

НАЛАШТУВАННЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВІДМОВИ ЕЛЕГАЗОВОГО ВИМИКАЧА

Бардик Є.І., к.т.н., доцент, Бондаренко О.Л., аспірант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. У теперішній час функціонування електроенергетичної системи (ЕЕС) України відбувається в особливо напружених умовах внаслідок фізичного і морального зносу силового і комутаційного обладнання та слабких темпів його заміни, максимально напруженого режиму експлуатації електрообладнання спричиненого ринковими відносинами в енергетиці, систематичних терористичних атак на електроенергетичні об'єкти [1 - 3]. Перераховані фактори суттєво знижують рівень надійності ЕЕС, що призводить до зростання ризику виникнення аварійних ситуацій. Значна частка аварій, які виникають у сучасних ЕЕС, припадає на аварії в електричних мережах, функції локалізації яких виконують насамперед високовольтні вимикачі (ВВ) [4].

Мета роботи. Налаштування параметрів нечіткої моделі визначення ймовірності відмови елегазового ВВ на основі даних моніторингу.

Матеріали та результати досліджень. В якості вхідних даних, які отримані у робочих режимах роботи лінгвістичної моделі елегазового ВВ використано такі: $N_0 = \{T_{L1}, T_{M1}, T_{B1}\}$ – максимальне кількість операцій, $I_{\Sigma KZ} = \{T_{L2}, T_{M2}, T_{B2}\}$ – сума квадратів струмів, що відключаються, $P_E = \{T_{L3}, T_{M3}, T_{B3}\}$ – тиск дугогасного середовища, $R_{IZ} = \{T_{L4}, T_{M4}, T_{B4}\}$ – активний опір ізоляції, де L, M, B – «Малий», «Середній», «Великий». Були сформовані базові форми і визначенні параметри функцій належності вхідних лінгвістичних змінних на основі даних з експлуатації (рис. 1).

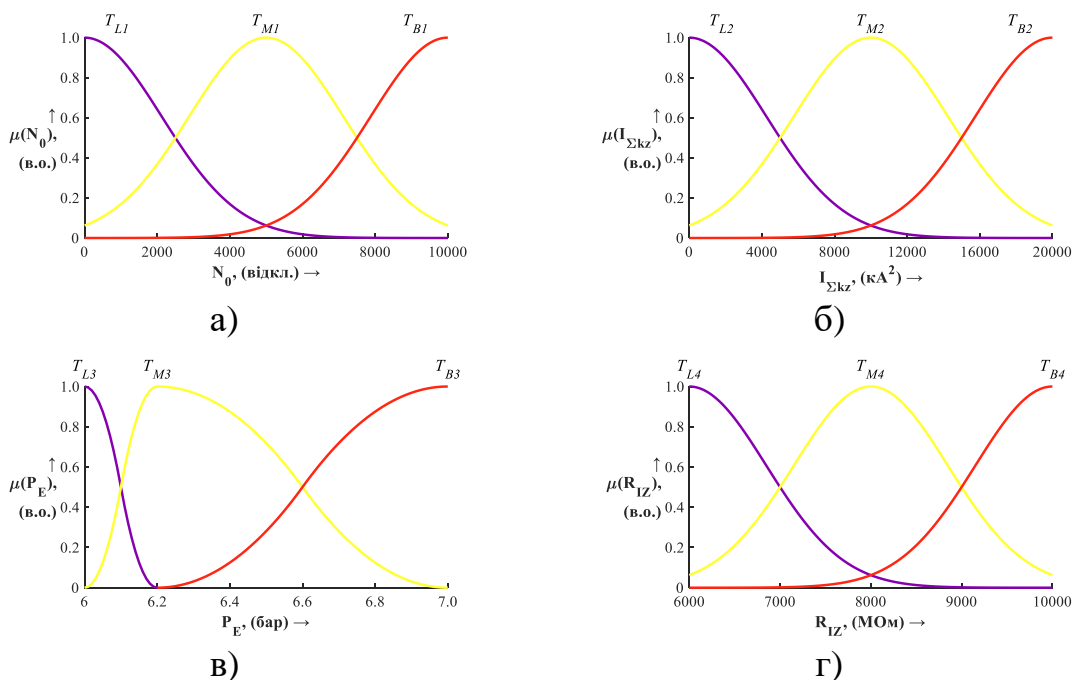


Рисунок 1 – Функції належності термів вхідних лінгвістичних змінних:

а – N_0 ; б – $I_{\Sigma KZ}$; в – P_E ; г – R_{IZ}

В якості вихідної лінгвістичної змінної Q прийнято «Ймовірність відмови елегазового ВВ» (рис. 2). Терми вихідної змінної та їх функції належності прийняті згідно зі стандартним п'ятирівневим 01-класифікатором [1].

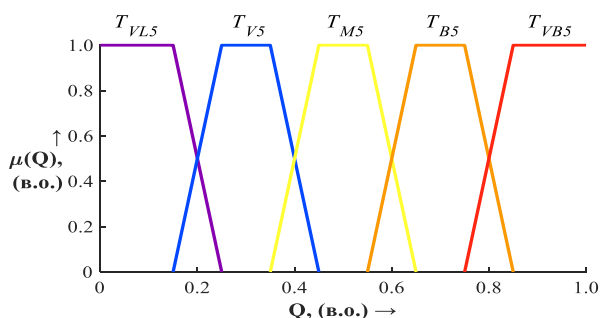


Рисунок 2 – Система трапецій функцій належності вихідної лінгвістичної змінної «Ймовірність відмови елегазового ВВ»

База знань нечіткої моделі визначення ймовірності відмови елегазового ВВ містить 81 продукційне правило і наведена в табл. 1.

Таблиця 1 – База знань нечіткої моделі

$N_0 = T_{L1}, I_{\Sigma KZ} = T_{L2}$				$N_0 = T_{L1}, I_{\Sigma KZ} = T_{M2}$				$N_0 = T_{L1}, I_{\Sigma KZ} = T_{B2}$							
P_E	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}	R_{IZ}	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}	P_E	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}	R_{IZ}	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}
T_{L4}				T_{M5}				T_{M5}				T_{L5}			
T_{M4}	T_{M5}	T_{L5}	T_{VL5}	T_{M4}	T_{M5}	T_{M5}	T_{L5}	T_{M4}	T_{B5}	T_{M5}	T_{L5}	T_{M4}	T_{B5}	T_{M5}	T_{L5}
T_{B4}	T_{L5}	T_{VL5}	T_{VL5}	T_{B4}	T_{M5}	T_{L5}	T_{L5}	T_{B4}	T_{B5}	T_{M5}	T_{L5}	T_{B4}	T_{B5}	T_{M5}	T_{L5}
$N_0 = T_{M1}, I_{\Sigma KZ} = T_{L2}$				$N_0 = T_{M1}, I_{\Sigma KZ} = T_{M2}$				$N_0 = T_{M1}, I_{\Sigma KZ} = T_{B2}$							
P_E	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}	R_{IZ}	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}	P_E	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}	R_{IZ}	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}
T_{L4}				T_{B5}				T_{M5}				T_{L5}			
T_{M4}	T_{M5}	T_{M5}	T_{L5}	T_{M4}	T_{M5}	T_{M5}	T_{L5}	T_{M4}	T_{B5}	T_{B5}	T_{M5}	T_{M4}	T_{B5}	T_{B5}	T_{M5}
T_{B4}	T_{L5}	T_{L5}	T_{VL5}	T_{B4}	T_{M5}	T_{L5}	T_{L5}	T_{B4}	T_{B5}	T_{M5}	T_{M5}	T_{B4}	T_{B5}	T_{M5}	T_{M5}
$N_0 = T_{B1}, I_{\Sigma KZ} = T_{L2}$				$N_0 = T_{B1}, I_{\Sigma KZ} = T_{M2}$				$N_0 = T_{B1}, I_{\Sigma KZ} = T_{B2}$							
P_E	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}	R_{IZ}	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}	P_E	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}	R_{IZ}	T_{L3}	T_{M3}	T_{B3}
T_{L4}				T_{B5}				T_{B5}				T_{M5}			
T_{M4}	T_{B5}	T_{M5}	T_{L5}	T_{M4}	T_{B5}	T_{M5}	T_{M5}	T_{M4}	T_{VB5}	T_{B5}	T_{M5}	T_{M4}	T_{VB5}	T_{B5}	T_{M5}
T_{B4}	T_{M5}	T_{M5}	T_{L5}	T_{B4}	T_{M5}	T_{L5}	T_{M5}	T_{B4}	T_{B5}	T_{M5}	T_{B5}	T_{B4}	T_{B5}	T_{M5}	T_{B5}

Для знаходження ймовірності відмови елегазового ВВ з урахуванням об'єктивної існуючої невизначеності застосовано систему нечіткого логічного висновку (НЛВ) на основі методу Мамдані [1]. При цьому результуюче значення виходу визначається за допомогою дефазифікації вихідної нечіткої змінної шляхом знаходження зваженого середнього значення (центру ваги).

$$Q = \frac{\sum_{j=1}^m \mu^j(Q) \cdot Q_j}{\sum_{j=1}^m \mu^j(Q)}, \quad (1)$$

де Q_j – центральні значення вихідної змінної Q відповідних термів; $\mu^j(Q)$ – усічені функції належності термів вихідної величини Q .

У процесі накопичення статистичних даних про функціонування елегазового ВВ та результати оцінки його працездатності параметри нечіткої моделі коригуються з метою забезпечення мінімального розходження експериментальних даних та результатів моделювання для підвищення точності знаходження необхідного результату. Вектори оптимальних параметрів моделі \mathbf{W}^{opt} та \mathbf{A}^{opt} у цьому випадку визначаються в процесі оптимізації за критерієм:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \left[Q^{(k)} - F\left(\mathbf{P}^{(k)}, \mathbf{W}, \mathbf{A}\right) \right]^2} \rightarrow \min, \quad (2)$$

де $F(\mathbf{P}^{(k)}, \mathbf{W}, \mathbf{A})$ – результати нечіткого моделювання при множині значень $\mathbf{P}^{(k)} = \{\mathbf{P}_1^{(k)}, \mathbf{P}_1^{(k)}, \dots, \mathbf{P}_n^{(k)}\}$, що містяться в навчальній вибірці, та поточних значеннях параметрів функцій належності $\mathbf{A} = \{\alpha_j\}$, $j = 1:l$, та ваг $\mathbf{W} = \{w_j\}$, $j = 1:m$ продукційних правил з обмеженнями $\alpha_j \hat{I} [\alpha_{j \min}, \alpha_{j \max}]$ та $w_j \hat{I} [w_{j \min}, w_{j \max}]$; $Q^{(k)}$ – експертно оцінене значення ймовірності відмови елегазового ВВ для k -го рядка навчальної вибірки.

Результати тестового моделювання. Для пошуку оптимальних параметрів моделі \mathbf{W}^{opt} та \mathbf{A}^{opt} використано дані про стан реально діючих елегазових ВВ напругою 330 кВ, які отримані на об'єктах НЕК «Укренерго». 70 % даних було використано для налаштування, 15 % для тестування та 15 % для перевірки. Вихідні дані для визначення ймовірності відмови елегазових ВВ наведено в табл. 1. В табл. 2 наведено результати тестового визначення ймовірності відмови елегазових ВВ, а також на рис. 3 графічна інтерпретація її функціональної залежності від значень кількості операцій та суми квадратів струмів, що відключаються.

Таблиця 1 – Вихідні дані елегазових вимикачів

№	Назва	Рік встановлення	Механічний ресурс, раз	Комутаційний ресурс, раз	
				При $I_{\text{ном.}}$	При $I_{\text{відкл. ном.}}$
1	LTV-420E2-40/4000	2002	10000	2000	18
2	3AP2 FI 420-40/4000	2016		3000	12
3	LTV-420E2-40/4000	2004		2000	18
4	GL 315-50/4000	2018		1400	8
5	HPL-420B2-40/4000	1997		2000	18

Таблиця 2 – Результати тестового визначення ймовірності відмови елегазових ВВ

№	N_0 , відкл.	I_{EKZ} , кА^2	P_E , бар	R_{IZ} , МОм	Ймовірність відмови, в.о.	
					До налаштування	Після налаштування
1	6000	8000	6,59	7842	0,428	0,444
2	3000	14000	6,71	6675	0,512	0,458
3	5600	9000	6,75	8057	0,362	0,368
4	4500	6000	6,49	8473	0,395	0,394
5	8200	17000	6,89	9517	0,564	0,603

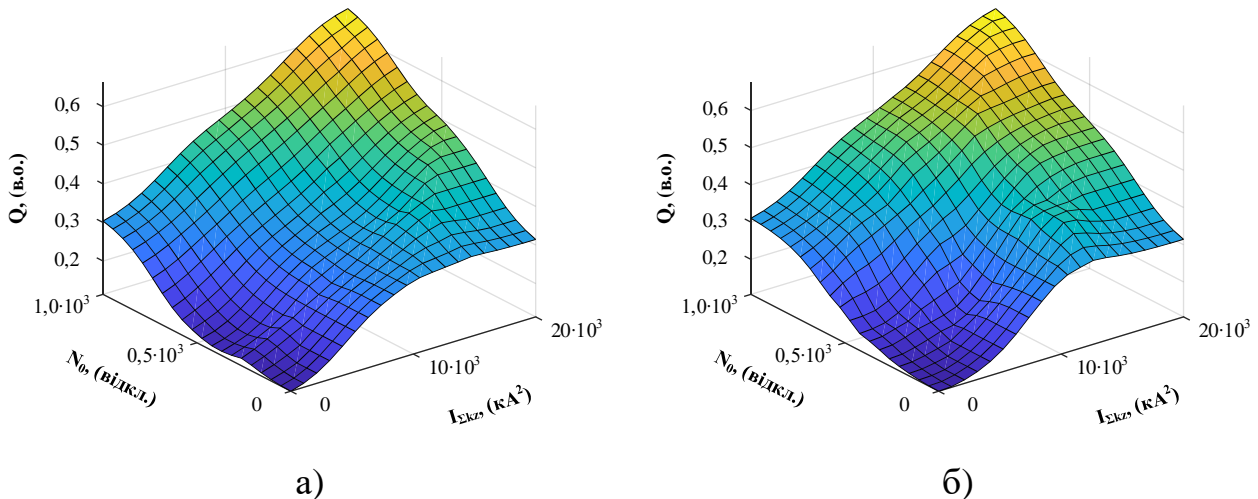


Рисунок 3 – Візуалізація роботи моделі визначення ймовірності відмови елегазового ВВ: а – до налаштування; б – після налаштування (при $P_E = 7,0$ (бар), $R_{IZ} = 10000$ (МОм))

Висновки. Розроблена лінгвістична математична модель визначення ймовірності відмови елегазового ВВ. Отримана модель є типовою та може бути адаптована під специфіку ВВ з іншими функціональними характеристиками при накопиченні відповідних статистичних даних.

Перелік посилань

1. Костерев М. В., Бардик Є. І. Питання побудови нечітких моделей оцінки технічного стану об'єктів електричних систем. Київ : НТУУ «КПІ», 2010. 131 с.
2. Бардик Є. І., Костерев М. В., Болотний М. П. Підвищення надійності функціонування енергокомпаній на основі оцінки ризику виникнення аварійних ситуацій при відмовах електрообладнання. *Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України*. 2014. № 39. С. 13-19.
3. Бардик Є. І. Моделювання та оцінка ризику відмов електрообладнання електроенергетичних систем з урахуванням рівня відновлення ресурсу після ремонту. *Науковий вісник НГУ*. 2014. № 3. С. 82-90.
4. Костерев М. В., Бардик Є. І., Литвинов В. В. Оцінка імовірності відмови електрообладнання при керуванні режимами електричної системи. *Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика»*. 2011. № 11. С. 199-204.