

УДК 621.313.33.004.58:004.67

ДІАГНОСТУВАННЯ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Безменнікова Л.М., к.т.н.,

Квітка С.О., к.т.н.,

Вовк О.Ю., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. +38(0619)423263.

Анотація – запропоновано математичну модель діагностування функціонального стану силових трансформаторів, яка дозволяє отримати інформацію про тепловий стан обмоток трансформатора в будь-який момент часу.

Ключові слова – математична модель діагностування, параметри діагностування, ресурс ізоляції обмоток, швидкість теплового зносу ізоляції обмоток, температура обмоток, допустимий імпульс квадрата надструму, кратність сили струму.

Постановка проблеми. В сучасних умовах економічного розвитку однією із основних задач господарювання стає питання продовження експлуатації електрообладнання понад встановлений термін служби із забезпеченням надійності його роботи. Ті капітальні вкладення, що здійснюються на цей час в електроенергетичну галузь, є незначними і не вирішують загальної проблеми надійної експлуатації електрообладнання, яке в переважній більшості було введено в роботу 20-30 років тому назад. За умови обмеженого фінансування здійснюється перехід на експлуатацію обладнання за технічним станом. Це особливо актуально, коли нормативний термін експлуатації вже вичерпано, а обладнання знаходиться ще у робочому стані.

Відомо, що роботоздатність електрообладнання визначається його технічним станом і пов'язана із залишковим робочим ресурсом, а саме с залишковим ресурсом ізоляції. На даний час в експлуатації електрообладнання здійснено перехід від системи планово-попереджувальних ремонтів, яка передбачала технічне обслуговування і ремонт електричного обладнання через визначені терміни, до системи обслуговування за технічним станом електрообладнання [1]. Переваги такого підходу очевидні, оскільки відпадає необхідність виконання комплексу профілактичних робіт на обладнанні, яке має задовільний технічний стан. Відомо, що будь-яке втручання в електрообла-

днання, проведене навіть фахівцями високого рівня, призводить до зниження надійності і зменшення терміну служби.

Експлуатація електрообладнання за технічним станом вимагає отримання додаткової інформації, з якої можливо з'ясувати реальний технічний стан електрообладнання та прогнозувати можливість і час його подальшої експлуатації в умовах зміни інтенсивності зовнішніх впливів. Такий підхід передбачає встановлення на обладнання додаткових сенсорів, за інформацією з яких можливе пряме або опосередковане визначення залишкового робочого ресурсу, що і передбачається в процесі діагностування електрообладнання.

Тому необхідна розробка та впровадження приладів безперервного контролю режимів роботи силових трансформаторів сільських підстанцій. А для цього потрібно визначити параметри безперервного контролю та встановити взаємозв'язок між ними і функціональним станом силового трансформатора.

Метою функціонального діагностування силових трансформаторів є забезпечення найбільш економічної його експлуатації при заданому рівні надійності і скороченні до мінімуму витрат на технічне обслуговування та ремонт. Ця мета досягається шляхом відслідковування технічного стану електрообладнання в процесі експлуатації, що дозволяє своєчасно запобігати відмовам, скорочувати простой через пошкодження, проводити комплекс заходів для підтримки його роботоздатності відповідно до даних діагностування [2, 3].

Аналіз останніх досліджень. Як відомо, не існує єдиних підходів до визначення технічного стану силових трансформаторів, тому для виявлення ознак технічного стану адаптуються вже відомі рішення. Слід зазначити, що в деяких випадках необхідна інформація надається в технічному паспорті, що частково спрощує аналіз його функціонування та можливість автоматизації процесу діагностування. Якщо параметри режиму роботи вимірювати та передавати порівняно просто, то інформацію про технічний стан ізоляції обмоток в багатьох випадках отримати дуже складно.

Останнім часом в енергогосподарствах проводиться заміна застарілого обладнання сучасним, створеним з використанням новітніх досягнень науки і техніки, яке дозволяє виводити всі параметри режиму та технічного стану силового обладнання на екран комп'ютера автоматизованої системи керування технологічним процесом [4–6]. Але, для трансформаторів сільських підстанцій такі системи керування не розроблено.

Статистика пошкоджень, що виникають в силових трансформаторах, свідчить, що 48% – через пошкодження ізоляції, 14% – недостатньою стійкістю при коротких замиканнях, 12% – через спрацювання ізоляції [7]. З аналізу літературних джерел встановлено, що па-

раметрами діагностування процесів теплового зношення ізоляції є: кратність сили струму, що споживається силовим трансформатором; перевищення температури обмоток над температурою навколишнього середовища; температура обмоток; температура масла; швидкість теплового зношення ізоляції обмоток [5–9].

Мета статті. В роботі поставлена задача на основі аналізу режимів роботи та теплових процесів у силових трансформаторах розробити математичну модель діагностування функціонального стану силових трансформаторів сільських підстанцій.

Основна частина. Для оперативного контролю функціонального стану силових трансформаторів, без відключення від мережі, пропонується математична модель діагностування. Дана математична модель дозволяє отримати інформацію про тепловий стан обмоток трансформатора, в будь-який момент часу, контролюючи температуру масла та силу струму навантаження, а також встановити залежність швидкості теплового зношення ізоляції обмоток від перевищення температури обмоток над температурою навколишнього середовища та визначити термін служби трансформатора за витратами ресурсу ізоляції.

Математична модель має вигляд:

Витрата ресурсу ізоляції обмоток фаз:

$$E_A = \Delta t_i \sum_{i=1}^n \varepsilon_{Ai};$$

$$E_B = \Delta t_i \sum_{i=1}^n \varepsilon_{Bi};$$

$$E_C = \Delta t_i \sum_{i=1}^n \varepsilon_{Ci},$$

де Δt – проміжок часу контролю, с;

ε_{Ai} , ε_{Bi} , ε_{Ci} – відповідно швидкість теплового зносу ізоляції обмоток фаз «А», «В», «С» на i -ій ділянці, б.год/год.

Швидкість теплового зносу ізоляції обмоток фаз на i -ій ділянці:

$$\varepsilon_{Ai} = \varepsilon_H \cdot e^{B \left(\frac{1}{\Theta_{1H}} - \frac{1}{\Theta_{Ai}} \right)};$$

$$\varepsilon_{Bi} = \varepsilon_H \cdot e^{B \left(\frac{1}{\Theta_{1H}} - \frac{1}{\Theta_{Bi}} \right)};$$

$$\varepsilon_{Ci} = \varepsilon_H \cdot e^{B \left(\frac{1}{\Theta_{1H}} - \frac{1}{\Theta_{Ci}} \right)},$$

де ε_H – номінальна швидкість витрати ресурсу ізоляції, б.год/год;

B – параметр, що характеризує клас ізоляції, K ;

Θ_{1H} – абсолютна тривало допустима (номінальна) температура ізоляції, K ;

Θ_{Ai} , Θ_{Bi} , Θ_{Ci} – відповідно абсолютна поточна температура ізоляції фаз «А», «В», «С» на i -ій ділянці, $^{\circ}C$.

Абсолютна поточна температура ізоляції фаз:

$$\Theta_{1Ai} = \vartheta_{1Ai} + 273;$$

$$\Theta_{1Bi} = \vartheta_{1Bi} + 273;$$

$$\Theta_{1Ci} = \vartheta_{1Ci} + 273,$$

де ϑ_{Ai} , ϑ_{Bi} , ϑ_{Ci} – відповідно поточна температура обмоток фаз «А», «В», «С» на i -ій ділянці, $^{\circ}C$.

Поточна температура обмоток фаз:

$$\vartheta_{Ai} = \vartheta_{mi} + \Delta_{A_{\text{уст}(i)}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}}\right) + \left(\Delta_{A(i-1)} + (250 + \Delta_{A(i-1)}) \cdot e^{\gamma \cdot \Pi_{Ii}} - 250\right) \cdot e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}};$$

$$\vartheta_{Bi} = \vartheta_{mi} + \Delta_{B_{\text{уст}(i)}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}}\right) + \left(\Delta_{B(i-1)} + (250 + \Delta_{B(i-1)}) \cdot e^{\gamma \cdot \Pi_{Ii}} - 250\right) \cdot e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}};$$

$$\vartheta_{Ci} = \vartheta_{mi} + \Delta_{C_{\text{уст}(i)}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}}\right) + \left(\Delta_{C(i-1)} + (250 + \Delta_{C(i-1)}) \cdot e^{\gamma \cdot \Pi_{Ii}} - 250\right) \cdot e^{-\frac{\Delta t_i}{T_{\text{эк}}}},$$

де ϑ_{mi} – поточна температура масла, $^{\circ}C$;

$\Delta_{A_{\text{уст}(i)}}$, $\Delta_{B_{\text{уст}(i)}}$, $\Delta_{C_{\text{уст}(i)}}$ – відповідно усталені значення абсолютних перевищень температур обмоток у фазах на i -ій ділянці, $^{\circ}C$;

$T_{\text{эк}}$ – еквівалентна постійна часу нагріву, s ;

$\Delta_{A(i-1)}$, $\Delta_{B(i-1)}$, $\Delta_{C(i-1)}$ – відповідно абсолютних перевищень температур обмоток у фазах на $(i-1)$ -ій ділянці, $^{\circ}C$;

γ – коефіцієнт, що характеризує конструктивні параметри трансформатора, $1/A^2$;

Π_{IAi} , Π_{IBi} , Π_{ICi} – відповідно імпульс квадрата надструму у фазах на i -ій ділянці, $A^2 \cdot s$.

Імпульс квадрата надструму в фазах трансформатора на i -ій ділянці:

$$\Pi_{IAi} = I_H^2 \cdot k_{Ai}^2 \cdot t_{cm};$$

$$\Pi_{IBi} = I_H^2 \cdot k_{Bi}^2 \cdot t_{cm};$$

$$\Pi_{ICi} = I_H^2 \cdot k_{Ci}^2 \cdot t_{cm},$$

де t_{cm} – час дії надструму, s .

Кратність сили струму у фазах:

$$k_{Ai} = \frac{I_{Ai}}{I_H};$$

$$k_{Bi} = \frac{I_{Bi}}{I_H};$$

$$k_{Ci} = \frac{I_{Ci}}{I_H},$$

де I_H – номінальне значення сили струму в фазах трансформатора, A ;
 I_{Ai} , I_{Bi} , I_{Ci} – відповідно сили струму в фазах силового трансформатора на i -ій ділянці, A .

Висновки.

1. Розроблена математична модель діагностування функціонального стану силових трансформаторів сільських підстанції. Дана математична модель дозволяє отримати інформацію про тепловий стан обмоток трансформатора, контролюючи температуру масла, силу струму в його фазах.

2. Дана математична модель дозволяє визначити допустиме значення квадрата імпульсу надструму для оцінки теплових процесів і величини додаткового зносу ізоляції силового трансформатора при дії надструму.

3. Функціональний стан силових трансформаторів пропонується контролювати за наступними показниками: температурою обмоток, швидкістю теплового зношення ізоляції обмоток та витратами ресурсу ізоляції.

Література

1. Сазыкин В.Г. Организационные аспекты эксплуатации изношенного электрооборудования / В.Г. Сазыкин // Промышленная энергетика. – 2000. – №4. – С. 28–35.

2. Березницький Д.О. Мікропроцесорна реалізація пристрою діагностування системи захисту зниження вакууму турбіни / В.В. Грабко, Д.О. Березницький // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2005. – № 45. – С. 430–431.

3. Эксплуатация силовых трансформаторов при достижении предельно допустимых показателей износа изоляции обмоток / [Ванин Б.В., Ю.Н. Львов, М.Ю. Львов, Л.Н. Шифрин]. // Электрические станции. – 2004. – № 2. – С. 56–60.

4. Макаревич Л. В. Современные тенденции в создании и диагностике силовых трансформаторов больших мощностей / Л. В. Макаревич, Л.Н. Шифрин, М.Е. Алпатов // Известия Академии наук. Энергетика. – 2008. – № 1. – С. 45–69.

5. Monitoring of Winding Displacement in HV Transformer in Service / [R. Malewski, A.Yu. Khrennikov, O.A. Shlegel, A.G. Dolgoplov]. // CIGRE. – Italy, Padua, 1995, 4-9 Sept.

6. О регенерации целлюлозной изоляции обмоток силовых трансформаторов с длительным сроком эксплуатации / [В.Б. Комаров, М.Ю. Львов, Ю.Н. Львов и др.]. // Электрические станции. – 2004. – № 6. – С. 63–67.

7. Безменнікова Л.М. Аналіз причин пошкоджень силових трансформаторів сільських споживчих підстанцій / Л.М. Безменнікова // Праці ТДАТУ. – Випуск 8. Т.10. – Мелітополь: ТДАТУ, 2008. – С.74-79.

8. Experiences from on-site transformers oil reclaiming/ O. Berg, K. Herdlevær, M. Dahlung a.o. – Session 2002 CIGRE.

9. Pantic V.A. Extension of the lifetime and increase of the transformer operation safety on the grid / V.A. Pantic, D.V. Pantic, B. Microsavljjevic. – Session 2002 CIGRE.

10. Безменнікова Л.М. Аналітичне дослідження залежності температури обмоток силового трансформатора у функції температури масла і кратності сили струму. / Л.М. Безменнікова, В.В. Овчаров // Праці ТДАТА. – Вип. 32. – Мелітополь: ТДАТА, 2005. – С. 39–43.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Безменникова Л.Н., Квитка С.А., Вовк А.Ю.

Аннотация

Предложена математическая модель диагностирования функционального состояния силовых трансформаторов, которая позволяет получить информацию о тепловом состоянии обмоток трансформатора в любой момент времени.

THE DIAGNOSTIC POWER TRANSFORMER

L. Bezmennikova, S. Kvitka, A. Vovk

Summary

It is offered mathematical model diagnostic functional condition power transformer, which allows getting information on тепловом condition windings of the transformer, any time times.