

Изоляция обмоток низковольтных асинхронных двигателей в условиях применения системы частотного управления

ПОХОЛКОВ Ю.П., ЛЕОНОВ А.П., КОРОБЦОВ А.А.

Показано влияние электрических перенапряжений на надежность системы изоляции электрических машин при использовании частотного управления. Предложен метод определения стойкости к поверхностным разрядам (короностойким). Проведена оценка стойкости к поверхностным разрядам существующих марок эмалированных обмоточных проводов. Отмечена необходимость использования короностойких электроизоляционных материалов и проводов.

Ключевые слова: электрические машины, система изоляции, обмоточные провода, поверхностный разряд

Износ электрической изоляции обмоток главным образом происходит за счет действия температуры, механических и электрических нагрузок, а также действия окружающей среды. Традиционно с учетом накопленного опыта для низковольтных электроизоляционных систем, прежде всего, учитывалось действие температуры как основной нагрузки, приводящей к старению изоляции. Действием электрического поля, как правило, пренебрегали, поскольку значение электрической прочности даже у состаренной низковольтной изоляции существенно выше, чем значение воздействующих напряжений и перенапряжений. Более того, в существующих ранее условиях рабочие напряженности электрического поля в изоляции низковольтных обмоток меньше напряжения начала ионизации. Следовательно, существовали все основания пренебречь незначительным воздействием электрических нагрузок и их вкладом в процессы старения изоляции низковольтных обмоток.

В последнее десятилетие для электроприводов, построенных на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, оптимальным экономичным способом плавного регулирования в продолжительных режимах является частотный, основанный на использовании преобразователей частоты (ПЧ). Силовая часть такого ПЧ состоит из регулируемого выпрямителя, фильтра и автономного инвертора на основе широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Сначала в промежуточном контуре (шине постоянного тока) привода происходит преобразование синусоидального напряжения питания в постоянный ток. Для генерации выходного напряжения, соответствующего техническим характеристикам двигателя и требуемому значению тока,

The paper shows overvoltages influence on the reliability of electrical machines insulation systems with variable frequency control. Besides the paper covers the determination method of surface discharges (corona discharges) resistance and its assessment among existing types of enamelled winding wires. The necessity of corona-resistant wires and insulating materials is also mentioned.

Key words: electrical machines, insulation system, winding wires, surface discharges

используется полупроводниковый ключ. Как показывает опыт эксплуатации [1, 2], имеется ряд недостатков, вызванных особенностями применения системы частотного управления.

Современные полупроводниковые ключи, используемые в регулируемых электроприводах, отличаются исключительно высокой скоростью перехода из открытого состояния в закрытое, что проявляется в резких скачках напряжения до 10 кВ/мкс. Таким образом, на обмотку поступают импульсы прямоугольной формы с высоким значением перенапряжения, что вызывает протекание в обмотке волновых процессов (ВП). Отраженные волны вместе с питающим напряжением и ЭДС в обмотке статора вызывают перенапряжения в изоляции статора, которые воздействуют на изоляцию статорной обмотки. Значения перенапряжений могут превышать значение питающего напряжения до 10 раз. Таким образом, при работе от ПЧ изоляция двигателя испытывает намного большее напряжение, чем при работе от источника синусоидального напряжения такой же амплитуды и частоты. Коронные разряды возникают в процессе регулирования (изменения частоты) электрического привода.

Все это приводит к быстрому старению изоляции, что влияет на снижение надежности и срок службы электрической машины. Особенно опасны подобные перенапряжения для межвитковой изоляции обмоток, так как существующие системы изоляции обмоток двигателя не рассчитаны на подобные перенапряжения, что обуславливает электрический износ изоляции с последующим пробоем [3].

Таким образом, использование новых систем частотного управления электроприводами привело

к изменению уровня электрических эксплуатационных нагрузок на изоляцию. Кроме того, обозначился ряд вопросов, связанных с разработкой, испытанием и применением короностойких систем изоляции, решение которых позволит обеспечить необходимый уровень надежности в процессе эксплуатации.

Прежде всего надежность межвитковой изоляции во многом зависит от способности эмалевой изоляции обмоточных проводов выдерживать воздействующие нагрузки.

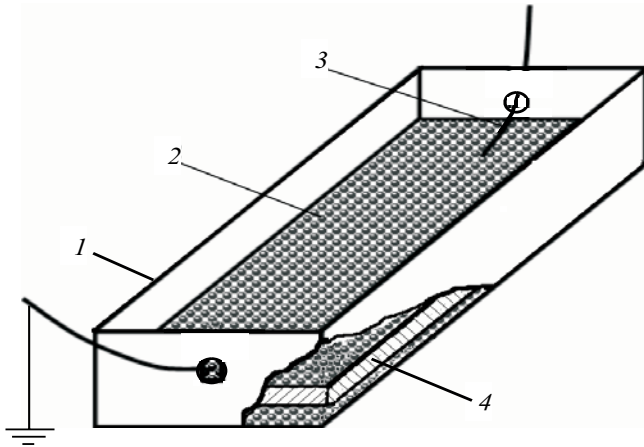


Рис. 1. Схема для проведения испытаний на короностойкость: 1 – ванна; 2 – стальная дробь; 3 – образец провода; 4 – металлический электрод

Была проведена оценка стойкости изоляции эмалированных проводов к действию коронных (поверхностных) разрядов как основного элемента межвитковой изоляции, обеспечивающего надежную работу обмотки.

Испытания образцов провода проводились в среде действия коронных разрядов. Критерием короностойкости служит среднее время до пробоя изоляции при испытании проводов разных марок. Подобные условия обеспечиваются при помещении заземленного образца провода в емкость со

стальной дробью, на которую подается высокое напряжение. На рис. 1 приведен общий вид устройства для проведения испытаний. Высокое напряжение создает коронные (поверхностные) разряды по всей поверхности образца провода, погруженного в ванну с дробью. Длительное действие таких разрядов неизбежно приводит к ухудшению электрических свойств эмалевой изоляции и пробою. В качестве объектов испытаний были взяты несколько марок широко применяющихся в настоящее время эмалированных проводов.

Результаты испытаний приведены на рис. 2. Как видно, наибольшим временем до пробоя при всех уровнях воздействующего напряжения обладает провод марки ПЭТДК-2-180.

Выводы. 1. В случае применения системы частотного управления при выборе компонентов системы изоляции обмотки обязательным условием является короностойкость применяемых электроизоляционных материалов и эмалированных проводов, которые обеспечат необходимые эксплуатационные и ресурсные показатели.

2. Определение времени до пробоя эмалевой изоляции при повышенном напряжении позволяет быстро и адекватно провести сравнительную оценку короностойкости изоляции обмоточных проводов. В качестве критерия может быть принято среднее время до пробоя эмалевой изоляции в описанных условиях.

3. Полученные результаты позволяют рекомендовать провод ПЭТД2-К-180. Изоляция данного провода является двухслойной. Внутренний слой выполнен из тригидроксиэтилциануратного лака, содержащего не менее 0,1 об.% наночастиц оксида кремния, а внешний слой выполнен из полиамидимидного лака. Подобная композиция обеспечивает необходимые короностойкие свойства изоляции провода и обмотки в целом.

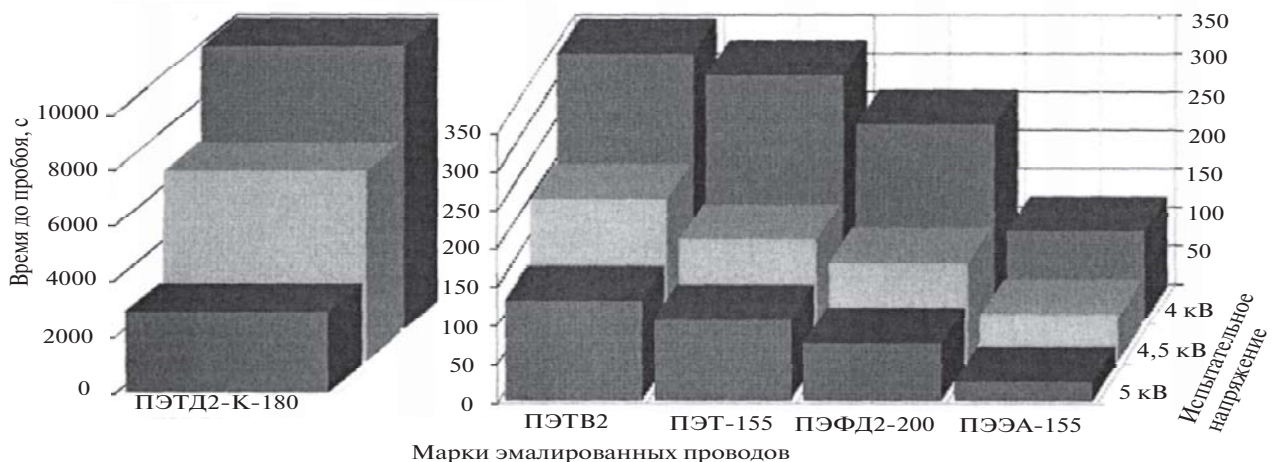


Рис. 2. Среднее время до пробоя эмалированных проводов при действии коронных разрядов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Stranges M.K.W., Stone G.C. Bogh D.L.** Progress on IEC 6003418-42 for qualification of stator insulation for low-voltage and medium-voltage inverter duty application. — Proc. IEEE PCIC IEC 60034-18-42, 2007.
2. **Карлов Б.В., Есин Е.К.** Современные преобразователи частоты: методы управления и аппаратная реализация. — Силовая электроника, 2004, № 1.
3. **Stone G.C., Culbert M., Lloyd B.A.** Stator insulation problems associated with low voltage and medium voltage PWM drives. — Cement industry technical conf. record, 2009.
4. **Martinez J.M., Amaris H., Sanz J.** Frequency domain modeling of random wound motor windings for insulation stress analysis. — Electrical Engineering, 2006, № 88.
5. **Martinez J.M.** Transient voltage distribution along LV motor windings fed with PWM converters. Insulation ageing analysis. — Dissertation at Leganes (Madrid), 2005.

Авторы: Похолков Юрий Петрович окончил ТПИ по специальности «Электроизоляционная и кабельная техника» в 1961 г. В 1978 г. защитил докторскую диссертацию «Разработка методов расчета и обеспечения показателей надежности и качества электрической изоляции обмоток асинхронных двигателей» в Московском энергетическом институте. Заведующий кафедрой организации и технологии высшего профессионального образования.

Леонов Андрей Петрович окончил в 1996 г. ТПУ по специальности «Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника». Канд. техн. наук.

Коробцов А.А. окончил ТПУ по специальности «Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника». Аспирант ТПУ.