

“Львівська політехніка”. – 2006. – № 563. – С. 10–13. 4. Баран П.М., Кідиба В.П., Пришляк Я.Д., Шмагала В.М. Програмне забезпечення аналізу інформації з цифрових пристроїв захисту та автоматики // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – 2003. – № 479. – С. 10–17. 5. Равлик О.М., Гречин Т.М., Лисяк Г.М. Програмний комплекс для дослідження електротехнічних систем // Тез. доп. наук.-техн. конф. “Математичне моделювання в електротехніці та електроенергетиці”. – Львів, 1995. – 79 с.

УДК 621.311

З.М. Бахор

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕСМ

КЛАСИФІКАЦІЯ РЕЖИМІВ НАВАНТАЖЕНЬ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

© Бахор З.М., 2009

Запропоновано класифікацію режимів навантажень силових оливних трансформаторів підстанцій електричних мереж, враховуючи виконання завдань розпізнавання режимів трансформаторів та оперативного керування їх роботою.

Classification of the modes of loading of power oily transformers of substations of electric networks is offered, coming from the decision of tasks of recognition of the modes of transformers and operative management work of transformers.

Постановка проблеми. Здебільшого режими силових оливних трансформаторів підстанцій електричних мереж не відповідають номінальним, оскільки навантаження їх під час експлуатації постійно змінюється. Для більшості трансформаторів підстанцій електричних мереж характерним є добовий цикл зміни навантажень. Протягом доби на одних часових інтервалах трансформатори можуть працювати з навантаженнями, які не перевищують номінальних значень, а в інші частини доби вони можуть працювати з перевантаженнями. Перевантаження силових оливних трансформаторів призводить до прискороного зношення ізоляції, зниження електричної міцності ізоляції, скорочення строку експлуатації трансформаторів, а в деяких випадках до їх пошкодження. Тому під час оперативного керування режимами трансформаторів підстанцій електричних мереж, необхідно виконувати завдання допустимості режимів навантажень трансформаторів як поточних, так і перспективних, які будуть мати місце у майбутньому з часом упередження від десятків хвилин до декількох годин, враховуючи ефективне використання перевантажувальної здатності трансформаторів і забезпечуючи їхню тривалу, надійну та раціональну експлуатацію. Для цього режими навантажень трансформаторів підстанцій повинні бути класифіковані, що дозволить серед множини режимів навантажень трансформаторів розпізнавати поточні та відповідно до них приймати ефективні рішення стосовно перевантажувальної здатності трансформаторів.

Аналіз результатів останніх досліджень. Оливні трансформатори підстанцій можуть працювати: в режимі тривалих допустимих навантажень, в режимі систематичних навантажень, в режимі тривалих аварійних перевантажень, в режимі короткочасних аварійних перевантажень [1– 4]. Допустимість та тривалість існування кожного з режимів навантажень трансформаторів – визначена, враховуючи погіршення загального їх стану або ризику раптового виходу з ладу трансформаторів. Зважаючи на характеристику режимів навантаження трансформаторів підстанцій електричних мереж, наведену в [1–4], запропоновано їхню класифікацію стосовно оперативних

завдань керування роботою трансформаторів, а саме – забезпечення оптимального режиму перевантаження трансформаторів підстанцій з врахуванням ризиків, пов’язаних зі скороченням строку їх експлуатації та недовідпуску електроенергії споживачам.

Мета та задачі досліджень. Метою дослідження є формування класів режимів навантажень оливних трансформаторів підстанцій електричних мереж. Для цього необхідно виконати такі завдання: проаналізувати режими навантаження трансформаторів і їх ознаки; розробити правила класифікації режимів навантаження трансформаторів; сформувати класи режимів навантаження трансформаторів.

Виклад основного матеріалу. Одним з факторів, які забезпечують тривалу та надійну роботу силових трансформаторів електричних мереж, є дотримання їх режимів за струмовими навантаженнями. Трансформатори можуть працювати з навантаженнями за струмом, що не призводять до прискореного зношення їх ізоляції, а можуть працювати з навантаженнями (перевантаженнями за струмом), що супроводжуються підвищеним зношенням ізоляції [1, 2, 3]. Враховуючи конкретні умови експлуатації трансформаторів (температури повітря навколишнього середовища, режиму навантаження трансформатора на момент виникнення перевантаження тощо), значення струму перевантаження та тривалість його протікання по обмотках трансформаторів можуть бути різними.

Критерієм допустимості перевантаження трансформаторів за струмом є зношення їх ізоляції, яке за розрахунковий період (добовий чи річний цикл) не повинно перевищувати нормального, що відповідає номінальним режимам трансформаторів, та не повинно призводити до пошкодження трансформаторів. Ще одним критерієм допустимості перевантаження трансформаторів підстанцій електричних мереж є питання надійності забезпечення транзиту потужності через трансформатор. Допустимість режиму навантаження трансформатора, який залишився в роботі за аварійного вимикання другого трансформатора підстанції, визначається не зношенням його ізоляції, а температурою найбільше нагрітої точки обмотки трансформатора, перевищення якої може призвести до раптової відмови трансформатора.

Будь-який j -й режим навантаження трансформатора R_{H_j} є визначений на множині режимів навантаження трансформатора $\{R_H\}$, $R_{H_j} \in R_H$. Множину режимів навантаження трансформаторів $\{R_H\}$ пропонуємо розділити на підмножини: режимів тривалих перевантажень $\{R_{T_П}\}$; режимів систематичних перевантажень $\{R_{C_П}\}$; режимів аварійних перевантажень $\{R_{A_П}\}$; режимів небезпечних перевантажень $\{R_{H_П}\}$

$$\{R_H\} = \{R_{T_П} \cup R_{C_П} \cup R_{A_П} \cup R_{H_П}\}.$$

До множини режимів тривалих перевантажень трансформаторів зарахуємо режими, тривалість протікання яких не обмежується в часі, а струми перевантаження обмоток трансформаторів до того ж не перевищують п’ятивідсоткового значення [2]. Це найхарактерніші режими роботи трансформаторів, під час яких зношення ізоляції, температура верхнього шару оливи та найбільше нагрітої точки обмотки не перевищують нормальних значень. За необхідності режими тривалих перевантажень трансформаторів можуть бути змінені на важчі режими з погляду їх перевантаження за струмом, за умови справності трансформаторів.

Множини систематичних і аварійних перевантажень трансформаторів складають режими з значним перевантаженням обмоток трансформаторів за струмом, підвищеним нагріванням обмоток та оливи трансформаторів. Такі режими супроводжуються зношенням ізоляції трансформаторів і їх тривалість є обмеженою. Так, тривалість режимів перевантаження трансформаторів для множини систематичних перевантажень трансформаторів буде визначена з умови нормального добового зношення ізоляції, а для множини аварійних перевантажень трансформаторів, враховуючи умову

нормального річного зношення ізоляції трансформаторів і забезпечення надійності транзиту потужності через них. Робота трансформаторів в режимах систематичних і аварійних перевантажень пов'язана з ризиками погіршення стану трансформаторів. Ці режими трансформаторів під час експлуатації необхідно розпізнавати, контролювати та по закінченні визначеного часу їх протікання, змінювати на легші режими стосовно перевантаження трансформаторів, недопускаючи скорочення строку їх експлуатації.

До множини режимів небезпечних перевантажень трансформаторів зарахуємо режими перевантажень трансформаторів, які супроводжуються значними струмами у їх обмотках, значним перевищенням температури найбільше нагрітої точки обмотки та оливи трансформатора. За таких режимів навантаження трансформаторів існує висока ймовірність пошкодження їх ізоляції та виходу трансформаторів з ладу [1]. Такі режими для трансформаторів є недопустимими, вони повинні розвантажуватися або вимикатися.

Для характеристики режимів навантажень трансформаторів використовують параметри: фазні струми обмоток, температуру верхнього шару оливи, температуру найбільше нагрітої точки обмотки. Залежно від умов експлуатації та навантажень трансформаторів параметри, які є кількісними ознаками режимів навантажень трансформаторів, неперервно змінюються, приймають те чи інше значення. Для зручності класифікації режимів навантажень трансформаторів – забезпечення їх дискретного опису, кожен кількісний параметр (струми обмоток, температуру верхнього шару оливи, температуру найбільше нагрітої точки обмотки) проградуємо, враховуючи граничні значення температур та струмів для режимів навантажень трансформаторів [1, 3], так, що кожній підмножині режимів навантажень трансформаторів відповідають певні діапазони зміни параметрів. Наприклад, для оливних трансформаторів середньої потужності до 100 МВА, множині ознак $\{ I_{T_П}, T_{ВШО_{T_П}}, T_{ННТ_{T_П}} \}$, яка відповідає підмножині режимів тривалих перевантажень трансформатора $\{ R_{T_П} \}$, відповідають такі діапазони зміни параметрів: струми обмоток не повинні перевищувати $1,05I_{ном}$, де $I_{ном}$ – номінальний струм обмотки; температура верхнього шару оливи не повинна перевищувати $95\text{ }^\circ\text{C}$; температура найбільше нагрітої точки обмотки не повинна перевищувати $98\text{ }^\circ\text{C}$, а для множини ознак $\{ I_{C_П}, T_{ВШО_{C_П}}, T_{ННТ_{C_П}} \}$, які визначають режими систематичних перевантажень трансформатора $\{ R_{C_П} \}$ діапазони зміни параметрів такі: струми обмоток повинні лежати в межах від $1,05I_{ном}$ до $1,5I_{ном}$; температура верхнього шару оливи – $(95\text{--}105\text{ }^\circ\text{C})$; температура найбільше нагрітої точки обмотки – $(98\text{--}140\text{ }^\circ\text{C})$.

Режими навантажень трансформаторів визначені в анізотропному просторі ознак (використані параметри різної фізичної природи – струм, температура). Для надання однакової ваги параметрам перейдемо до однорідного ізотропного простору ознак – струми обмоток, температури верхнього шару оливи та найбільше нагрітої точки обмотки представимо зведеними відповідно до номінальних струмів обмоток ($I_{ном}$), до нормальної температури верхнього шару оливи ($T_{ВШО_{ном}}$) та найбільше нагрітої точки обмотки ($T_{ННТ_{ном}}$), які відповідають номінальним режимам трансформаторів, у відносних одиницях:

$$K_{1j} = \frac{I_j}{I_{ном}}; \quad K_{2j} = \frac{T_{ВШО_j}}{T_{ВШО_{ном}}}; \quad K_{3j} = \frac{T_{ННТ_j}}{T_{ННТ_{ном}}}, \quad \forall R_{H_j} \in R_H.$$

Отже, множина режимів навантажень трансформаторів $\{ R_H \}$ буде визначена у сформованому новому просторі ознак, який можна описати вектором ознак (K_1, K_2, K_3) . Будь-який j -й режим навантаження трансформатора R_{H_j} є визначений реалізацією K_{i_j} , $i = \overline{1, 3}$. Отже,

$$R_{H_j} \in R_H \Leftrightarrow K_{i_j} \in K_i, \quad i = \overline{1, 3},$$

де K_i – множина ознак режимів навантажень трансформаторів.

Множину ознак режимів навантажень трансформаторів K_i розділяємо на підмножини ознак $K_i = \{ K_{T_Pi} \cup K_{C_Pi} \cup K_{A_Pi} \cup K_{H_Pi} \}$ так, що кожній підмножині режимів навантажень трансформаторів $\{ R_{T_Pi}, R_{C_Pi}, R_{A_Pi}, R_{H_Pi} \}$ відповідає реалізація підмножин ознак $\{ K_{T_Pi}, K_{C_Pi}, K_{A_Pi}, K_{H_Pi} \}$.

Такий підхід до представлення режимів навантажень трансформаторів в просторі ознак дозволяє виконати лінійне розділення множини режимів навантажень трансформаторів на класи, які відповідають наведеним вище підмножинам, враховуючи теореми про лінійне розділення областей [5]. Для розділення класів між собою використаємо лінійні дискримінантні функції вигляду

$$f(K) = \sum_{i=1}^3 \lambda_i K_i = \lambda_1 K_1 + \lambda_2 K_2 + \lambda_3 K_3,$$

де $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ – вагові коефіцієнти елементів вектора ознак (K_1, K_2, K_3) .

Для розділення між собою класів режимів навантажень трансформаторів (режимів тривалих перевантажень R_{T_Pi} і режимів систематичних перевантажень R_{C_Pi} ; режимів систематичних перевантажень R_{C_Pi} і режимів аварійних перевантажень R_{A_Pi} ; режимів аварійних перевантажень R_{A_Pi} і режимів небезпечних перевантажень R_{H_Pi}) використаємо лінійні функції $f_1(K), f_2(K), f_3(K)$, повинна виконуватися умова $f_1(K) < f_2(K) < f_3(K)$. Кожній розділюючій функції відповідає свій вектор вагових коефіцієнтів $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3)$, значення яких можуть бути визначені, враховуючи граничні значення температур та струмів для режимів навантажень трансформаторів [1, 3].

З використанням розділюючих функцій правило класифікації режимів навантажень трансформаторів має вигляд

$$\begin{aligned} \forall K_{i_j} \in K_{T_Pi}, i = \overline{1, 3} & : [f_j(K) \leq f_1(K) \Leftrightarrow R_{H_j} \in R_{T_Pi}] \\ \forall K_{i_j} \in K_{C_Pi}, i = \overline{1, 3} & : [f_1(K) < f_j(K) \leq f_2(K) \Leftrightarrow R_{H_j} \in R_{C_Pi}]; \\ \forall K_{i_j} \in K_{A_Pi}, i = \overline{1, 3} & : [f_2(K) < f_j(K) \leq f_3(K) \Leftrightarrow R_{H_j} \in R_{A_Pi}]; \\ \forall K_{i_j} \in K_{H_Pi}, i = \overline{1, 3} & : [f_j(K) > f_3(K) \Leftrightarrow R_{H_j} \in R_{H_Pi}], \end{aligned}$$

де $f_j(K) = \lambda_{1_j} K_{1_j} + \lambda_{2_j} K_{2_j} + \lambda_{3_j} K_{3_j}$ – дискримінантна функція j -го режиму навантаження трансформатора R_{H_j} з реалізацією $(K_{1_j}, K_{2_j}, K_{3_j})$ та одиничним вектором вагових коефіцієнтів $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3) = 1$.

Висновки. 1. Режими навантажень силових оливних трансформаторів підстанцій електричних мереж, враховуючи завдання оперативного керування їх режимами, необхідно класифікувати.

2. Множину режимів навантажень трансформаторів запропоновано розділити на класи: режимів тривалих перевантажень; режимів систематичних перевантажень; режимів аварійних перевантажень; режимів небезпечних перевантажень.

3. Запропоновано правила класифікації режимів навантажень трансформаторів, сформовані на основі лінійних дискримінантних розділювальних функцій.

1. ДСТУ 3463-96. Керівництво з навантаження силових масляних трансформаторів.
2. ГКД 34. 20.507-2003 Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила.
3. ГКД 34. 20.507-2003 Трансформатори силові. Типова інструкція з експлуатації.
4. Посібник з

вивчення Правил технічної експлуатації електричних станцій і мереж. Електротехнічне устаткування електричних станцій та мереж, оперативно-диспетчерське керування / О.Г. Баженов та ін. – К.: ДП НТУКЦ “Аселенерго”, 2004. – 800 с. 5. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.

УДК 621.317.39.084.2

А.С. Бойко, **В.Д. Завгородній**, І.Ф. Снітков
Національний університет “Львівська політехніка”,
СКБ ЕМС, м. Львів

ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ ТАХОМЕТРИЧНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ СИНХРОННОГО ТАХОГЕНЕРАТОРА

© Бойко А.С., **Завгородній В.Д.**, Снітков І.Ф., 2009

Розглянуто математичні засади функціонування цифрових тахометричних систем для реалізації за допомогою сучасної матеріально-технічної бази.

The mathematic approach of the digital speed sensors using modern hardware was proposed in this article.

Постановка проблеми. Упродовж останніх років виникла потреба створення цифрової тахометричної системи (ТМС) на базі безконтактного аналогового первинного давача кутової швидкості обертання (КШО), яким є синхронний тахогенератор (СТ).

Такі ТМС потрібні для реалізації прецизійних цифрових електроприводів наведення й супроводу квантово-оптичних пристроїв (лазерних телескопів, далекомірів, траєкторних вимірів тощо). Електроприводи цих пристроїв працюють у діапазоні частот обертання від $\omega_{min}=1$ кут.сек/с до $\omega_{max}=60$ кут.гр/с. Систематична похибка таких ТМС не повинна перевищувати кілька кут.сек/с, а середньоквадратичне значення випадкової похибки – однієї кут.сек/с, тобто ТМС повинна бути 18–19 розрядною цифровою системою з частотою знімання інформації (її оновлення) – не меншою за 1 кГц.

Створення такої ТМС теоретичних труднощів не становить за певних умов:

- наявності ідеального СТ (несиметрія фазних сигналів не перевищує значення 10^{-6});
- відсутності низькочастотних і високочастотних шумів і завад, а за їх наявності – можливість їх ослаблення на 140 Дб;
- наявності ідеального АЦП.

Та в природі нічого ідеального немає, тому:

- внаслідок технологічних похибок виготовлення СТ несиметрія його фазних сигналів перебуває на рівні 10^{-2} ;
- рівень шумів і завад – на рівні 10^{-1} ;
- застосування фільтрів зумовлює запізнення інформації в часі;
- швидкість дії прецизійних АЦП обмежена.

Методи обробки сигналів СТ з метою отримання цифрового коду вихідної координати КШО, описані в літературі, – неактуальні [1], а елементна база таких ТМС морально застаріла. Сьогодні методи обробки сигналів СТ потребують переходу на сучасну матеріально-технічну базу.

Тому постановка проблеми окреслена так: як у реальних умовах експлуатації за наявності технологічних недосконалостей СТ за умови обмеженої розрядності АЦП створити 18–19 розрядну ТМС.