

## ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ КОНТРОЛЯ ВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ НА НАДЕЖНОСТЬ ВСЫПНЫХ ОБМОТОК АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Ю. П. ПОХОЛКОВ, Э. К. СТРЕЛЬБИЦКИИ

(Рекомендована научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

Доля отказов из-за пробоев витковой изоляции всыпных обмоток асинхронных электродвигателей в период приработки составляет 60—80% от числа всех отказов [1]. Пробой несостарившейся изоляции обусловлен наличием скрытого брака в обмотках, невыявленного на испытаниях.

Существующие методы контроля витковой изоляции обмоток асинхронных электродвигателей (аппаратура СМ-1, СМ-2) предполагают испытание изоляции крайне низким напряжением — 36—55 вольт на фазу. Такое напряжение дает возможность фиксировать только металлические замыкания и не выявляет другие слабые места. При фазном напряжении 220 в вероятность появления перенапряжения 2,5 кВ за каждую 1000 часов равна 1 [2, 3].

В настоящей работе предложен метод испытаний витковой изоляции всыпных обмоток статоров асинхронных электродвигателей высоким напряжением повышенной частоты.

В основе метода лежит принцип индуктирования высокого напряжения в обмотке статора.

Низкое напряжение повышенной частоты (1000 гц) вырабатывается высокочастотным генератором и подается на трехфазную обмотку ротора, вставленного в статор. При этом обмотка ротора соединена в звезду, а обмотка статора разомкнута. Таким образом, схема представляет собой трансформатор с тремя вторичными обмотками. Коэффициент трансформации выбирается таким, чтобы на фазе обмотки статора получить напряжение 2,5 кВ. Если в изоляции нет дефектов, то нагрузка во всех 3 фазах роторной обмотки симметрична. Появление виткового замыкания в одной из фаз статорной обмотки равносильно включению дополнительной вторичной обмотки трансформатора, работающей в режиме короткого замыкания. Это приводит к несимметрии токов в роторной цепи и позволяет фиксировать витковое замыкание.

Необходимо отметить, что число полюсов обмотки ротора должно соответствовать числу полюсов обмотки статора. Воздушный зазор между ротором и статором должен быть минимальным для уменьшения тока холостого хода. Для предотвращения быстрого перегрева железа ротора токами высокой частоты пакет набирается из стали Э-44.

Установка подобного типа была изготовлена и проверена на заводе «Сибэлектромотор». Испытания витковой изоляции непритянутых

обмоток машин АО-32/4 и АО-32/4А проводились после прохождения цехового контроля.

Одной из задач при повышении уровня контроля витковой изоляции является установление оптимального испытательного напряжения. Для этого нами была снята зависимость брака витковой изоляции от напряжения в одной фазе обмотки.

В табл. 1 приведены результаты испытаний. На каждом напряжении проверено 60 статоров.

Таблица 1.

U в. на фазу	55	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500
процент брака	0,06	0,09	0,09	0,09	7,5	10,5	10,8	11,1

Процент брака практически начинает возрастать только при напряжении 1700—1800 в. Это объясняется тем, что пробивное напряжение воздушного промежутка между двумя дефектными проводниками имеет определенный минимум; при нормальном давлении оно не может быть меньше, чем 400—450 в [4]. В нашем случае, когда обмотка имеет 4 секции, максимально возможное напряжение, действующее между двумя проводниками в секции, равно  $0,25 U_{\phi}$ .

Таким образом, дефекты в секции начали выявляться при напряжении

$$U_{\text{секц}} = 0,25 U_{\phi} = 0,25 \cdot 1700 = 425 \text{ вольт, что}$$

соответствует теоретическим представлениям. При напряжении ниже 1700 в на фазу в обмотке могут быть выявлены только металлические замыкания.

В общем случае повышение испытательного напряжения ведет к повышению доли брака, однако относительное увеличение брака при напряжениях выше 2500 в на фазу значительно уменьшается. Это связано с окончанием выявления основной массы дефектов. Таким образом, данные эксперимента, а также учет условий эксплуатации позволяют считать, что для всыпных обмоток уровень испытательного напряжения (на фазу) должен быть не меньше, чем  $(0,4—0,45) \pi kv$ , где  $\pi$  — число отдельных секций в фазе.

При определении надежности витковой изоляции обмоток в период приработки для одной партии машин можно пользоваться выражением [3]

$$R = 1 - \frac{Q_{\text{пот}} - Q_{\text{зав}}}{1 - Q_{\text{зав}}},$$

где  $Q_{\text{пот}}$  — потенциальная аварийность витковой изоляции в период приработки (рассчитывается по математической модели надежности [3] или берется из среднестатистических данных).

$Q_{\text{зав}}$  — доля брака при испытаниях на заводе-изготовителе.

Надежность обмоток после испытания их напряжением 2500 в на фазу равна 0,986 (данные для обмотки, пропитанной лаком 321); в то же время надежность обмоток после испытания их аппаратом СМ-1 составляет только 0,937. Следовательно, повышение уровня контроля витковой изоляции позволит снизить аварийность машин в период приработки в 4,5 раза.

Для проверки эффективности данного метода контроля витковой изоляции были проведены ускоренные испытания машин на срок службы и надежность. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2

Метод контроля витковой изоляции	Доля брака в период приработки	Средний срок службы при 105° С (часы)	Число испы- танных машин
Аппарат СМ-1	0,07	18500	100
Предлагаемый метод	0	более 40000	72

Эти результаты показывают, что выявление скрытого брака на испытаниях уменьшает интенсивность отказов не только в период приработки, но и в период физического износа изоляции обмоток.

Следовательно, даже незначительные дефекты, не выявленные на испытаниях, постепенно развиваются в эксплуатации и приводят к отказу быстрее, чем дефекты, образующиеся при старении изоляции в процессе работы машины.

### Выводы

1. Существующий уровень испытаний витковой изоляции является недостаточным и не выявляет большинства дефектов обмотки.
2. Установлено, что величина испытательного напряжения витковой изоляции насыпных обмоток должна быть не менее 400 в на секцию.
3. Предложенный метод испытания витковой изоляции насыпных обмоток позволяет снизить аварийность обмоток в период приработки не менее чем в 4,5 раза и повысить срок службы обмоток более чем вдвое.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка рекомендаций по повышению надежности и экономичности электрических машин. Отчет ВНИИЭМ ОАБ 143.834, 1965.
2. З. Г. Каганов. Внутренние перенапряжения и другие воздействия на витковую изоляцию электродвигателей. Испытания витковой изоляции электрических машин. Сб. статей, Госэнергоиздат, 1959.
3. Ю. П. Похолоков. Влияние обмоточно-изолирующих работ и качества изоляции на надежность обмоток электрических машин. Диссертация, г. Томск, 1966.
4. Г. И. Сканаevi. Физика диэлектриков (область сильных полей). Физматгиз, 1958.