

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ВИТКОВОЙ  
ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ  
В ПЕРИОД ПРИРАБОТКИ**

А. С. ГИТМАН, О. П. МУРАВЛЕВ, Ю. П. ПОХОЛКОВ,  
Э. К. СТРЕЛЬБИЦКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
в общей электротехники)

Доля отказов асинхронных двигателей из-за различных повреждений обмоток достигает 70—80 проц., причем наименее надежной в эксплуатации является витковая изоляция [1].

В результате наблюдения за двигателями в эксплуатации установлено, что асинхронные короткозамкнутые двигатели имеют период приработки 800—1200 часов, когда происходит отказ обмотки у 10—16 проц. двигателей. Без ликвидации отказов в период приработки усилия по повышению долговечности в значительной степени нейтрализуются, так как обмотки выходят из строя из-за скрытых дефектов гораздо раньше срока, определяемого тепловым старением. В связи с этим по поручению Главэлектромаша МЭТП на кафедре электрических машин ТПИ разработана методика расчета надежности витковой изоляции обмоток асинхронных двигателей для периода приработки.

Исходными данными для расчета являются следующие: диаметры голого и изолированного провода  $d_r/d_{из}$ , число проводников в пазу  $S_{п}$ , электрическая прочность пропитывающего состава при температуре, соответствующей классу изоляции  $E_{п}$ , фазное напряжение с учетом коммутационных перенапряжений  $u_{кф}$ , коэффициент заполнения  $K_з$ , периметр свободной площади паза  $\Pi$ , число пазов статора  $z$ , средняя длина обмотки статора  $l_w$  и число катушек (секций) в фазе  $p_k$ . Кроме этого необходимы результаты испытаний в дробь изолированного провода в состоянии поставки и после укладки обмотки в пазы [2].

Расчет надежности витковой изоляции проводится в следующей последовательности.

Число элементарных участков на проводе длиной  $l = 125$  мм

$$n = \frac{l}{d_{из}} \quad (1)$$

Теоретический максимально возможный диаметр провода, который можно уложить в паз,

$$d_{из\max} = 1,075 d_{из} \sqrt{\frac{1}{K_з}}, \quad (2)$$

где

$$K_з = \frac{d_{из}^2 S_{п}}{Q_{п}};$$

$Q_{п}$  — свободная площадь паза, мм<sup>2</sup>,

Число проводников, находящихся в наружном слое паза,

$$S_{\text{пнар}} = \frac{\Pi}{d_{\text{изпах}}} \quad (3)$$

Число проводников, находящихся во внутренних слоях,

$$S_{\text{пвн}} = S_{\text{п}} - S_{\text{пнар}} \quad (4)$$

Число пар соседних проводников длиной  $l=125$  мм

$$N = (2S_{\text{пнар}} + 3S_{\text{пвн}} - 3) \frac{l \cdot w}{2l} \cdot z \quad (5)$$

Вероятность события, состоящего в том, что отрезок провода длиной  $l$  не получил ни одного повреждения

$$p(0) = \frac{\sum_{u=4,5 \text{ кв}}^{\infty} w_{\text{п}}}{\sum_{u=4,5 \text{ кв}}^{\infty} w_{\text{н}}} \quad (6)$$

где

$w_{\text{п}}$  — сумма частот поврежденных образцов, имеющих пробивное напряжение выше 4,5 кв;

$w_{\text{н}}$  — сумма частот неповрежденных образцов, имеющих пробивное напряжение выше 4,5 кв.

Величина  $w_{\text{п}}$  и  $w_{\text{н}}$  определяются по результатам испытаний образцов в состоянии поставки и после укладки обмотки.

Среднее число повреждений отрезков провода длиной  $l$ , определяется как аргумент показательной функции из выражения

$$e^{-a} = p^{(0)} \quad (7)$$

Вероятность повреждения элементарного участка в процессе укладки обмотки

$$p = \frac{a}{n} \quad (8)$$

Доля элементарных участков на длине провода  $\frac{l}{a}$ , пробитых напряжением до  $u_{\text{пр}} = z_1$ .

$$q_{\text{эл}}(z_1) = \frac{q(z_1)}{a} \quad (9)$$

где

$q(z_1)$  — доля образцов, пробитых напряжением до  $z_1$ . Определяется из таблицы результатов испытаний изолированного провода после укладки обмотки.

Аргумент интеграла вероятностей  $\alpha(z_1)$  для величины  $q_{\text{эл}}(z_1)$  (по таблице [3]).

Доля элементарных участков на длине провода  $\frac{l}{a}$ , пробитых напряжением до  $u_{\text{пр}} = z_2$

$$q_{\text{эл}}(z_2) = \frac{q(z_2)}{a} \quad (10)$$

где  $q(z_2)$  — доля образцов, пробитых напряжением до  $z_2$ . Определяется из таблицы результатов испытаний изолированного провода после укладки обмотки.

Аргумент интеграла вероятностей  $\alpha(z_2)$  для величины  $q_{\text{эл}}(z_2)$  (по таблице [3]).

Примечание. Рекомендуется брать  $z_1=0,5$  кв и  $z_2=1,0$  кв или  $z_1=0$  и  $z_2=0,5$  кв, причем  $q(z_1)$  и  $q(z_2)$  — средние величины для пазовой и лобовой частей.

Среднее квадратическое отклонение пробивных напряжений, распределенных по нормальному закону

$$\sigma = \frac{z_2 - z_1}{\alpha(z_2) - \alpha(z_1)} \quad (11)$$

Среднее значение пробивных напряжений, распределенных по нормальному закону,

$$\bar{u} = z_1 - \alpha(z_1)\sigma \quad (12)$$

Среднее расстояние между проводниками

$$x_{\Pi} = d_{\text{измак}} - d_{\text{изз}} \quad (13)$$

Параметр показательного закона распределения пробивных напряжений изоляционных промежутков

$$\lambda = \frac{1}{E_{\Pi} \cdot k_{\Pi}} \quad (14)$$

Напряжение, приходящееся на катушку (секцию),

$$u_{\kappa} = \frac{u_{\Phi\kappa}}{n_{\kappa}} \quad (15)$$

Вероятность пробоя пары проводников длиной  $\frac{l}{a}$ , имевших оголения до пропитки

$$q'(u_{\kappa}) = \frac{n}{a} p^2 \left[ F \left( - \frac{\bar{u}}{\sigma} \right) \right]^2 \lambda I_1, \quad (16)$$

где

$$I_1 = \int_0^{u_{\kappa}} e^{-\lambda u} \left( 1 - \frac{u}{u_{\kappa}} \right)^2 du$$

— интеграл определяется численным методом.

Вероятность пробоя пары проводников длиной  $\frac{l}{a}$ , не имевших оголений до пропитки,

$$q''(u_{\kappa}) = \frac{n}{a} p^2 \exp[\lambda(2\bar{u} - \lambda\sigma^2)] \lambda I_2, \quad (17)$$

где

$$I_2 = \int_0^{u_{\kappa}} e^{-\lambda u} F \left( \frac{u - 2\bar{u} - 2\lambda\sigma^2}{\sqrt{2}\sigma} \right) \left( 1 - \frac{u}{u_{\kappa}} \right)^2 du$$

— интеграл определяется численным методом.

Нижняя оценка надежности витковой изоляции в период приработки

$$R_b = [1 - q'(u_{\kappa}) - q''(u_{\kappa})]^{Na}. \quad (18)$$

Рассмотренная методика внедряется на всех предприятиях Главэлектромаша МЭТП СССР, которые выпускают и разрабатывают двигатели мощностью от 0,6 до 100 квт. Она позволяет определить надежность витковой изоляции в период приработки, а также оценить эффективность мероприятий по повышению надежности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Н. Стрельбицкий. Исследование надежности и качества электрических машин. Диссертация, Томск, 1967.
2. Ю. П. Похолоков. Влияние обмоточно-изолированных работ и качества изоляции на надежность обмоток электрических машин. Диссертация, Томск, 1966.
3. А. К. Митропольский. Техника статистических вычислений, М., Физматгиз, 1961.