



УДК 621.313, 621.315.6

СПОСОБ РЕГИСТРАЦИИ ТОКОВ УТЕЧКИ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

METHOD OF REGISTRATION OF ELECTRIC MOTOR WINDING INSULATION LEAKAGE CURRENT

Кондаков Константин Андреевич, магистрант каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19., Тел.: +7(343)375-46-46

Костромин Вячеслав Алексеевич, студент каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19., Тел.: +7(343)375-46-46

Бородин Михаил Юрьевич, канд. техн. наук, доцент каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19., Тел.: +7(343)375-46-46

Метельков Владимир Павлович, канд. техн. наук, доцент каф. «Электропривод и автоматизация промышленных установок», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19., Тел.: +7(343)375-46-46

Konstantin A. Kondakov, Master student, Department «Electric drive and automation of industrial installations», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. Ph.: +7(343)375-46-46

Vyacheslav A. Kostromin, Student, Department «Electric drive and automation of industrial installations», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. Ph.: +7(343)375-46-46

Mikhail Yu. Borodin, Cand Sc., Associate Prof., Department «Electric drive and automation of industrial installations», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia Ph.: +7(343)375-46-46

Vladimir P. Metelkov, Cand Sc., Associate Prof., Department «Electric drive and automation of industrial installations», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. Ph.: +7(343)375-46-46

Аннотация: В работе представлены некоторые результаты исследования токов утечки изоляции обмотки статора асинхронного двигателя, генерируемых прямоугольными импульсами напряжения. Исследовалась возможность регистрации параметров тока утечки с достаточно высоким разрешением по времени. Предложена методика регистрации токов утечки, основанная на использовании осциллографа Актacom и усреднении большого количества рядов экспериментальных данных.

Abstract: The paper presents some results of investigation of insulation leakage current of the asynchronous motor stator winding generated by rectangular voltage pulses. The possibility of recording the leakage current parameters with a sufficiently high time resolution was investigated. A method for detecting leakage currents is proposed, based on the use of the Aktacom oscilloscope and averaging a large number of experimental data series.

Ключевые слова: контроль состояния изоляции; электрические машины; асинхронный двигатель; диэлектрики; изоляция; ток утечки.

Key words: insulation condition monitoring; electric machines; induction motor; dielectrics; insulation; leakage current.

ВВЕДЕНИЕ

Изоляция обмоток электрических двигателей является элементом, который в значительной степени определяет надежность машины. Например, для асинхронных двигателей доля

выходов из строя по причинам, связанным с нарушением свойств изоляции обмоток достигает 68% для крановых приводов [1] и до 89% для приводов в сельском хозяйстве [2]. Это показывает важность проблемы контроля состояния изоляции обмоток. Необходимы такие

методы, которые давали бы возможность отслеживать состояние изоляции по мере ее старения под действием различных факторов – нагрева, вибраций, влажности, агрессивной среды, электрического поля [3].

В [4] экспериментально показано, что величина токов утечки изоляции обмотки, обусловленных производными напряжения (dU/dt), связана с состоянием изоляции и изменяется по мере ее старения. Это дает возможность отслеживать состояние изоляции, замеряя токи утечки. Однако, в работе [4] исследования токов утечки проводились с использованием синусоидального напряжения, то есть при небольших значениях dU/dt . Поэтому величина токов утечки оказывалась небольшой и с такими токами сложно работать.

В работе [5] предложено использовать для исследования токов утечки прямоугольные импульсы напряжения. В этом случае, благодаря значительно большим dU/dt , удастся получить значительные токи утечки при не слишком высокой амплитуде напряжения. Однако, в работе [5] исследования проводились, в основном, с использованием математической модели изоляции.

В нашей работе ставилась задача разработки способа получения экспериментальным путем графиков токов утечки, формируемых прямоугольными импульсами напряжения. Сложность задачи обусловлена тем, что процессы изменения этих токов отличаются очень малыми постоянными времени, что создает технические проблемы с регистрацией их временных зависимостей.

СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА И ИСПОЛЬЗУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Для измерения токов утечки использовался принцип, предложенный в [5]. Он заключается в том, что до и после обмотки двигателя в цепь вводятся два измерительных сопротивления R_1 и R_2 (см. рис. 1), на которых регистрируются падения напряжения ΔU_1 и ΔU_2 . Затем ток утечки (I_y) вычисляется как

$$I_y = \frac{\Delta U_1}{R_1} - \frac{\Delta U_2}{R_2}. \quad (1)$$

Схема эксперимента для регистрации зависимостей токов утечки от времени показана на рис. 2, где обозначено: R_1 и R_2 – измерительные сопротивления; L_1 – обмотка двигателя (исследование проводилось на асинхронном двигателе); ПЧ – преобразователь частоты.

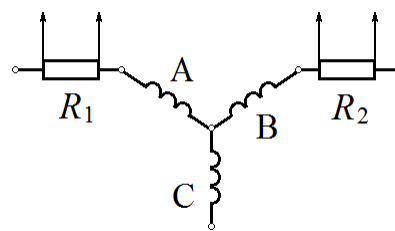


Рис. 1. К принципу измерения токов утечки

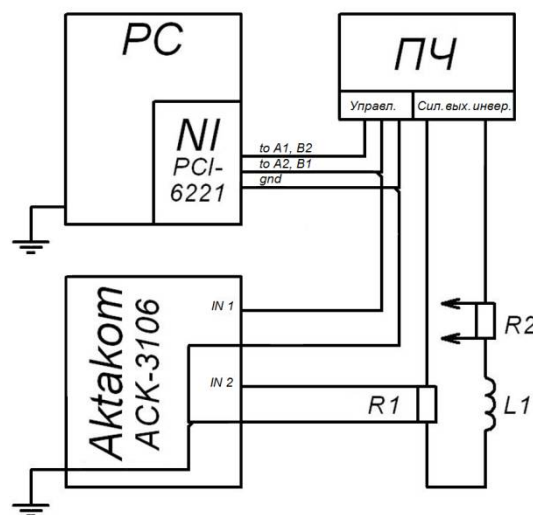


Рис. 2. Схема эксперимента

В схеме использовался персональный компьютер с платой National Instruments PCI-6221, которая с помощью программного обеспечения LabView подает сигналы управления на транзисторные ключи в инверторе ПЧ с заданной оператором частотой. Преобразователь частоты генерирует на выходе прямоугольные импульсы напряжения с амплитудой, равной напряжению в звене постоянного тока. Исследования проводились на асинхронном с об/мин). Измеренное сопротивление фазы статора двигателя 62.2 Ом.

При проведении исследований использовался цифровой осциллограф Aktakom. Основные технические характеристики этого осциллографа:

- количество каналов: 2;
- разрешение: 8 бит на шкалу;
- пределы допускаемой основной относительной погрешности коэффициентов отклонения: $\pm 2,5\%$;
- максимальная эквивалентная частота выборок в стробоскопическом режиме: 10 ГГц;
- максимальная частота дискретизации 100 МГц;
- максимальное число выборок на канал: 131072.

Так как общая точка у осциллографа Aktakom одна, то измерения с шунтов R_1 и R_2 производятся не одновременно, а по очереди – ряд измерений с одного, затем ряд с другого. Измерения с шунтов синхронизировались сигналом управления ключами ПЧ. С целью устранения влияния помех

на измерения выполнялся достаточно большой ряд измерений для нахождения средней кривой. В данном случае этот ряд включал 300 измерений в каждом эксперименте с последующим усреднением для каждой временной точки.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 3 и 4 приведены временные зависимости тока утечки I_y , полученные в ходе эксперимента. Графики имеют достаточно высокое разрешение по времени и позволяют увидеть характерные особенности поведения тока утечки.

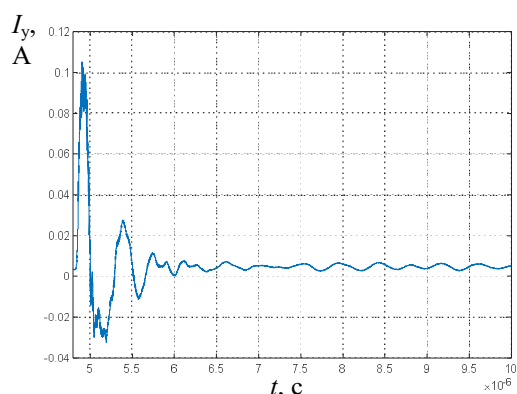


Рис. 3. Ток утечки при нарастающем фронте напряжения

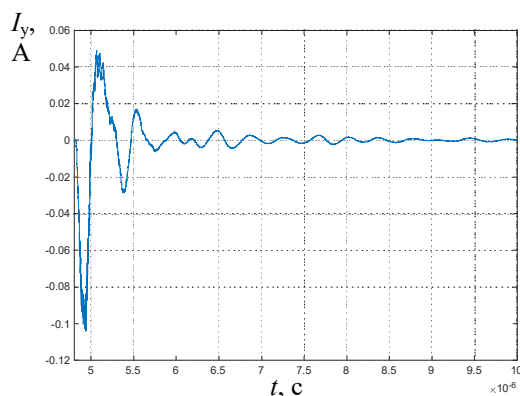


Рис. 4. Ток утечки при спадающем фронте напряжения

ВЫВОДЫ

Полученные результаты свидетельствуют о возможности экспериментальной регистрации временных зависимостей токов утечки с высоким

временным разрешением. Величина токов утечки, а также характеристики процесса их изменения во времени можно в дальнейшем использовать для получения информации о текущем состоянии изоляции. Однако получение таких зависимостей с высоким разрешением по времени является весьма трудоемким делом, требующим обработки экспериментального материала в «ручном режиме».

Дальнейшая работа, ориентированная на построения системы контроля состояния изоляции, предполагает поиск и исследование возможностей автоматизированной регистрации параметров тока утечки. Поскольку частоты изменений тока утечки весьма высоки (порядка мегагерц), использование спектральных характеристик процесса $I_y(t)$ для оценки состояния изоляции требует оборудования, обеспечивающего соответствующее временное разрешение. Представляется более простым вариантом оценивание параметров процесса $I_y(t)$ по показателям, связанным с амплитудой сигнала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ведяшкин М.В., Муравлев О.П. Оценка параметров законов распределения отказов обмоток статоров при эксплуатации крановых асинхронных двигателей // Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4. С. 117-121.
2. Тонких В.Г. Метод диагностики асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве на основе анализа параметров их внешнего магнитного поля: дис. ... канд. техн. наук. Барнаул, 2009. 181 с.
3. Кузнецов Н. Л. Надежность электрических машин: Учеб. пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 432 с.
4. K. Younsi, P. Neti, M. Shah, J. Zhou, J. Krahn, K. Weeber, and C. Whitefield, "On-line capacitance and dissipation factor monitoring of AC stator insulation," IEEE Trans. Dielectr. Electr. Insul., vol. 17, no. 5, pp. 1441–1452, Oct. 2010.
5. A.S. Babel and E.G. Strangas, "Condition-based monitoring and prognostic health management of electric machine stator winding insulation," in Proc. 21st International Conference on Electrical Machines, ICSEM 2014 - Berlin, Germany, Sep. 2014, pp. 1855-1861.