

НЕЧІТКЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАСЛОНАПОВНЕНИХ ВВОДІВ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ХАРГ

Бардик Є.І., к.т.н., доц., Болотний М.П., ас., Калінчук Р.Р., студент
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електричних станцій

Вступ. Статистичні дані функціонування сучасних електроенергетичних системах світу показують високу частку пошкоджуваності силових трансформаторів напругою 110 кВ і вище через відмови високовольтних вводів, що в середньому становить від 20 до 40% від загальної кількості аварій [1]. Пошкодження високовольтних вводів в процесі експлуатації можуть призводити не тільки до руйнування самого вводу, а й до відмови силового трансформатора (СТ). Тому важливою задачею є забезпечення безаварійної роботи високовольтних вводів в процесі експлуатації СТ. Для цього необхідно своєчасно виявляти небезпечні дефекти, що неможливо при відсутності уявлення про конструкцію вводів, механізми розвитку дефектів і надійних методів їх виявлення.

Постановка задачі. Проведений аналіз існуючих критеріїв діагностики масло наповнених високовольтних вводів силових трансформаторів за результатами хроматографічного аналізу розчинених газів (ХАРГ) виконується у відповідності з нормативними стандартами [2-4], які передбачають оцінку та ранжування високовольтних вводів за дефектами на основі абсолютних концентрацій газів та їх відношення. В табл. 1 представлені типові концентрації газів, що реєструвались у високовольтних вводах та відповідали нормальному технічному стану і технічному стану з наявним дефектом.

Таблиця 1 – Типові концентрації газів виявлених у маслонаповнених високовольтних вводах СТ

Найменування газів в маслі	H_2	CH_4	C_2H_6	C_2H_4	C_2H_2	CO	CO_2
Значення концентрацій газів при нормальній експлуатації, ppm	140	40	70	30	2	1000	3400
Значення концентрацій газів при наявності дефекту, що розвивається, ppm	>1000	>75	>100	>40	>10	>1500	>5000

Поява газів в маслі високовольтних вводів СТ може бути зумовлена: процесами старіння (деградація целюлози, утворення продуктів розкладу

масла); технологічними порушеннями виготовлення (дефекти остову, утворення контурів через зміщення деталей вводу, негерметичність вводу, слабкий контакт, неоднорідність ізоляційних матеріалів); експлуатаційними факторами (зволоженням через порушення «дихання» вводу, наявності механічних домішок і т.д.); впливом зовнішніх факторів (перенапруги, перевантаження за струмом).

На сьогоднішній день не існує чіткого математичного опису та класифікації дефектів у високовольтних вводах [5], тому для оцінки технічного стану високовольтних вводів доцільно застосовувати теорію нечітких множин та апарат нечіткої логіки.

Метою роботи є розробка математичної моделі оцінки технічного стану маслонаповнених високовольтних вводів СТ.

Матеріали і результати досліджень. Розроблена нечітка модель оцінки технічного стану високовольтних вводів СТ за результатами ХАРГ, яка містить наступні входні лінгвістичні змінні відношень концентрацій газів з відповідними термами, представленими на рис.1: $A_1 = \{L_1, M_1, B_1\}$ - CH_4/H_2 ; $A_2 = \{L_2, M_2, B_2\}$ - C_2H_2/C_2H_4 ; $A_3 = \{L_3, M_3, B_3\}$ - C_2H_4/C_2H_6 , де L, M, B – низьке, середнє, високе значення відношень концентрацій газів, розчинених в трансформаторній оливі відповідно.

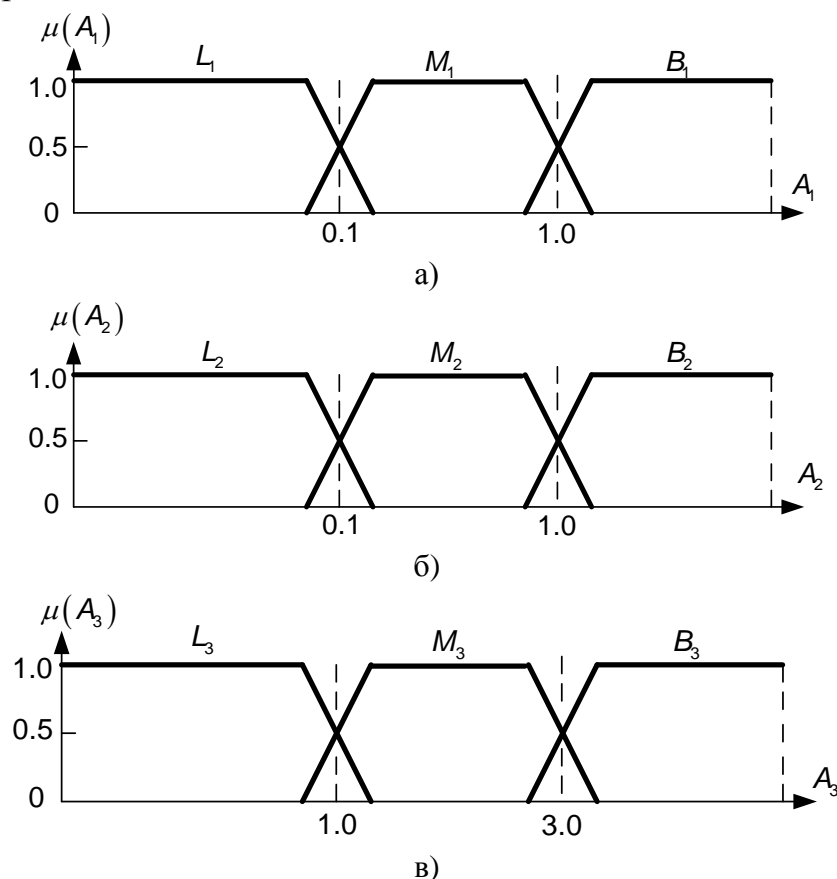


Рисунок 1 – Функції належності для лінгвістичних змінних: а) CH_4/H_2 ; б) C_2H_2/C_2H_4 ; в) C_2H_4/C_2H_6

На основі діагностичних критеріїв ХАРГ методом Роджерса [2] (табл. 2) була сформована нечітка база знань для оцінки технічного стану

високовольтних вводів СТ за результатами ХАРГ містить 6 продукційних правил, зведених в табл. 3.

Таблиця 2 – Діагностичні критерії для визначення характеру дефектів, що розвиваються у високовольтних вводах за результатами ХАРГ

Найменування відношень пар газів			Характер прогнозованого дефекту
CH_4 / H_2	C_2H_2 / C_2H_4	C_2H_4 / C_2H_6	
< 0,1	< 0,1	< 1,0	Норма
< 0,1	0,1...1,0	< 1,0	Розряд низької щільності, іскріння
0,1...3,0	0,1...1,0	> 3,0	Розряд високої щільності, електрична дуга
< 0,1	0,1...1,0	0,1...3,0	Термічний дефект $t < 300$ °С
< 0,1	> 1,0	0,1...3,0	Термічний дефект $t = 300 \dots 700$ °С
< 0,1	> 1,0	> 3,0	Термічний дефект $t > 700$ °С

Таблиця 3 – Нечітка база знань для визначення характеру дефектів, що розвиваються у високовольтних вводах

Найменування відношень пар газів			Характер прогнозованого дефекту	Термножина дефектів
$A_1 = CH_4 / H_2$	$A_2 = C_2H_2 / C_2H_4$	$A_3 = C_2H_4 / C_2H_6$		
L_1	L_2	L_3	Норма	D_1
L_1	L_2, M_2	L_3	Розряд низької щільності, іскріння	D_2
L_1, M_1	L_2, M_2	B_3	Розряд високої щільності, електрична дуга	D_3
L_1	L_2, M_2	M_3	Термічний дефект $t < 300$ °С	D_4
L_1	B_2	M_3	Термічний дефект $t = 300 \dots 700$ °С	D_5
L_1	B_2	B_3	Термічний дефект $t > 700$ °С	D_6

Розв'язку задачі діагностування технічного стану відповідає той клас технічного стану, якому відповідає максимальне значення функції належності

$$\mu(D) = \max(\mu(D_j)), j = \overline{1,6}$$

Результати тестового моделювання. На рис.2 представлені результати нечіткого моделювання оцінки технічного стану високовольтного вводу СТ за результатами ХАРГ. У високовольтному вводі Ч-66866-1997 р. силового трансформатора типу ТДГ-75000/110/10 кВ діагностується розряди низької

щільності. В результаті ревізії було виявлено сліди сажі на верхній підпірній шайбі, внаслідок іскріння між підпірною шайбою та екраном.

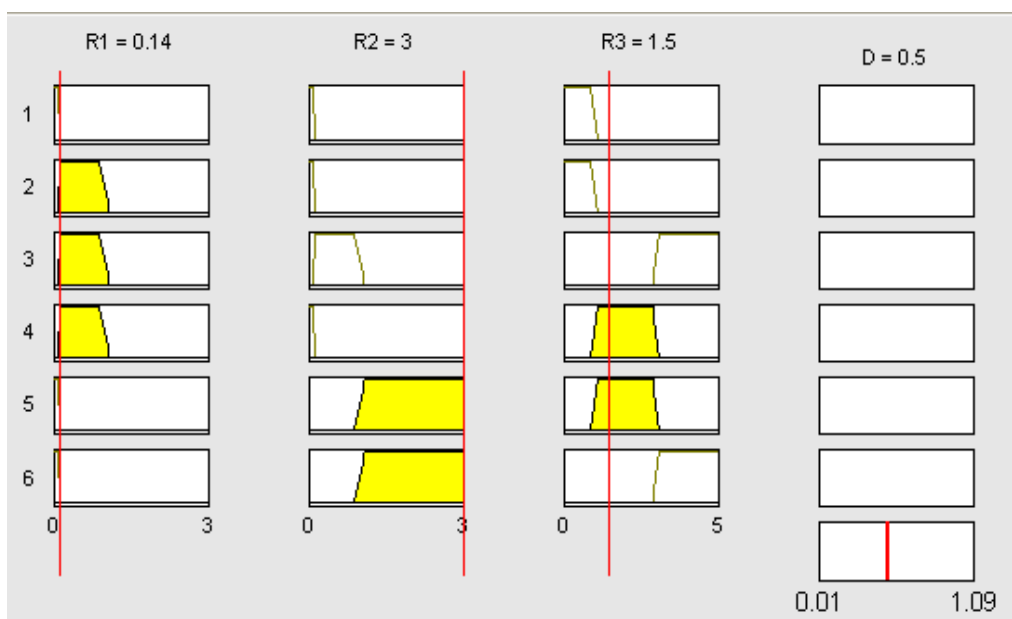


Рисунок 2 – Результати нечіткого моделювання оцінки технічного стану високовольтного вводу за результатами ХАРГ

Висновок. Велика частка пошкоджуваності СТ через відмови високовольтних вводів потребує моделювання оцінки їх технічного стану, ідентифікації дефектів та визначення імовірності відмов. Запропонована нечітка модель оцінки технічного стану високовольтного вводу СТ дозволяє ідентифікувати дефекти маслонаповнених високовольтних вводів СТ за результатами ХАРГ та є складовою комплексної моделі оцінки технічного стану СТ [6].

Перелік посилань

1. Славинский А.З., Устинов В.Н. Диагностика и ремонт высоковольтных вводов // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Вып. 30: Методические основы и практический опыт инфракрасного термографического обследования энергетического оборудования, зданий и сооружений. Современные проблемы производства, эксплуатации и ремонта трансформаторного оборудования. – СПб.: ПЭИПК, 2006. – 444 с.
2. IEC 61464: Insulating bushing – Guide for interpretation of dissolved gas analysis in bushings where oil is the impregnating medium of the main insulation. - 1998.
3. МЭК 60599. Международный стандарт: электротехническое оборудование с изоляцией пропитанной минеральным маслом. Руководство по интерпретации анализа растворенных и свободных газов. – 1999.
4. СОУ-Н ЕЕ 46.501: 2006. Диагностика масло наполненного трансформаторного оборудования за результатами ХАРГ у ізоляційному маслі. – Київ, 2007. – с.92.
5. Методические указания по диагностике состояния изоляции высоковольтных вводов 110 – 750 кВ. ОАО «Мосизолятор». – М: 1994 г.
6. Костерев Н.В., Бардик Е.И. Нечеткое моделирование электрооборудования для оценки технического состояния и принятия решений о стратегии дальнейшей эксплуатации // Технічна електродинаміка. Тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». – 2006. – ч.3. – с.39-43.