

МЕТОД ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ НЕПРЕРЫВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Н.В. Гребченко, Н.В. Рагулина
Донецкий национальный технический университет
Украина, ул. Артема ,58 г. Донецк-00, 83000, Украина
Тел./факс +38(062) 301-03-72, E-mail: gvn@dgtu.donetsk.ua

Annotation – It's considered frequency method of insulation defects detection by electric motor bonding. The method is based on continuous out signal detection when testing voltage frequency changing. It's shown some of the results of application in suggested method physical and mathematical simulation.

Key words – continuous diagnostics, frequency scanning, insulation defects.

ВВЕДЕНИЕ

Дальнейшее совершенствование электроэнергетики в значительной степени связано с внедрением диагностирования электрооборудования. Оно позволяет не только своевременно выявлять дефекты на ранней стадии развития и, благодаря проведению профилактических и восстановительных работ, предотвратить возникновение повреждений, а также оценить остаточный ресурс электрооборудования [1].

Значительная доля повреждений электрооборудования обусловлена постепенным ухудшением состояния электрической изоляции [2]. Поэтому возникает необходимость организовать, в первую очередь, непрерывную оценку состояния электрооборудования.

Практически во всех технологических процессах применяются электродвигатели (они потребляют более 2/3 всей вырабатываемой электроэнергии). Двигатели являются «слабым» звеном, то есть элементом наиболее подверженным повреждениям [2].

Для повышения эффективности диагностирование электродвигателей и кабелей, по которым они получают питание, должно быть непрерывным. Однако в настоящее время только некоторые методы позволяют косвенно оценивать состояние электродвигателя по току утечки. Такая оценка не позволяет выявлять точное место возникновения локального дефекта изоляции. Кроме того, такого рода методы принципиально не могут выявлять дефекты изоляции одновременно в трех фазах.

Непрерывные методы вибродиагностики и контроля частичных разрядов с одной стороны являются сложными и дорогостоящими, а с другой – не достаточно надежными, и, как правило, не позволяют устанавливать точное место локальных дефектов изоляции [3].

Задачей исследования является разработка универсального (можно применять на присоединениях, питающих различную нагрузку, в том числе и электродвигатели) и относительно простого метода непрерывной диагностики присоединений кабель-электродвигатель в рабочих режимах и отключенном состоянии. Метод не должен требовать дополнительных коммутаций

измерительных приборов и изменений первичной схемы подстанции. Метод должен выявлять локальные и распределенные дефекты изоляции, в том числе и при одинаковом ухудшении изоляции одновременно в трех фазах. Предварительные исследования показали, что такую задачу можно решить путем разработки частотного метода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для выявления локальных дефектов изоляции на присоединении кабель-двигатель без его отключения предложено выполнять частотное сканирование. Его суть состоит в том, что на присоединение подается тестовое переменное напряжение, частота которого линейно изменяется от $f_{\text{мин}}$ до $f_{\text{макс}}$ и при этом фиксируется амплитуда выходного напряжения. В случае появления дефекта изоляции зависимость $U_{\text{вых}}$ будет отличаться от такой же зависимости, снятой на этом же напряжении без дефекта.

Анализ полученных в обоих случаях амплитудно-частотных характеристик позволяет определить место и степень дефекта.

Техническая реализация сканирования основывается на использовании измерительных трансформаторов тока и напряжения для подачи тестовых сигналов на контролируемое оборудование.

Для измерения контролируемого диагностического параметра наиболее удобно использовать фазные трансформаторы тока или трансформаторы тока нулевой последовательности.

Основным достоинством использования измерительных трансформаторов тока для подачи тестового сигнала и съема диагностического параметра является обеспечение гальванической развязки и отсутствие необходимости в выполнении подключения и отключения соответствующих тестовых и диагностических блоков.

Частотное сканирование может применяться как на работающих, так и на временно отключенных присоединениях.

Частотное сканирование позволяет:

- распознавать локальные и распределенные дефекты изоляции и определять параметры локальных дефектов;

- возникающее на определенной частоте шунтирующее действие обмоток трансформатора, который питает секцию шин, позволяет выполнять диагностирование отдельных присоединений независимо от других присоединений секции.

Схема проведения исследований метода частотного сканирования присоединения кабель-двигатель приведена на рис.1.

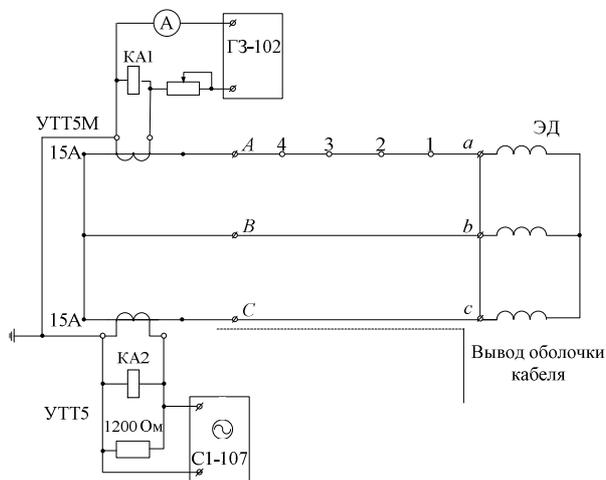


Рис. 1.Схема экспериментальной установки для исследований метода частотного сканирования (ГЗ-102 – генератор звуковой частоты, С1-107 – светолучевой осциллограф)

На первом этапе исследования метода проводились на отключенном присоединении кабель-электродвигатель. Кроме того, обмотка статора электродвигателя была шунтирована перемычкой, то есть электродвигатель был исключен из области сканирования.

Физическая модель присоединения состоит из асинхронного электродвигателя (0,4 кВт) и кабеля с алюминиевыми жилами сечением 70 мм² длиной 50 м и отпайками, имитирующими дефект изоляции, через каждые 10 м, которые показаны на рис.1 точками 1,2,3 и 4.

Для подачи тестового сигнала на присоединение используется штатный трансформатор тока фазы А, который является частью максимальной токовой защиты присоединения. С помощью генератора звуковой частоты ГЗ-102 подавался тестовый сигнал частотой 200×10^3 Гц и амплитудой напряжения 4,7 В (ток генератора $I_r = 5$ мА). Для измерения выходного напряжения используется трансформатор тока, установленный в фазе С, к которому был подключен светолучевой осциллограф С1-107.

При проведении экспериментальных исследований дефекты моделировались путем замыкания различных точек на оболочку кабеля при отключенных токовых реле типа РТ-40 КА1 и КА2, включенном только КА1 и при обоих включенных реле.

В первом случае (КА1 и КА2 отключены) при замыкании точки 1 изменения выходного напряжения были незначительны и на осциллографе не заметны. При замыкании точек 3, 4

на оболочку кабеля амплитуда выходного напряжения увеличилась на 7 %.

С увеличением амплитуды тестового сигнала до 10 В ($I_r = 12$ мА) амплитуда выходного напряжения составила 2,6-2,7 В. При замыкании точек 2,3,4 на оболочку кабеля амплитуда выходного напряжения увеличивается на 8-10 %, а при замыкании точки 1 снижается на 2-4 %.

Подключение токового реле КА1 не привело к изменению результатов. В то время, когда подключение еще и КА2 привело к значительному снижению выходного напряжения и искажению его формы. Для устранения искажения ток генератора был снижен до 8 мА.

Амплитуда выходного напряжения при цене деления 0,12-0,14 В. Замыкание точек 3 и 4 привело к увеличению амплитуды на 10-12 %.

Для создания математической модели присоединения была принята схема замещения представленная на рис. 2

В отличие от экспериментальной схемы, в которой электродвигатель был шунтирован между точками а, b и с, в математической модели характеристики двигателя введен в схему соответствующими параметрами схемы замещения.

Сопротивления трансформаторов тока введены в схему замещения эквивалентными комплексными сопротивлениями $Z_{вх}$ и $Z_{вых}$.

Также в схему введены сопротивления дефекта изоляции в каждой фазе кабеля и двигателя. В нормальном режиме значения каждого из них принимались 1МОм. Уменьшение сопротивления до 1 Ом моделировало дефект изоляции в определенном участке схемы. Для получения зависимости выходного напряжения от входного $U_{вых}(t) = f(U_{вх}(t))$ комплексная схема замещения была преобразована в эквивалентную (рис. 3).

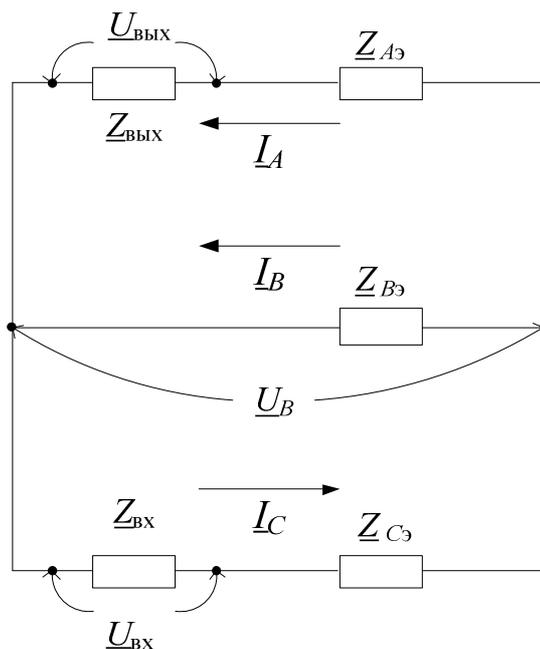


Рис. 3. Эквивалентная схема замещения присоединения.

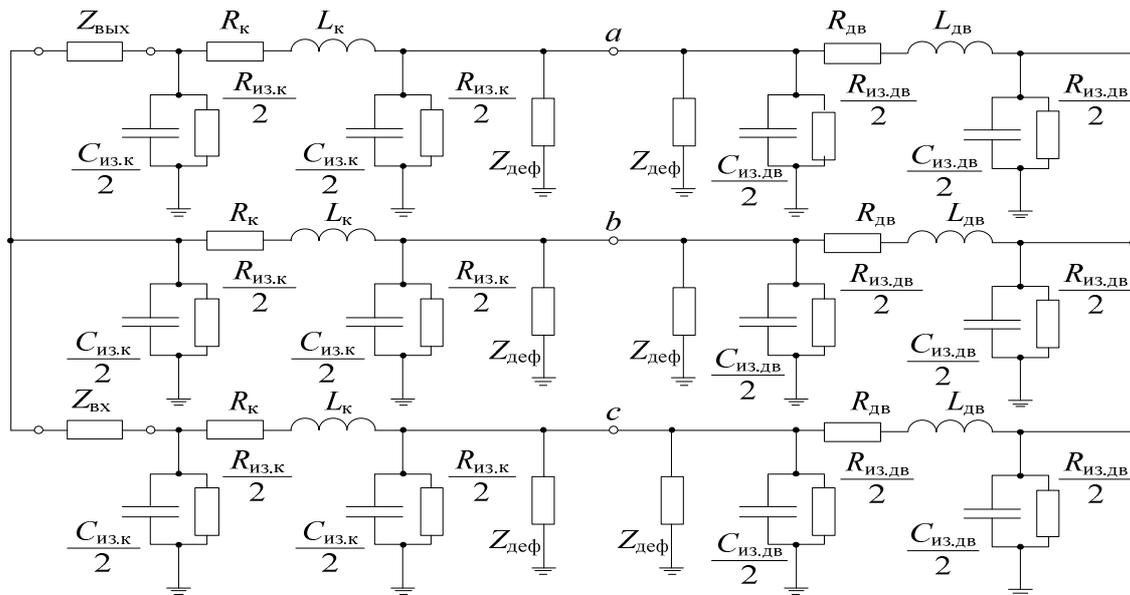


Рис. 2. Схема замещения присоединения кабель-двигатель

Полученная зависимость имеет вид:

$$U_{\text{ВЫХ}}(t) = I_A \cdot Z_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}(t) \cdot Z_{\text{ВЫХ}} (Z_{\text{ВХ}} + Z_{\text{СЭ}})}{Z_{\text{ВХ}} (Z_{\text{ВЫХ}} + Z_{\text{АЭ}})}, \quad (1)$$

При моделировании дефекта в изоляции кабеля фазы *A* на частоте 200×10^3 Гц амплитуда выходного напряжения увеличилась с 5 В до 5,046 В, что качественно подтвердило результаты эксперимента. Графики выходных напряжений без моделирования дефектов изоляции и с моделированием дефекта в кабеле фазы *A* приведены на рис. 4

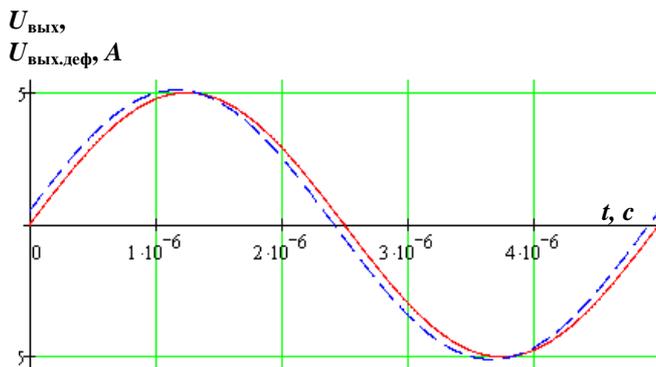


Рис. 4 Изменение выходного сигнала при моделировании дефекта в фазе *A*.

При моделировании дефекта в изоляции кабеля фазы *C* амплитуда выходного сигнала уменьшилась на 0,046 В.

При моделировании дефекта в изоляции кабеля фазы *B* изменения выходного сигнала были незначительными, что можно объяснить симметричностью принятой схемы замещения относительно этой фазы.

При этом было установлено, что вместе с амплитудой выходного сигнала изменялась и фаза,

что тоже может быть использовано в качестве диагностического параметра.

Моделирование дефектов изоляции электродвигателя дало аналогичные результаты, при этом значения изменений амплитуды и фазы были меньшими.

Исходя из полученных результатов, можно говорить о том, что вектор выходного напряжения является диагностическим параметром, который определяет элемент присоединения и фазу, в которых возник дефект изоляции.

ВЫВОДЫ

1. Предложен частотный метод сканирования присоединения кабель-электродвигатель, позволяющий выявлять возникновение дефектов изоляции и определять их параметры.

2. Лабораторные исследования и результаты математического моделирования показали правильность построения метода и алгоритма его реализации.

[1] О.В. Кириленко «Проблеми забезпечення надійної роботи ОЕС України в умовах реформування енергетики», Енергетика та енергоресурсозбереження, Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. Випуск 3/2009 (56). Частина 1, с. 135-139, Бер. 2009.

[2] В.А. Савельев, В.А. Мартынов, «Методы и средства управления техническим состоянием электрооборудования электростанций», 15 российская научно-техническая конференция «Не разрушающий контроль и диагностика», Москва, с. 56-59, Июнь 1999.

[3] Ф.П. Шкрабец, Е.П. Месяц, М.С. Кириченко, «Структура системы непрерывного контроля параметров изоляции в сетях напряжением 6-10 кВ горных предприятий», IV міжнародна науково-технічна конференція «Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств», Маріуполь, Україна, с. 401-403, Тр. 2008.