ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА им. С. М. КИРОВА

Том 202 1973

ОЦЕНКА ДЕФЕКТНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО НАПРЯЖЕНИЮ ПЕРЕКРЫТИЯ ОБРАЗЦОВ

А. П. МАТЯЛИС, Э. К. СТРЕЛЬБИЦКИЙ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Накопленный экспериментальный материал дает основание утверждать, что в эксплуатации и при испытаниях пробой изоляции обмоток низковольтных электрических машин может произойти только при наличии дефекта. Под дефектом здесь понимается элементарный участок изоляции, пробивное напряжение которого соответствует напряжению перекрытия на длине, равной толщине изоляции. Дефектностью будем называть число дефектов на единицу длины или площади изоляции.

Дефект может иметь место в состоянии поставки (инородные включения, оголения), возникнуть в процессе изготовления обмотки (порезы, проколы) и образоваться в результате старения (трещины, отслаивания).

Надежность обмотки при известном конструктивном исполнении и заданных условиях эксплуатации полностью определяется дефектностью. Поэтому получение исходных данных для расчета вероятности безотказной работы и гамма-процентного ресурса сводится к определению числа дефектов.

Ранее в качестве характеристик дефектности определялся уровень дефектности по результатам испытаний изоляции, извлеченной из пазов непропитанного статора. Витковая изоляция испытывается в электродах провод — дробь или провод — плоскость, а корпусная — в электродах игла — плоскость.

Недостатком такого способа является неприменимость для оценки дефектности изоляции пропитанных обмоток.

В настоящей работе для оценки дефектности предлагается определение расстояний между ближайшими дефектами путем пробоя пар проводников в машине или вне машины. Соответствие между двумя указанными способами испытаний обусловлено тем, что пуассоновское распределение числа дефектов на отрезке провода приводит к показательному распределению расстояний между дефектами. Однако использование в расчетах расстояний и напряжений перекрытия позволяет отказаться от условного понятия длины (площади) элементарного участка и приближает модель отказа к фактическому механизму пробоя.

Максимальные перенапряжения между витками обмотки не превышают 1 *кв*, однако при испытаниях таким напряжением пробьется небольшая доля расстояний между дефектами. Для получения достоверной статистики необходимо либо увеличивать число образцов, либо увеличивать испытательное напряжение. При увеличении напряжения может быть пробита изоляция, не имеющая повреждений. Для распознавания таких случаев после первого пробоя производится повторная подача напряжения. В случае перекрытия между дефектами вторичное пробивное напряжение незначительно (до $0{,}4 \div 0{,}8$ *кв*) отличается от первичного. В случае пробоя изоляции вторичное напряжение значительно снижается.

В табл. 1 приведены результаты кассетных испытаний пар соприкасающихся проводов ПЭТВ диаметром 0,85 *мм*, один из которых имел одно искусственное повреждение. В таблице ясно видны области точек с

$$\Delta U = U_1 - U_2 < 0{,}6 \text{ кв},$$

соответствующих перекрытиям, и с

$$\Delta U > 0{,}8 \text{ кв},$$

соответствующих пробоям изоляции

Вероятность перекрытия с пореза на дефект при напряжении $U_к$ равна

$$P_T\{U_к\} = P\{x \leqslant 2x_к\} = 1 - e^{-\lambda 2 x_к}, \tag{1}$$

где $x_к$ — расстояние, соответствующее $U_к$;

$\lambda = \frac{1}{\bar{x}}$ — дефектность;

$\bar{x}$ — среднее расстояние между дефектами.

Вероятность пробоя при этом напряжении при условии, что напряжение полностью приложено к изоляции, равна

$$Q\{U_к\} = \int_0^{U_к} f_{2x}(U)\,dU, \tag{2}$$

где $f_{2x}(U)$ — плотность распределения пробивного напряжения участка изоляции длиной $2x_к$.

Вероятность того, что при повышении напряжения от 0 до U_i не произойдет перекрытия, а в интервале (U_i, U_{i+1}) произойдет пробой изоляции, равна

$$q'_{i+1} = P\{U_i < U_{пр} < U^i{}_{+1}\} = e^{-\lambda 2 x_i} \int_{U_i}^{U_{i+1}} f_{2x}(U)\,dU. \tag{3}$$

Вероятность того, что при повышении напряжения от 0 до U_i не произойдет пробоя, а в интервале (U_i, U_{i+1}) произойдет перекрытие

$$p'_{i+1} = P\{U_i < U_{пер} < U_{i+1}\} = (e^{-2\lambda x_i} - e^{-2\lambda x_{i+1}})\,(1 - \int_0^{U_i} f_{2x}(U)\,dU). \tag{4}$$

Две последние вероятности известны из опыта. Интересующие нас вероятности можно получить из выражений (3) и (4).

$$q_{i+1} = P\{U_i < U_{пр} < U_{i+1}\}\,e^{2\lambda x_i}, \tag{5}$$

$$p_{i+1} = \frac{P\{U_i < U_{пер} < U_{i+1}\}}{1 - \int_0^{U_i} f_{2x}(U)\,dU}. \tag{6}$$

Поскольку величины $e^{2\lambda x_i}$ и $\int_0^{U_i} f_{2x}(U)\,dU$ неизвестны, предлагается итерационный расчет по рекурентным формулам, причем для первого разряда принимается

Таблица 1

U_{1i} (*кв*)	$\Delta U_j = U_{1i} - U_{2i}$ (*кв*)																	Σn_i
	0,0—0,4	0,4—0,8	0,8—1,2	1,2—1,6	1,6—2,0	2,0—2,4	2,4—2,8	2,8—3,2	3,2—3,6	3,6—4,0	4,0—4,4	4,4—4,8	4,8—5,2	5,2—5,6	5,6—6,0	6,0—6,4	6,4—6,8	
	частота n																	
до 2,5	-	-	-	-	-	-												-
2,0-2,4	1	-	-	-	-	-												1
2,4-2,8	1	-	1	-	-	-	-											2
2,8-3,2	1	-	-	-	-	-	-	1										2
3,2-3,6	3	-	-	-	1	-	-	-	-									4
3,6-4,0	4	-	-	-	-	2	1	-	-	-								7
4,0-4,4	5	1	-	1	2	1	-	2	-	1	-							13
4,4-4,8	10	-	1	-	2	-	1	-	1	1		4						20
4,8-5,2	7	1	-	1	2	-	3	1	-	4	2	3	2					26
5,2-5,6	7	1	2	3	-	2	2	6	6	2	4	5	3	8				51
5,6-6,0	2	1	2	2	2	1	1	3	4	6	3	8	8	5	6			54
6,0-6,4	2	-	1	-	1	2	5	5	5	3	9	8	16	7	9	7		80
6,4-6,8	-	-	1	1	-	1	1	2	3	3	4	1	2	4	5	2	4	34
6,8-7,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	2	5
7,2-7,6	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
Σn_j	43	4	8	8	10	9	15	20	19	20	22	29	31	25	21	10	6	

Таблица 2

p_1'	p_2'	p_3'	$\ldots$	$p_к'$	
q_1'	q_2'	q_3'	$\ldots$	$q_к'$	
$p_1 \approx p_1'$	$p_2 = \dfrac{p_2'}{1 - q_1}$	$p_3 = \dfrac{p_3'}{1 - q_1 - q_2}$	$\ldots$	$p_к = \dfrac{p_к'}{1 - q_1 - \ldots - q_{к-1}}$	$\sum\limits_{i=1}^{к} p_i = P_T(U_к)$
$q_1 \approx q_1'$	$q_2 = \dfrac{q_2'}{1 - p_1}$	$q_3 = \dfrac{q_3'}{1 - p_1 - p_2}$	$\ldots$	$q_к = \dfrac{q_к'}{1 - p_1 - \ldots - p_{к-1}}$	$\sum\limits_{i=1}^{к} q_i = Q(U_к)$

$$q_1 = \int\limits_0^{U_1} f_{2x}(U)\, dU \cong P\{U_0 < U_{\text{пр}} < U_1\}, \tag{7}$$

$$p_1 = 1 - e^{-2\lambda x_1} \cong P\{U_0 < U_{\text{пер}} < U_1\}. \tag{8}$$

Полная схема расчета приведена в табл. 2. По найденному значению $P_{\text{т}}(U_{\text{к}})$ из выражения (1) определяется среднее расстояние между дефектами.

Аналогично производится определение дефектности корпусной изоляции.