

Висновки: 1. Запропонований алгоритм визначення виду пошкодження та пошкоджених фаз під час пошкодження на лінії з відгалуженням.

2. На основі алгоритму визначається лінія, на якій відбулося пошкодження та однозначно визначається вид короткого замикання на ній.

2. Селективно визначається місце пошкодження на ділянках лінії з відгалуженням, де встановлені цифрові реєстратори.

4. У разі пошкодження на відгалуженні, де відсутня інформація про координати аварійного режиму, точного місця пошкодження визначити не вдалося, можна зробити лише висновок, що пошкодження виникло саме на цій ділянці.

1. Попов М.Г. *Определение мест коротких замыканий на высоковольтных линиях передач // Энергетика.* – 2004. – № 2. 2. Арцушевский Я.Л. *Определение мест повреждения в сетях с заземленной нейтралью.* – М.: Высш. шк., 1998. – 94 с. 3. Баран П.М., Кідиба В.П., Равлик О.М., Чорний Н.І. *Визначення місця пошкодження на лініях з відгалуженнями // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2006. – № 563. – С. 10–13. 4. 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 621.311.4

З.М. Бахор

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕСМ

КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ СТАНІВ ТРАНСФОРМАТОРІВ ПІДСТАНЦІЙ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Ї Бахор З.М., 2008

Запропоновано класифікацію технічних станів трансформаторів електричних мереж за результатами поточного експлуатаційного контролю, що є одним з перших етапів розв’язання задач розпізнавання режимів та оперативного керування трансформаторами.

The classification of technical condition of transformers of electrical networks is offered to be carried out by results of the current control. It is one of the first stages for the decision of tasks of recognition of modes and operative management of transformers.

Постановка проблеми. Під час оперативного керування режимами трансформаторів підстанцій необхідно приймати рішення стосовно допустимості чи недопустимості поточних і запланованих режимів трансформаторів. Щоб прийняти коректне рішення стосовно режиму трансформатора, необхідно знати його технічний стан на момент прийняття рішення, а точніше, за результатами поточного контролю трансформатора, розпізнати, у якому технічному стані він перебуває. Для цього необхідно технічні стани трансформаторів підстанцій згрупувати в окремі множини – класи, враховуючи задачі оперативного керування режимами трансформаторів підстанцій електричних мереж.

Аналіз результатів останніх досліджень. Режими трансформаторів значною мірою залежать від їх технічного стану. Це насамперед аварійні режими трансформаторів, режими трансформаторів пов’язані з перевантаженням як за струмом, так і за напругою [1, 2, 3]. Трансформатори, як і інші об’єкти, які мають технічну природу, можуть перебувати у справному чи несправному,

працездатному чи непрацездатному станах, правильно чи неправильно функціонувати [4]. На основі такого підходу до видів станів технічних об'єктів, запропоновано класифікацію технічних станів трансформаторів, враховуючи задачі оперативного керування їх режимами.

Мета та задачі досліджень. Метою дослідження є формування класів технічних станів трансформаторів підстанцій електричних мереж. Для цього необхідно розв'язати такі задачі: проаналізувати технічні стани трансформаторів та їх ознак, сформуувати розділяючі правила та класи технічних станів трансформаторів.

Виклад основного матеріалу. Під час експлуатації силових трансформаторів підстанцій електричних мереж їх технічний стан змінюється. Старіння ізоляції, зношення окремих елементів, поява дефектів, відмови та пошкодження погіршують технічний стан трансформаторів, що відображається на їх функціональній здатності. Стан трансформаторів контролюють, проводячи огляди, виконуючи їх випробування та хроматографічний аналіз газів розчинених в оливі трансформаторів. Крім того, для визначення стану оливи трансформатора виконують її аналіз. Необхідність, періодичність і обсяг виконання вказаних заходів є регламентовані [1, 2] та залежать від типу трансформатора, його потужності та місця встановлення.

Технічний стан трансформатора визначається станом обмоток, ізоляції, магнітної системи, високовольтних вводів, оливи та допоміжних пристроїв: системи охолодження, регулювання напруги, очищення оливи тощо. Множину технічних станів трансформатора $\{TC\}$ пропонуємо розглядати, як сукупність його справних, несправних та аварійних станів

$$\{TC\} = \{TC_C \cup TC_{H_C} \cup TC_{A_C}\}, \quad (1)$$

де $\{TC_C\}$ – підмножина справних технічних станів трансформатора; $\{TC_{H_C}\}$ – підмножина несправних технічних станів трансформатора. $\{TC_{A_C}\}$ – підмножина аварійних технічних станів трансформатора.

У справного трансформатора його основні параметри відповідають нормованим. У цьому стані трансформатор завжди є працездатним, повністю виконує чи готовий виконувати всі функції як за нормальних навантажень, так і аварійних перевантажень. Якщо один з основних параметрів, які описують технічний стан, не відповідає нормованим, то трансформатор є несправний, і він не здатний виконувати одну чи декілька функцій. Наприклад, трансформатор не може працювати з перевантаженнями за струмом чи напругою, хоча на поточний момент часу за нормального навантаження він правильно функціонує. В аварійному стані трансформатор не може виконувати необхідні функції навіть за номінальних умов роботи – номінальних струмів і напруг обмоток. Перебування трансформатора у такому стані під час експлуатації обмежене часом, і він, діями оперативного персоналу чи за рахунок спрацювання захистів, переводиться в інший режим.

З сукупності всіх можливих ознак (параметрів) трансформатора, які контролюють під час його огляду, виділяємо множину ознак, погіршення яких призводить до зміни технічного стану трансформатора з справного у несправний чи аварійний $\{O_{H_C}, O_{A_C}\}$, відповідно.

Отже, за результатами огляду трансформатор може перебувати в одному з таких станів: справному, несправному чи аварійному

$$\{TC(O)\} = \{TC(O)_C, TC(O)_{H_C}, TC(O)_{A_C}\}. \quad (2)$$

Якщо під час оглядів трансформаторів оцінку їх технічного стану виконують за якісними ознаками, то під час періодичних випробувань і вимірювань трансформаторів отримують кількісні значення параметрів, за якими визначають його стан. Сукупність контрольованих параметрів, за відповідної градації їх значень, подаємо окремими підмножинами значень параметрів, які відповідають справному, несправному та аварійному станам трансформатора $\{B_C, B_{H_C}, B_{A_C}\}$. Підмножини

$\{ B_C \}$, $\{ B_{H_C} \}$ та $\{ B_{A_C} \}$ мають однакову потужність і їм відповідають стани трансформатора, визначені за результатами його вимірювань та випробувань

$$\{ TC(B) \} = \{ TC(B)_C, TC(B)_{H_C}, TC(B)_{A_C} \}. \quad (3)$$

Основним методом діагностики технічного стану трансформаторів є хроматографічний аналіз газів, розчинених в оливі трансформатора. Під час хроматографічного аналізу контролюють склад і концентрацію характерних газів та за певними критеріями формують рішення про стан трансформатора, наявність чи відсутність у ньому дефектів. За результатами хроматографічного аналізу роблять висновок про відсутність дефектів у трансформаторі – трансформатор перебуває у справному стані, появу дефектів у трансформаторі – трансформатор несправний, наявність у трансформаторі небезпечних для нього дефектів – стан трансформатора є аварійний. За результатами хроматографічного аналізу множини технічних станів трансформатора подамо, як сукупність підмножин справних, несправних і аварійних станів

$$\{ TC(X) \} = \{ TC(X)_C, TC(X)_{H_C}, TC(X)_{A_C} \}. \quad (4)$$

Своєю чергою стан оливи трансформаторів визначають за результатами її періодичного аналізу. Якщо значення жодного з параметрів оливи (пробивна напруга, кислотне число, вміст водорозчинних кислот і лугів тощо), які контролюють під час її аналізу, не виходить за нормовані, то стан оливи є задовільний, якщо ж ні, то – незадовільний. Враховуючи це множини станів оливи трансформатора подамо підмножинами її задовільних і незадовільних станів

$$\{ OL \} = \{ OL_3, OL_{H_3} \}. \quad (5)$$

Низка параметрів трансформаторів і їх допоміжних пристроїв контролюють у режимі on-line. Так, системи охолодження потужних трансформаторів обладнані пристроями автоматичного керування та сигналізації. Сигналізація спрацьовує у разі зміни режиму функціонування системи охолодження трансформатора. Функціональна здатність систем охолодження трансформаторів характеризується множиною ознак $\{ CO \}$, яка, наприклад, для трансформаторів з системою охолодження типу ДЦ має вигляд

$$\{ CO \} = \{ CO_1, CO_2, CO_3, CO_4 \}, \quad (6)$$

де $\{ CO_1 \}$ – підмножина ознак, яка вказує на зупинення вентиляторів дуття; $\{ CO_2 \}$ – підмножина ознак, яка вказує на включення резервного охолоджувача, $\{ CO_3 \}$ – підмножина ознак, яка вказує на припинення циркуляції оливи, $\{ CO_4 \}$ – підмножина ознак, яка вказує на перемикання живлення двигунів системи охолодження з основного джерела живлення на резервне.

Враховуючи значення ознак, система охолодження трансформатора може перебувати у справному, несправному та аварійному станах

$$\{ TC(CO) \} = \{ TC(CO)_C, TC(CO)_{H_C}, TC(CO)_{A_C} \}. \quad (7)$$

Це стосується тільки трансформаторів, у яких система охолодження обладнана сигналізацією контролю її функціонування.

Отже, за результатами експлуатаційного контролю трансформатора його технічний стан можна описати множиною узагальнених ознак

$$\{ YO \} = \{ TC(O), TC(B), TC(X), TC(CO), OL \}. \quad (8)$$

У загальному випадку вираз (8) матиме вигляд

$$\{ YO \} = \{ YO_1, YO_2, \dots, YO_N \}, \quad (9)$$

де N – кількість підмножин узагальнених ознак, які відповідають поточним заходам контролю технічного стану трансформатора. Для різних за типом і потужністю трансформаторів кількість таких заходів може бути різною, а отже, і значення N є змінним. Наприклад, якщо стосовно трансформатора виконують згадані вище заходи, то $N = 5$; у разі встановлення на трансформаторі додаткових систем контролю стану його конструктивних елементів, наприклад, системи контролю ізоляції вводів (КІВ), $N = 6$; якщо для трансформатора не виконують хроматографічний аналіз газів, розчинених в його оливі, то $N = 4$.

Будь-який технічний стан трансформатора ($TC_J \hat{I} TC$), описаний ознаками ($YO_J \hat{I} YO$), отриманими під час експлуатаційних контрольних заходів, може бути ідентифікований як справний або несправний, чи аварійний. Отже, можна записати правила класифікації технічних станів трансформаторів.

Технічний стан трансформатора буде справний за умови

$$TC_C \Leftrightarrow YO_i \in YO_{C_i}, \quad i = \overline{1, N}. \quad (10)$$

Технічний стан трансформатора буде несправний за умови

$$TC_{H_C} \Leftrightarrow (YO_i \in YO_{H_C i}, \quad i = \overline{1, N}) \vee (YO_1 \vee YO_2 \vee \mathbf{K} \vee YO_N \in YO_{H_C}). \quad (11)$$

Технічний стан трансформатора буде аварійний за умови

$$TC_{A_C} \Leftrightarrow (YO_i \in YO_{A_C i}, \quad i = \overline{1, N}) \vee (YO_1 \vee YO_2 \vee \mathbf{K} \vee YO_N \in YO_{A_C}). \quad (12)$$

У наведених виразах YO_C , YO_{H_C} , YO_{A_C} – це підмножини ознак, які відповідають справному, несправному чи аварійному станам трансформатора.

Вирази (10, 11, 12) є правилами, які розділять множину технічних станів трансформатора на класи: справний, несправний та аварійний. Будь-який технічний стан трансформатора ($TC_J \hat{I} TC$), описаний ознаками ($YO_J \hat{I} YO$), отриманими під час експлуатаційних контрольних заходів, належатиме до одного зі згаданих класів технічного стану трансформатора.

Висновки. 1. Технічні стани силових трансформаторів підстанцій електричних мереж, враховуючи задачі оперативного керування їх режимами, необхідно класифікувати. 2. Множину технічних станів трансформатора запропоновано розділити на класи: справний, несправний та аварійний. 3. Запропоновано правила класифікації технічних станів трансформаторів, сформовані на основі узагальнених ознак заходів, які виконують під час експлуатації трансформаторів.

1. ГКД 34. 20.507-2003 *Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила.* 2. ГКД 34. 20.507-2003 *Трансформатори силові. Типова інструкція з експлуатації.* 3. *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.* 4. *Интегрированные экспертные системы диагностирования в электроэнергетике / Б.С. Стогний, В.А. Гуляев, А.В. Кириленко и др.; Под ред. Б.С. Стогния; АН Украины Ин-т электродинамики. – К.: Наук. думка, 1992. – 248 с.*