

МОДЕЛЮВАННЯ ФАКТИЧНОГО ВИРОБЛЕНОГО РЕСУРСУ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА З ВРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ

Гаєвська Г.М., ст. викладач., Афанасьєв М.Ю., студент
НТУУ «КПІ», кафедра електричних станцій

Енергетичний комплекс (ПЕК), складові якого пов'язані з отриманням, перетворенням і розподілом електроенергії - це підприємства, де непередбачені перерви в роботі можуть призвести до великих втрат. Технічний стан електрообладнання (ЕО) залежить від цілого ряду чинників: режимів і тривалості роботи, параметрів робочого і навколишнього середовища, тривалості експлуатації, рівня технічного обслуговування. На даний момент відбувається переорієнтація з системи планово-попереджувальних ремонтів ТВМ (Time Based Maintenance) на систему профілактики, залежною від стану об'єкта - СВМ (Condition Based Maintenance) широко використовувану за кордоном [1]. Це дозволяє продовжити термін служби устаткування, знизити час ремонту та простою, збиток від простою трансформаторів знижується в 2-4 рази. СІГРЕ запропонована нова концепція - система RCM (Reliability Centered Maintenance, як подальший розвиток обслуговування електрообладнання по обґрунтованій надійності, яка припускає продовження експлуатації дефектного обладнання з певним ступенем ризику.

У зв'язку з цим на перший план висуваються завдання оптимізації режиму роботи, діагностування, оцінки зносу, застосування систем з відновлення працездатності (On-line Processing) при мінімумі ремонтних робіт. Сучасна система експлуатації електрообладнання вимагає системи автоматизованого моніторингу технічного стану, як невід'ємної частини діагностики, з урахуванням реальних умов експлуатації. Але існує цілий ряд причин, по яких потрібна оцінка ефективності впровадження методів діагностики в режимі моніторингу та обґрунтування пріоритетності ЕО (ранжування) [2] при введенні систем моніторингу, це:

число об'єктів високого напруги на ВРП і підстанціях обчислюється сотнями одиниць;

число діагностичних параметрів коливається від 10 -14 для ОПН і роз'єднувачів до 38-40 для трансформаторів;

періодичність випробувань залежить від технічного стану об'єкта і тяжкості режиму і коливається від двох годин до 3 місяців.

Підсумком діагностики є висновок про подальшу експлуатація об'єкта після розрахунку технічного ресурсу - інтегральної оцінки технічного стану (ТС) обладнання, яка вимірюється в одиницях напрацювання (для трансформаторів - кількість років, для вимикачів - кількість комутацій і т.п). Найбільш дорогий і відповідальний елемент ЕК - трансформатор (Т). Ресурс трансформатора, згідно з даними експлуатації, залежить від стану його компонент: від стану твердої ізоляції, масляної ізоляції, обмоток, вводів, системи РПН.

На технічних станутих компонент, у свою чергу, впливають експлуатаційні фактори: навантаження, перенапруження, температура навколишнього середовища, стан масла, робота системи охолодження. В залежності від інтенсивності цих факторів змінюється вироблений ресурс - знос об'єктів. Інтенсивність впливу можна враховувати як коефіцієнти обважнення k_i відповідного впливу по відношенню до номінальних значень.

Для визначення зносу об'єкта, який досліджується, з урахуванням перерахованих експлуатаційних факторів застосовувався наступний вираз:

$$Z = \prod_{i=1}^n Z_i \quad (1)$$

де n - кількість чинників, які впливають на стан обладнання (теплові, електричні, механічні), Z_i - фактичний знос об'єкта при впливі на нього i -го фактора

$$Z_i(t) = \int_0^t v(t) dt \approx \sum v_i \Delta t \quad (2)$$

де $v(t)$ - швидкість зносу, постійна для експлуатаційного фактора.

Найбільш слабким місцем СТ є ізоляція. Її ресурс (знос ізоляції на інтервалі часу), на якій впливають кислотність K масла та вміст води W описується [1]:

$$L(t) = \int V_K V_W V_\Theta dt, \quad (3)$$

де $V_K = \left(\frac{K}{K_0}\right)^{2.05}$, $V_W = \left(\frac{W}{W_0}\right)^{1.49}$ - відносні швидкості змінення кислотності масла і вологості ізоляції, відповідно; відносна швидкість термічного зносу

$$V_\Theta = \exp(\ln 2 (\Theta_{ннт} - 98) / \Delta), \quad (4)$$

де Δ - інтервал температур $\Theta_{ннт}$ (температура найбільш нагрітої точки, в °C). на якому відбувається, за інших рівних умов, подвоєння зносу ізоляції (стандарт ІЕС 60076-7).

Метою роботи була мета розробити програму, яка моделює змінення виробітку технічного ресурсу силового трансформатора, з урахуванням поточних умов експлуатації (температури навколишнього середовища, вологості, перенапруг, рівня навантажень). Швидкості V_i , після перемноження, використовуються в програмі як блок оцінки зносу для прогнозування залишкового ресурсу СТ. В свою чергу підвищення W та K пов'язані зі

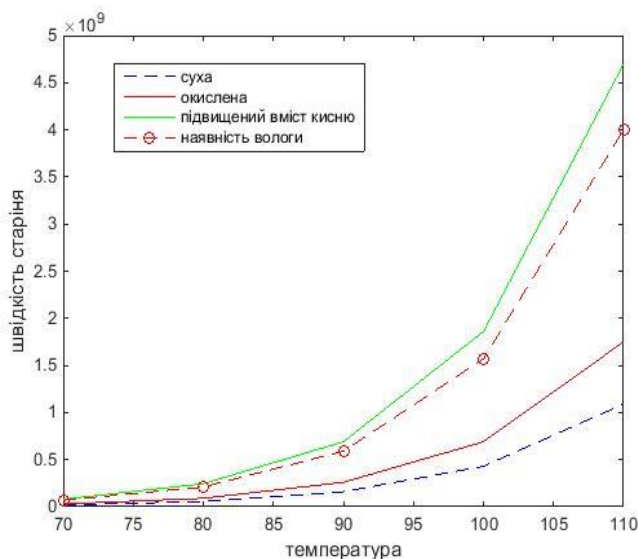


Рисунок 1 – Зростання швидкості старіння ізоляції від вологості та температури

зростанням ступеня полімеризації (СП) ізоляції, цей фактор враховується за допомогою інтеграла Монтзінгра. Вплив кожного фактора враховується як

$$Z_i = Z_{i-1} - dZ_i$$

На рис. 2 можна спостерігати зміну швидкості зносу залежно від модельованих експлуатаційних впливів на заданому часовому інтервалі. Можно спостерігати як змінюється швидкість зносу та зменшується стійкість до відмови. Розрахункові дані порівнюються з граничними значеннями мінімально допустимого рівня надійності. Крім монотонної деградації ізоляції, швидкість якої оцінюється згідно (3,4) необхідно передбачати можливість обліку появи неусувного дефекту і швидкості його розвитку його.

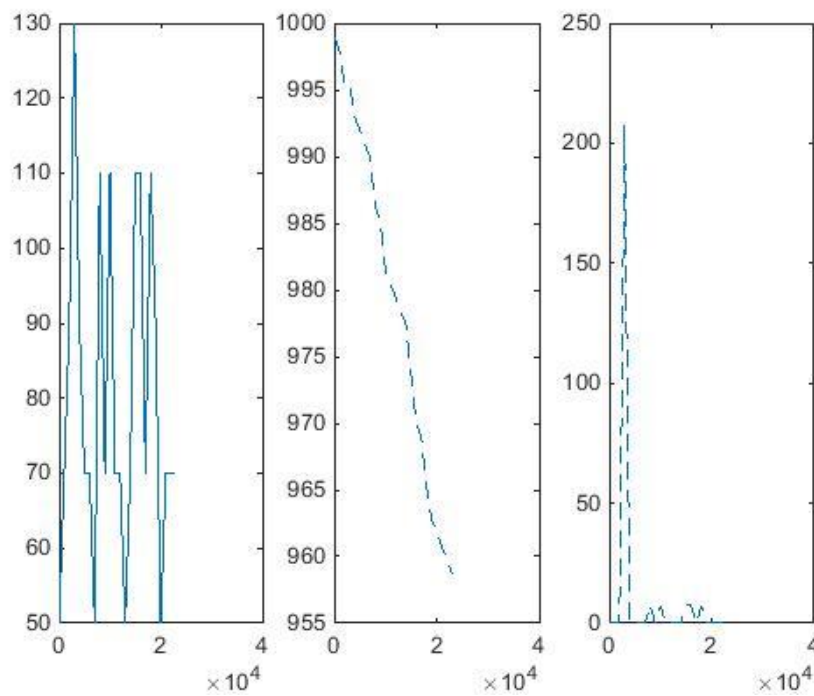


Рисунок 2 – 1) - температура $\Theta_{\text{нтт}}$, 2)- зміна СП ізоляції, 3)- швидкість старіння ізоляції.

Технічний стан будь-якого об'єкта можна встановити при разовому та багаторазовому діагностуванні. При разовому діагностуванні високовольтного обладнання, що складається з безлічі елементів, ймовірність об'єктивної оцінки технічного стану мала.. Ймовірність надійної та об'єктивної оцінки технічного стану підвищується в міру посилення контролю. Ця обставина є підставою для введення багаторазового діагностування з визначеною періодичністю при розрахунку періодичності обстежень використовується статистична ймовірність появи дефекту з цілю виявлення дефектів до того, як вони переростуть у пошкодження з аварійним виходом.

Перелік посилань

1. Васин В.П., Долин А.П. Ресурс изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2008. – №3. – С. 12-17.
2. Вдовико В.П. Методология системы диагностики электрооборудования высокого напряжения. Электричество, № 2, 2010. – С. 14 -20.