

ОЦІНКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ВВОДІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕМЕНТІВ ДВОХЗНАЧНОЇ ЛОГІКИ

Бардик Є. І., к.т.н., доцент, Балбачан Д. М., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Силові трансформатори є одним з головних елементів енергосистеми. Сумарна потужність силових трансформаторів в енергосистемах країн пострадянського простору на всіх рівнях напруги за рахунок декількох щаблів трансформації в 6-6,5 рази перевищує встановлену потужність генераторів [1-3].

Трансформаторний ввід є однією з основних причин відмов трансформатора. Вони викликають більше 17% відмов трансформатора та близько 40% серйозних пожеж на трансформаторі. Тому важливим завданням є забезпечення безаварійної роботи високовольтних вводів (ВВ) в процесі експлуатації трансформаторів. Проведення оперативного діагностування високовольтних вводів за відсутності результатів періодичних випробувань на момент визначення поточного стану ВВ пов'язано з необхідністю автоматизації процесу оперативного керування режимами електроенергетичних систем в умовах продовження експлуатації зношеного трансформаторного обладнання [2-5]. Це потребує розробки математичних моделей високовольтних вводів які є складовими відповідних експертних систем діагностування технічного стану силових трансформаторів.

Мета роботи. Побудова математичної моделі і алгоритму оцінки технічного стану трансформаторних вводів методами двозначної логіки.

Матеріали і результати досліджень. Оцінка стану ізоляції вводу повинна проводитися на підставі аналізу всієї сукупності результатів проведених випробувань. При цьому слід встановити характер передбачуваних дефектів і тенденцію їхнього розвитку (поставити діагноз).

Підставою для ухвалення рішення про подальшу експлуатацію вводу або його бракування має бути загальна оцінка ступеня погіршення технічного стану, що ґрунтується на діагнозі та врахуванні досвіду експлуатації аналогічних вводів. Виходячи з діагнозу також визначається і періодичність контролю. Під час проведення аналізу даних, отриманих під час випробувань, слід орієнтуватися на встановлені граничні значення контрольованих параметрів [5, 6]. На рисунку 1 наведено структурну схему логічного висновку про технічний стан трансформаторних вводів, яка використовує інформацію про стан об'єкту, отриману шляхом проведення комплексу випробувань і вимірів, як на працюючому, так і на відключеному обладнанні [2, 3]

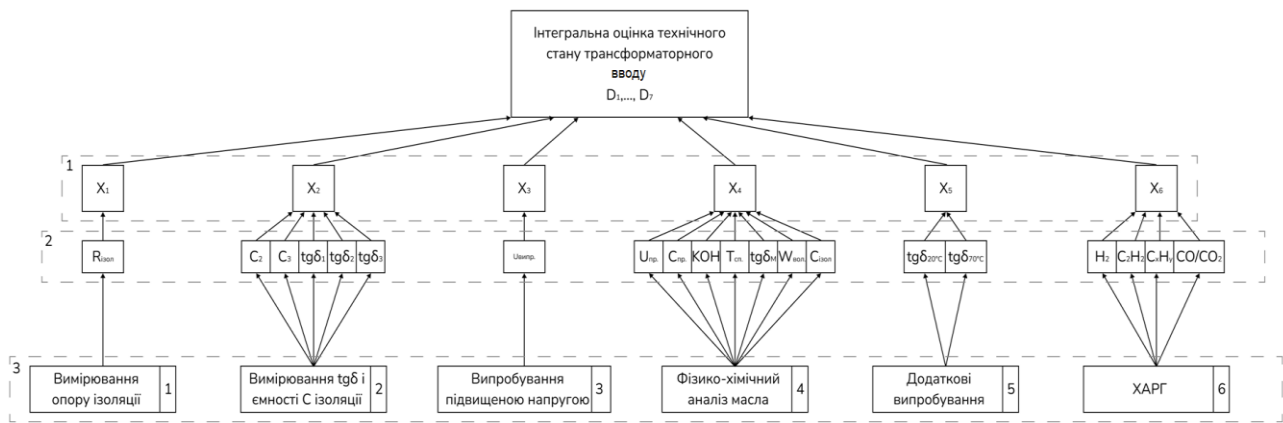


Рисунок 1 – Структурна схема логічного висновку про технічний стан трансформаторного вводу

У відповідності з структурною схемою для комплексної оцінки технічного стану вводу необхідно знати значення 21 параметра, які визначаються вимірюванням і випробуванням як на працюючому, так і на відключеному обладнанні. В таблиці 1 наведено характеристики визначених основних еталонних технічних станів трансформаторних вводів [3, 5, 7-10], а в таблиці 2 діагностичні ознаки для класів технічного стану, які визначаються за значенням тангенсу дельта зон вводу і масла.

Таблиця 1 – Загальні технічні стани трансформаторного вводу

Умовне позначення	Технічний стан трансформаторного вводу	Рекомендація
D_0	Трансформаторний ввід справний	
D_1	Старіння масла	Аналіз розчинених газів і контроль масла Черговий контроль через 6 міс.
D_2	Старіння ізоляції осаду і масла. Можливі перегрівання.	Аналіз розчинених газів і контроль масла. Черговий контроль через 6 міс. Бракування
D_3	Старіння масла. Випадання осаду.	Аналіз розчинених газів і контроль масла. Черговий контроль через 6 міс. Бракування
D_4	Глибоке старіння масла. Випадання осаду. Часткові розряди. Можливі перегрівання.	Бракування
D_5	Часткові (поверхневі) розряди. Старіння масла.	Бракування
D_6	Пробій частини остова.	Бракування

Таблиця 2 – Класи технічних станів трансформаторного вводу

Стан		1. Діагностичні ознаки визначені за значеннями $tg\delta$ зон введення					2. Діагностичні ознаки визначені за значенням $tg\delta$ масла		
		1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	2.1	2.2	2.3
		d_{11}	d_{12}	d_{13}	d_{14}	d_{15}	d_{21}	d_{22}	d_{23}
D_0		1	1	1	1	1	1	1	1
D 1	Q_1	1	1	1	0	1	1	1	1
	Q_2	1	1	1	1	0	1	1	1
	Q_3	0	1	1	0	1	1	1	1
	Q_4	1	1	1	1	0	1	1	0
D 2	Q_5	0	1	1	1	1	1	1	1
	Q_6	0	1	1	1	1	1	0	1
	Q_7	0	1	1	1	1	1	1	0
	Q_8	1	0	1	1	0	1	1	1
	Q_9	1	0	1	1	0	1	1	1
D 3	Q_{10}	1	1	0	0	1	1	1	1
	Q_{11}	1	1	1	1	1	1	0	1
	Q_{12}	1	1	1	0	1	1	1	0
D 4	Q_{13}	1	1	0	1	1	1	1	0
	Q_{14}	1	1	1	1	1	1	1	1
	Q_{15}	1	1	1	0	1	1	1	1
	Q_{16}	1	1	1	1	1	1	1	0
	Q_{17}	1	1	1	0	1	1	1	1
D 5	Q_{18}	1	1	1	1	1	1	1	1
	Q_{19}	1	1	1	1	1	1	1	1
	Q_{20}	1	1	0	1	1	1	0	1
D 6	Q_{21}	1	1	1	1	1	1	1	1

Значення 1 – відповідає попаданню діагностичного параметра в зону допуску, а 0 – не попаданню; $D_i (i = 0 \div 7)$ – контрольовані стани трансформаторного вводу; 1.1-1.5; 2.1-2.3; – коди діагностичних ознак; d_{11} - d_{15} ; d_{21} - d_{23} ; – діагностичні ознаки; $Q_1 \div Q_{21}$ – множини різних поєднань діагностичних ознак трансформаторного вводу.

Для кожного виду випробувань і вимірювань трансформаторного вводу використовуючи часткові висновки виконати інтегральну оцінку стану [3, 5].

Використовуючи елементи теорії двозначної логіки [11-13], розглянемо алгоритм формування висновку про стан трансформаторного вводу на підставі значень діагностичних параметрів, отриманих у результаті конкретних випробувань (вимірювань).

Визначення технічного стану трансформаторного вводу, за значеннями $tg\delta$ виконується за таким алгоритмом (рис. 2):

Формування станів трансформаторного вводу:

$D_1^1 \in \{Q_1, Q_{11}, Q_{12}, Q_{15}, Q_{17}\}; D_2^1 \in \{Q_2, Q_4, Q_{19}\}; D_3^1 \in \{Q_3\};$
 $D_4^1 \in \{Q_5, Q_6, Q_7, Q_{14}, Q_{18}, Q_{21}\}; D_5^1 \in \{Q_8, Q_9\}; D_6^1 \in \{Q_{10}, Q_{20}\}; D_7^1 \in \{Q_{13}\}.$

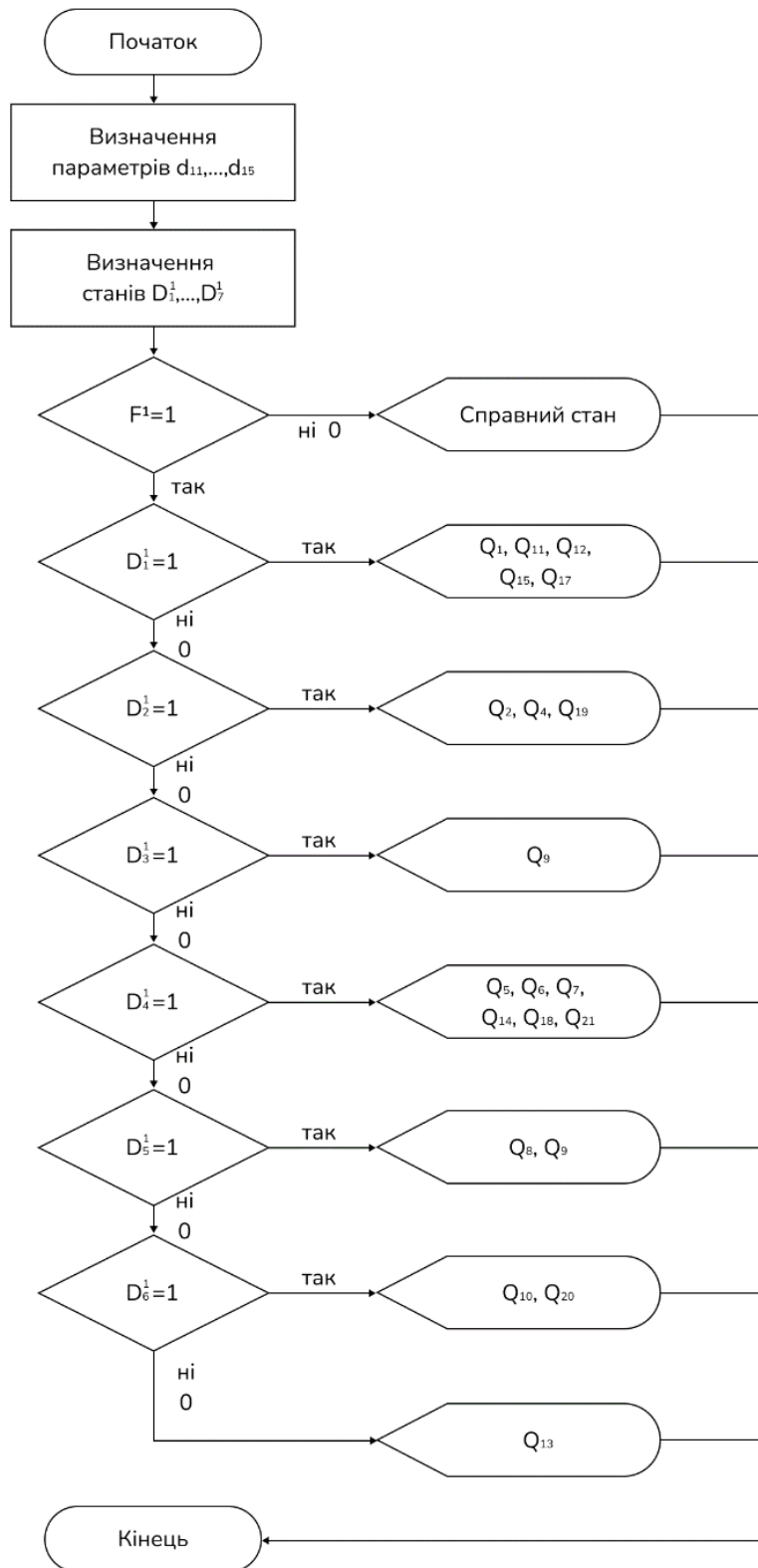


Рисунок 2 – Алгоритм оцінки технічного стану трансформаторного вводу за результатами вимірювання tgd зон вводу

За результатами кожного виду випробувань можна визначити низку діагностичних параметрів і зробити частковий висновок про технічний стан трансформаторного вводу. Під час аналізу причин несправностей можливий нечіткий діагноз, оскільки одна й та сама причина може призвести до відхилення одночасно кількох параметрів вводу [12, 13].

Висновки. Розроблено структуру логічного висновку про технічний стан трансформаторних вводів на основі проведення комплексу випробувань і вимірів на працюючому, і на відключеному обладнанні. Встановлено основні визначальні діагностичні параметри, наведено характеристики визначених основних еталонних технічних станів трансформаторних вводів та їх діагностичні ознаки. Запропоновано алгоритми формування висновку про стан трансформаторного вводу на підставі значень діагностичних параметрів, отриманих у результаті конкретних випробувань (вимірювань) та побудовано функції ознак несправності на основі теорії двозначної логіки.

Перелік посилань

1. НКРЕКП: Ключові проблеми електроенергетики [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://vse.energy/news/pek-news/electro/485-nerc-zvit>
2. 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.
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. Норми випробувань електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007. – К. ГРІФРЕ, М-во палива та енергетики України Об'єднання енергетичних підприємств, ДП МОУ «Воєнне видавництво України «Варта», 2007 – 262 с. – (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Норми).
5. Високовольтні вводи. Конструкція, експлуатація, діагностика і ремонт: монографія / О. Є. Рубаненко, О. І. Гуменюк – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 329 с.
6. D. Egger, U. Krüsi, A. Dais, Z. Zic, W. Odermatt, J. Czyzewski and J. Rocks, "New paper-free insulation technology for dry high-voltage condenser bushings," in CIGRE, Paris, 2012.
7. IEC, 60137 - Insulated bushings for alternating voltages above 1000 V, IEC, 2003.
8. IEEE Std C57.19.01: Performance Characteristics and Dimensions for Outdoor Apparatus Bushings, 2000.
9. M. B. Goff, "Substation Equipment (Bushings)," in InfraMation, 2001.
10. IEC, TS 61464:1998 - Insulated bushings - Guide for the interpretation of dissolved gas analysis (DGA) in bushings where oil is the impregnating medium of the main insulation (generally paper), IEC, 1998.
11. M. Krueger, A. Kraetge, M. Puetter and L. Hulka, "New diagnostic tools for high voltage bushings," in CIGRE VI Workspot – international workshop on power transformers, Foz do Iguaçu, Brazil, 2010.
12. Kuharchuk, V.V. (1998), Elementy teorii kontrolyu dynamichnyh parametriv elektrychnykh mashyn [Elements of theory of control of dynamic parameters of electric machines], Universum, Vinnytsya, Ukraine.1998. – 125 p.
13. Математична логіка та теорія алгоритмів: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 113 «Прикладна математика» / О.Л.Темнікова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 177 с.