

## РОЗДІЛ 3. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ СТАНЦІЙ ТА УПРАВЛІННЯ НИМИ

### ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ МАСЛОНАПОВНЕНОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО ВВОДУ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ НЕЧІТКИХ МНОЖИН

**Бардик Є.І., к.т.н., доцент, Александров В.Г., магістрант**  
*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії*

**Вступ.** Статистичні дані CIGRE показують, що трансформаторний ввід є однією з основних причин відмов трансформатора. Вони викликають більше 17% відмов трансформатора та близько 40% серйозних пожеж на трансформаторі [1]. Тому важливим завданням є забезпечення безаварійної роботи високовольтних ввідів (ВВ) в процесі експлуатації трансформаторів. Проведення оперативного діагностування високовольтних ввідів за відсутності результатів періодичних випробовувань на момент визначення поточного стану ВВ пов'язано з необхідністю автоматизації процесу оперативного керування режимами електроенергетичних систем в умовах продовження експлуатації зношеного трансформаторного обладнання [2, 3]. Це потребує розробки математичних моделей високовольтних ввідів які є складовими відповідних експертних систем діагностування технічного стану силових трансформаторів.

**Мета роботи.** Формування нечіткої математичної моделі маслonaповненого вводу для оцінки технічного стану.

**Матеріали і результати досліджень.** Наразі діагностування технічного стану електрообладнання і, зокрема трансформаторних ввідів виконується з використанням традиційних методів діагностики, яким притаманно багато недоліків, що не дає можливості врахувати об'єктивно існуючу невизначеність інформації про стан об'єктів, крім того критеріальні значення параметрів трансформатора, що відділяють один стан трансформаторних ввідів від іншого часто отримані на основі обмеження статистичних даних та суб'єктивної інформації ремонтного та експлуатаційного персоналу. Тому оцінку технічного стану об'єкта доцільно виконувати на основі нечітких моделей, що зумовлено наступними факторами [4]:

- Відсутність адекватного математичного опису динамічних процесів, що проходять в об'єкті в формі змінних стану, які дають повну характеристику працездатності об'єкта.
- Наявність в складі діагностичних ознак, таких, які мають лише якісну характеристику;
- Різноманітність вимірювання і спостереження діагностичних ознак;
- Складність виявлення аналітичних залежностей взаємовпливу ознак при оцінці технічного стану об'єкта.

Тому оцінка технічного стану об'єкта проводиться, зазвичай, із залученням знань експерта по даному об'єкту. Для формалізації знань експерта доцільно

використовувати методи нечіткої логіки, формуючи нечіткі моделі об'єкта.

В якості вхідних лінгвістичних змінних нечіткої моделі трансформаторного вводу у відповідності із загальним підходом [5] використаємо наступні:

- $C_1 = \text{tg} \delta_1$  – кут діелектричних втрат основної ізоляції
- $C_2 = \frac{\text{tg} \delta_1}{\text{tg} \delta_{1П}}$  – відношення тангенса кута діелектричних втрат основної ізоляції  $\text{tg} \delta_1$  до  $\text{tg} \delta_{1П}$ .
- $C_3 = \frac{\text{tg} \delta_3}{N}$  – відношення тангенса кута діелектричних втрат зовнішніх шарів ізоляції  $\text{tg} \delta_3$  до граничного значення  $N$ .
- $C_4 = \frac{\text{tg} \delta_3}{\text{tg} \delta_{3П}}$  – відношення тангенса кута діелектричних втрат зовнішніх шарів ізоляції  $\text{tg} \delta_3$  до  $\text{tg} \delta_{3П}$ .
- $C_5 = \frac{\text{tg} \delta_3}{\text{tg} \delta_{3Н}}$  – відношення тангенса кута діелектричних втрат зовнішніх шарів ізоляції  $\text{tg} \delta_3$  до  $\text{tg} \delta_{3Н}$ .
- $C_6 = \frac{\text{tg} \delta_{\text{м} \uparrow 70^\circ \text{С}}}{N}$  – відношення тангенса кута діелектричних втрат масла, який вимірюється при підйомі температури в точці  $70^\circ \text{С}$  до граничного значення  $N$ .
- ...
- $C_{18} = \frac{A_{\text{CO}}}{A_{\text{CO}_2}}$  – відношення концентрації  $\text{CO}$  до концентрації  $\text{CO}_2$ .

Для оцінки значень всіх лінгвістичних змінних будемо використовувати терми:  $T^L, T^M, T^B$  – низьке, середнє і високе значення параметрів відповідно. Кожен з цих термів задає нечітке обмеження на множину, задане за допомогою відповідної функції належності вхідних лінгвістичних змінних, які наведено на рис. 1.

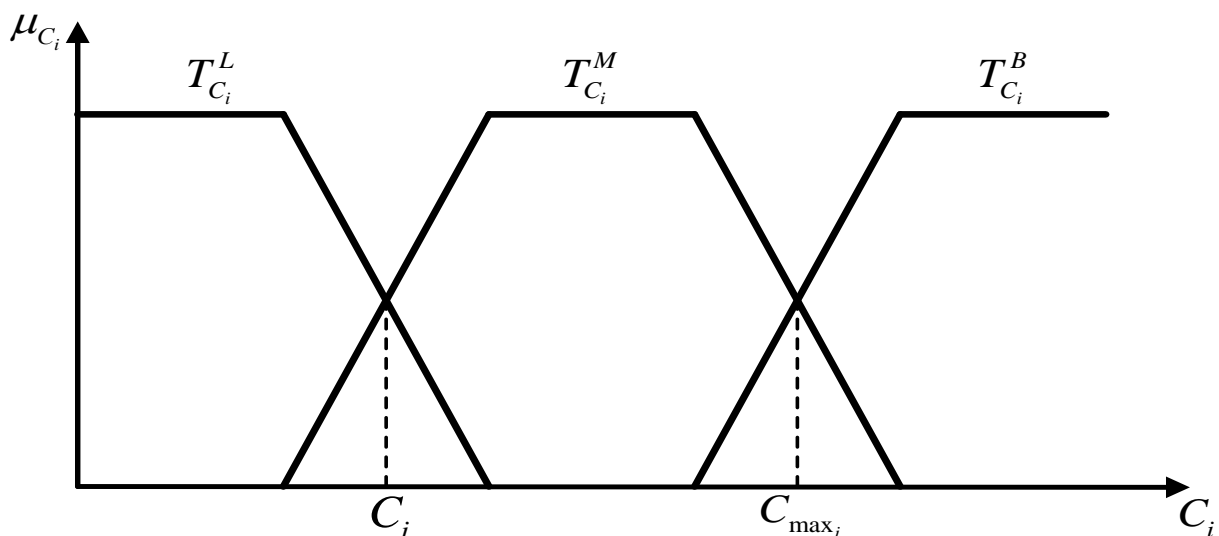


Рисунок 1 – Функції належності термів вхідних лінгвістичних змінних

Для ідентифікації стану (табл. 1) високовольтних вводів СТ на основі нечіткої моделі оцінки технічного стану використаєм метод Сугено [6], модель якого реалізована в пакеті програм MatLab.

Таблиця 1 – Діагностичні стани високовольтних вводів СТ

$D_1$	Нормальна експлуатація з прийнятою періодичністю контролю
$D_2$	Відбракування трансформаторних вводів
$D_3$	Уточнення виявленого ідентифікованого дефекту з періодичністю контролю 1 рік
$D_4$	Уточнення виявленого ідентифікованого дефекту з періодичністю контролю 0,5 року
$D_5$	Уточнення передбачуваного дефекту з розрахунковою періодичністю контролю

Для даної моделі побудовано 26 правил наступного виду:

1. IF  $x_1 = T_H$ , AND  $x_2 = T_H$ , AND  $x_3 = T_H$ , AND  $x_4 = T_H$ , AND  $x_5 = T_H$ , AND  $x_6 = T_H$ , AND  $x_7 = T_H$ , AND  $x_8 = T_H$ , AND  $x_9 = T_H$ , AND  $x_{10} = T_H$ , AND  $x_{11} = T_H$ , AND  $x_{18} = T_H$  THEN  $D = D_1$
2. IF  $x_1 = T_H$ , AND  $x_2 = T_H$ , AND  $x_3 = T_H$ , AND  $x_4 = T_C$ , AND  $x_5 = T_H$ , AND  $x_6 = T_H$ , AND  $x_7 = T_H$ , AND  $x_8 = T_H$ , AND  $x_9 = T_H$ , AND  $x_{10} = T_H$ , AND  $x_{11} = T_H$ , AND  $x_{18} = T_H$  THEN  $D = D_1$
- ...
26. IF  $x_1 = T_H$ , AND  $x_2 = T_H$ , AND  $x_3 = T_H$ , AND  $x_4 = T_H$ , AND  $x_5 = T_H$ , AND  $x_6 = T_H$ , AND  $x_7 = T_H$ , AND  $x_8 = T_H$ , AND  $x_9 = T_H$ , AND  $x_{10} = T_H$ , AND  $x_{11} = T_H$ , AND  $x_{18} = T_C$  THEN  $D = D_1$

Фрагмент правил нечіткого логічного вислову представлено на рис. 2.

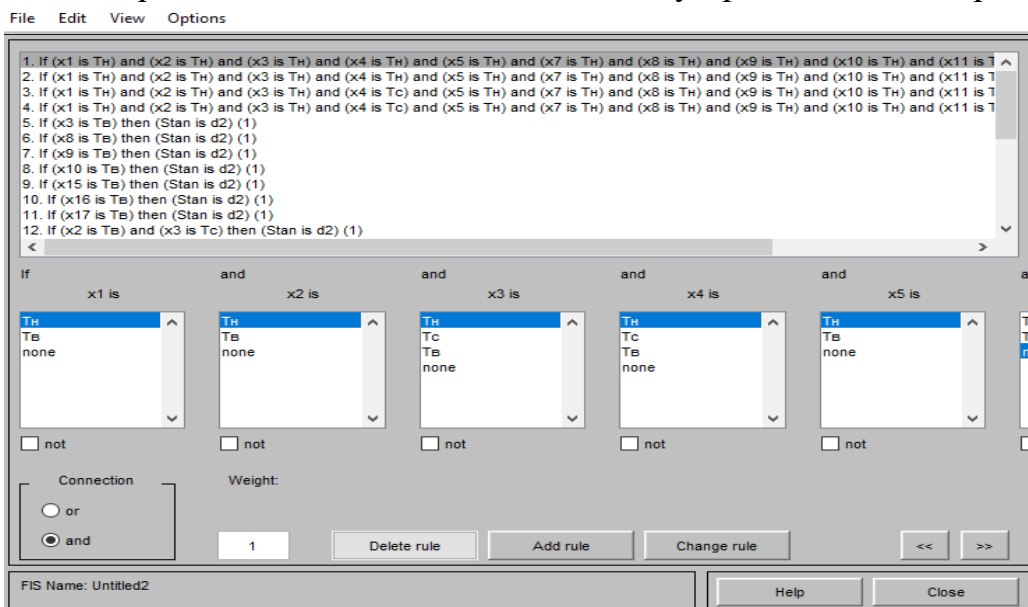


Рисунок 2 – Фрагмент правил нечіткого логічного висновку

У відповідності із загальним алгоритмом, ідентифікації технічного стану високовольтного вводу, рішенню задачі діагностики відповідає той стан для якого функція належності має максимальне значення:

$$\mu(D) = (\mu(D_j)), j = \overline{1,5}$$

Приклад:

Дані вимірювань для діагностики вводу 330 кВ з маслом типу ГК однієї із фаз 3-фазного трансформатора (ТНЦ – 125000/330) на електричній станції наведені в таблицях 2 та 3.

Таблиця 2 – Дані вимірювання  $tg\delta, \%$

$tg\delta_1$	$tg\delta_{1П}$	$tg\delta_3$	$tg\delta_{3П}$	$tg\delta_{3Н}$	$tg\delta_{\uparrow 70^\circ C}$	$tg\delta_{\downarrow 70^\circ C}$
1,08	1,0	1,04	1,0	0,8	1,2	1,3

Таблиця 3 – Дані вимірювання методом ХАРГ ( $\% об.10^{-4}$ )

№ Вим.	$A_{H_2}$	$A_{CO}$	$A_{CO_2}$	$A_{CH_4}$	$A_{C_2H_4}$	$A_{C_2H_2}$	$A_{C_2H_6}$	$A_{C_xH_y}$
1	240	0	410	3	4	0	1	8
2	110	0	123	2	2	0	0	4

Проміжок часу між контролюями:  $T = 12 \text{міс.}$

На рис. 3 представлені результати нечіткого моделювання оцінки технічного стану високовольтного вводу СТ.

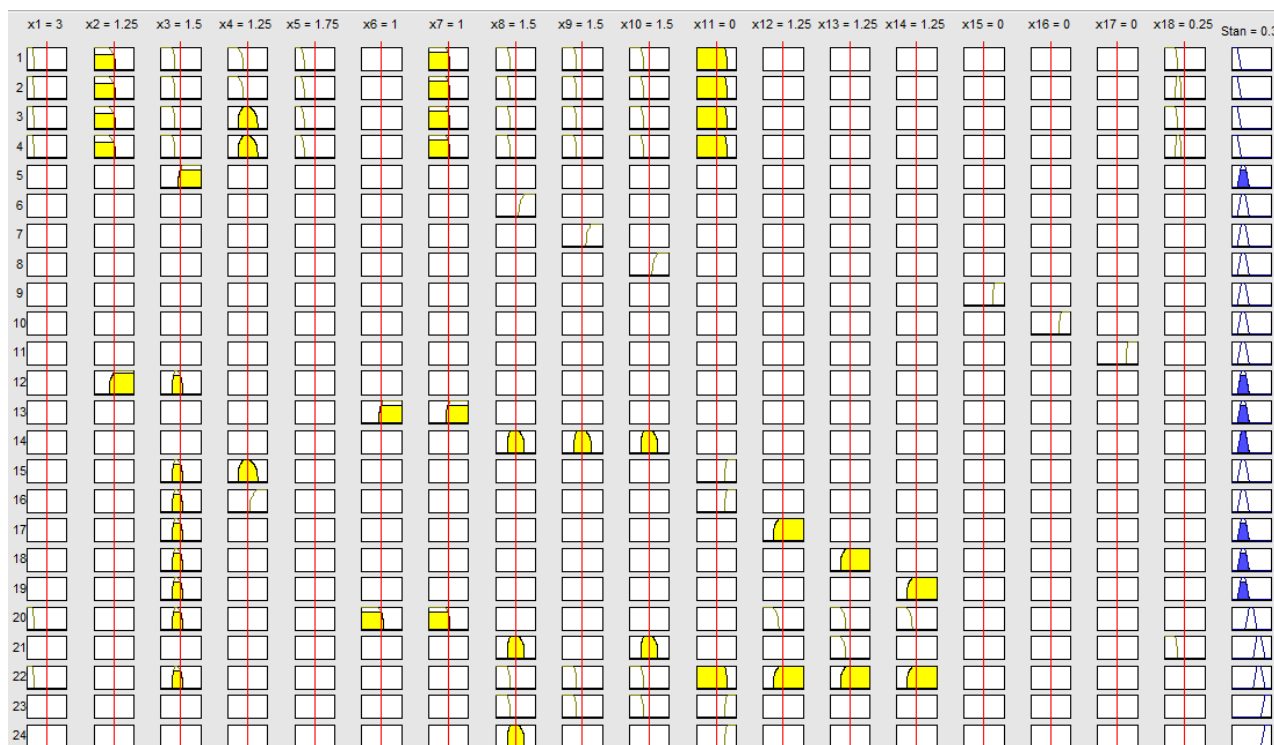


Рисунок 3 – Отримання результатів моделювання

За результатами оцінки технічного стану трансформаторного вводу за допомогою запропонованої нечіткої моделі, встановлено що даний ввод підлягає негайному виводу з експлуатації.

#### **Висновки:**

1. Проведений аналіз пошкодження силових трансформаторів показав високий відсоток відмов внаслідок пошкодження високовольтних вводів.

2. Для діагностування технічного стану запропоновано нечітку математичну модель, яка ґрунтується на використанні результатів поточного контролю високовольтних вводів.

#### **Перелік посилань**

1. Wankowicz, J., Bielecki, J., Szrot, M., Malewski, R. (2017). HV Bushing Failure in Service, Diagnostics and Modeling of Oil-Type Bushings. CIGRE: Paris, France

2. 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.

3. Технологія ремонту і експлуатації високовольтних вводів та їх конструктивні особливості / [Гуменюк О.І., Рубаненко О.Є., Остапчук О.М., Шаповалов Ю.О.]. – К. : ДП НТУКЦ Укренерго, 2012. – 552 с

4. Костерев М. В., Бардик Є. І. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану електричних систем / М. В. Костерев, Є. І. Бардик – К.: НТУУ “КПІ”, 2011. – 148 с.

5. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн – Винница: Универсум - Винница, 1999. – 320 с.

6. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба – М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с