.6) \cdot \beta;$$

	0		0
0	99.95	0	0.01
1	99.75	1	0.05
2	99.499	2	0.1
3	98.999	3	0.2
4	98.498	4	0.3
5	97.998	5	0.4
6	97.497	6	0.5
7	96.996	7	0.6
8	96.496	8	0.7
9	95.995	9	0.8
10	95.494	10	0.9
11	94.994	11	1
12	94.493	12	1.1

Залежність $U_2 = f(\beta)$ при $\cos \varphi_2 = 0,8$.



8. Сучасне додаткове обладнання силових трансформаторів з масляним охолодженням.

Силовий трансформатор — стаціонарний прилад, трансформатор з двома або більше обмотками, який за допомогою електромагнітної індукції перетворює систему змінної напруги та струму в іншу систему змінної

напруги та струму, як правило, різних значень за тієї-ж частоти задля передавання електроенергії та її використання.



Трифазний силовий трансформатор трансформаторної підстанції відкритого типу



Трифазний силовий масляний трансформатор з вирізом у баку для демонстрації конструкції



Трансформатор ТДЦ-250000/220Т1; 15,75/235 кВ, 250 000 кВА. ТЕС
Джиджелъ 3-й блок, Алжир



Вводи 15,75 кВ, силового трансформатору ТДЦ-250000/220Т1 15,75/235 кВ. Розібрані кожухи шинопровідів, та ошиновка. ТЕС Джиджелъ 2-й блок, Алжир

Для забезпечення стабільної роботи і обслуговування СТ їх конструкція може включати наступні пристрої, іменовані навісним або додатковим обладнанням:

- Реле тиску газу, являє собою захисну систему. Якщо СТ переходить в нештатний режим роботи, то в результаті великого виділення тепла відбувається розкладання масла. Даний процес супроводжується виділенням газу. При його швидкому освіті спрацьовує захист, який відключає апарат від харчування і навантаження. Якщо процес газоутворення протікає повільно, включається оповіщення.

Термоіндикатори, показують нагрів масла в різних вузлах системи відводу тепла.



- Індикатор температури масла
- Вологопоглиначі. Застосовуються в негерметичних масляних системах відводу тепла, перешкоджають утворенню водяного конденсату.
- Системи маслорегенерації.
- Датчики тиску, якщо воно перевищує певний поріг, автоматично включається пристрій скидання для нормалізації.
- Датчик рівня заповнення масла в системі відводу тепла.

Трансформатори потужністю 160кВА і вище випускаються з термосифонного фільтрами, а меншої потужності - з поглинаючими патронами.

Термосифонний фільтр служить для безперервної регенерації масла в трансформаторі. Це сталевий циліндр, в який поміщають адсорбент - речовина,

що поглинає вологу і продукти розкладання масла. В якості адсорбенту застосовують селикагель. Селикагель - особливий вид кремнієвої кислоти.

Селикагель марки КСК роздрібнюваний або гранульований, великопористий, величина зерен 2-7мм. Обсяг термосифонного фільтра і кількість селикагеля вибирається 1% від маси масла в трансформаторі.

Перед насипанням у фільтр адсорбенти, доставлені в негерметичних упаковці, необхідно просушити прокалюванням при температурі 140 градусів протягом 8 годин або при 300 градусах протягом 2 годин. Адсорбенти одержувані в герметичній металевій тарі сушити не треба. Нагріте масло піднімається вгору, проходячи через фільтр з адсорбентом, очищається і потім надходить у нижню частину бака. Безперервна регенерація масла зберігає і покращує його якість, покращує відведення тепла від обмоток завдяки відсутності твердого осаду і шламу. ПТЕ встановлює такі терміни випробування масла:

-Не рідше 1 разу на 3 роки для трансформаторів, що працюють з термосифонного фільтрами

-Після КР - 1 паз на рік для трансформаторів без фільтрів

Взяття проби масла повинно виконуватися ретельно. Неправильно взята проба масла дає помилкові результати. Бруд, пил, волога, волокон, що потрапили в масло при відбор проби, приведуть до неправильного висновку про стан масла. Масло отримане глибоким очищенням нафти має високі електричні властивості, але при такому очищення з масла поряд із шкідливими домішками видаляють природні антиокислювачі, які могли б приєднувати поглинається маслом кисень. Така олія швидко старіє, стабільність його низька. Підвищення стабільності масла домагаються використанням спеціальних присадок ВТІ-1 у кількості 0.01-0.05% маси масла, що знижує кислотне число і подовжує термін служби масла в 2-3 рази.

У тих випадках, коли застосування масляних трансформаторів не допускається зважаючи на їх вибухо-і пожежонебезпеки, застосовують трансформатори з

негорючим заповнювачем або сухі. Заповнювачі: совтола, совол, піранол.

Совтола - негорюча охолоджуюча, ізолююча, вибухобезпечна. Це безбарвна або злегка жовтувата рідина, прозора, що не містить води і механічних домішок.

Совтола-10 застосовують тільки в герметизованих трансформаторах, так як він виділяє отруйні пари хлористого водню і хлору.

Сухі 3-х фазні силові трансформатори серії ТСЗ, виготовляють потужністю 630-1600кВА, 6-10кВ.

Мідні обмотки знаходяться в захищеному кожусі, ізольовані Склопряжа, просякнуті гліфталевих лаками і покриті емаллю.

Сухі трансформатори та є простішими в експлуатації і надійнішими. Однак вони значно дорожче масляних.

Повітроосушувач призначений для того, щоб через «дихальний» отвір розширювача не потрапляв вологий повітря. Осушувачі потрібно кріпити на стінцях розширювального бака або бака трансформатора. Повітря очищається в шарах силікагеля, проходячи через шари масла фільтрів. У рядах трансформаторів застосовується селікагелевий поглинавальний патрон, який встановлюють на кришці трансформатора біля розширювального бака або в розширнику. Селікагель по мірі зволоження утрачає свої властивості, тому його замінюють сухим. Ознакою зволоження служить заміна його кольорів, що дуже легко можна спостерігати через оглядове вікно воздухоосушувачів. Що розташоване в сітчастих патронах індикаторний селікагель міняє колір із блакитною на рожевого. При ревізії і зміні силікагел кожен з цих пристроїв знімають, розбирають, висипають відпрацьований селікагель. Усі внутрішні пустоти і деталі пристроїв витирають лахміттям, змоченим маслом. Ризиніві і азбестові ризинки змінюють новими. Маса силікагеля, котрий завантажують у фільтр, дорівнює 0.1-0.2% маси масла в трансформаторах.

Для захисту трансформатор від пошкоджень служить газове реле. Для роботи газового реле трансформатор при монтажі встановлюють так, щоб його кришка мала підйом у напрямку до газового реле не менше ніж на 1-1.5% висоти трансформатора, а маслопровод від трансформатора до розширника піднімався не менше ніж на 2-4%.

Газове реле встановлено на масляній магістралі, що з'єднує розширювач з баком трансформатора. У разі пошкодження всередині трансформатора у вигляді пробою ізоляції, контуру виток, локального нагрівання зливного театру тощо під дією високої температури відбувається розкладання масла та ізоляції з виділенням газоподібних продуктів. Виділені гази піднімаються до розширювача, накопичуються у верхній частині реле і викидають звідти масло. Через зниження рівня масла верхній поплавок опускається, що спрацьовує попереджувальний сигнал.

Якщо пошкодження в трансформаторі значні, наприклад, коротке замикання, газоутворення протікає більш інтенсивно, що викликає викид масла у бік розширювача. Це призводить до перекидання обох поплавців і відключення трансформатора.

Газовий захист може спрацьовувати хибно з наступних причин:

- Струси трансформатора в результаті дії великих струмів перевантаження, що проходять по його обмотках, а також наскрізних струмів КЗ за трансформатором
- Ненормальною вібрації при пуску і зупинці вентиляторів і циркуляційних насосів у трансформаторів з примусовими системами охолодження від виникаючих перетоків та поштовхів масла в трубопроводах.
- Внаслідок несвоєчасної доливання масла і зниження його рівня
- Неправильної установки трансформатора при якій можливий значний викид

повітря через газове реле, те ж може бути і при доливі масла в трансформатор.

Під час очищення та регенерації масла і всіх роботах в масляній системі, перевірці газового захисту або її неполадок відключає елемент газового захисту повинен бути переведений на сигнал. Введення газового захисту на відключення після виведення її з роботи проводиться через добу, якщо не було скупчення повітря в газовому реле, в іншому випадку включення виробляють через добу після припинення виділення повітря.

Якщо рівень масла в масломірному склі підвищився дуже високо і швидко, не можна до виявлення причини відкривати пробки, прочищати дихальну трубку без розмикання ланцюга відключення реле.

Якщо газовий захист спрацювала з дією на сигнал в результаті накопичився в реле повітря, необхідно випустить повітря з реле і перевести ланцюг відключення захисту на сигнал. При відключенні трансформатора від газового захисту і виявленні при перевірці в реле пального газу - повторне включення трансформатора **ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ**.

Про характер пошкодження в трансформаторі можна судити з аналізу газу з газового реле. Для цього збирається газ з газового реле в спеціальний прилад.

До лабораторного аналізу газу проводиться приблизна оцінка характеру пошкодження за такими ознаками.

Якщо газ не горить і без кольору і запаху, то це означає, що в трансформаторі повітря.

Якщо газ горить, то це означає, що мається внутрішнє ушкодження трансформатора, характер якого можна визначити за кольором газу:

- Біло-сірий колір газу вказує на пошкодження паперу або електрокартону

- Жовтий - на пошкодження дерева

- Чорний - на розкладання масла.

Запалювати газ безпосередньо на газовому реле ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ, так як при необережному поводженні можливий вибух верхньої кришки трансформатора

Контроль за станом ізоляції трансформатора під час експлуатації виконується систематичним вимірюванням опору ізоляції мегомметром напругою 2500В.

Стан ізоляції оцінюється за найменшим допустимому значенню R_{60} . За коефіцієнтом абсорбції K , ємнісним методом і по величині кута діелектричних втрат $\text{tg } \delta$, де R_{60} - опір ізоляції, виміряний після програми напруги мегомметра протягом 60 секунд.

Визначення якості пресування обмоток і магнітопроводу може бути виконане на підставі аналізу спектрального заслону вібрації на поверхні бака обладнання. Вимірювання проводяться в двох режимах: холостого ходу і навантаження. Передбачається, що в режимі холостого ходу вібрації викликані магнітострикцією в магнітопроводі, а в режимі навантаження додається вплив електромагнітних сил обмоток. При ослабленні стиснення магнітопроводу з'являються частоти 300-500-700 Гц. Зменшення сили стиснення обмотки призводить до зменшення на 200 Гц. Рівень стиснення обмоток можна також оцінити шляхом вимірювання власних частот коливань обмоток під впливом механічної дії. Метод заснований на впливі індукції на обмотки відключеного обладнання під час імпульсної механічної дії ЕРС, що може реєструватися на входах розширеного обладнання. Процес має вигляд згасаючих коливань.

Спектр цих коливань при різних стискаючих силах обмоток різний. **9. Охорона праці**

9.1 Вимоги безпеки під час монтажу і обслуговування силових масляних трансформаторів

Забороняється виконання роботи і з монтажу трансформаторних установок на відкритих підстанціях в тумані, при вітрі більше 6 балів (12 м/с), під час грозового дощу .

Виводи вторинних і первинних обмоток трансформаторних установок потрібно закортити накоротко і накласти заземлення на весь час проведення електромонтажних робіт. До початку сушки трансформатора електромагнітним струмом : корпуси (баки) трансформаторів слід занулити.

Виконувати роботи на трансформаторі слід з риштування, помоста чи драбини з площадкам, обгородженими поручням.

Стропування трансформатора повинно виконуватися за допомогою підйомних кронштейнів (гачків), які надаються виробником; у разі відхилення стропи від вертикалі більш ніж на 30 ° слід використовувати траверси.

Виконання робіт з підйомним механізмом стропального обладнання дозволяється особам, які пройшли навчання, сертифікацію та мають сертифікат стропальника відповідно до вимог ДНАОП 0.00-5.04-95 «Інструкція з безпечної роботи стропальників (гачків), що обслуговують крани. "Не дозволяється звільняти вантажопідймальний механізм (таль, домкрат тощо), який утримує устаткування, що монтується, до закінчення встановлення прокладки і закріплення його на опорі або фундаментах.

Під час зупинки при переміщенні трансформаторів потрібно підставити під катки упори (клинці).

Заборонено вставляти пальці між піднятими трансформаторами і фундаментом (опорами) під час нівелювання.

Заборонено виконання будь-яких робіт і перебування на трансформаторах або його частині під час його пересування.

Працювати під піднятою кришкою трансформатора дозволено тільки за умов, коли між кришкою і баком трансформаторів встановлено запобіжну прокладку, яка надійно утримує активну частину трансформатора.

Заборонено виконання робіт, якщо активна частина бака трансформатора знаходиться у підвішеному стані.

Промивання активної частини трансформаторної установки гарячим маслом потрібно в брезентовому костюмі, клейончастому фартусі з нагрудником, шкіряних ботах і резинових рукавицях.

Біля вихідного люка повинен знаходитись наглядач для контролю за роботою усередині трансформатора і для підтримки зв'язку з роблячими усередині людьми.

Перед оглядом бака трансформаторної установки із середини у кишенях одяг не повинно бути речей.

Виконання робіт усередині бака трансформатора потрібно після продування його повітрям для видалення інертних газів.

Під час виконання робіт всередині трансформатора потрібно застосовувати ручні вибухозахищені електричні світильники з лампами напругою 12 В.

Видаляти залишки масла з баків трансформаторів або чистити їх поверхню усередині потрібно тільки за умов, коли активна частина трансформатора вийнята, відведена у стороно і встановлена на дерев'яних підкладках, викладених горизонтально по ватерпасах.

Виконання зварювальних робіт на трансформаторі і маслоочисній апаратурі необхідно тільки після одержання дозволу на право виконання вогненних робіт.

Під час пайки одного відводу на трансформаторі інші відводи потрібно ізолювати, щоб уникати ураження працюючих наведеним струмом.

Заборонено виконання зварювальних робіт або пайки в приміщенні, в якому працює маслоочисна апаратура.

Заборонено охолодження деталі під час пайки водою.

Щоб запобігти виникненню електричного заряду в процесі заливання або зливання масла з високовольтних трансформаторів, їх виводи слід заземлити.

У процесі сушки масла потрібно постійно слідкувати за відсутністю його витікання з бака трансформатора і додержанням температурного режиму.

Місце сушки масла повинно бути огорожене. Не дозволено стороннім людям перебувати в обгородженій зоні.

Виконання вогнебезпечних та інших робіт, не пов'язаних з вимогами технологічного процесу, а також зберігання легкозаймистих матеріалів в обгородженій зоні не допускається.

Заборонено суміщення монтажних робіт на трансформаторі з роботами по його випробуванню.

9.2 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Не залишати робоче місце до повного закріплення трансформатора (його частин) або іншого монтажного обладнання.

Прибрати зайві предмети, інструменти і пристосування.

Віднести спецодяг і засоби індивідуального захисту в приміщення для їх зберігання.

Сповістити безпосереднього керівника про несправності механізмів, пристроїв і інструменту, виявлені під час роботи.

9.3. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі виникнення аварійних ситуацій (вибух або загорання трансформаторного масла, розрив стропів, монтажних петель тощо) слід припинити роботу.

Огородити небезпечну зону, залишити її, не допускати в неї сторонніх осіб.

Повідомити про аварійну ситуацію або нещасний випадок керівника робіт.

Якщо є потерпілий, надати йому першу домедичну допомогу; при необхідності, викликати швидку медичну допомогу.

Перша допомога при нещасних випадках.

У разі ураження електричним струмом необхідно якомога швидше звільнити потерпілого від струмопровідних частин обладнання. Дотик до струмоведучих частин (струмоведучих мереж) в більшості випадків призводить до м'язових спазмів, тобто людина не може відірватися від провідника. Тому необхідно швидко відключити ту частину електрообладнання, до якої торкається людина. Будь-яка затримка в

допомога, а також нездатність помічника надати кваліфіковану допомогу призводить до смерті людини, що знаходиться під впливом електрики.

При звільненні потерпілих від струмоведучих частин або проводу в електроустановках напругою до 1000 В відключіть струм, використовуючи сухий одяг, палицю, щит, шапку, сухі рукавички, рукав одягу, діелектричні рукавички. Жили нарізаються інструментом з ізольованими ручками, ріжуться сокирою за допомогою сухого дерев'яного сокири.

Постраждалого також можна відірвати від струмоведучих частин за допомогою одягу, уникаючи торкання оточуючих металевих предметів і відкритих частин тіла жертви. Смикаючи потерпілого за ноги, не торкайтеся його взуття, так як вона може намокнути і стати провідником електричного струму. Опікун повинен одягнути діелектричні рукавички або загорнути їх в

шарф, натягнути рукав куртки або пальто. Ви також можете ізолювати себе, стоячи на гумовому килимку, сухий дошці і т. Д.

Звільнивши постраждалого від дії струму, він повинен негайно надати необхідну медичну допомогу. Є три стану людського тіла через дії електричного струму:

- I стан - потерпілий у свідомості. Необхідно забезпечити повний спокій, 2-3 години спостереження, виклик лікаря.

- II стан - потерпілий без свідомості, але дихає. Покладіть людини горизонтально, розстебніть комір і пояс, вдихніть нашатирний спирт, викличте лікаря.

- III стан - потерпілий не дихає або дихає уривчасто, уривчасто. Робіть штучне дихання і непрямий масаж серця.

Якщо потерпілий приходить до тями після того, як його зняли з поразки електричним струмом і йому була надана медична допомога, його не можна

відправляти додому одного або дозволяти працювати. Такого потерпілого слід доставити в медичний заклад, де за ним буде спостерігатися, так як наслідки ураження електричним струмом можуть проявитися протягом кількох годин і привести до більш серйозних наслідків.

Перша допомога при опіках кислотами і лугами

Необхідно якнайшвидше та ретельніше видалити зі шкіри хімічний агент.

При опіках концентрованою кислотою уражену ділянку слід промити проточною холодною водою. При опіках лугами їх також змивають водою або слабким розчином оцтової або лимонної кислоти. Після цього на обпечену поверхню накладають суху чисту пов'язку.

При хімічному опіку звертайтеся по невідкладну медичну допомогу, якщо:

У потерпілого є ознаки шоку (втрата свідомості, блідість, поверхнєве дихання). Хімічний опік поширився глибше за перший шар шкіри і охоплює ділянку діаметром більше 7,5 см.

Хімічним опіком торкнулися очі, руки, ноги, лице, область паху, сідниць або великого суглоба, а також порожнина рота і стравохід (якщо потерпілий випив хімічну речовину).

Потерпілий відчуває сильний біль, який не вдається зняти за допомогою безрецептурних анальгетиків, наприклад, ацетаминофена або ібупрофена.

Увага!

При опіках негашеним вапном воду застосовувати не можна, оскільки при взаємодії з водою відбувається хімічна реакція з вивільненням тепла, що поглиблює опік. В цьому випадку слід обмивати рану олією, а вже потім лікувати, як звичайний опік. При ураженні органічними сполуками алюмінію також протипоказаний контакт з водою, так як можливо займання.

КАТЕГОРИЧНО ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ обробляти рану засобами на жирній основі (олія, масло, мазі на жирній основі, жиром (гусячим, свинячим, борсуковим, тощо); яєчним жовтком; молочними продуктами (кефіром, вершками, тощо); сечею; спиртовими розчинами, а також розчинами з барвниками; зубною пастою; відварами та розчинами не за призначенням.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

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

2. Андрієнко В.М., Куєвда В.П. "Електричні машини": Навч. Посібник – К.:НУХТ, 2010. – 366с.
3. Електричні машини[Електронний ресурс і методичні рекомендації до виконання дипломного проекту для студентів напрямку підготовки 6.050701(«Електротехніка та електротехнології» денної та заочної форми навчання за тематикою: «Проектування трифазного силового трансформатора з природнім масляним охолодженням)]]\ \ уклад. В.П.Куєвда –К.:НУХТ.2012
4. Сапожников А.В. Конструирование трансформаторов. М.-Л.: Госэнергоиздат,1959. 360 с.
5. *Теоретические сведения о силовых трансформаторах [Электронный ресурс]*
// Режим доступа: <http://www.transformator.in.ua/teoriya.php>
6. Современные методы комплексной диагностики силовых трансформаторов 35 кВ и выше [Электронный ресурс] // Режим доступа до журн.: <http://www.news.elteh.ru/arh/2006/38/16.php>
7. Алексеев Б.А. Контроль состояния (диагностика) крупных силовых трансформаторов: научное издание.
8. Види охолодження силових масляних трансформаторів.
[Електронний ресурс] // Режим доступу до журн.: <https://abc-firing.ru/types-of-cooling-power-oil-transformers-cooling-transformers-with-radiators-blown-by-fans-cooling-devices-of-oil-transformers/>