

УДК 621.313.04

**А.С. Бешта**, д-р техн. наук,  
**Е.Г. Худой**

### ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

**Аннотация.** 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.

**О. С. Бешта**, д-р техн. наук,  
**Е. Г. Худой**

### ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН В ЧАСТОТНО- РЕГУЛЬОВАНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

**Анотація.** 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.

**A. S. Beshta**, ScD,  
**E. G. Hudoj**

### DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF THE INSULATION OF ELECTRICAL MACHINES IN VARIABLE FREQUENCY DRIVES

**Abstract.** 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 напря-

жением 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: mica-калента, 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 С1, 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,  $I_{iso}$ ). Сумма токов положительного и отрицательного проводника звена постоянного тока (рис.1,  $I_{iso\_sum}$ ) 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).

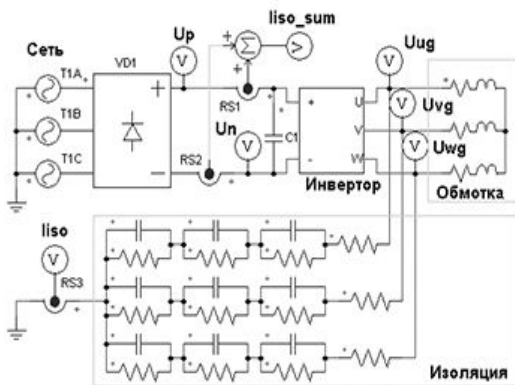


Рис.1. Схема модели системы ПЧ-АД с учетом параметров корпусной изоляции

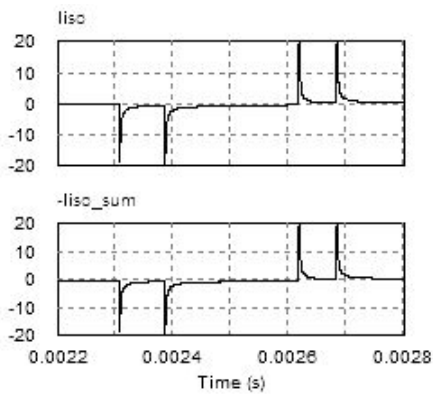


Рис.2. Осциллограммы тока утечки, измеренного в заземляющем проводнике и в звене постоянного тока

Для оценки технического состояния изоляции по реакции на воздействие напряжением широкого 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 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.

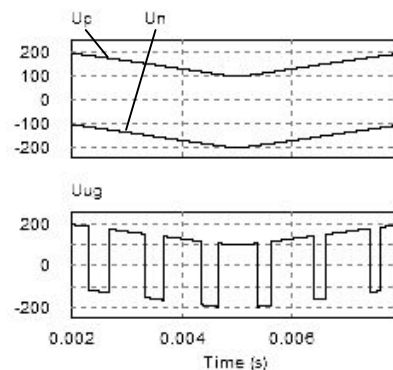


Рис.3. Осциллограммы напряжений в звене постоянного тока и в фазе двигателя относительно земли

**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 // *Гірничі 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