

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Аерокосмічний факультет

(назва інституту (факультету))

КАФЕДРА Автоматизації та енергоменеджменту

(повна назва кафедри)

ДОМАШНЄ ЗАВДАННЯ

з дисципліни «Електромеханічні перетворювачі електричної енергії»

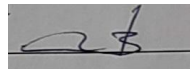
Галузь знань: 14 "Електрична інженерія"

Спеціальність: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Спеціалізація: Енергетичний менеджмент

Затверджено на засіданні кафедри
автоматизації та енергоменеджменту
Протокол № 14 від «28» 08 2023 р.

Викладач



доц. Тихонов В.В.

ВСТУП

У методичних рекомендаціях розглянуто питання виконання домашнього завдання щодо розрахунку параметрів трансформатора виходячи з основних паспортних даних.

У процесі виконання домашнього завдання студенти знайомляться з методикою розрахунків, вивчають матеріали, які використовуються при експлуатації трансформаторів. Це дозволяє проаналізувати вплив основних параметрів технічні характеристики трансформатора.

Завдання на домашнє завдання визначається згідно з додатком 1 відповідно до заданого номера варіанта. Номер варіанта визначається двома останніми цифрами номера залікової книжки.

Теоретична частина

Трансформатор являє собою статичний електромагнітний пристрій, призначений для перетворення змінного струму однієї напруги змінний струм іншого напруги тієї ж частоти.

Режими роботи трансформатора та ККД.

Схема заміщення реального двообмотувального трансформатора з урахуванням магнітних втрат представлена рис. 1.

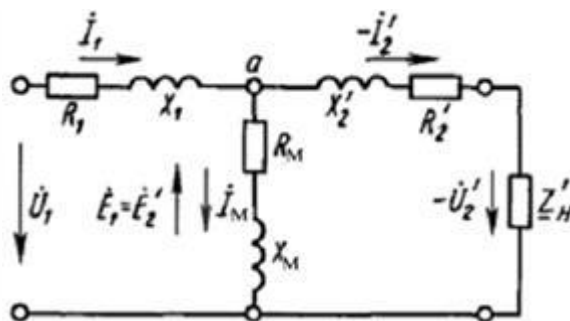


Рис. 1. Схема заміщення двообмотувального трансформатора з урахуванням магнітних втрат

На рис. 1 прийняті такі позначення: R_1 , X_1 - активний та індуктивний опір первинної обмотки; R_2' , X_2' - активний та індуктивний опір вторинної обмотки, наведений до первинної; R_M , X_M - активний та індуктивний опір гілки намагнічування; U_1 - первинна напруга; U_2' - вторинне напруження, наведене до первинного; I_1 , I_2' , I_M - струми у відповідних гілках.

Подана схема заміщення трансформатора описується такими рівняннями:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = R_1 \cdot \dot{I}_1 + j \cdot X_1 \cdot \dot{I}_1 + Z_M \cdot \dot{I}_M; \\ -\dot{U}_2' = R_2' \cdot \dot{I}_2' + j \cdot X_2' \cdot \dot{I}_2' + Z_M \cdot \dot{I}_M; \\ \dot{I}_M = \dot{I}_1 + \dot{I}_2'. \end{cases} \quad (2)$$

Враховуючи, що $Z_M \dot{I}_M = -\dot{E}_1$, система рівнянь набуде вигляду:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = R_1 \cdot \dot{I}_1 + j \cdot X_1 \cdot \dot{I}_1 - \dot{E}_1; \\ \dot{U}_2' = \dot{E}_1 - R_2' \cdot \dot{I}_2' - j \cdot X_2' \cdot \dot{I}_2'; \\ \dot{I}_M = \dot{I}_1 + \dot{I}_2'. \end{cases} \quad (3)$$

Параметри схеми заміщення трансформатора можна визначити за дослідом холостого ходу та короткого замикання.

При досліді холостого ходу до первинної обмотки за допомогою регулятора напруги (РН) підводять номінальну напругу $U_0 = U_{\text{ном}}$, а до вторинної – вольтметр (рис. 2).

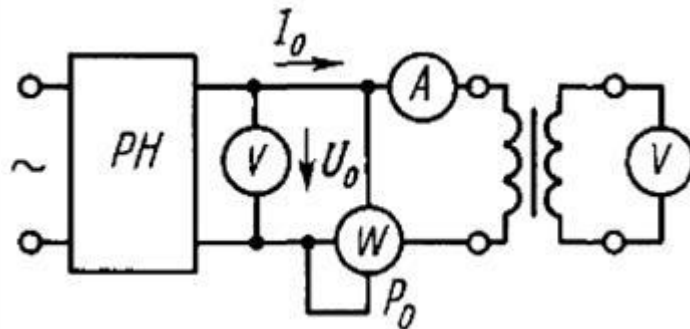


Рис. 2. Схема дослідження трансформатора у режимі холостого ходу

Вимірявши струм холостого ходу I_0 і P_0 потужність можна розрахувати опір:

$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0}, \quad R_0 = \frac{P_0}{I_0^2}, \quad X_0 = \sqrt{Z_0^2 - R_0^2}, \quad (4)$$

а також коефіцієнт трансформації

$$k = \frac{U_{10}}{U_{20}} \quad (5)$$

та коефіцієнт потужності холостого ходу

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{U_0 \cdot I_0} \quad (6)$$

Схема заміщення трансформатора (рис.1) в режимі холостого ходу має вигляд, рис. 3.

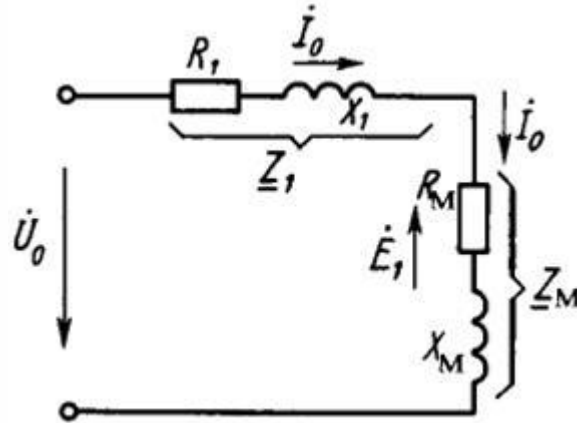


Рис. 3. Схема заміщення трансформатора в режимі холостого ходу

При холостому ході справедливі наступні співвідношення:

$$Z_0 = Z_1 + Z_M ; R_0 = R_1 + R_M ; X_0 = X_1 + X_M \quad (7)$$

Враховуючи, що в силових трансформаторах R_1 і X_1 набагато менше R_M і X_M , можна сказати, що

$$Z_0 \approx Z_M ; R_0 \approx R_M ; X_0 \approx X_M \quad (8)$$

З цієї причини потужність холостого ходу трансформатора дорівнює магнітним втратам у магнітопроводі. Ці втрати також називають втратами у сталі трансформатора.

У дослідженні короткого замикання вторинні обмотки замикаються коротко, а до первинних обмоток, щоб уникнути перегріву і пошкодження трансформатора, підводиться знижена напруга з таким розрахунком, щоб по обмотках проходив номінальний струм (рис. 4).

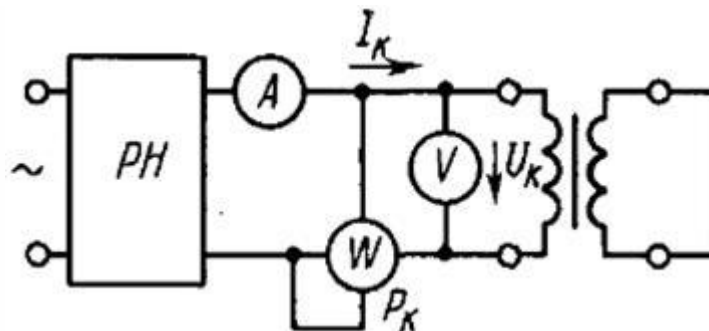


Рис. 4. Схема дослідження трансформатора як короткого замикання

Повне Z_K , активне R_K і реактивне X_K опору короткого замикання розраховуються за формулами, аналогічними випадку холостого ходу.

$$Z_K = \frac{U_K}{I_K}, \quad R_K = \frac{P_K}{I_K^2}, \quad X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}. \quad (9)$$

Відповідно до схеми заміщення (рис. 1):

$$Z_K = Z_1 + \frac{Z_M \cdot Z_2'}{Z_M + Z_2'}. \quad (10)$$

Так як Z_M у багато разів більше Z_2' , то в знаменнику можна знехтувати Z_2' , тоді

$$Z_K = Z_1 + Z_2'; \quad R_K = R_1 + R_2'; \quad X_K = X_1 + X_2'. \quad (11)$$

Зазвичай приймають

$$Z_1 = Z_2' = 0,5 \cdot Z_K; \quad R_1 = R_2' = 0,5 \cdot R_K; \quad X_1 = X_2' = 0,5 \cdot X_K. \quad (12)$$

Враховуючи (11) схему заміщення трансформатора (рис. 7.1) у режимі короткого замикання можна привести до виду, представленого на рис. 5.

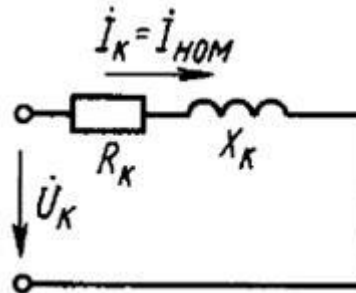


Рис. 5. Схема заміщення трансформатора в режимі короткого замикання

Таким чином, у режимі короткого замикання потужність витрачається на електричні втрати в обмотках трансформатора. Ці втрати також називають втратами у міді трансформатора.

Повні втрати потужності у трансформаторі при номінальному навантаженні:

$$\Delta P = P_0 + P_K. \quad (13)$$

При режимі, відмінному від номінального, слід враховувати коефіцієнт завантаження трансформатора, що впливає електричні втрати:

$$k_3 = \frac{I_2}{I_{2\text{ном}}} , (14)$$

де $I_{2\text{ном}}$ – номінальний струм вторинної обмотки.

Під номінальним слід розуміти такий режим роботи трансформатора, у якому основні параметри (потужність, напруга, струм) відповідають величинам, на які він розрахований за умовами нагрівання та безаварійної роботи протягом встановленого терміну служби.

У номінальному режимі трансформатор має найбільший коефіцієнт корисної дії та не перегрівається. Трансформатори можуть працювати і за неномінальних умов. Зазвичай, при навантаженні менше номінальної, ККД та коефіцієнт потужності менше номінальних. При навантаженнях більше номінальних виникає небезпека перегріву обмоток, що може призвести до передчасного виходу з ладу їхньої ізоляції.

Номінальний струм первинно обмотки може бути визначений за формулою:

$$I_{1\text{ном}} = \frac{S_{1\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{ном}}} , (15)$$

де $S_{1\text{ном}}$, $U_{1\text{ном}}$ - номінальна потужність і напруга первинної обмотки трансформатора.

Втрати потужності трансформатора за будь-якого режиму будуть визначатися за формулою:

$$\Delta P = P_0 + k_3^2 \cdot P_K . (16)$$

Потужність, що передається споживачам P_2 , дорівнює потужності, що споживається трансформатором з мережі P_1 за вирахуванням втрат ΔP :

$$P_2 = P_1 - \Delta P = P_1 - P_0 - k_3^2 \cdot P_K . (17)$$

Тоді коефіцієнт корисної дії трансформатора дорівнює:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} 100\% = \frac{P_2}{P_2 + P_0 + k_3^2 \cdot P_K} 100\% . (18)$$

Приклади розв'язання задач

Для трифазного трансформатора потужністю $S_{\text{ном}} = 100$ кВА, з'єднання обмоток якого Y-Y-0, відомо: $U_{\text{ном}} = 6000$ В, $U_{20} = 400$ В, $u_k = 5,5\%$, $P_k = 2400$ Вт, $P_0 = 600$ Вт, $I_0 = 0,07I_{\text{ном}}$ Вт. Визначити:

- 1) Опір обмоток трансформатора R_1, X_1, R_2, X_2 ;
- 2) Еквівалентний опір Z_0 та його складові R_0, X_0 ;
- 3) Коефіцієнт корисної дії при завантаженні 60% і $\cos\varphi_H = 0,87$.

Рішення.

Номинальний струм первинної обмотки:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} = \frac{100000}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 9,6 \text{ А.}$$

Струм холостого ходу:

$$I_0 = 0,7 \cdot I_{\text{ном}} = 0,7 \cdot 9,6 = 0,67 \text{ А.}$$

Опір короткого замикання:

$$z_k = U_{\text{кф}} / I_{\text{кф}} = u_k \cdot U_{\text{номф}} / I_{\text{ном}} = 0,055 \cdot 6000 / \sqrt{3} \cdot 9,6 = 19,6 \text{ Ом.}$$

У знаменнику утворюється множник $\sqrt{3}$, т.к. у довідкових даних вказується лінійне значення $U_{\text{ном}}$, а т.к. схема з'єднання Y-Y-0, то

$$U_{\text{номф}} = U_{\text{ном}} / \sqrt{3}.$$

$$r_k = P_k / 3I_k^2 = 2400 / 3 \cdot 9,6^2 = 8,7 \text{ Ом.}$$

(У знаменнику з'являється множник 3, тому що в довідкових даних значення P_k вказується сумарне для трьох фаз, а опори обчислюються для однієї фази.)

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} = \sqrt{19,6^2 - 8,7^2} = 17,9 \text{ Ом.}$$

Опір первинної обмотки:

$$r_1 = r_2 = 0,5 \cdot r_k = 0,5 \cdot 8,7 = 4,35 \text{ Ом.}$$

$$x_1 = x_2 = 0,5 \cdot x_k = 0,5 \cdot 17,9 = 8,95 \text{ Ом.}$$

Опір вторинної обмотки визначимо з огляду на коефіцієнт приведення:

$$k = \frac{U_{10}}{U_{20}} = \frac{U_{\text{ном}}}{U_{20}} = \frac{6000}{400} = 15$$

$$r_2 = r'_2 / k^2 = 4,35 / 225 = 0,0193 \text{ Ом.}$$

$$x_2 = x'_2 / k^2 = 8,95 / 225 = 0,0398 \text{ Ом.}$$

Опір гілки, що намагнічує:

$$z_0 = U_0 / I_0 = 6000 / \sqrt{3} \cdot 0,67 = 5180 \text{ Ом.}$$

$$r_0 = P_0 / I_0^2 = 600 / 3 \cdot 0,67^2 = 447 \text{ Ом.}$$

$$x_0 = \sqrt{5180^2 - 447^2} = 5160 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт корисної дії

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_2}{P_1} 100\% = \frac{k_3 \cdot S_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{H}}}{k_3 \cdot S_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi_{\text{H}} + P_0 + k_3^2 \cdot P_{\text{к}}} 100\% = \\ &= \frac{0,6 \cdot 100000 \cdot 0,87}{0,6 \cdot 100000 \cdot 0,87 + 600 + 0,6^2 \cdot 2400} 100\% = 97,3\%. \end{aligned}$$

Варіанти домашнього завдання

№ завдан-ня	Номинальна потужність S_n , кВ·А	U_n ВН, кВ	U_n НН, кВ	Схеми та групи з'єднання	Втрати, кВт		i_0 %	u_k %
					хх, P_0	кз $P_{кз}$		
1.	40	6	0,4	Y/Y	0,22	1,11	3,0	4,5
2.	40	10	0,4	Y/Y	0,23			
3.	60	6	0,4	Y/Y	0,24	1,28	2,8	4,5
4.	60	10	0,4	Y/Y	0,26			
5.	80	6	0,4	Y/Y	0,28	1,65	2,7	4,5
6.	80	10	0,4	Y/Y	0,30			
7.	100	6	0,4	Y/Y	0,33	1,97	2,6	4,5
8.	100	10	0,4	Y/Y	0,35			
9.	120	6	0,4	Y/Y	0,38	2,14	2,6	5,0
10.	120	10	0,4	Y/Y	0,40			
11.	140	6	0,4	Y/Y	0,44	2,34	2,5	5,0
12.	140	10	0,4	Y/Y	0,48			
13.	160	6	0,4	Y/Y	0,51	2,65	2,5	5,0
14.	160	10	0,4	Y/Y	0,55			
15.	180	6	0,4	Y/Y	0,60	2,88	2,4	5,0
16.	180	10	0,4	Y/Y	0,64			
17.	200	6	0,4	Y/Y	0,68	3,2	2,4	5,5
18.	200	10	0,4	Y/Y	0,70			
19.	220	6	0,4	Y/Y	0,72	3,4	2,4	5,5
20.	220	10	0,4	Y/Y	0,73			
21.	240	6	0,4	Y/Y	0,74	3,7	2,3	5,5
22.	240	10	0,4	Y/Y	0,76			
23.	260	6	0,4	Y/Y	0,80	4,0	2,2	5,5
24.	260	10	0,4	Y/Y	0,84			
25.	280	6	0,4	Y/Y	0,88	4,2	2,1	6,0
26.	280	10	0,4	Y/Y	0,90			
27.	300	6	0,4	Y/Y	0,96	4,5	2,1	6,0
28.	300	10	0,4	Y/Y	1,00			
29.	340	6	0,4	Y/Y	1,04	4,8	2,0	6,0
30.	340	10	0,4	Y/Y	1,1			