

УДК 621.3.013.1

Яримбаш Д.С.¹, Кучерявий А.В.², Климов О.Ф.²

¹ д-р техн. наук, проф НУ «Запорізька політехніка»

² асп. НУ «Запорізька політехніка»

ОЦІНКА ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ПАПЕРОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Сучасна економіка вимагає безперебійного постачання електроенергії споживачам, яке тісно пов'язано з постійною роботою силових трансформаторів. Тому, основні вузли силових трансформаторів повинні вчасно обслуговуватися для досягнення проєктного, а в окремих випадках понад проєктного терміну служби. Термін служби трансформатора визначається терміном служби його ізоляції. Система ізоляції трансформатора в процесі експлуатації зазнає низки навантажень, таких як електричні, термічні, механічні та екологічні. Через це трансформатори не можуть працювати протягом проєктного терміну служби. Тому необхідно, щоб експлуатуючі організації постійно контролювали стан системи ізоляції силового трансформатору.

Система ізоляції трансформатора, в основному складається з двох спеціальних діелектричних середовищ: ізоляційне мінеральне масло, іонна провідність якого змінюється, і просочений маслом папір (або прес-картон), термін служби якого обмежений навіть за ідеальних умов. Функціонування трансформатору зазвичай залежить від справного стану його системи ізоляції. Основним елементом картону та паперу є целюлоза. Було встановлено, що існує пряма залежність між механічною міцністю на розрив паперової целюлози та відповідним значенням ступеня полімеризації. Як правило, свіжий целюлозний папір має значення ступеня полімеризації 1200, яке дещо знижується під час навантаження. При значеннях ступеня полімеризації 200 термін служби целюлозного паперу закінчується.

Крафт-папір/целюлозний папір втрачає міцність на розрив, коли він піддається старінню, і в певний момент не витримує напруги короткого замикання. Механізм псування паперу досить складний і сильно залежить від робочого середовища. Під час старіння целюлоза розкладається на різні речовини, включаючи фуранові сполуки, кислоти, CO₂ і CO. Ці побічні продукти частково розчинні в маслі та зазвичай характеризуються як індикатори старіння целюлози і показують кінець терміну служби силових трансформаторів.

Останнім часом з'являється все більше досліджень спрямованих на визначення кінця терміну служби силового трансформатору. В одних роботах як критерій використовується ступінь поляризації, в інших, Вони використовують ступінь полімеризації, в інших - співвідношення двоокису вуглецю та окису вуглецю. Останнім часом широкого розповсюдження у якості методів обчислень для оцінки стану системи ізоляції набули нейронні мережі, нечітка логіка, нейронна нечітка система, метод опорних векторів, вейвлет-мережа. Моделі, що базуються на цих методах використовують оксид вуглецю для оцінки деградації паперової целюлози.

Метою дослідження був моніторинг стану систем ізоляції за допомогою нечіткої моделі, яка встановлює зв'язок концентрації окису вуглецю, двоокису вуглецю та фурфуролу зі значенням ступеня полімеризації.

Використання нечіткої логіки для аналізу стану ізоляції трансформатора дозволяє ефективно оцінювати його працездатність через моніторинг на основі Fuzzy-Logic. Моделі Fuzzy-Logic, яка використовується для моніторингу стану масляного силового трансформатора, повинна відповідати критеріям: вимірювання суттєвого погіршення стану трансформатора, важливості параметрів, які використовуються для визначення стану трансформатора; відповідності діапазону вибору вимірюваної величини, що містить будь-яку неоднозначність, пов'язану з вимірюванням.

За допомогою MATLAB була розроблена система нечіткого логічного висновку, яка перетворює всі вхідні дані на різні набори функцій належності для аналізу ізоляції трансформаторів та діагностики їх справності за допомогою набору правил, що враховують нечіткість вхідних та вихідних даних.

Нечіткі моделі засновані на різних функціях належності і підготовлені для перевірки стану трансформатора за допомогою значення DP.

Система нечіткого логічного висновку будується за допомогою набору лінгвістичних правил, які формуються за допомогою існуючого співвідношення між окисом вуглецю, двооксидом вуглецю, фурфуролом та значенням ступеня полімеризації. Ці дані було надано ТОВ "НІЦ "ЗТЗ-СЕРВІС".

Використання процедури дефазифікації надало чітке значення ступеня полімеризації на виході, з якого виводиться стан ізоляції.

Для верифікації моделі використовувались експериментальні дані, кінцевий результат системи добре узгоджується з вхідними параметрами.

Розроблена система нечіткої логіки визначає фізичний стан системи ізоляції за значенням ступеня полімеризації.

Вихідні дані моделі дають чітке значення ступеня полімеризації, яке можна використовувати для визначення стану паперової ізоляції трансформатора. На виході моделі – стан системи ізоляції.

Порівняння між експериментальними результатами і результатом розробленої нечіткої моделі показало, що стан системи ізоляції, отриманий за допомогою нечіткої моделі, відповідає експериментального результату.

Висновки

У роботі використано кореляцію існуючого співвідношення між окисом вуглецю, двооксидом вуглецю, фурфуролом та значенням ступеня полімеризації як показника стану системи ізоляції силового трансформатору. Результати роботи можна бути використовувати як основу для подальших досліджень в напрямку розробки системи моніторингу стану системи ізоляції в масляних трансформаторах за допомогою нечіткої моделі. Запропонована модель визначає стан ізоляції трансформатора і дає добрий прогноз значення ступеня полімеризації на основі концентрації газів оксиду вуглецю, двооксиду вуглецю і фурфуролу в маслі. Модель може бути використана оцінки необхідності технічного обслуговування масляного силового трансформатора в залежності від стану та для збільшення терміну його експлуатації.