

доступа: http://www.eti.su/articles/elektroprivod/elektroprivod_36.html (дата обращения: 03.03.15).

2. Частотное регулирование электроприводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.e-audit.ru/chrp/index.shtml> (дата обращения: 03.03.15).

3. Don-Ha Hwang, Ki-Chang Lee, Yong-Joo Kim, In-Woo Lee, Tae-Hoon Lim, Dong-Hee Kim, “Accessing the insulation characteristics for stator windings of low-voltage induction motors for adjustable-speed drive applications”, IEEE IAS Conference Proceedings, Oct. 2003.

4. Mathworks. Simulink. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://matlab.ru/products/simulink> (дата обращения: 03.03.15).

5. B. Basavaraja, D.V.S.S. Siva, “Application problem of PWM AC drives due long cable length and high dv/dt ”, IEEE.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРОНОСТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ НИЗКОВОЛЬТНОЙ МЕЖВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Д.И. Чарков, А.П. Леонов, Е.Ю. Солдатенко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, Томск

Преимущества использования системы частотного управления позволили 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 [1, 2]. Подобные 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 пробою [3].

В данном случае под коронными разрядами понимаются поверхностные разряды в 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 [4].

Проблема является новой и актуальной, так как традиционно считалось: возникновение короны в низковольтной изоляции невозможно. Поэтому при рассмотрении 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 [5], 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 «НПОРедвилл» был разработан и смонтирован учебно-исследовательский стенд для определения короностойкости изоляции эмалированных обмоточных проводов. Общий вид стенда представлен на рис. 1.



Рис. 1. Общий вид учебно-исследовательского стенда

Образцы для испытаний представляют с собой скрутку провода с рабочей зоной 125 мм. (рис. 2). Электрические нагрузки, характерные для работы частотного преобразователя, воспроизводятся с помощью высокочастотного блока (рис. 3) 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.

Температура в термошкафу соответствует нагревостойкости эмалированного провода. Критерием короностойкости является среднее время до пробоя изоляции образца. Наличие коронных разрядов, а также соответствие формы и величины подаваемого сигнала подтверждается осциллограммами, представленными на рис. 3.



Рис. 2. Общий вид образца

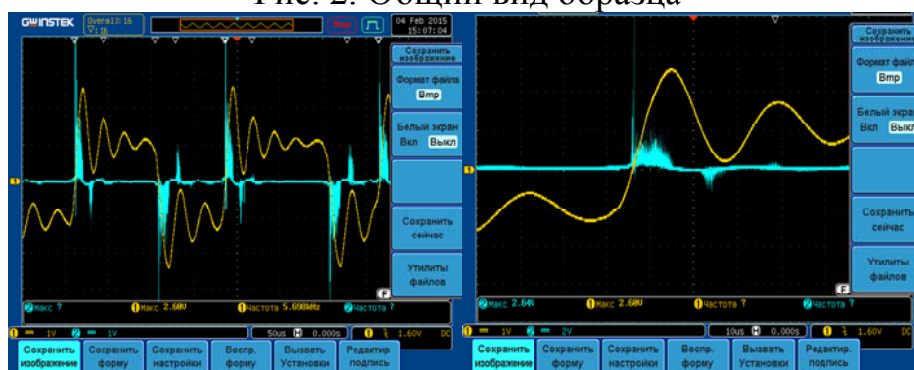


Рис. 3. Осциллограммы питающего тока и напряжения на образце

В ходе работы была проведена серия испытаний на короностойкость ряда марок современных эмалированных проводов: ПЭТД-180, ПЭТД2-К-180, ПЭТ-155, ПЭЭА-155. Испытывались как пропитанные, так и непропитанные скрутки. Отмечено: наибольшей короностойкостью обладает провод ПЭТД-2К-180. 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 пробоя изоляции. Испытания показали: наибольшее среднее время до пробоя обеспечивается при пропитке провода ПЭТД-2К-180 в сочетании компаунда КП-50 и лака КО-916К.

Результаты работы внедрены в учебный процесс подготовки магистров по направлению 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электроизоляционная, кабельная и конденсаторная техника, дисциплина «Изоляция электрических машин и аппаратов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. E. Persson, "Transient Effects in Application of PWM Inverters to Induction Motors," IEEE IAS Transactions, vol.28. No. 5, Sept./Oct. 1992.
 2. Transient Effects of PWM Drives on Induction Motors, Christopher J. Melhorn, Le Tang, Electrotek Concepts, Inc., Knoxville, Tennessee 37932.
 3. R. Kerkman, D. Leggate, G. Skibinski. "Interaction of Drive Modulation & Cable Parameters on AC Motor Transients," IEEE IAS Conference Proceedings, 1996.
 4. 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).
- ГОСТ 27427-87 – Материалы электроизоляционные. Методы относительного определения сопротивления пробойю поверхностными разрядами.

ПРОБЛЕМА НАДЕЖНОСТИ НЕФТЕПОГРУЖНЫХ КАБЕЛЕЙ ПРИ ПИТАНИИ УЭНЦ ОТ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

А.Г. Гарганеев, А.П. Леонов*, Ю.М. Щербакова*, А.А. Нор***

* – Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

** – ПАО «НИКИ», Россия, Томск

В последние годы все большее число установок электроцентробежных насосов (УЭНЦ) добычи нефти управляется с помощью преобразователей частоты. Преимущества внедрения частотного управления сопровождается рядом недостатков, важнейшим из которых – резкое снижение срока службы питающих кабелей. Это связано с возросшими электрическими нагрузками на изоляцию кабеля, обусловленные работой частотного преобразователя на базе ШИМ. Отмечено, что в ряде случаев это может служить причиной пробоя изоляции кабеля [1]. В отечественной технической литературе недостаточно информации об опыте применения нефтепогружных кабелей в составе ЧРП, а также о характере и величинах напряжений, возникающих при работе ШИМ.

Нефтепогружной кабель (НПК), питающий УЭНЦ следует рассматривать как однородную длинную линию с распределенными параметрами, влияющими на распространение электрического сигнала [2]. Согласно общепринятой схеме электропитание УЭЦН осуществляется с помощью кабельных линий, состоящих из основного питающего кабеля и герметически соединенного с ним с помощью муфты высокотемпературного кабеля-удлинителя. Основной кабель, в свою очередь, может состоять из нескольких отрезков кабелей различных конструкций и теплостойкости, также герметично соединенных между собой. Для расчета величин перенапряжений в кабельной линии необходимо определить волновые параметры, влияющие на