

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВУЗЛІВ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА ОСНОВІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ

Бардик Є.І., к.т.н., доцент, Яйченя Д.О., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Силові трансформатори (СТ) є одними з найвідповідальніших і вартісних елементів основного електрообладнання сучасних електроенергетичних систем (ЕЕС), від надійності функціонування яких значною мірою залежить надійність складної ЕЕС в цілому. Збільшення частки силових трансформаторів (СТ) з терміном експлуатації, що перевищує 25—30 років, загострює проблему забезпечення контролю, об'єктивної комплексної оцінки технічного стану (ТС) і прогнозування ресурсу працездатності СТ та визначення кількісних показників ризику експлуатації ЕЕС [1, 2, 4, 5].

Вирішення вищезазначених задач потребує розробки адекватних моделей оцінки технічного стану електрообладнання ЕЕС. Комплексна оцінка ТС СТ зазвичай включає діагностування стану наступної сукупності окремих елементів: обмотки, трансформаторного масла, системи охолодження, системи регулювання під навантаженням (РПН) та інші [1, 2, 5].

В задачах оцінки ризику виникнення аварійних ситуацій в ЕЕС при відмовах електрообладнання, коли СТ розглядається, як елемент складної багатомашинної системи, доцільно розглядати технічний стан найбільш значущих з точки зору впливу на ризик відмови елементів СТ, зокрема пристроїв РПН.

Наразі забезпечення необхідного рівня напруги у вузлах навантаження під час нормальних і аномальних режимів роботи ЕЕС, є важливою задачею. Найбільш розповсюдженим, ефективним методом є регулювання напруги пристроями РПН силових трансформаторів. Вони належать до найбільш відповідальних вузлів силових трансформаторів, які в значній мірі визначають надійність їх функціонування, а також забезпечують якість електричної енергії в електроенергетичних системах.

Практика експлуатації показує, що ресурс елементів пристроїв РПН невеликий і тому ремонт їх трудомісткий і супроводжується виводом силового трансформатора з роботи [1, 2]. Тому автоматичні регулятори напруги силових трансформаторів часто відключаються і, відповідно, якість напруги знижується, а втрати від неякісного електропостачання зростають.

Тому важливим є розробка ефективних методів і моделей діагностування технічного стану пристроїв РПН силових трансформаторів

Метою роботи. Побудова математичної моделі діагностування технічного стану пристроїв РПН СТ.

Матеріали і результати дослідження. Найбільш поширеними дефектами і пошкодженнями пристроїв РПН трансформаторів є: погіршення

характеристик масла , перегрівання контактів контактора, знос ущільнень контактора, знос контактів вибірника, механічний знос пристрою РПН, пошкодження кінематики привода; знос резинових ущільнень дверей привода [1, 2], що спонукає до проведення профілактичних заходів залежно від стану РПН.

Складність задачі оцінки ТС і прогнозування ресурсу працездатності визначається періодичністю виконуваних вимірювань і тим, що не завжди існуючі СТ оснащені відповідними системами моніторингу. Крім того критеріальні значення параметрів ТС, що відділяють один стан СТ від іншого часто отримані на основі обмежених статистичних даних та суб'єктивної інформації ремонтного і експлуатаційного персоналу [2, 5, 6]. Тому для розв'язання цих задач необхідна розробка математичних моделей, що ґрунтуються на використанні статистичних даних відмов, експертних оцінок та апарату теорії нечітких множин [2, 7], які становлять основу бази знань відповідних прототипів експертних систем і дозволяють визначати ризик відмови СТ як елемента ЕЕС та оцінити ризик виникнення аварійних ситуацій при відмовах електрообладнання.

Проведений аналіз параметрів технічного стану пристроїв РПН показав, що найбільш інформативними з них, які дозволяють діагностувати поточний технічний стан визначаються з таких груп вимірювань [1, 2, 3]; аналіз проб масла з контактора пристроїв РПН для визначення метолом хроматографії концентрації розчинених діагностичних газів в маслі контактора - окис вуглецю CO, вуглекислий газ CO₂, етилен C₂H₄, ацетилен C₂H₂, етан C₂H₆, струм обертового моменту електричного двигуна привода РПН, перехідний опір контактів контактора R, вміст вологи в трансформаторному маслі контактора РПН W , величина пробивної напруги U_{пр}, кислотне число КОН [8].

Розроблена нечітка база знань для діагностування технічного стану РПН є складовою частиною дослідницької експертно-діагностичної системи силового трансформатора і дозволяє класифікувати такі поточні технічні стани пристроїв РПН: « Режим нормальної експлуатації пристроїв РПН»- D₁), «Зона ризику експлуатації пристроїв РПН»- D₂ , «Аварійний стан пристроїв РПН»- D₃.

В якості вхідних лінгвістичних змінних нечіткої моделі оцінки технічного стану пристроїв РПН силових трансформаторів у відповідності з загальними підходами використовуємо наступні [4] :

$$C_1 = \{T_{C1}^L, T_{C1}^M, T_{C1}^B\} - \text{відношення газів } M_1 = \frac{C_2H_4}{C_2H_2} \text{ в.о.}$$

$$C_2 = \{T_{C2}^L, T_{C2}^M, T_{C2}^B\} - \text{відношення газів } M_1 = \frac{C_2H_4 + C_2H_6 + C_2H_2}{C_2H_2} \text{ в.о.}$$

$$C_3 = \{T_{C3}^L, T_{C3}^M, T_{C3}^B\} - \text{струм електричного двигуна привода РПН, } (I), \text{ А}$$

$$C_4 = \{T_{C4}^L, T_{C4}^M, T_{C4}^B\} - \text{перехідний опір контактів контактора, } (R), \text{ Ом}$$

Терм-множинам T_{Ci}^j привласнені такі лінгвістичні значення, які ідентифікують значення параметрів технічного стану пристроїв РПН силових трансформаторів: T_{Ci}^L - низьке значення параметра (відповідає стану «Нормальна експлуатація пристроїв РПН»); T_{Ci}^M - середнє значення параметра (відповідає стану «Ризик експлуатації пристроїв РПН»); T_{Ci}^B - високе значення параметра (відповідає стану «Аварійний режим пристроїв РПН»).

Функції належності до нечітких термів вхідних лінгвістичних змінних наведені на рис. 1

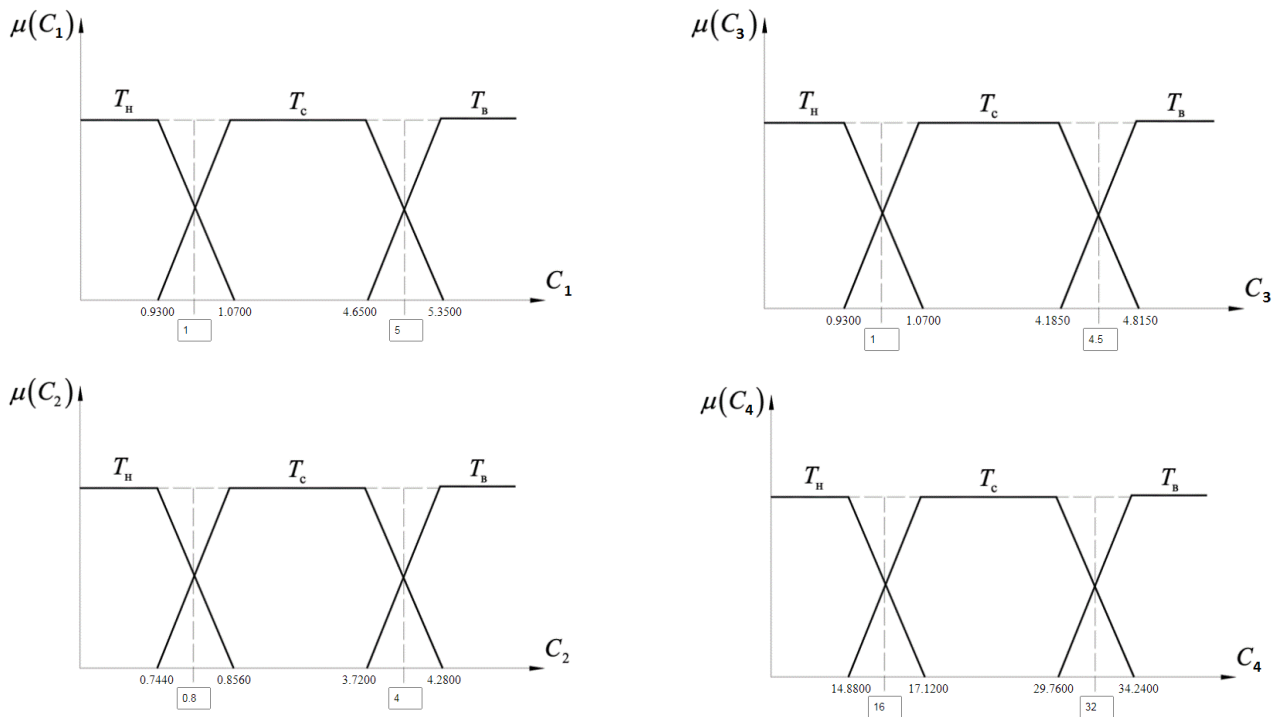


Рисунок 1 – Функції належності до нечітких термів вхідних лінгвістичних змінних

База правил при використанні відповідних термів лінгвістичних вхідних і вихідних змінних буде мати вигляд:

1. IF ($C_1 = T_{C1}^L$), AND ($C_2 = T_{C2}^L$), AND ($C_3 = T_{C3}^L$), AND ($C_4 = T_{C4}^L$), THEN $D = D_1$
2. IF ($C_1 = T_{C1}^L$), AND ($C_2 = T_{C2}^L$), AND ($C_3 = T_{C3}^L$), AND ($C_4 = T_{C4}^M$), THEN $D = D_1$
3. IF ($C_1 = T_{C1}^L$), AND ($C_2 = T_{C2}^L$), AND ($C_3 = T_{C3}^M$), AND ($C_4 = T_{C4}^L$), THEN $D = D_1$
4. IF ($C_1 = T_{C1}^L$), AND ($C_2 = T_{C2}^M$), AND ($C_3 = T_{C3}^L$), AND ($C_4 = T_{C4}^L$), THEN $D = D_1$

...

81. IF ($C_1 = T_{C1}^B$), AND ($C_2 = T_{C2}^B$), AND ($C_3 = T_{C3}^B$), AND ($C_4 = T_{C4}^B$), THEN $D = D_3$

Оцінка технічного стану пристроїв РПН трансформатора ТДН40000/110.
Вихідні дані(таблиця 1)

Таблиця 1 – Дані моніторингу параметрів ТС пристроїв РПН СТ

№ Випробування	$C2H6$ мкг/л	$C2H4$ мкг/л	$C2H2$ мкг/л	CH_4 , мкг/л	$\frac{C2H4}{C2H2}$	$\frac{CH4 + C2H6 + C2H4}{C2H2}$	I , %	R , мкОм
1	85	194	37	4,5	5,243	7,662	2,3	16,16

Таблиця 2 – Значення функції належності до нечітких термів

№ Випробування	Вхідні лінгвістичні змінні нечіткої моделі		Функції належності нечітких термів		
	Найменування	Значення	T_{Ci}^L	T_{Ci}^M	T_{Ci}^B
1	C1	5,243	0	0,1529	0,8471
	C2	7,662	0	0	1
	C3	2,3	0	1	0
	C4	16,16	0,4286	0,5714	0

Таблиця 3 – Результати класифікації технічного стану силового трансформатору

№ Випробування	Значення функції належності до класу технічного стану РПН силового трансформатора			Максимальне значення ФН	Визначений клас технічного стану
	μ_{D1}	μ_{D2}	μ_{D3}	μ_{Dmax}	
1	0	0,1529	0,5714	0,5714	Аварійний стан пристроїв РПН

За результатами діагностування ТС пристроїв РПН формуються відповідні обмеження на кількість перемикачів, які є в вхідною лінгвістичною змінною нечіткого регулятора напруги у вузлах навантаження пристроями РПН.

Висновки. Пристрої РПН сучасних силових трансформаторів є достатньо ненадійними з обмеженим ресурсом елементами, що часто спричиняє їх відмови. Для забезпечення надійності функціонування пристроїв РПН необхідна розробка ефективних методів, моделей і відповідного програмного забезпечення для діагностування технічного стану які ґрунтуються на використанні сучасних ІТ-технологій. Побудована нечітка модель оцінки технічного стану пристроїв РПН, яка є складовою системи оцінки ТС СТ.

Для виключення передчасного зносу пристроїв РПН необхідно введення в регулятор в залежності від технічного стану пристроїв обмежень на кількість перемикачів.

Перелік посилань

1. В.В Грабко. Моделі та засоби регулювання напруги за допомогою трансформаторів з пристроями РПН. - Вінниця УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. - 109 с.
2. Порудоминский В В. Устройства переключения трансформаторов под нагрузкой. - изд 2-е, перераб. и справ. - М «Энергия», 1974. - 288 с.
3. Рэнси Р. Трансформаторы с персключением под нагрузкой /Мировая энергетика - 1996. - №4.
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB FuzzuTECH – СПб.:БХВ-Петербург, 2005. - 736 с.
5. Мокін Б.І., Грабко В.В. , Львов Ш.Ю Комп'ютерне моделювання системи регулювання напруги в електричних мережах// Проблеми створення нових машин і технологій. Сборник научиих трудов Кременчугского государственного университета, выш.2. - Кременчук КГПИ - 1999 – С. 143-146.
6. Yan-Yih Hu, Feng-Chang Lu. A combined artificial neural network-fuzzu dynamic programming approach to reactive power/voltage control in a distribution substation/IEEE transagtion on Power Systems, Volum 13, November 1998. Page(s); 1265-1271.
7. Feng-Chang Lu, Yan-Yih Hu. Fuzzy dynamic programming approach to reactive power/voltage control in a distribution substation. //IEEE transagtion on Power Systems, Volum 12, May 1997. Page(s); 681-687.
8. Норми випробування електрообладнання :СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 / Міністерство палива та енергетики України – Х.: Видавництво “Індустрія “, 2009. - 232 с.