



УДК 621.311

ESTIMATION OF POWER TRANSFORMER ISOLATION LIFETIME IN PRESENCE OF HARMONICS AND ASYMMETRY

ВПЛИВ НЕСИНУСОЇДНОСТІ ТА НЕСИМЕТРІЇ НА ТЕРМІН СЛУЖБИ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Nykolyn U.M. / Николин У.М.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц

<https://orcid.org/0000-0001-9111-1280>

Nykolyn P.M. / Николин П.М.

<https://orcid.org/0000-0003-1453-8445>

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG),

Ivano-Frankivsk Karpatska 15, 76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019

Анотація. В роботі проведено оцінювання відносного терміну служби ізоляції трансформатора в залежності від значення додаткового нагрівання, зумовленого несинусоїдністю та несиметрією напруги. Визначено, що для розрахунку додаткового нагрівання обмоток трансформатора доцільно визначити температуру найбільш нагрітої точки ізоляції з врахуванням спотворення кривої напруги.

Ключові слова: силовий трансформатор, опір ізоляції, температура найбільш нагрітої точки, додаткові втрати потужності.

Вступ. В останні роки проблеми якості електроенергії і надійності електропостачання набули особливої актуальності. Якість електроенергії суттєво відображається на показниках економічності та надійності роботи електричних мереж, а також промислових і побутових споживачах.

Силові трансформатори порівняно з іншими елементами систем електропостачання (наприклад, повітряними та кабельними лініями, комутаційними апаратами) володіють доволі тривалим терміном служби. Однак відмови трансформаторів зумовлюють досить важкі наслідки, відновлення їхньої працездатності потребує тривалого часу та коштів, причому витрати на ремонт досить часто складають 60 % від початкової вартості трансформатора [1].

Як бачимо, обстеження та дослідження, спрямовані на визначення фактичного зношування та залишкового ресурсу силових трансформаторів як об'єктів з довготривалим терміном експлуатації є потрібними та досить актуальними.

Основна частина. Особливості економічного розвитку енергетики України в теперішній час зумовлюють експлуатацію значної кількості силових трансформаторів з тривалим терміном експлуатації, який перевищує розрахунковий в 1.5 – 2 рази. Адже встановлений оптимальний термін експлуатації трансформатора становить 25 років. В цілому майже всі трансформатори України слід було би зупинити, бо 25 років давно минуло. Тому спостереження за технічним станом трансформаторів вимагає прискіпливого контролю [1, 2]. Вихід з ладу будь-якого силового трансформатора зазвичай викликає дуже серйозні ускладнення як для



обленерго, так і для споживачів регіону.

Станом на сьогодні в Україні 98,8 % трансформаторів відпрацювало понад 25 років. Загалом 35,3 % відпрацювало понад 40 років. Більш як 50% силових трансформаторів ПС 220-750 експлуатується без проведення реконструкції. Їхня робота також ускладнюється за рахунок погіршення кліматичних умов (температурний максимум) в південному, південно-західному та дніпровському регіонах [2, 3].

Під час експлуатації трансформаторів в матеріалах, з яких вони виготовлені, внаслідок термічних, механічних впливів, електромагнітних полів, агресивного середовища, зниження показників якості електроенергії накопичуються незворотні зміни, які знижують міцність, порушують взаємодію окремих частин. Саме ці зміни у випадкові моменти часу можуть зумовлювати відмови складових елементів і, відповідно, цілого трансформатора.

Аналіз численних виробничих статистичних даних показав, що розподіл кількості відмов між елементами конструкцій трансформаторів напругою до 110 кВ наступний: значна частина відмов припадає на пошкодження виткової та поздовжньої ізоляції, наступним по кількості відмов елементом є головна ізоляція та магнітопровід, на пошкодження введів, баків, систем охолодження, перемикачів та інших елементів припадає найменша кількість відмов. Діаграма розподілу відмов елементів трансформаторів у відсотках наведена на рис. 1.

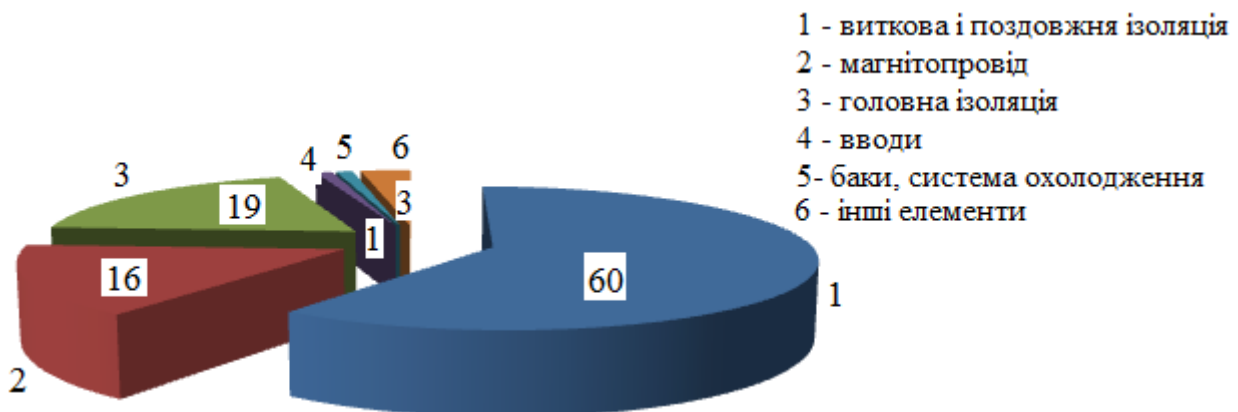


Рис. 1 – Діаграма відмов елементів трансформаторів (у %)

Вагомим чинником фізичного зношення ізоляції обмоток трансформатора та, відповідно, надійності функціонування є режим навантаження і, як наслідок, перегрів окремих частин відносно охолоджувального середовища. Причиною додаткового перегріву ізоляції (додаткових втрат) обмоток є зниження якості електроенергії, зокрема показників несинусоїдності та несиметрії напруги. Додаткові втрати активної потужності за умови несиметрії напруги представляють у вигляді суми додаткових втрат неробочого ходу і короткого замикання. При несинусоїдності напруги враховують ще й додаткові втрати, які обумовлені вихровими струмами. Ці втрати зазвичай невеликі і становлять у середньому 5% номінальних втрат КЗ трансформатора, однак при протіканні в трансформаторі струмів вищих гармонік, додаткові втрати різко зростають і можуть досягати 30 - 50%.



Силові трансформатори, які призначені для роботи з номінальною частотою, на сьогодні забезпечують живлення нелінійних навантажень, які генерують струми вищих гармонік. Ці гармонічні складові зумовлюють збільшення втрат, що призведе до ненормального підвищення температури і зменшить очікуваний термін служби. Під час оцінювання спільного впливу несинусоїдності і несиметрії напруг на додатковий нагрів трансформатора приймають допущення про відсутність їх взаємного впливу.

Сучасний підхід до дослідження процесів теплового старіння ґрунтується на використанні законів кінетики хімічних реакцій стосовно до ізоляційних матеріалів. З врахуванням рівняння Вант-Гоффа-Арреніуса термін служби ізоляції за температури τ визначається за виразом:

$$D = D_H \cdot \exp\left[-B \frac{\tau - \tau_{don}}{(\tau + 273)}\right] = D_H \cdot \exp\left[-B \frac{\Delta\tau}{(\tau + 273)}\right], \quad (1)$$

де D_H – термін служби ізоляції за номінально допустимої температури τ_{don} ;

B – безмірний коефіцієнт, який є постійним для ізоляції одного класу нагрівостійкості;

$\Delta\tau$ – додатковий нагрів трансформатора.

Старіння ізоляції слід розглядати як результат протікання взаємопов'язаних процесів хімічного і фізичного старіння. На хімічному рівні відбуваються незворотні процеси термічного розкладання і термоокислювальної деструкції, пов'язані зі змінами структури і складу матеріалу, його електрофізичних характеристик.

Досить часто доцільно оперувати відносними одиницями, які будуть зведені до номінальних умов. Тоді відносний термін служби ізоляції у функції перевищення температури можна визначити за наступним виразом

$$D_* = \frac{D}{D_H} = \exp\left[-B \frac{\Delta\tau}{(\tau + 273)}\right]. \quad (2)$$

Отже, щоб визначити термін служби ізоляції трансформатора, необхідно визначити додатковий нагрів обмоток, тобто розрахувати температуру найбільш нагрітої точки обмотки.

Найбільшого поширення в практичних розрахунках отримав метод визначення температури найбільш нагрітої точки обмотки трансформатора, регламентований низкою нормативних документів (стандарти ІЕС 354-1991-09, ANSI / IEEE Standard C57.91-1995 і ДСТУ 3463-96 [4]), згідно яких ця температура виражена як сума перевищення температури обмотки над температурою оливи у верхніх шарах, перевищення температури оливи у верхніх шарах над температурою охолоджуючої середовища і температури охолоджуючої середовища. Однак ця методика не враховує додаткове нагрівання обмоток, зумовлене несинусоїдністю та несиметрією.

Тому пропонується додаткове нагрівання обмоток визначати з врахуванням температури найбільш нагрітої точки обмотки і перевищення температури від дії вищих гармонік та несиметрії напруги



$$\Delta\tau = A \left(\frac{\Delta I^2}{I_H^2} + \frac{2\Delta I}{I_H} + \frac{\kappa_{2U}^2}{u_k^2} + \frac{1.291}{u_k^2} \sum_{v=2}^n \frac{1+0.05v^2}{v\sqrt{v}} U_{*v}^2 \right); \quad (3)$$

$$A = \frac{m\Delta\theta_{\text{topном}} \Delta P_K}{\Delta P_K + \Delta P_X} + n\Delta\theta_{\text{hotном}}. \quad (4)$$

де $\Delta I = I - I_H$;

I і I_H – струм навантаження та номінальний струм трансформатора;

$\kappa_{2U} = U_2/U_H$ – коефіцієнт зворотної послідовності напруг;

u_k – напруга КЗ у відн. од;

$U_{*v} = U_v/U_H$ – відносне значення напруги v -ї гармоніки;

m , n – показники степені для оливи і для обмотки відповідно, які залежать від типу системи охолодження трансформатора;

ΔP_X – втрати потужності неробочого ходу;

ΔP_K – втрати потужності КЗ;

$\Delta\theta_{\text{topном}}$ – перевищення температури оливи у верхніх шарах над температурою охолоджуючого середовища за умови номінального навантаження;

$\Delta\theta_{\text{hotном}}$ – перевищення температури найбільш нагрітої точки обмотки над температурою оливи у верхніх шарах за умови номінального навантаження.

Вираз (3) отримано для трансформаторів з системою охолодження ОН.

Також було проаналізовано залежність $D_* = f(\Delta\tau)$ для трансформатора ТМ-630/10 з урахуванням несинусоїдності та несиметрії напруг. Для розрахунку було прийнято наступні вихідні дані: $\Delta P_K = 8.5$ кВт; $\Delta P_X = 1.31$ кВт; $u_k = 5.5$ %; $I_H = 36.37$ А; $m = 0.8$, $n = 0.8$, $\Delta\theta_{\text{hotном}} = 23^\circ \text{C}$, $\Delta\theta_{\text{topном}} = 55^\circ \text{C}$; завантаження становить 70 % номінального значення, $D_H = 25$ років.

На рис. 2 наведена графічна залежність $D_* = f(\Delta\tau)$.

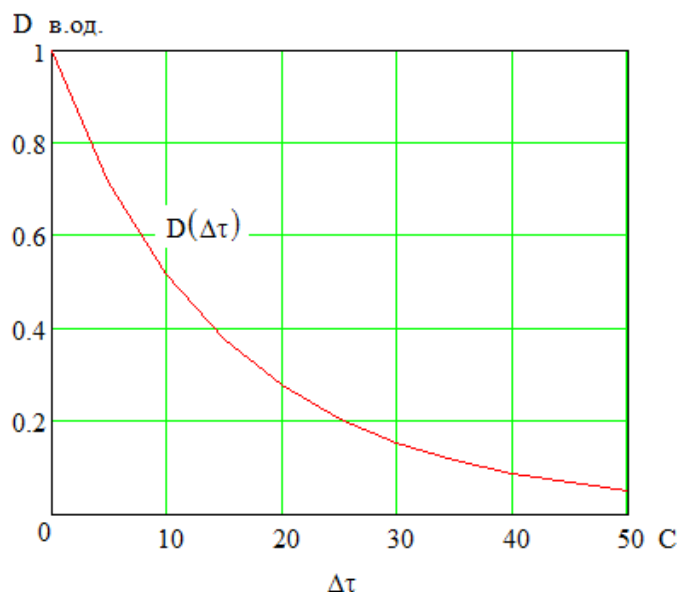


Рис. 2 – Залежність відносного терміну служби ізоляції СТ



Як бачимо з отриманої графічної залежності, додатковий нагрів ізоляції обмоток силового трансформатора зумовлює значне скорочення терміну служби агрегата.

Висновки.

1. Під час визначення терміну служби ізоляції трансформатора слід враховувати додаткове нагрівання, яке зумовлене додатковими втратами активної потужності, що виникають через протікання в них струмів зворотної послідовності і струмів вищих гармонік.

2. Удосконалено метод визначення температури найбільш нагрітої точки трансформатора, що враховує зміну температури охолоджуючої середовища, навантаження і параметрів несинусоїдальності і несиметрії напруг.

Література:

1. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Горпинич А.В. Расчёт надёжности силовых трансформаторов при наличии несинусоидальности и несимметрии напряжений // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2004. – Вип. 14. – С. 255 – 260.

2. Лучников В. А. Для чого Україні нові трансформатори і яка їхня вартість? [Електронний ресурс] / Режим доступу: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245026185&cat_id=35109

3. Технічна звітність НЕК «УКРЕНЕРГО» [Електронний ресурс] / Режим доступу: - <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/tehnichna/#>

4. ДСТУ 3463-96 Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів (ГОСТ 14209-97, ІЕС 354-91) – Чинний від 1999-01-01. – К.: Держстандарт України.

References:

1. I. Zhezhelenko, Yu. Saienko O. Horpynych. Calculation of the reliability of power transformers in the presence of non-sinusoidality and voltage asymmetry // News of Priazovsky State Technological University. – 2004. # 14. - P. 61-71.

2. V. Luchnikov. Why are new transformers in Ukraine and what is their cost? – On-line: http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/publish/article?art_id=245026185&cat_id=35109

3. Technical Reporting by NEC "UKRENERGO" – On-line: <https://ua.energy/diyalnist/zvitnist/tehnichna/#>

4. DSTU 3463-96. Manual on loading of power oil transformers

Abstract. In this work, an estimation of the relative lifetime of the transformer insulation is carried out, depending on the value of the additional heating caused by the non-sinusoidal and voltage asymmetry. It is determined that in order to calculate the additional heating of the windings of the transformer it is expedient to determine the temperature of the most heated point of isolation, taking into account the distortion of the voltage curve.

Key words: power transformer, insulation resistance, temperature of the most heated point, additional power losses.

Стаття відправлена: 22.12.2018 г.

©Николин У.М.