

## ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В ТРАНСФОРМАТОРАХ ПРИ ЇХ ПАРАЛЕЛЬНІЙ РОБОТІ

Проведено дослідження, які дають можливість запропонувати методику визначення коефіцієнта завантаження, при якому один з двох паралельно працюючих живлячих силових трансформаторів доцільно відключити з метою зменшення втрат активної електроенергії в трансформаторах.

Проведены исследования, дающие возможность предложить методику по определению коэффициента загрузки, при котором один из двух паралельно работающих питающих силовых трансформаторов целесообразно отключить с целью уменьшения потерь активной электроэнергии в трансформаторах.

The research to propose methods of determination of the load factor, at which it is advisable to switch off one of two parallel working power feeding transformers in order to reduce the losses of active energy in transformers, has been carried out.

В якості критерію для визначення доцільності виключення одного з двох паралельно працюючих трансформаторів пропонується прийняти зменшення втрат активної електроенергії. Згідно методики [1] втрати активної електроенергії в трансформаторах  $\Delta W_a$ , (кВт·год) визначаються за формулою:

$$W_a = P_{xx} \cdot \tau_{\Pi} + k_3^2 \cdot P_{кз} \tau_p, \quad (1)$$

де  $P_{xx}$  – активні втрати потужності в сталі трансформатора (втрати холостого ходу), кВт;

$\tau_{\Pi}$  – час приєднання трансформатора до мережі, год.;

$k_3$  – коефіцієнт завантаження трансформатора, що дорівнює відношенню середнього фактичного навантаження трансформатора до його номінальної потужності;

$P_{кз}$  – активні втрати потужності в міді обмотки трансформатора (втрати короткого замикання) при номінальному завантаженні, кВт;

$\tau_p$  – час роботи під навантаженням, год.

В [1] відмічається, що при зниженні завантаження трансформатора до значення  $K_3 \leq 0,3$ , у випадку паралельної роботи трансформаторів, один трансформатор має бути відключений у резерв (для підприємств та об'єктів III категорії за надійністю електропостачання).

З точки зору зменшення втрат активної потужності електроенергії в трансформаторах  $\Delta W_a$  (формула (1)) на значення цих втрат впливає не тільки  $k_3$ , а й  $\tau_p$ . Тобто, можливо, що при різ-

них  $\tau_p$  раціональне значення  $k_3$  може відрізнятися від  $K_3 \leq 0,3$ .

Розглянемо  $W_a = f(k_3, \tau_p)$  при різних  $k_3$  та  $\tau_p$ . Приймаємо  $\tau_p = 200$  год. на місяць (для підприємств, що працюють в одну зміну),  $\tau_p = 450$  год. на місяць (для підприємств, що працюють в дві зміни),  $\tau_p = 700$  год. на місяць (для підприємств, що працюють в три зміни) [1].

Вважаємо, що на паралельну роботу ввімкнені два однакових трансформатора. При повному виконанні умов паралельної роботи трансформаторів навантаження між ними розподілиться порівну [2]. Очевидно, що з точки зору забезпечення споживачів відключення одного з трансформаторів у резерв можливе при  $0 < K_3 \leq 0,5$ . Якщо відключення одного трансформатора здійснити при  $K_3 = 0,5$ , то другий буде працювати при  $K_3 = 1$ . Завантажувати трансформатор з  $K_3 > 1$  неприпустимо.

Приймаємо  $\tau_p = 744$  год., що відповідає місяцям, які мають тридцять одну добу (січень, березень, травень, липень, серпень, жовтень, грудень).

Якщо при відключення одного трансформатора другий працює з  $K_3 \leq 1$  і при цьому втрати активної енергії у порівнянні з варіантом, коли працюють обидва, зменшуються, то відключення є раціональним.

Розглянемо вищевикладене на конкретному прикладі. Нехай споживач живиться від двох

однакових трансформаторів з наступними даними для кожного [3].

Номинальна потужність  $S_{\text{ном}} = 400$  кВА;

Втрати холостого ходу  $P_{\text{хх}} = 0,95$  кВт;

Втрати короткого замикання  $P_{\text{кз}} = 5,5$  кВт.

Приймаємо  $\tau_p = 200$  год.;  $K_3 = 0,3$ .

За місяць при включенні обох трансформаторів:

$$W'_a = 2(0,95 \cdot 744 + 0,3^2 \cdot 5,5 \cdot 200) = 1611,6 \text{ кВт\cdotгод}$$

Якщо один трансформатор відключити, то втрати активної електроенергії  $W''_a$  за місяць у трансформаторі, що залишився у роботі, з урахуванням, що для нього  $K_3 = 0,6$ , дорівнюють:

$$W''_a = 0,95 \cdot 744 + 0,6^2 \cdot 5,5 \cdot 200 = 1102,8 \text{ кВт\cdotгод.}$$

$$W''_a = 1102,8 \text{ кВт\cdotгод} < W'_a = 1611,6 \text{ кВт\cdotгод.}$$

Тобто відключення одного з трансформаторів при  $K_3 = 0,3$ ,  $\tau_{\text{П}} = 744$  год.,  $\tau_p = 200$  год. є доцільним.

Аналогічні розрахунки виконані для різних значень  $K_3$  та  $\tau_{\text{П}}$ .

Результати зведені у табл. 1 (Зуваження. Параметри з одним штрихом відносяться до режиму, коли працюють обидва трансформатори, параметри з двома штрихами – до режиму, коли працює один трансформатор).

Таблиця 1

№ п/п	Коефіцієнт завантаження		$\tau_p$ , год	$\tau_{\text{П}}$ , год	$P_{\text{хх}}$ , кВт	$P_{\text{кз}}$ , кВт	$W''_a$ , кВт\cdotгод	$W'_a$ , кВт\cdotгод	Висновок
	$K_3''$	$K_3'$							
1	$K_3''$	0,6	200	744	0,95	5,5	1102,8	1611,6	$W''_a < W'_a$
	$K_3'$	0,3							
2	$K_3''$	0,6	450	744	0,95	5,5	1859,1	1597,8	$W''_a < W'_a$
	$K_3'$	0,3							
3	$K_3''$	0,6	700	744	0,95	5,5	2092,8	2106,6	$W''_a < W'_a$
	$K_3'$	0,3							
4	$K_3''$	0,4	200	744	0,95	5,5	882,8	1501,6	$W''_a < W'_a$
	$K_3'$	0,2							
5	$K_3''$	0,4	450	744	0,95	5,5	1102,8	1611,6	$W''_a < W'_a$
	$K_3'$	0,2							
6	$K_3''$	0,4	700	744	0,95	5,5	1322,8	1721,6	$W''_a < W'_a$
	$K_3'$	0,2							
7	$K_3''$	0,8	200	744	0,95	5,5	1410,8	1765,6	$W''_a < W'_a$
	$K_3'$	0,4							
8	$K_3''$	0,8	450	744	0,95	5,5	2686,8	2205,6	$W''_a > W'_a$
	$K_3'$	0,4							
9	$K_3''$	0,8	700	744	0,95	5,5	3170,8	26445,6	$W''_a > W'_a$
	$K_3'$	0,4							
10	$K_3''$	1	200	744	0,95	5,5	1806,8	1963,6	$W''_a < W'_a$
	$K_3'$	0,5							
11	$K_3''$	1	450	744	0,95	5,5	3181,8	2651,1	$W''_a > W'_a$
	$K_3'$	0,5							
12	$K_3''$	1	700	744	0,95	5,5	4556,8	3338,6	$W''_a > W'_a$
	$K_3'$	0,5							

Із табл. 1 видно, що при  $\tau_p = 200$  год. маємо  $W_a'' < W_a'$ , також при відключенні одного трансформатора при  $K_3' = 0,4$  (рядок 7), при  $K_3' = 0,5$  (рядок 10). Тобто, в залежності від значення  $\tau_p$  доцільність відключення другого трансформатора може бути не тільки при  $K_3' \leq 0,3$ , як це рекомендується в [1], а й при більших значеннях  $K_3'$  при певних значеннях  $\tau_p$ . При  $K_3' \leq 0,3$  відключення одного з трансформаторів доцільно при всіх значеннях  $\tau_p$ .

Пропонується наступна методика визначення коефіцієнта завантаження, при якому доцільно відключити один з двох паралельно працюючих живлячих споживача трансформаторів з урахуванням реальних значень  $\tau_p$ .

1. Згідно паспортних даних (або відповідних стандартів) приймаємо значення  $P_{XX}$ ,  $P_{K3}$  для кожного з двох трансформаторів.

2. Приймаємо значення  $\tau_{\Pi}$  та  $\tau_{p_i}$  згідно [1].

3. Задаємо декілька значень в інтервалі  $0 < K_3' \leq 0,5$ . (Наприклад,  $K_3' = 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5$ ).

4. Визначаємо  $K_3'' = 2K_3'$  відповідно при всіх значеннях  $K_3'$ .

5. Знаходимо  $W_a'$  як суму втрат у кожному трансформаторі.

$$W_a' = (P_{XX_1} \cdot \tau_{\Pi} + K_{3_1}'^2 \cdot P_{K_{3_1}'} \cdot \tau_{p_i}),$$

де  $\tau_{\Pi}$  – кількість годин у тому місяці, для якого ведеться розрахунок;

$\tau_{p_i} = 200; 450; 700$  год. [1].

6. Знаходимо  $W_a''$  відповідно до:

$$W_a'' = P_{XX_n} \cdot \tau_{\Pi} + (2K_{3_n}')^2 \cdot P_{K_{3_n}'} \cdot \tau_{p_i},$$

де  $P_{XX_n}$ ,  $P_{K_{3_n}'}$ ,  $K_{3_n}'$  – відповідно, втрати холостого ходу, короткого замикання, коефіцієнта завантаження трансформатора, який залишився включеним.

7. Із вищенаведеного знаходимо  $K_3'$  та  $\tau_p$ , при яких  $W_a'' < W_a'$ .

## Висновок

Питання про відключення одного з двох паралельно працюючих трансформаторів доцільно вирішувати не за ознакою зниження коефіцієнта завантаження до  $K_3 \leq 0,3$ , а за ознакою  $W_a'' < W_a'$ .

## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Методика визначення нераціонального (неефективного) використання паливно-енергетичних ресурсів [Текст] / Національне агентство України з питань забезпечення ефективного використання енергетичних ресурсів. – К.: Державна інспекція з енергозбереження, 2009.
2. Дубинець, Л. В. Електричні машини. Трансформатори. Асинхронні машини [Текст] : навч. посібник / Л. В. Дубинець, О. І. Момот, О. Л. Маренич. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2004. – 206 с.
3. ГОСТ 12022-76. Параметры холостого хода и короткого замыкания трехфазных масляных силовых трансформаторов общего назначения классов напряжения 10 и 35 кВ мощностью 25-630 кВА [Текст].

Надійшла до редколегії 16.03.2010.

Прийнята до друку 29.03.2010.