

## **ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ИЗОЛЯЦИЮ ОБМОТОКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЧАСТОТНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ**

Болгова В.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Асинхронные двигатели (АД) являются наиболее распространенным типом электрических машин благодаря простоте конструкции и высокой надёжности при условии правильной эксплуатации.

Безотказная работа электрических машин в значительной степени определяется надёжностью электрической изоляции их обмоток. В свою очередь, надёжность изоляции электрической машины зависит от ее способности противостоять длительным воздействиям различных разрушающих факторов в процессе эксплуатации.

В процессе эксплуатации изоляция обмоток АД подвержена влиянию температурных и механических воздействий, влаги и поверхностных загрязнений, воздействию химически активных веществ, пыли, а также действию электрического поля [1].

Основным фактором, приводящим к износу изоляции низковольтных обмоток, считалось воздействие температуры [2, 3]. И в настоящее время у потребителей отсутствует четкое понимание значимости воздействия электрического поля.

На сегодняшний день проблема надёжности обострилась в связи с интенсивностью режимов работы электрических машин, экстремальностью условий эксплуатации, повышением требований к качеству работы и, как следствие, с применением специальных систем управления. Так, использование частотного регулирования на базе широтно-импульсной модуляции (ШИМ), позволяющего осуществлять точное и эффективное управление асинхронными двигателями, привело к ужесточению электрических эксплуатационных нагрузок, значительно ускоряющих процессы электрического старения. Применение систем частотного управления обуславливает изменение процессов старения изоляции, и кроме температуры, значительный вклад вносит влияние электрического поля [4, 5].

Изменение условий эксплуатации обуславливает необходимость уточнения подхода к оценке надёжности системы изоляции обмотки низковольтных асинхронных двигателей, так как существующие методы и математические модели ориентированы на исследование процессов теплового старения и практически не учитывают влияние электрического поля [2, 3].

Особенности эксплуатации НВ обмоток в системе ЧРП обусловлены применением преобразователей частоты (ПЧ) на базе ШИМ, что приводит к воздействию быстрого нарастания напряженности электрического поля на фронте волны за счет высокой скорости коммутации ключей, как следствие, к появлению волновых явлений, перенапряжений в обмотках, повышению возникающих перенапряжений при распространении волны по кабелю от ПЧ к АД. В результате этого возникающие перенапряжения могут быть достаточными для возникновения короны в обмотке статора [6, 5].

Цель данной работы: оценить уровни воздействующих факторов на изоляцию обмотки асинхронного двигателя с частотным управлением. Для этого должны быть выполнены указанные задачи.

- изучить условия эксплуатации низковольтных обмоток в ЧРП с применением ШИМ,
- провести исследование стойкости обмоточных проводов к электротепловому старению с использованием статистических методов планирования и анализа экспериментов,

- проверить адекватность полученных результатов с применением методов дисперсионного анализа,
- определить значимость воздействующих эксплуатационных нагрузок,
- разработать рекомендации по применению межвитковой изоляции обмоток ЧРП.

Для проведения испытаний и для анализа экспериментальных данных были использованы методы факторного планирования эксперимента – ПФЭ, при котором исследуется влияние нескольких факторов и однофакторный дисперсионный анализ, для выявления значимости воздействия одного фактора, при изменении его уровней.

Наиболее слабым звеном обмотки является межвитковая изоляции, в связи с этим в данной работе проведена оценка стойкости изоляции эмалированных проводов, как основной части межвитковой изоляции. Исследовались образцы проводов марок ПЭТД-180 и ПЭТД2-К-180 двумя способами: на отрезках провода в стальной дробь и высокочастотным модулированным сигналом на стандартных скрутках.

Первый тип испытаний проведен с применением методов ПФЭ и согласно методике испытаний в системе электродов «провод-дробь». Для этого составлена матрица факторного эксперимента [7].

В ходе эксперимента устанавливались два уровня напряжения 5 и 7 кВ и температуры: 20 и 170<sup>0</sup>С. По результатам испытаний было определено среднее время до пробоя образцов, показанное на рисунке 1. Далее согласно методике ПФЭ [7] был определен эффект воздействующих факторов, показанный на рисунке 2, который показывает значительное влияние электрических нагрузок на среднее время до пробоя.

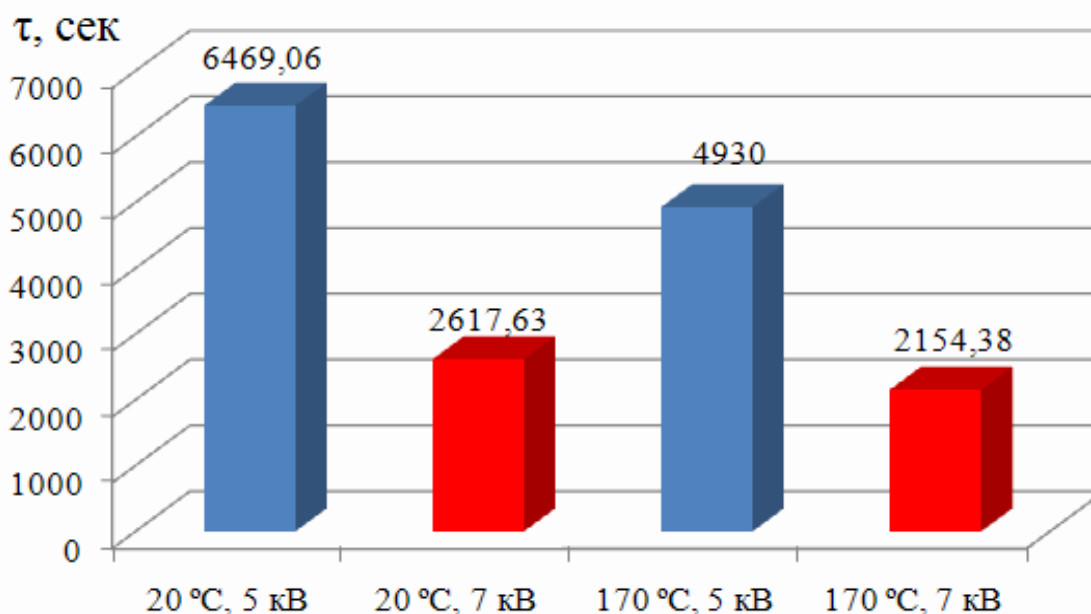


Рис. 1. Среднее время до пробоя

При однофакторном дисперсионном анализе исследуется влияние одного фактора при изменении его уровня [8]. Для этого было также определено среднее время до пробоя образцов согласно методике испытаний высокочастотным модулированным сигналом при трех уровнях температуры (рисунок 3).



Рис. 2. Эффект факторов

На каждый уровень температуры было испытано по пять образцов, дисперсионный анализ результатов испытаний показал незначительный вклад температуры в процессы старения и разрушения изоляции при воздействии высокочастотных импульсов.

Для образцов проводов марки ПЭТД2-К-180 дополнительно определено влияние ВЧ импульсов на нагрев образцов. Измерение температуры производилось пирометром. Результаты измерения температуры образцов показывают, что испытания ВЧ-импульсами приводят к незначительному разогреву образцов (не более 5-6 °С) и не оказывают значительного воздействия на процессы разрушения изоляции.

Результаты проведенных исследований подтверждают необходимость использования короностойких материалов для изоляции низковольтных обмоток АД в условиях ЧРП.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном вкладе действия электрического поля в процессы старения и износа изоляции НВ обмоток в данных условиях. Таким образом, характер старения определен как электротепловой. В дальнейшем необходимо исследовать процессы электротеплового старения для более точной оценки короностойкости изоляции и прогнозирования ресурса обмотки.

Результаты исследований переданы в отдел главного технолога ЗАО «Сибкабель» и используются для разработки рекомендаций по применению эмалированных проводов в обмотках АД в составе ЧРП.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн Л.М. Изоляция электрических машин общепромышленного применения. Изд. 2-е, перераб. И доп. М., «Энергия», 1971. - 368 с.: ил.
2. Гольдберг О.Д. Надежность электрических машин: учебник для студ. высших учеб. заведений / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская; под ред. О.Д. Гольдберга. - М.: Издательский центр «Академия», 2010 - 288 с.
3. Н.Л. Кузнецов. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Кузнецов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. - 432 с.: ил.
4. Белассел Моханд-Тахар, Беспалов В.Я. Волновые параметры и межвитковые перенапряжения в многовитковой вьюшной обмотке асинхронного двигателя, питаемого от ШИМ-преобразователя. Электротехника: Науч.-техн. журн. - М.: ЗАО "Знак", 2008. - №7. - С. 14-17.

5. GAMBICA/REMA Technical Guide. Variable speed drives and motors. Motor insulation voltage stresses under PWM inverter operation. Technical report No 1, 3rd Edition. – 27 pages.
6. Mark Fenger, Steven R. Campbell, & Jan Pedersen. Motor winding problems caused by Inverter Drives // IEEE Industry Applications Magazine, July/August 2003, pages (22–31).
7. Electrical Aging of the Insulation of Low-Voltage Machines: Model Definition and Test With the Design of Experiments. Nadine Lahoud, Jerome Faucher, David Malec, and Pascal Maussion. IEEE Transactions on Industrial Electronics 60(9):4147-4155 (2013).
8. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 816 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ДАТЧИКОВ ТОКА

Пашковский В.В., Федянин А.Л., Каранкевич А.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

В данной статье будет рассмотрено влияние изменения температуры на выходные параметры датчиков тока. Данные датчики тока будут применяться в системе мониторинга параметров двигателя.

Для получения необходимых данных была применена методика, которую можно представить в виде блок-схемы, изображенной на рис. 1.

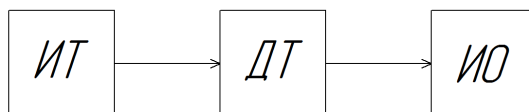


Рис. 1. Блок-схема испытательной установки

Данная испытательная установка содержит следующие элементы:

ИТ – источник тока регулируемый позволяет получать значения тока в пределах от 0 до 25 А.

ДТ – датчик тока (на номинальный ток 10А), представленный в виде трансформатора тока. ИО – измерительный орган представляет собой 2 устройства:

1. Устройство для мониторинга двигателя УМЗ (погрешность не более 5%) [1], позволяющее отслеживать значение тока измеряемого датчиком тока.
2. Мультиметр MS8265 (точность  $\pm(0,5\%)$ ) [2], для измерения напряжения на выходе датчика.

### Датчик тока на основе трансформатора тока.

Исследуемый датчик тока представляет собой трансформатор тока, намотанный из ленты электротехнической стали толщиной 0,1 мм и марки 3406(3409).

Трансформатор тока (ТТ) представляет собой аппарат предназначенный для преобразования первичного тока в величину, удобную для измерения [3]. Простейший трансформатор тока имеет вид, представленный на рис. 2.

Трансформаторы тока для измерений предназначаются для передачи информации измерительным приборам. Ко вторичной обмотке ТТ для измерений подключаются амперметры, токовые обмотки ваттметров, счетчиков и аналогичных приборов. Таким образом, трансформатор тока для измерений обеспечивает: