

УДК 631.371:621.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООВОГО ЗНОСУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПІД ДІЄЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ

Безменнікова Л. М., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (042) 42-32-63

Анотація – стаття присвячена розробці моделі функціонального діагностування силового трансформатора на базі процесів нагріву силового трансформатора при несиметричному навантаженні з урахуванням|з врахуванням| температурних умов навколишнього середовища. Розроблена модель дозволяє визначати температуру найбільш нагрітої точки фази силового трансформатора залежно від температури верхніх шарів масла|мастила,олії| і кратності сили струму, а також сумарний тепловий знос ізоляції.

Ключові слова – експлуатаційні фактори, процес нагріву, температура найбільш нагрітої точки, температури верхніх шарів масла, кратності сили струму, тепловий знос ізоляції|мастила,олії|.

Постановка проблеми. Силкові трансформатори сільських трансформаторних підстанцій, як правило, працюють з нерівномірним графіком навантаження, середньодобове відхилення може досягати 50% [1].

При цьому трансформатор зазнає дію токів короткого замикання, пускових токів, перенапруги, вібрації, коливань температури, вологості навколишнього середовища (як добового, так і сезонного).

Всі ці експлуатаційні фактори призводять до підвищення температури активних частин трансформатора понад допустимих значень, трансформатор перегрівається. А це призводить до зниження строку служби або виходу з ладу трансформатора.

Аналіз останніх досліджень. З аналізу літературних джерел встановлено, що наявна система технічного обслуговування (ППРЕст) [2] є регламентною і використовує стратегію відновлення за відмовою і наробітком на відмову, а тому завжди маємо втрати і відмови. Цю проблему можна вирішити на основі комбінованої системи обслуго-

ування, яка складається з системи ППРЕсг і неперервного діагностування технічного стану силового трансформатора.

Основна частина. Для оперативного контролю експлуатаційних режимів роботи силового трансформатора споживчих підстанції розроблена математична модель теплових процесів, яка дозволяє одержати інформацію про температурний стан обмоток і швидкості теплового зносу ізоляції трансформатора, у будь-який момент часу, контролюючи температуру масла, силу струму в його фазах, а також визначити допустиме значення квадрата імпульсу надструму для оцінки теплових процесів і величини додаткового зносу ізоляції силового трансформатора при дії надструму [3].

Математична модель має вигляд:

Витратою 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 і – її ділянці, бг/г.

Швидкість теплового зносу ізоляції обмоток фаз на і – її ділянці:

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

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

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

де ε_n - номінальна швидкість витрати ресурсу ізоляції, бг/г;

B - параметр, що характеризує клас ізоляції, К;

Θ_{1H} - абсолютна тривало допустима (номінальна) температура ізоляції, К;

Θ_{Ai} , Θ_{Bi} , Θ_{Ci} - відповідно абсолютна поточна температура ізоляції фаз «А», «В», «С» на і – її ділянці, °С.

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 – її ділянці, °С.

Поточна температура обмоток фаз:

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

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

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

де ϑ_{mi} - поточна температура масла, °С;

$\Delta_{A_{\text{уст}}(i)}$, $\Delta_{B_{\text{уст}}(i)}$, $\Delta_{C_{\text{уст}}(i)}$ - відповідно усталені значення абсолютних перевищень температур обмоток у фазах «А», «В», «С» на i – її ділянці, оС ;

$T_{\text{эк}}$ - еквівалентна постійна часу нагріву, с;

$\Delta_{A(i-1)}$, $\Delta_{B(i-1)}$, $\Delta_{C(i-1)}$ - відповідно абсолютних перевищень температур обмоток у фазах «А», «В», «С» на $(i-1)$ – її ділянці, оС ;

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

Π_{IA_i} , Π_{IB_i} , Π_{IC_i} - відповідно імпульс квадрата надструма у фазах «А», «В», «С» на i – її ділянці, $A^2 \cdot c$.

Усталені значення абсолютних перевищень температур обмоток для кожної фази:

$$\Delta_{A_{\text{уст}}} = \frac{a \cdot k_A^2 \cdot (n + \alpha \cdot P_{2H} \cdot \Lambda_{23}) + m}{\frac{1}{P_{2H}} \cdot b - \alpha \cdot a \cdot k_A^2 \cdot d} ;$$

$$\Delta_{B_{\text{уст}}} = \frac{a \cdot k_B^2 \cdot (n + \alpha \cdot P_{2H} \cdot \Lambda_{23}) + m}{\frac{1}{P_{2H}} \cdot b - \alpha \cdot a \cdot k_B^2 \cdot d} ;$$

$$\Delta_{\text{Суст}} = \frac{a \cdot k_C^2 \cdot (n + \alpha \cdot P_{2H} \cdot \Lambda_{23}) + m}{\frac{1}{P_{2H}} \cdot b - \alpha \cdot a \cdot k_C^2 \cdot d}$$

де P_{2H} - номінальні втрати активної потужності у магнітопроводі, Вт;

α - температурний коефіцієнт опору матеріалу обмоток, $1/^\circ\text{C}$;

a - постійний параметр;

b - постійний параметр, $\text{Вт}^3/^\circ\text{C}^3$;

d - постійний параметр, $\text{Вт}^2/^\circ\text{C}^2$;

n - постійний параметр, $\text{Вт}^2/^\circ\text{C}^2$;

m - постійний параметр, $\text{Вт}^2/^\circ\text{C}^2$;

Λ_{23} - теплова провідність між магнітопроводом і маслом, $\text{Вт}/^\circ\text{C}$;

k_{Ai} , k_{Bi} , k_{Ci} - відповідно кратності сили струму в фазах трансформатора на i -ї ділянці.



Рис. 1. Структурная схема математичної моделі теплових процесів у силовому трансформаторі під дією експлуатаційних факторів.

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

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

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

$$\Pi_{ICi} = I_H^2 \cdot k_{Ci}^2 \cdot t_{ct};$$

де t_{ct} - час дії надструму, с.

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, А;
 I_{Ai} , I_{Bi} , I_{Ci} - відповідно сили струму в фазах силового трансформатора на i -ї ділянці, А.

Структурна схема теплових процесів у силовому трансформаторі під дією експлуатаційних факторів представлена на рис.1.

Висновки.

1. Розроблена математична модель процесу теплового зносу ізоляції силових трансформаторів сільських підстанцій. Дана математична модель дозволяє отримати інформацію про тепловий стан обмоток трансформатора.

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

Література

1. *Овчаров В.В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. / *В.В. Овчаров* – К.: УСХА, 1990. – 168 с.

2. *Єрмолаєв С. О.* Експлуатація енергообладнання та засобів автоматизації в системі АПК: Підручник / За ред. С. О. Єрмолаєва. // *С. О. Єрмолаєв, О. О. Мунтян, В. Ф. Яковлєв* – К.: Мета, 2003.

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

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОВОГО ЗНОСУ ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ПІД ДІЄЮ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ

Л. М. Безменнікова

Анотація – Стаття присвячена розробці моделі функціонального діагностування силового трансформатора на базі процесів нагріву силового трансформатора при несиметричному навантаженні з урахуванням|з врахуванням| температурних умов навколишнього середовища. Розроблена модель дозволяє визначати температуру найбільш нагрітої точки фази силового трансформатора залежно від температури верхніх шарів масла|мастила,олії| і кратності сили струму, а також сумарний тепловий знос ізоляції.

MATHEMATICAL MODEL OF PROCESS THERMAL WEAR OF ISOLATION IN POWER TRANSFORMER IS UNDER ACTION OF OPERATING FACTORS

L. Bezmennicova

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.