

**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 поврежденных 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 $d_g/d_{из}$, число проводников в пазу S_n , электрическая прочность пропитывающего состава при температуре, соответствующей классу изоляции E_n , фазное напряжение с учетом коммутационных перенапряжений $u_{кф}$, коэффициент заполнения K_3 , периметр свободной площади паза Π , 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,

$$d_{изmax} = 1,075 d_{из} \sqrt{\frac{1}{K_3}}, \quad (2)$$

где

$$K_3 = \frac{d_{из}^2 S_n}{Q_n};$$

Q_n — свободная площадь паза, мм²,

Число проводников, находящихся в наружном слое паза,

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

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

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

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

$$x_{\Pi} = d_{\text{изmax}} - d_{\text{из}} \quad (13)$$

Параметр показательного закона распределения пробивных напряжений изоляционных промежутков

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

Напряжение, приходящееся на катушку (секцию),

$$u_k = \frac{u_{\Phi k}}{n_k} \quad (15)$$

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

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

где

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

— интеграл определяется численным методом.

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

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

где

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

— интеграл определяется численным методом.

Нижняя оценка надежности витковой изоляции в период приработки

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

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. К. 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.