

ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Рассмотрены факторы негативного воздействия на корпусную изоляцию двигателя при питании его от преобразователя частоты с ШИМ. Разработана модель электропривода ПЧ-АД с учетом параметров корпусной изоляции. Предложен способ измерения тока утечки в системе ПЧ-АД, что позволяет контролировать состояние изоляции.

Розглянуті фактори негативного впливу на корпусну ізоляцію двигуна при живленні його від перетворювача частоти з ШІМ. Розроблена модель електропривода ПЧ-АД з урахуванням параметрів корпусної ізоляції. Запропоновано спосіб вимірювання струму витoku в системі ПЧ-АД, що дозволяє контролювати стан ізоляції.

Factors of negative impact on motor insulation, powered by a frequency converter with PWM, are considered. A model of the electric drive including parameters of frame insulation is developed. A method for leakage current measurement and monitoring of insulation state is proposed.

Вступление

Частотно-регулируемый электропривод приобретает все большую популярность, а преобразователи частоты становятся все более доступными. Однако, помимо преимуществ, такой вид электропривода имеет и свои недостатки. Один из основных недостатков – негативное воздействие на изоляцию обмоток двигателя. Импульсы на выходе преобразователя могут приводить к значительным перенапряжениям на обмотках двигателя. Это связано с резонансными явлениями и эффектом отраженной волны [4,5]. Каждый импульс перенапряжения приводит к частичному повреждению изоляции. Непрерывное воздействие таких импульсов приводит к преждевременному выходу из строя двигателя. Кроме того, в регулируемом электроприводе двигатель зачастую работает на скорости ниже номинальной. Работа двигателя на пониженной скорости ухудшает самовентиляцию и приводит к перегреву двигателя, что также снижает ресурс изоляции [3]. Пробой изоляции двигателя в системе ПЧ-АД приводит не только к повреждению двигателя, но также может привести к повреждению преобразователя. Даже если система защиты успеет сработать, режим короткого замыкания значительно снижает перегрузочную способность транзистора. Для предупреждения аварийной ситуации необходимо непрерывно контролировать техническое состояние изоляции электрической машины.

Диагностика состояния изоляции

В [2] рассмотрен способ контроля технического состояния изоляции по реакции на воздействие напряжением широкого спектра. Преобразователь частоты является источником напряжения с широким спектром частот (время переключения транзистора составляет 100-200 нс, а составляющие спектра выходного напряжения инвертора достигают 1-2 МГц). Анализ тока, протекающего через корпусную изоляцию на землю, дает возможность непрерывно в ходе работы преобразователя следить за состоянием изоляции электродвигателя. Для подтверждения

возможности диагностики изоляции в системе ПЧ-АД необходимо рассмотреть модель системы ПЧ-АД с моделью корпусной изоляции обмотки статора двигателя. Корпусная изоляция электродвигателей является неоднородной – она состоит из нескольких слоев, имеющих различные физические свойства, а, следовательно, и разные значения сопротивления изоляции и электрической емкости. Доказано [1], что наиболее информативной является именно трехслойная модель изоляции. Это связано с тем, что в корпусной изоляции можно выделить три основных компонента: микалента, состоящая из слюды и подложки (стеклоткань, синтетические бумаги, полимерные пленки, фторопластовые ленты), и пропиточный компаунд на основе эпоксидных и полиэфирных смол. Таким образом, получаются три ярко выраженных компонента: слюда, подложка и пропитывающий компаунд.

Для исследования реакции изоляции двигателя на импульсы выходного напряжения преобразователя частоты разработана модель в программном пакете PSIM 9.0 (рис.1). Модель включает в себя сеть (обмотка трансформатора с глухозаземленной нейтралью), мостовой выпрямитель VD1, конденсатор звена постоянного тока C1, инвертор (6 транзисторов с системой управления), обмотку двигателя (RL нагрузка), корпусную изоляцию в виде трехуровневой RC нагрузки. Для измерения сигналов предусмотрены датчики тока в положительной и отрицательной шине звена постоянного тока и в нулевом проводе изоляции, датчики напряжения фаз инвертора и шин звена постоянного тока (все относительно заземления).

В реальной системе ПЧ-АД отсутствует возможность контроля тока изоляции в заземляющем проводнике (рис.1, Iiso). Сумма токов положительного и отрицательного проводника звена постоянного тока (рис.1, Iiso_sum) при отсутствии токов утечки на землю равна нулю. При возникновении токов через изоляцию двигателя сумма токов в звене постоянного тока будет равна току утечки (рис.2).

Для оценки технического состояния изоляции по реакции на воздействие напряжением широкого

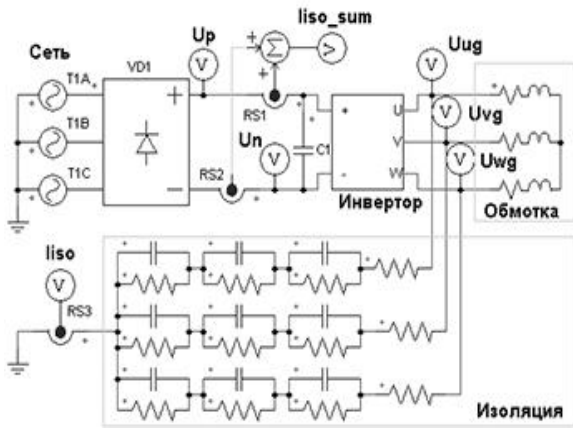


Рис.1. Схема модели системы ПЧ-АД с учетом параметров корпусной изоляции

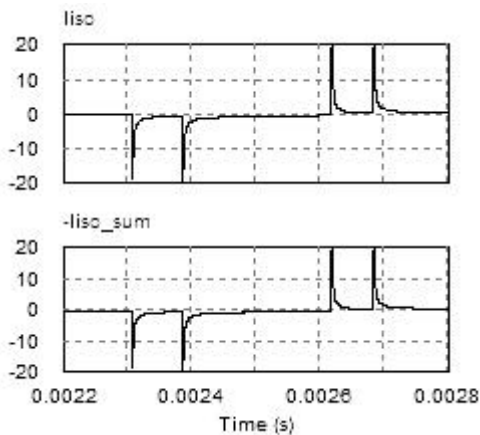


Рис.2. Осциллограммы тока утечки, измеренного в заземляющем проводнике и в звене постоянного тока

спектра необходимо также измерять напряжение, прикладываемое к обмотке. Напряжение на выходе преобразователя с ШИМ имеет прямоугольную форму. Фронт импульса напряжения совпадает с фронтом импульса тока, а уровень импульса напряжения относительно земли (рис.1, U_u , U_v , U_w) равен напряжению соответствующего проводника (положительного или отрицательного) звена постоянного тока относительно земли (рис.3). Измеряя напряжения в звене

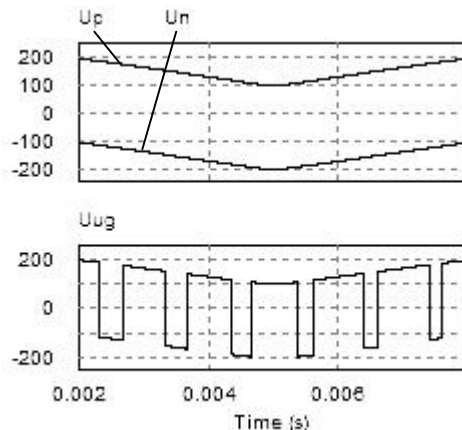


Рис.3. Осциллограммы напряжений в звене постоянного тока и в фазе двигателя относительно земли

постоянного тока относительно земли, можно восстановить напряжение на фазе двигателя относительно земли.

Выводы

Преобразователь частоты является генератором напряжения с широким спектром частот. Анализ сигналов напряжения и тока изоляции позволяет производить оценку технического состояния корпусной изоляции двигателя (при питании его от ПЧ с ШИМ), в рабочем режиме. При этом не оказывается никакого влияния на качество регулирования координат электропривода. Преобразователь частоты приобретает дополнительную функциональность – мониторинг состояния изоляции, что повышает надежность эксплуатации электропривода

Список использованной литературы

1. Серебряков А.С. Определение параметров схемы замещения корпусной изоляции тяговых электродвигателей / А.С.Серебряков // Электротехника. – М.: ЗАО Знак, 2009. – № 5. – 90 с.
2. Худий Є.Г. Визначення технічного стану ізоляції електричних машин випробувальною напругою широкого діапазону частот / Є.Г.Худий, І.І.Пельтек// Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип.86. – С.197-203.
3. Ernesto J. Wiedenbrug. Overheating electric motors: one root cause of insulation failure / Ernesto J. Wiedenbrug// Baker Instrument Company. – 2007.
4. Václav Mentlík. The influence of pulse stress on main-wall insulation of electric rotating machines/ Václav Mentlík, Josef Pihera, Ondrej Táborík, Pavel Trnka// Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne. – 2007. – Nr 77.
5. Zdeněk Peroutka. Motor insulation breakdowns due to operation of frequency converters / Zdeněk Peroutka // IEEE Bologna power tech conference – 2003. – 237 p.

Получено 12.07.2011



Бешта Александр Степанович,
д-р техн. наук., каф. эл. привода
Нац. горн. ун-та,
г. Днепропетровск,
пр. К. Маркса 19,
E-mail: beshtaa@nmu.org.ua



Худой Евгений Геннадьевич,
ассистент каф. эл. привода
Нац. горн. ун-та,
г. Днепропетровск,
пр. К. Маркса 19,
E-mail:
eugene.khudoy@gmail.com