

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПО
ВЕЛИЧИНЕ МЕЖВИТКОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
EVALUATION OF THE STATE OF WINDINGS OF ELECTRIC
MACHINES BY THE VALUE OF INTERTURN RESISTANCE

Исаев А. В.; Суходолов Ю. В., к-т. техн. наук, доцент; Гулич А. Ю.,
Любинский К. А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь
A. Isaev; Yu. Sukhodolov, Candidate of Technical Sciences, Associate Profes-
sor; A. Gulich, K. Lyubinsky,
Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus

Аннотация. В работе представлена система, которая на основе анализа уровня сдвига фаз сигналов, получаемых с двух плечей, реализованных из обмоток диагностируемой электрической машины, позволяет определять уровень сопротивления межвитковой изоляции в наиболее дефектном месте, и на основе полученных данных делать выводы как о текущей работоспособности диагностируемой электрической машины, так и закладывать прогноз о периоде планово-предупредительных работ.

Abstract. The paper presents a system that, based on the analysis of the level of phase shift of the signals received from two arms, implemented from the windings of the diagnosed electrical machine, allows you to determine the level of resistance of the interturn insulation in the most defective place, and based on the data obtained, draw conclusions about the current performance of the diagnosed electrical machines, and lay a forecast for the period of preventive maintenance.

Ключевые слова: неисправность электродвигателя, межвитковое сопротивление, диагностика обмоток электрических машин.

Key words: electric motor malfunction, turn-to-turn resistance, diagnostics of electrical machine windings.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие электроники в области приборо- и станкостроения привело к необходимости разработки качественной и своевременной диагностики состояния электрических машин. При этом наиболее существенная проблема состоит в диагностике состояния обмоток статора, на неисправность которых может выпадать до 80 % от всех причин, определяющих их работоспособность [1; 2; 3]. Однако существующие методы диагностики электрических машин чаще всего только констатируют факт выхода ее из строя и не позволяют хотя бы в минимальных пределах определять дальнейшую жизнеспособность и остаточный ресурс диагностируемого оборудования [4]. Кроме этого, применение сложного диагностиче-

ского оборудования и алгоритмов исследования состояния сильно ограничивают сферу их использования так как требует высокой квалификации обслуживающего персонала и больших временных затрат на организацию диагностических процедур. Следовательно, такие методы контроля состояния электрических машин малопригодны в современных реалиях на производственных объектах и тем более совсем не подходят для контроля их состояния в режиме реального времени, в том числе непосредственно в рабочем режиме технологического процесса. Математические модели, построенные на основе статистических данных по выходу из строя электрических машин [5], также не дают никакой гарантии о своевременном обнаружении развивающихся дефектов. Поэтому, в настоящее время максимально актуальной является разработка метода и построение измерительной системы, позволяющих в режиме реального времени отслеживать состояние диагностируемой электрической машины с оценкой не только текущего состояния, но и с возможностью фиксирования начала дефектообразования, что в свою очередь позволит прогнозировать ее дальнейшую работоспособность. Одним из таких способов может являться контроль и измерение межвитковой изоляции в обмотках диагностируемой электрической машины.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время существует достаточное количество методов, оценивающих состояние обмоток электрических машин по анализу параметров добротности контуров, формируемых их обмотками. Однако в большинстве случаев эти способы обладают малой чувствительностью и высокой погрешностью определения состояния, не достаточной для того, чтобы однозначно характеризовать состояние обмоток. И тем более методы не позволяют хоть в какой-то мере измерить уровень межвитковых сопротивлений. Одной, и самой важной причиной, является малая стабильность диагностического сигнала, который, с одной стороны, должен обладать высокой стабильностью по частоте и амплитуде, а с другой – высокими показателями по мощности. А добиться согласования этих условий почти невозможно, тем более на производственном оборудовании.

В результате было разработано устройство для измерения межвитковых сопротивлений в обмотках трехфазных асинхронных электрических двигателях со вьспной обмоткой, структурная схема которого представлена на рис. 1.

Особенностью системы является то, что генератор тестового напряжения в качестве диагностического сигнала использует периодическую импульсную последовательность, которая последовательно формирует импульсы положительной полярности с устанавливаемыми параметрами длительности импульсов t_i и временами задержки между ними t_{z1} , t_{z2} , t_{z3} и т. д., (рис. 2) и тем самым в спектре выделяется одна информативная спектральная составляющая, которая находится в резонансной области контуров

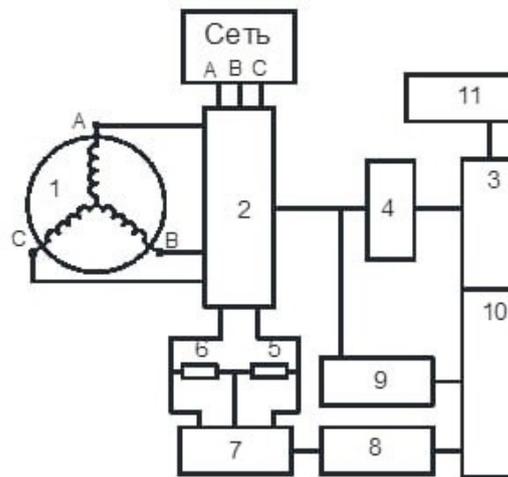


Рис. 1. Структурная схема устройства измерения межвитковых сопротивлений в обмотках трехфазных электрических двигателей

контролируемых обмоток, что позволяет увеличить чувствительность контроля и уменьшить погрешности исследования.

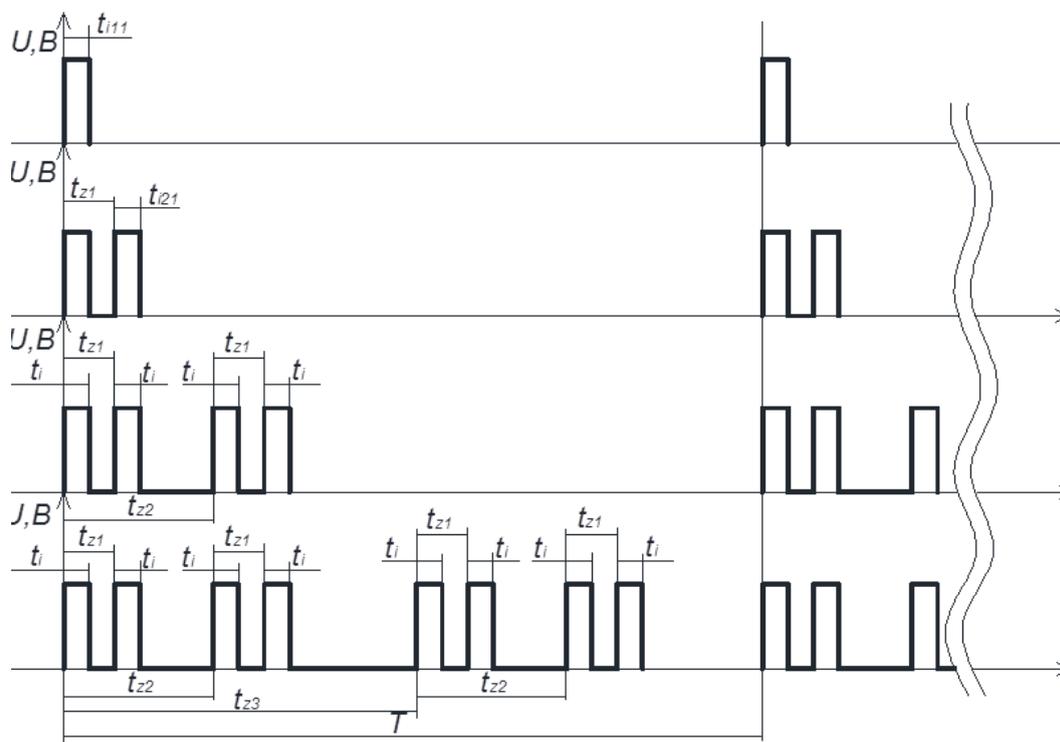


Рис. 2. Построение импульсной последовательности для выделения информативной спектральной составляющей

В соответствии с принципом формирования диагностического сигнала устройство работает следующим образом. С помощью коммутаторов 2 к одной из обмоток ЭМ 1 подключается узел формирования тестируемого сигнала 3, который представляет собой микроконтроллерное устройство преобразованное в блок усиления 4. Оставшиеся выходы обмоток электрических машин коммутируются к измерительным резисторам 5 и 6, ко-

торые в свою очередь коммутированы на смеситель сигналов 7. Результат на выходе попадает на вход отборочного устройства суммы полученных сигналов 8, выход в свою очередь коммутирован к измерительному входу микроконтроллера 10. На второй вход измерительной системы коммутирован выход отборочного устройства тестового сигнала 9, вход коммутируется к выходу узлу формирования начального тестового сигнала. Состояние работы устройства и результат проведенной диагностики отображена на блоке индикации 11.

В качестве наглядного примера проведем исследование трехфазного АД КР71.1/4 на предмет наличия межвитковых замыканий. Асинхронный двигатель со высыпными обмотками КР71.1/4 развивает мощность 380 Вт и питается от сети 380 В, уровень резонанса в обмотке ~ 45 кГц. Для исследования дефекта в обмотках ЭМ организуем импульсную последовательность с заданными временными параметрами, где, выделим 13-ю спектральную составляющую, при этом подавив соседние (по две спектральные составляющие выше и ниже). Данная последовательность создана с помощью генератора испытательного напряжения, а также усилителя. Эти устройства реализованы с помощью программируемого микроконтроллера серии STM32F1 и N-канального на МОSEF- транзистора IRF740 соответственно.

Через измерительные резисторы снимаются выходные результирующие сигналы, полученные с выводов обмотки тестируемого электродвигателя В и С, после подачи на вывод А импульсного сформированного сигнала. После этого, выходные сигналы, полученные с обоих выводов, складываются в единый результирующий сигнал, являющийся, набором спектральных составляющих с уникальными характеристиками. Сложение сигналов осуществляется в сумматоре, построенном на базе ОРА2237 – интегрального двухвентильного операционного усилителя. Далее из полученного результирующего сигнала, используя избирательное устройство, настроенное на информативную составляющую спектра, выделяется составляющая, (сигнал частотой 44,55 кГц). Избирательное устройство создано на основе прецизионного операционного усилителя AD8551ARZ. Полученный сигнал подается на измерительный вход микроконтроллера, параллельно с базовым сигналом, подаваемым на другой измерительный вход устройства. Сравнивая смещение фаз этих двух сигналов, определяется дефектная обмотка и уровень ее межвиткового сопротивления, информация о чем, выводится на индикатор.

Видно, (рис. 3, точка А) что смещение фаз при схеме подключения как на рис. 1 равняется 27° , а уровень сопротивление в дефектной обмотке составит 105 Ом.

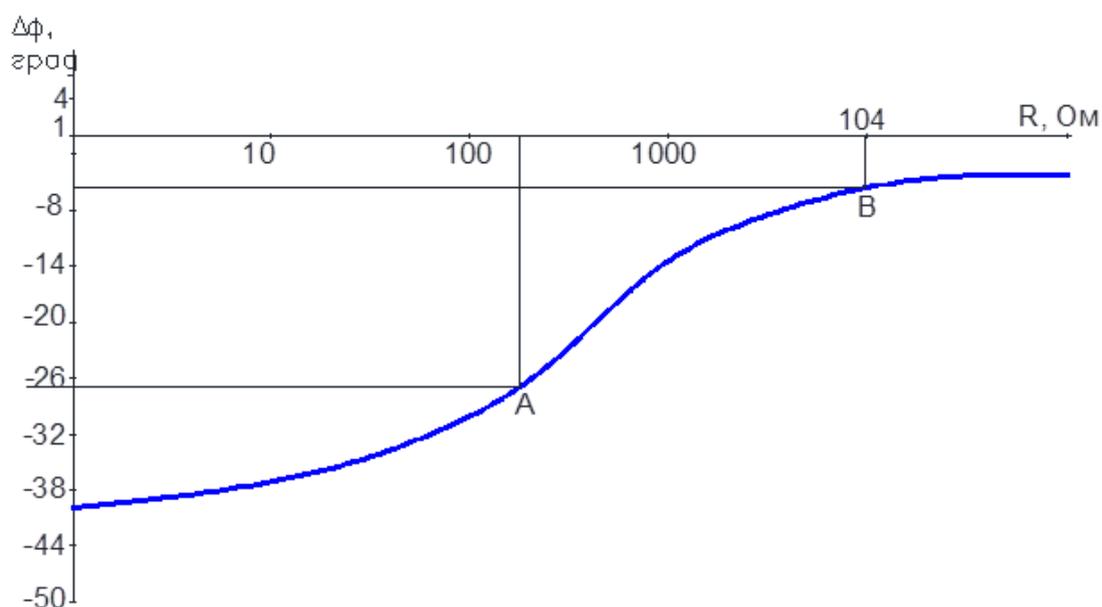


Рис. 3. Зависимость величины межвиткового сопротивления в обмотках асинхронного электродвигателя от значения разности фаз

Для более качественной диагностики, с помощью блока переключения 2 поменяем местами контакты В и А. По результатам проведенных измерений, получим следующие значения $\Delta\phi = 7^\circ$ и $R \approx 10$ кОм (рис. 3, точка В). Исходя из двух расчетов, можно сделать вывод, что в обмотке В наблюдается дефект, который мы определили заблаговременно, следовательно испытательный двигатель неисправен и ему требуется ремонт.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное измерительное устройство путем формирования специального диагностического сигнала, позволившего на качественном уровне измерять межвитковые сопротивления в обмотках диагностируемых электрических машин, что позволяет заблаговременно определять не только наличие дефектов в них, но и фиксировать начало дефектообразования. В работе описан принцип, по которому по значениям фаз сигналов и их соотношениям, прибор определяет значения межвиткового сопротивления что позволяет делать вывод о пригодности к работе исследуемой электрической машины.

Данное устройство является очень важным компонентом в построении современных автоматизированных систем диагностики электрических машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В. Н., Анализ надежности тяговых электрических машин электровозов, эксплуатируемых на железных дорогах восточного региона, статьи технической тематики из периодических изданий / Региональный Центр Инновационных Технологий [Электронный ресурс]. <https://rcit.su/article080.html>

2. Prof. Fiorenzo Filippetti, Diagnosis and Fault Detection in Electrical Machines and Drives based on Advanced Signal Processing Techniques, Ph.D thesis of: Yasser Gritli, Department of Electrical, Electronic, and Information Engineering «Guglielmo Marconi» Ph.D. in Electrical Engineering XXVI Cycle Power Electronics, Electrical Machines and Drives (ING-IND/32), 2014. – 131 p.

3. Analysis of the causes of traction electric failures of electric cargo cars operated on railways of the Republic of Uzbekistan, Sardor Nuriddinov, Bobomurod Avazov, Fozil Hasanov, and Yulduz Rakhmonova, E3S Web of Conferences, DOI: Путь доступа: [10.1051/e3sconf/202126405041].– Дата доступа: 01.01.2021.

4. Волчихин В. И., Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин. – Воронеж: Кварта, 2004. – 312 с.

5. Гутов И. А., Математические модели для прогнозирования технического состояния изоляции электрооборудования, Ползуновский вестник. – № 4, 2009.