

Выводы

1. Использование СФ приводит к значительному снижению амплитуды питающего напряжения при работе КЛ под нагрузкой (рис. 3). В этом случае электрические нагрузки на изоляцию НПК не превышают величины установленного фазного напряжения.

2. Обязательным условием обеспечения надежного безаварийного функционирования КЛ УЭНЦ является использование защитных синус-фильтров, выбранных в строгом соответствии с типом двигателя и преобразователя частоты, как того рекомендуют ведущие мировые производители преобразовательной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.М. Костоломов, С.В. Шибанов Результаты работы высоковольтных частотно-регулируемых электроприводов насосных агрегатов перекачки нефти на объектах ОАО «Сургутнефтегаз» // Экспозиция «Нефть, газ», №5, 2009.
2. Белоруссов Н.И., Саакян А.Е., Яковлева А.И. Электрические кабели, провода и шнуры. Справочник. – М.: Энргоатомиздат, 1988. – 536 с.

ВЛИЯНИЕ ВОЗДЕЙСТВУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА ИЗОЛЯЦИЮ НИЗКОВОЛЬТНЫХ ОБМОТОКВ В СОСТАВЕ ЧРП

В.А. Болгова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

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

В процессе эксплуатации изоляция обмоток электрических машин подвержена влиянию множества воздействующих факторов, таких как температурные и механические воздействия, влага и поверхностные загрязнения, воздействие химически активных веществ, пыли, а также действие электрического поля.

Основным фактором, приводящим к износу изоляции низковольтных обмоток, считалось воздействие температуры [1, 2]. И в настоящее время у потребителей отсутствует четкое понимание значимости воздействия электрического поля.

На сегодняшний день проблема надежности 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), 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 [3, 4].

Особенности эксплуатации низковольтных обмоток в системе частотно-регулируемого привода (ЧРП) обусловлены применением преобразователей частоты 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 преобразователя частоты к асинхронному двигателю. В результате этого возникающие перенапряжения могут быть достаточными для возникновения короны в низковольтной обмотке статора электродвигателя, работающего в составе частотно-регулируемого привода. Под короной в данном случае понимаются поверхностные разряды в изоляции обмотки машины, т.е. разряды по поверхности диэлектрика [5, 6].

Описанные явления, возникающие в ЧРП, непосредственно влияют на долговечность электрических машин, их надежность и безопасность работы, для их оценки приходится прибегать к созданию математических моделей и проведению трудоемких экспериментов.

Кроме того, для более корректного прогнозирования износа и срока службы электрических машин необходимо учитывать особенности условий эксплуатации, выделяя основные воздействующие факторы, а также принимать во внимание взаимодействие этих факторов.

Поскольку существующие методы и математические модели ориентированы на исследование процессов теплового старения и практически не учитывают влияние электрического поля, то их применение для оценки надежности системы изоляции обмотки низковольтных асинхронных двигателей требует уточнения подхода и внесения корректировок, что обусловлено изменением условий эксплуатации.

Одним из возможных решений данной задачи является экспериментальное исследование зависимости отказа изоляции от воздействующих эксплуатационных факторов. При этом исследования должны проводиться на большом количестве образцов и с возможностью воспроизведения условий эксплуатации для получения достаточного объема статистических данных.

Для проведения исследования в ограниченных условиях, когда отсутствует возможность повторить опыт нужное количество раз, при ограничении временными или иными рамками, целесообразно использовать методы планирования эксперимента, что позволяет при наименьших затратах получить результат.

Теория планирования эксперимента успешно используется для решения ряда задач в различных областях науки и техники. Планирование эксперимента – это оптимальное управление экспериментом при неполном знании механизма явлений. Применение планирования эксперимента делает поведение экспериментатора целенаправленным и организованным, существенно способствует повышению производительности труда и надежности полученных результатов.

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 (провод предназначен для изготовления обмоток электрических машин и приборов) и ПЭТД2-К-180 (короностойкий провод, предназначен для применения в электрических машинах, аппаратах и приборах с частотным регулированием).

Испытания проводились двумя способами: на отрезках провода в стальной дроби и высокочастотным (ВЧ) модулированным сигналом на стандартных скрутках, при этом за результат принимается среднее арифметическое время до пробоя партии образцов.

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

В ходе эксперимента устанавливались два уровня напряжения 5 и 7 кВ и температуры: 20 и 170⁰С. По результатам испытаний было определено среднее время до пробоя образцов провода ПЭТД2-К-180, показанное на рис. 1.

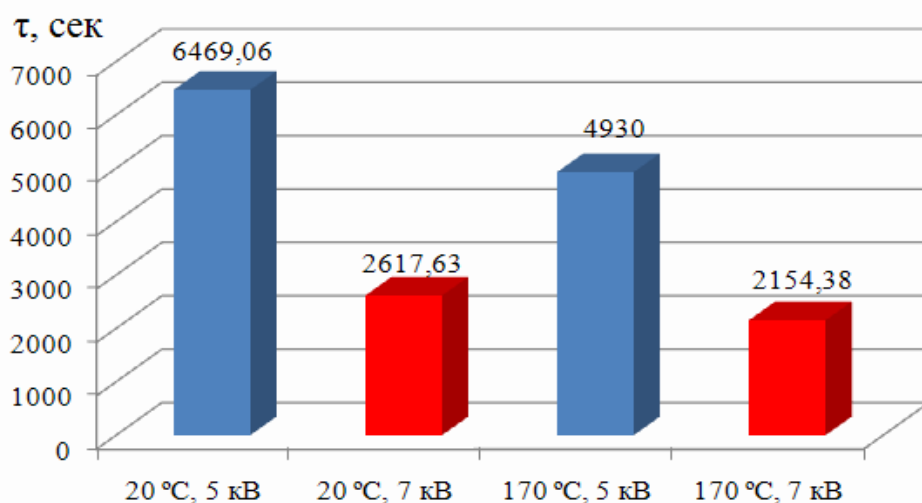


Рис. 1. Гистограммы среднего времени до пробоя при испытаниях в системе электродов «провод-дробь»

Далее согласно методике ПФЭ был определен эффект воздействующих факторов с применением однофакторного дисперсионного анализа.

При однофакторном дисперсионном анализе исследуется влияние одного фактора при изменении его уровня [7]. Для этого было также определено среднее время до пробоя образцов согласно методике испытаний высокочастотным модулированным сигналом при трех уровнях температуры (рис. 2).

Испытания ВЧ импульсными нагрузками при трех уровнях температуры (180, 190 и 200 °С) были проведены на образцах провода ПЭТД-180 и ПЭТД2-К-180. Для наглядного отображения экспериментальных данных построены гистограммы среднего времени до пробоя изоляции образцов проводов (рис. 1). Здесь τ – среднее время до пробоя, T – температура.

Согласно методике ПФЭ на основании полученных экспериментальных данных были определены коэффициенты уравнения линейной математической модели. Коэффициенты, вычисленные по результатам эксперимента, указывают на силу влияния факторов.

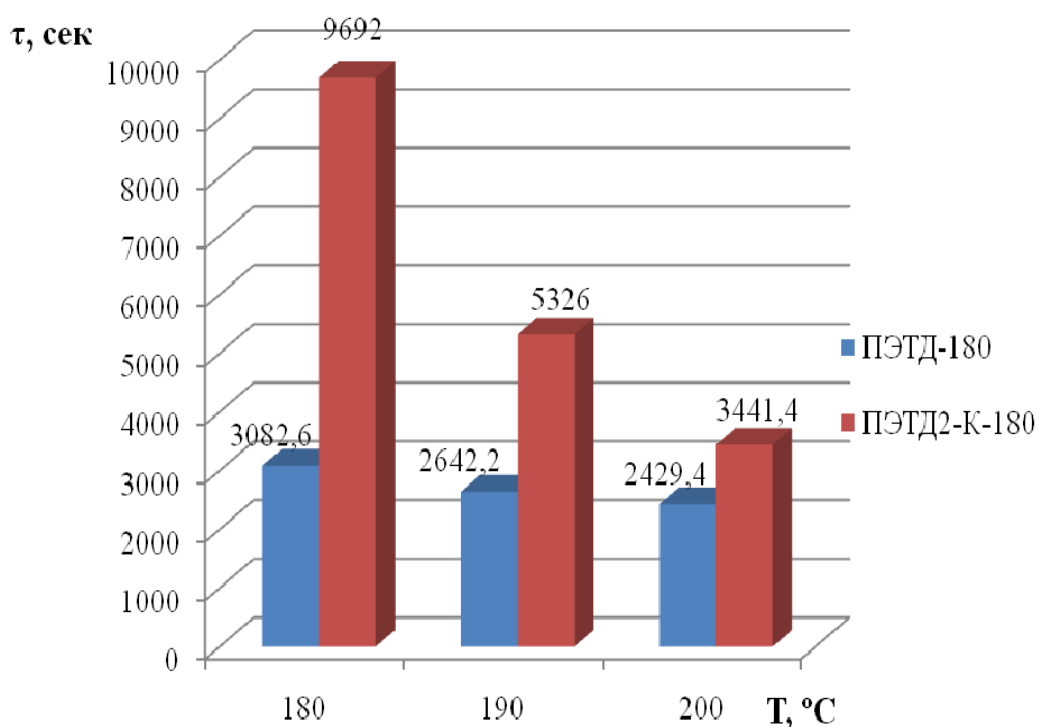


Рис. 2. Гистограммы среднего времени до пробоя изоляции образцов при воздействии ВЧ модулированного сигнала

По рассчитанным коэффициентам был определен эффект воздействующих факторов, показанный на рис. 3. Так как факторное планирование эксперимента может применяться с целью определения значимости влияния воздействующих факторов, то конечным результатом в данном случае могут являться вычисленные эффекты факторов.

Анализ результатов испытаний показал незначительный вклад температуры в процессы старения и разрушения изоляции при воздействии высокочастотных импульсов и значительное влияние электрических нагрузок.

Также для образцов проводов марки ПЭТД2-К-180 дополнительно определено влияние ВЧ импульсов на нагрев образцов. Измерение температуры производилось пирометром Raytek (модель Raynger ST 25Pro). 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.

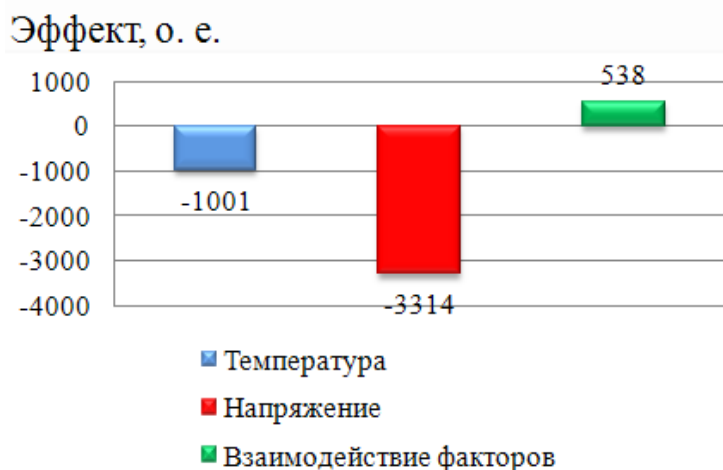


Рис. 3. Эффект факторов

Проведенные исследования подтверждают необходимость использования короностойких материалов для изоляции низковольтных обмоток асинхронных двигателей в условиях ЧРП, так как их образцы показывают большую величину среднего времени до пробоя изоляции.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном вкладе 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 ее ресурса. Работа выполнена при технической поддержке ЗАО «Сибкабель».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Н.Л. Кузнецов. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Кузнецов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.: ил.
3. Белассел Моханд-Тахар, Беспалов В.Я. Волновые параметры и межвитковые перенапряжения в многовитковой вольтовой обмотке асинхронного двигателя, питаемого от ШИМ-преобразователя. Электротехника: Науч.-техн. журн. - М.: ЗАО "Знак", 2008. – №7. – С. 14–17.

4. 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.

5. Mark Fenger, Steven R. Campbell, & Jan Pedersen. Motor winding problems caused by Inverter Drives // IEEE Industry Applications Magazine, July/August 2003, pages (22–31).

6. 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).

7. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИСКРОВОГО ПЛАЗМЕННОГО СПЕКАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КЕРАМИКИ $NiO - ZrO_2:Y_2O_3$

М.С. Пропой, А.А. Сивков, А.С. Сайгаш, А.С. Ивашутенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск

Введение

Керамика состава $NiO - ZrO_2:Y_2O_3$ (NiO -YSZ) применяется в качестве анода твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ), устройств для прямого преобразования химической энергии топлива (водорода) в электрическую. При работе топливного элемента оксид никеля восстанавливается в водороде до Ni , после чего анод приобретает электронную проводимость. Эффективность работы каждого слоя твердооксидного топливного элемента во многом зависит от его микроструктуры. Так, изменяя пористость и размер пор анодного слоя можно регулировать подачу топлива и отведение продуктов реакции, интенсивность электрохимической реакции, электропроводность. Для получения высокой удельной мощности анод должен обладать развитой трехфазной границей металл – керамика – газ (водород) и надежным контактом с электролитом. Всё это накладывает особые требования и рекомендации к технологии изготовления данного изделия. Микроструктура анода в основном определяется характеристиками исходной порошковой смеси и методом формирования. В настоящее время наиболее распространенным методом формирования анодного слоя является шликерное литье с последующим спеканием в печи в воздушной атмосфере при температурах 1300 – 1400 °С. Одним из перспективных методов формирования пористой керамики является метод искрового плазменного спекания (ИПС), основанного на использовании прямого нагрева порошковых материалов путем пропускания последовательностей импульсов постоянного тока.