

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРОНОСТОЙКОСТИ ЭМАЛИРОВАННЫХ ПРОВОДОВ

Д.И. Чарков, Е.Ю. Солдатенко  
Томский политехнический университет  
ЭНИН, ЭКМ

Согласно Энергетической стратегией России на период до 2020 года важнейшее стратегическое направление - снижение энерго- и электроемкости экономики и повышение эффективности использования энергоносителей. Такая финансовоёмкая программа формирует масштабные потребности электроэнергетики на все виды электротехнического оборудования: генераторы, трансформаторы, коммутационная аппаратура и т.п. Важное место в этом перечне занимает оборудование силовой электроники и регулируемого электропривода. [1]

Частотно-регулируемый электропривод, построенный на базе асинхронного двигателя, применяется достаточно широко во многих сферах деятельности и по разным оценкам на долю асинхронных двигателей приходится от 40 % до 70 % всей электрической энергии, преобразуемой в механическую. [2] Основными преимуществами ЧРП являются: высокая точность регулирования, экономия электрической энергии в случае переменной нагрузки, повышенный ресурс оборудования, стабилизация скорости вращения при изменении нагрузки, плавный пуск двигателя, значительно уменьшающий его износ и многое другое. [3]

Внедрение системы частотного управления позволило в значительной степени увеличить частоту коммутационных операций (до 20 кГц), минимизировать потери электроэнергии и улучшить производительность частотно-регулируемого привода. Однако, повышение скорости коммутаций сократило время нарастания импульсов напряжения, которое негативно отразилось на протекании переходных процессов в цепи «частотный преобразователь – питающий кабель – двигатель». Рассогласование полных сопротивлений между инвертором, кабелем и двигателем возбудило волновые процессы в кабеле и явление отражения сигнала, что привело к перенапряжениям на клеммах двигателя [4]. Такие электрические нагрузки ужесточили условия эксплуатации изоляционной системы частотно-регулируемого привода и, прежде всего, межвитковой изоляции, как наиболее слабого элемента изоляции обмотки. В порах и воздушных зазорах стали возникать коронные разряды, приводящие к ускоренному старению изоляции и дальнейшему пробую [5].

В данном случае под коронными разрядами понимаются поверхностные разряды 5в изоляции обмотки электрической машины. Короностойкость диэлектрика представляет собой способность выдерживать влияние коронного разряда без недопустимого ухудшения свойств. Корона может формироваться с течением времени из-за износа электродов и старения изоляции. Она ограничена относительно узкой областью, прилегающей к электроду. Под воздействием короны и образующихся под ее влиянием химических соединений происходит эрозия изоляционного материала, которая может достигать такой степени, что оставшаяся изоляция не выдерживает приложенного напряжения и происходит пробой. Возможно также изменение физических свойств материала под действием короны: материал изменяет размеры, становится хрупким, трескается, выделяет газы [6].

Проблема является достаточно новой и актуальной, так как традиционно считалось: возникновение короны в низковольтной изоляции невозможно. В связи с этим при рассмотрении вопросов надежности подобных систем электрическим старением пренебрегали. Помимо этого, обозначилась проблема выбора критерия, методов и технических средств, позволяющих оценить стойкость межвитковой изоляции к эксплуатационным нагрузкам при работе ЧРП на базе ШИМ.

Не смотря на наличие некоторых рекомендаций [7], существующие методы не применимы для определения короностойкости эмалированных проводов: конструкция образцов не имитирует межвитковую изоляцию, предлагаемые критерии условны и не дают адекватной оценки, характер и величины прикладываемых напряжений не соответствуют реальным нагрузкам на изоляцию ЧРП.

Поставленную проблему предлагается решить путем проведения испытаний образцов провода на стойкость к действию высокочастотного модулированного сигнала. В качестве образцов используются скрутки провода (согласно ГОСТ 15634.4-70), испытания проводят при температуре класса нагревостойкости. Совместно с ООО «НПО Редвилл» был разработан и смонтирован учебно-исследовательский стенд для определения короностойкости изоляции эмалированных обмоточных проводов. Общий вид стенда представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Общий вид учебно-исследовательского стенда.

Электрические нагрузки характерны для работы частотного преобразователя воспроизводится с помощью высокочастотного блока (ВЧ блок) со следующими характеристиками: подаваемое напряжение переменного тока с амплитудой 1200 В, частота 400 Гц с частотой (модуляции) квантования напряжения 5 кГц с (длительность фронта волны) крутизной нарастания переднего фронта 4 мкс. Подобные условия обеспечивают появление коронных разрядов по всей длине испытуемого образца. Критерием короностойкости принято время до пробоя изоляции образца.

В работе были испытаны ряд марок современных эмалированных проводов: ПЭТД-180, ПЭТД2-К-180, ПЭТ-155, ПЭЭА-155. Испытывались как пропитанные, так и непропитанные скрутки (пропиточные компаунды КП-50, КП-55-5, и лак КО-916К). Отмечено: наибольшая короностойкость у провода ПЭТД-2К-180 в сочетании с компаундом КП-50 и лаком КО-916К.

Изоляция данного провода представляет собой двухслойную композицию. Первый слой изоляции выполнен из короностойкого или модифицированного полиэфиримидного лака, куда входят наночастицы оксида кремния, внедренные в эмалевую изоляцию. Второй слой изоляции выполнен из полиамидимидного лака.

В случае действия коронного разряда, наночастицы оксида кремния за счет сильного взаимодействия образуют защитный слой, препятствующий дальнейшему разрушению изоляционного слоя. Тем самым, замедляется процесс разрушения изоляции.

Результаты работы внедрены в учебный процесс подготовки магистров по направлению 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротех-

ника», профиль «Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника, дисциплина «Изоляция электрических машин и аппаратов».

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Лазарев Г.Б., " Частотно-регулируемый электропривод – эффективная технология энергосбережения при техническом перевооружении и новом строительстве тепловых электростанций . " [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://en-res.ru/wp-content/uploads/2012/12/Лекция-ЧРП-8-9-09-2.pdf> (дата обращения: 15.09.15).
2. Асинхронный двигатель. Устройство и принцип действия однофазного и трехфазного асинхронного электродвигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.eti.su/articles/elektroprivod/elektroprivod\\_36.html](http://www.eti.su/articles/elektroprivod/elektroprivod_36.html) (дата обращения: 03.03.15).
3. Частотное регулирование электроприводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.e-audit.ru/chrp/index.shtml> (дата обращения: 03.03.15).
4. Transient Effects of PWM Drives on Induction Motors, Christopher J. Melhorn, Le Tang, Electrotek Concepts, Inc., Knoxville, Tennessee 37932.
5. R. Kerkman, D. Leggate, G. Skibinski. "Interaction of Drive Modulation & Cable Parameters on AC Motor Transients," IEEE IAS Conference Proceedings, 1996.
6. Melfi, M., Sung, A.M.J., Bell, S., Skibinski, G.L. Effect of Surge Voltage Risetime on the Insulation of Low Voltage Machines Fed by PWM Converters // Industry Applications, IEEE Transactions on, Jul/Aug 1998, pages (766 - 775).
7. ГОСТ 27427-87 - Материалы электроизоляционные. Методы относительного определения сопротивления пробоем поверхностями разрядами

Научный руководитель: А.П. Леонов, к.т.н., доцент кафедры ЭКМ ЭНИН ТПУ.