

ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИХ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

А.Ю. Алексеенко, О.В. Бродский, В.Н. Веденев,
В.Г. Тонких, С.О. Хомутов

Известно, что долговременная и надежная работа электрооборудования на производстве в большинстве случаев определяет эффективность всех технологических процессов, одну из важнейших ролей в которых играют электрические двигатели (ЭД). Особые требования к надежности ЭД выдвигаются в связи с тем, что выход электродвигателей из строя приводит к нарушению взаимосвязанных производственных циклов, полной или частичной остановке технологического оборудования и механизмов. В итоге, наносимый предприятию ущерб связан не только с ремонтом и заменой вышедших из строя двигателей, но и с браком и недовыпуском продукции.

Основными средствами защиты асинхронных двигателей (АД), как наиболее распространенного потребителя электрической энергии, от аварийных режимов на сельскохозяйственных предприятиях, характеризующихся неблагоприятными условиями эксплуатации, являются широко распространенные и, зачастую, устаревшие устройства: плавкие предохранители, автоматические выключатели различных типов и тепловые реле. Данные средства защиты не могут обнаружить дефекты на ранних стадиях их зарождения и не обеспечивают требуемой степени защиты, фактически реагируя на сам факт выхода электродвигателя из строя.

Среди узлов двигателей наибольшее количество отказов приходится на обмотку статора, подшипники, систему охлаждения ротора и статора, железо статора, вал ротора. Основная часть отказов АД связана с пробоем изоляции обмотки статора из-за снижения ее электрической прочности. Главными причинами повреждения изоляции обмотки являются: старение, недостатки эксплуатации, дефекты изготовления или ремонта, механические повреждения изоляции и витковые замыкания.

Техническими средствами диагностики и измерительными приборами, без которых невозможно осуществлять текущее обслуживание и ремонт АД, оснащены только те предприятия, на которых имеются соответст-

вующие электротехнические службы. Но и эти, применяемые на предприятиях, технические средства и устройства не способны дать точную оценку состояния изоляции обмотки и используются, как правило, для определения степени ее увлажнения, установления причин отказа и поиска имеющихся дефектов.

Все существующие в настоящее время методы диагностики, контроля и оценки состояния изоляции можно разделить на две большие группы:

- разрушающие методы;
- неразрушающие методы.

К группе разрушающих методов оценки состояния изоляции относятся испытания изоляции импульсным напряжением, повышенным переменным напряжением промышленной частоты и выпрямленным напряжением.

Разрушающие методы диагностики дают возможность получить наиболее полную информацию о состоянии изоляции. Но применение этих методов в реальных условиях эксплуатации электродвигателей сопряжены с определенными трудностями. Во-первых, разрушающие методы диагностики дорогостоящи по применяемой аппаратуре, во-вторых, двигатель после испытаний теряет работоспособность и к дальнейшей эксплуатации не пригоден. Поэтому эти методы используются в основном на предприятиях, выпускающих электрические машины.

Более приемлемы для применения в условиях реального производства неразрушающие методы диагностики, которые состоят из двух групп:

- неэлектрические;
- электрические.

Неэлектрические методы, основанные на использовании физико-химических свойств изоляции, применяются, главным образом, для диагностики турбогенераторов и других мощных электрических машин. Для реализации этих методов необходимы специальные лаборатории и соответствующее оборудование.

Для диагностики состояния электрической изоляции асинхронных электродвигате-

лей непосредственно на производстве, в условиях реальной эксплуатации, применяются методы, основанные на воздействии электрического тока.

К основным электрическим методам диагностики состояния изоляции относятся методы, основанные на оценке следующих показателей:

- проводимости изоляции;
- абсорбции;
- поляризация изоляции и саморазряда;
- диэлектрические потери;
- резонансных свойств контура;
- электрической емкости.

Однако, данные методы не получили широкого распространения ни в промышленности, ни в сельском хозяйстве. Одной из основных причин этого является то, что все они не позволяют адекватно оценить состояние междувитковой изоляции обмоток. Кроме того, технические средства, реализующие вышеперечисленные методы диагностики, либо громоздкие и дорогостоящие, либо имеют низкую точность измерения и неудобны для использования в реальных производственных условиях. Это является еще одной немаловажной причиной, сдерживающей внедрение методов и средств диагностики в производство. Поэтому поиск новых методик и устройств по выявлению дефектов на первых этапах их развития является актуальной задачей.

В свою очередь, разработанный в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова метод лишен ранее перечисленных недостатков. Его суть заключается в размещении рядом с двигателем электромагнитного датчика, позволяющего фиксировать внешнее магнитное поле (ВМП), образующееся вокруг двигателя в процессе его работы, и представляющее собой отголоски мультипликативного поля в магнитном зазоре АД. Сигнал с датчика поступает на персональный компьютер, где он оцифровывается и записывается. Далее производится спектральный анализ полученного сигнала и по определенным характеристикам полученной картины вычисляется неисправность. При этом, разложение сигнала на гармоники осуществляется по методу «быстрое преобразование Фурье».

Понятие внешнего магнитного поля появилось в середине прошлого века. Его изучением активно занимались многие ученые. Были найдены зависимости его характера от различных внешних факторов. Целью всех этих исследований было уменьшение амплитуды ВМП. Существуют, например, ГОСТы,

которые регламентируют значение его напряженности у двигателей, устанавливаемых в приводы магнитофонов.

Тем не менее, предпринятый авторами подход отличается от предыдущих тем, что были определены иные цели в изучении внешнего магнитного поля.

Так, с целью установления зависимости между определенным дефектом электродвигателя и гармоническим составом ВМП, авторами была проведена серия опытов, для чего была создана лабораторная установка, включающая в себя:

- стенд с установленным на него асинхронным двигателем;
- электромагнитный датчик;
- персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением.

В первую очередь, было проверено качество электрической энергии в месте подключения АД. Это необходимо, так как ее качество напрямую может повлиять на результаты эксперимента.

Для этого было изготовлено небольшое устройство, показанное на рисунке 1.

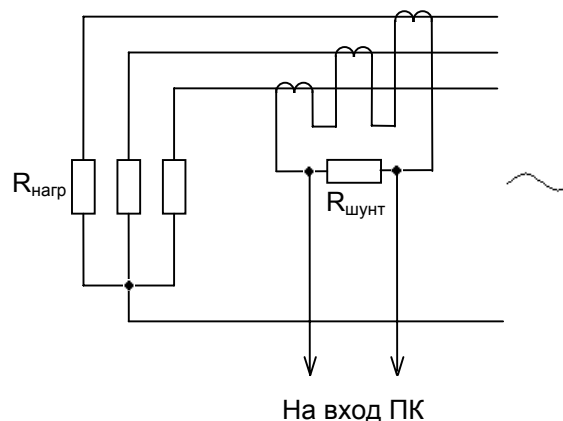


Рисунок 1 – Схема подключения активной нагрузки через трансформаторы тока

К сети через трансформаторы тока по схеме «звезда» подключается трехфазная симметричная активная нагрузка. Так как токи в фазах смещены относительно друг друга на 120° , суммарный ток через $R_{шунт}$ равен нулю (при условии симметрии токов в сети). Данные замеры проводились перед каждой серией опытов, и в каждом случае амплитуда падения напряжения на $R_{шунт}$ была близка к нулю.

Далее, для подтверждения информативности ВМП был осуществлен цикл экспериментов с удалением датчика от включенного

ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИХ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

двигателя. Полученные данные представлены на рисунке 2.

На данном рисунке видны момент пуска и остановки АД, уменьшение амплитуды сигнала при удалении и увеличение амплитуды при приближении датчика к двигателю. На наибольшем удалении электромагнитного датчика от электродвигателя величина сигнала практически сравнивается с собственным фоном всей измерительной установки, т.е. на расстоянии 0,5 м сигнал практически отсутствует. Это дает возможность производить диагностику двигателей в сложных установках, где находится два и более АД.

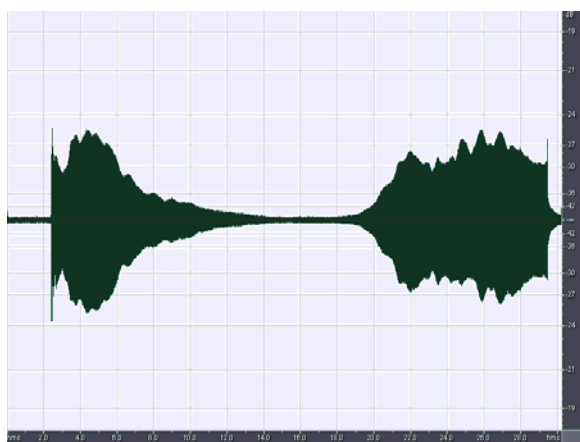
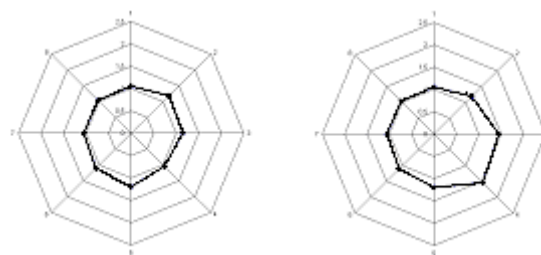


Рисунок 2 – Картина сигнала, получаемая при удалении датчика от двигателя на 0,5 метра

Для проведения измерений на двигателе выбираются контрольные точки, количество которых определяется исходя из числа пар полюсов и мощности электродвигателя (выбирать менее 8 точек не целесообразно), их положение записывается или отмечается непосредственно на корпусе двигателя. Точки должны располагаться в плоскости одного листа электротехнической стали, из которой собран статор.

В выбранных точках производятся замеры напряженности ВМП АД. По их значениям строится картина напряженностей вокруг двигателя. В идеальном двигателе ВМП однородно и симметрично. При появлении дефектов симметрия нарушается, что сказывается на картине поля. При проведении экспериментов было выявлено, что у новых двигателей характер ВМП близок к идеальному (рисунок 3а). Отклонение может быть обусловлено многими факторами. Это могут быть низкое качество изготовления, дефекты при транспортировке и др.



а) исправный двигатель

б) двигатель с дефектом

Рисунок 3 – Диаграмма напряженности ВМП асинхронного двигателя

В ходе исследований было выявлено, что если в обмотке двигателя имеют место дефекты, то картина из-за сдвига фаз и изменения спектрального состава сигнала изменяется. На рисунке 3б показан один из таких случаев.

Для нахождения зависимости между видом дефекта и характером ВМП была проведена серия опытов, в которой снимались характеристики с двигателя без дефектов. Для каждого двигателя отдельно полученные картины гармонического состава отличаются друг от друга не более, чем на 0,2%. Ввиду этого было принято, что гармонический состав у конкретного двигателя без дефектов стабилен, как видно из рисунка 4, и может быть рассмотрен как эталонный. Разница у различных по параметрам АД заключается в амплитуде гармонических составляющих и не как не сказывается на характере поля.

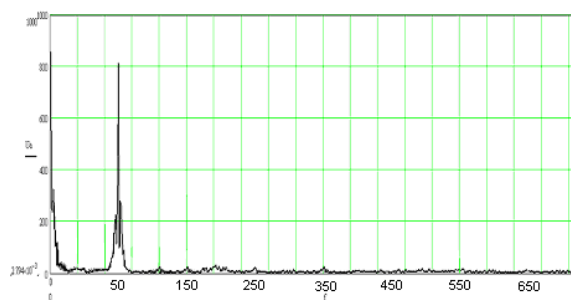


Рисунок 4 – Гармонический состав ВМП двигателя без дефектов

Данный гармонический спектр характеризует двигатель до появления в нем дефектов. При этом, ярко выражена первая (50 Гц) гармоника, а остальные имеют небольшую амплитуду и на общем фоне не выделяются.

Для достижения поставленной цели, авторами были смоделированы межвитковое и межфазное замыкания. Искусственное замыкание между различными витками (фазами)

создавалось при помощи предварительно выведенных наружу из обмотки статора выводов (рисунок 5).

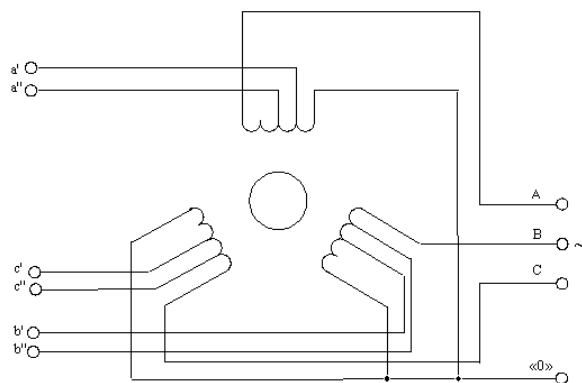


Рисунок 5 – Экспериментальная схема

Для имитации переходного сопротивления изоляционного слоя к выводам a' , a'' , b' , b'' , c' , c'' подключалось переменное сопротивление (реостат). Это позволяло регулировать значение тока в короткозамкнутом контуре и получать различные степени тяжести исследуемых повреждений. Также, такой способ подключения давал возможность менять дислокацию моделируемого дефекта и его вид (межвитковое и межфазное). Более того, данный подход предотвратил преждевременный выход из строя испытуемого двигателя.

Полученный гармонический состав ВМП, показанный на рисунках 6 и 7, резко отличается от эталонного.

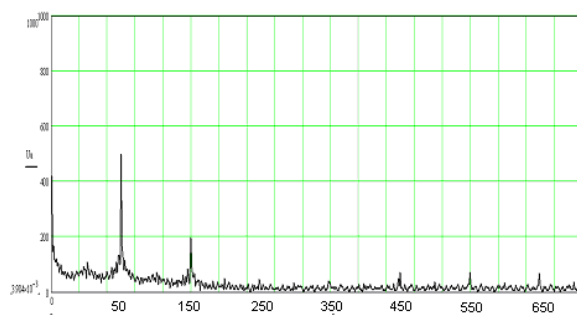


Рисунок 6 – Гармонический состав ВМП двигателя с межвитковым замыканием

Из рисунка 6 видно, что амплитуда первой гармоники (50 Гц) уменьшилась почти на 40 % относительно первоначального значения, при этом третья (150 Гц) увеличила свою амплитуду и стала соизмерима с основной гармоникой, а также несколько увеличили свою амплитуду 9, 11 и 13 гармоники (450, 550, 650 Гц соответственно).

Опыт с моделированием дефекта был проведен на двигателях с различной мощностью и показал, что, как и в бездефектных, от мощности зависит только амплитуда ВМП, при этом характер гармонического состава остается тот же.

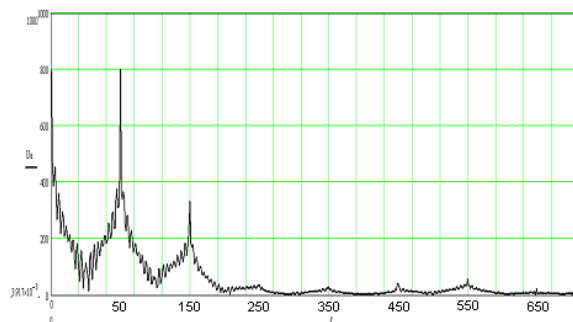


Рисунок 7 – Гармонический состав ВМП двигателя с межфазным замыканием

В настоящее время получена аналитическая зависимость между видом, степенью развития дефекта и формой спектра ВМП АД, которые лягут в основу разрабатываемой системы оценки технического состояния и прогноза вероятности безотказной работы асинхронных двигателей, эксплуатирующихся в неблагоприятных условиях.

Таким образом, в ходе исследований, проведенных в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова, путем ускоренного старения изоляции АД, моделирования витковых и межфазных замыканий обмоток была установлена зависимость между спектром гармоник внешнего магнитного поля (ВМП) электрического двигателя и видом дефекта. Выполненные научные исследования доказали, что развитие дефектов электродвигателя влияет на изменение его внешнего магнитного поля, вследствие чего представляется целесообразным дальнейшая разработка неразрушающих методов диагностики АД по анализу их ВМП.

Более того, результаты данных исследований позволили установить, что анализ спектра внешнего магнитного поля асинхронного двигателя дает возможность получить достоверную информацию не только о виде дефекта, но и о степени его развития. При этом, в ходе проведения названных исследований процесс перехода состояния электродвигателя от нормального к аварийному рассматривался как стохастический.

ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИХ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Подводя итог вышесказанному, необходимо отметить, что помимо новой, разработанной авторами по гранту Президента Российской Федерации МК-7964.2006.8 методики диагностики АД, предложено оригинальное решение проблемы планирования ремонтов парка электродвигателей сельскохозяйственных предприятий путем оценки состояния и остаточного ресурса АД на основе результатов их диагностики. Данная система позволит оптимизировать распределение финансовых средств предприятия на ремонт и техническое обслуживание технологического электрооборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гашимов М.А., Абдуладзе С.В. Исследование в целях диагностики физических процессов функционирования электрических машин при неисправностях в обмотке статора и ротора // Электротехника. – 2004. – №2.
2. Волохов С.А., Добродеев П.Н. Проявление статического эксцентриситета ротора во внешнем магнитном поле электрических машин // Электротехника. – 2002. – №11.
3. Гемке Р.Г. Неисправности электрических машин. – Л.: Энергия, 1975.
4. Костенко М.П. Электрические машины. – М.-Л.: ГЭИ, 1949.
5. Шимони К. Теоретическая электротехника. – М.: Мир, 1964.