

УДК 621.315.2

Олександр Вакулєнко, Олександр Михайлов

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФЕКТНОСТІ ІЗОЛЯЦІЇ ЕМАЛЬПРОВІДІВ В УМОВАХ ДІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ

Olexander Vakulenko, Olexander Mykhailov

FEATURES MODELING DEFECTS INSULATION ENAMELED WIRES IN TERMS OF TECHNOLOGICAL FACTORS

Ізоляція емальованого проводу в ході виготовлення обмоткового елемента піддається інтенсивній дії технологічних чинників. Як наслідок, лаковий шар ізоляції емальованого проводу зменшується по товщині, має місця з послабленою ізоляцією, а також явні дефекти. Очевидно, що при випробовуваннях ізоляції такого проводу на електричну міцність буде отриманий значний її розкид: від мінімальних значень у місцях розташування явних дефектів до номінальних значень, притаманних ізоляції даного типу емальпроводу.

Зважаючи на ефективність методу [1], в якому усунена наявність в значеннях напруг пробою випадкової складової повітряного розрядного проміжку, було проведено дослідження ізоляції одного з емальпроводів, який використовувався для виготовлення електричних апаратів електротехнічної продукції, - W200-L-0,30 ІЕС 317-13 для опису дефектності його ізоляції методом математичного моделювання як у вихідному стані, так і після намотування з нього обмоткових елементів, виконаних механізованим способом у вигляді прямокутного виробу з відношенням сторін 4,4 (початок намотування)...3,6 (кінець намотування) з кількістю витків 760 та швидкістю намотування (1200...1600) об·хв.⁻¹

Показники якості емальпроводу W200-L-0,30 у вихідному стані відповідали вимогам стандарту ІЕС 317-13.

Результати випробувань після намотування вказали на відмінний від нормального двомодальний закон розподілу напруг пробою з максимальними частотами значень напруг: ~ (350...650) В та (2150...2450) В й відчутною асиметрією у бік менших значень, особливо для розподілу малих значень.

Для проведення математичного моделювання одержаних результатів область визначення значень напруг пробою була розділена на дві, привівши, таким чином, їх статистичні розподіли у відповідність до притаманним їм математичним законам: (0,05...1,5) кВ та (1,0...3,6) кВ.

Таким чином, для області значень напруг пробою ізоляції $U = (0,05...1,5)$ кВ отримали статистичні характеристики закону розподілу напруг пробою ізоляції:

- $M(U) = 0,30$ кВ; мода $\mathcal{M} \approx 0,62$ кВ < $M(U)$; $\sigma(U) = 0,319$ кВ;
- початкові моменти: $\alpha_1 = 2,63$; $\alpha_2 = 8,05$; $\alpha_3 = 28,07$; $\alpha_4 = 108,61$;
- центрувальні моменти: $\mu_3(U) = 0,02534$; $\mu_4(U) = 0,03134$;
- асиметрія $S_k = +0,7806 > 0$; та ексцес $\varepsilon = +0,0265 \geq 0$.

Враховуючи наявну несиметричність, вводилось припущення, що розподіл напруг пробою ізоляції підлягав закону Шарльє, а для підтвердження гіпотези було використано критерій узгодженості Колмогорова (D - критерій), обчисливши відповідні статистичну функцію розподілу $F^*(U)$ та теоретичну (інтегральну) функцію розподілу $F(U)$, за допомогою яких у цьому критерії визначається параметр $\lambda = D \cdot \sqrt{N_1} = 0,139 \approx 0,14$, де $D = \max|F^*(x) -$

$$F(x)| = 0,042, \text{ а } N_1 - \text{об'єм вибірки. Ймовірність } P(\lambda) = 1 - \sum_{j=-\infty}^{\infty} (-1)^j \cdot e^{-2 \cdot j^2 \cdot \lambda^2} = P(0,14) = 1,00$$

вказала на слушність гіпотези про розподіл напруг пробою ізоляції емальпроводу W200-L-0,30 ІЕС 317-13 в області значень (0,05...1,5) кВ згідно закону Шарльє у вигляді відповідної щільності розподілу $f(U)$ з отриманими числовими характеристиками:

$$f_1(U) = \frac{1}{1,063 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{y^2}{2}} \cdot \left\{ 1 + 0,130 \cdot y \cdot (y^2 - 3) + 0,0011 \left[y^2 \cdot (y^2 - 6) + 3 \right] \right\},$$

де $y = \frac{U - 0,69}{0,32}$, а U - напруга пробою ізоляції, що змінюється в межах $[0,28...1,46]$ кВ.

Аналогічним чином було проведене моделювання дефектності ізоляції в області значень напруг пробою $(1,0...3,6)$ кВ:

- $M(U) = 2,42$ кВ; мода $\mathcal{M} \approx 2,24$ кВ < $M(U)$; $\sigma(U) = 0,68$ кВ;
- початкові моменти: $\alpha_1 = 5,39$; $\alpha_2 = 33,29$; $\alpha_3 = 224,75$; $\alpha_4 = 1616,09$;
- центрувальні моменти: $\mu_3(U) = -0,00993$; $\mu_4(U) = +0,3343$;
- асиметрія $S_k = -0,0421 \leq 0$; та ексцес $\varepsilon = -0,708 \leq 0$.

При цьому $\lambda = D \cdot \sqrt{N_2} = 0,027 \cdot \sqrt{39} \approx 0,17$; $P(0,17) = 1,00$, а відповідна щільність розподілу $f(U)$ з отриманими вище числовими характеристиками:

$$f_2(U) = \frac{1}{2,06 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{y^2}{2}} \cdot \left\{ 1 - 0,0070 \cdot y \cdot (y^2 - 3) - 0,0295 \left[y^2 \cdot (y^2 - 6) + 3 \right] \right\},$$

де $y = \frac{U - 2,417}{0,618}$, а U - напруга пробою ізоляції, що змінюється в межах $[1,14...3,60]$ кВ.

Для отриманих функцій щільності розподілів $f_1(U) = f_x(x)$ та $f_2(U) = f_y(y)$ їх композиція $f_k(U) = f_z(z)$ випадкової величини $Z = X + Y$ була обчислена методом згортання. Для цього в кожному частковому інтервалі $[x_i; x_{i+1}]$ та $[y_j; y_{j+1}]$ розраховувались ймовірності перебування в них випадкових величин X та Y :

$$p_{x_i} = \int_{x_i}^{x_{i+1}} f_x(x) dx \quad \text{та} \quad p_{y_j} = \int_{y_j}^{y_{j+1}} f_y(y) dy \quad (\text{можна використати відповідні частоти } w_1 \text{ та } w_2). \text{ Після}$$

обчислення ймовірностей $p_{z_k} = \sum_{i=1}^{k-1} p_{x_i} \cdot p_{y_{k-i}}$ був отриманий наближений вираз щільності двомодального розподілу $f_k(U)$ для композиції законів розподілів напруг пробою ізоляції в інтервалі $[0,28...3,60]$ кВ у місцях розташування дефектів.

Література

1. Вакулєнко О.О. Спосіб оцінки ступеня дефектності ізоляції емальпроводів // Патент на винахід №54560. Україна. – Бюл. №3. – 2003. – 17 березня.