

## НОВЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**А.И. Титко**, член-корр. НАН Украины, **В.М. Андриенко**, канд. техн. наук, **А.В. Худяков**, инж., **М.С. Гуторова**, инж.

Институт электродинамики НАН Украины,  
пр. Победы, 56, Киев-57, 03680, Украина

*Установлены диагностические признаки наличия разрыва стержней ротора или повреждения статорной обмотки путем сравнения напряжения при трогании с места ротора двигателя с эталонным напряжением. Библ. 9, таблица.*

**Ключевые слова:** асинхронный электродвигатель, диагностические признаки, эталонные данные, разрыв стержней, повреждение обмотки статора.

Примерно 90 % применяемых в промышленности и быту двигателей для привода различных механизмов являются асинхронными. Однако их эффективному применению препятствует относительно высокая повреждаемость, которая составляет примерно 25 % общего числа установленных двигателей. Это нарушает технологические процессы и повышает брак продукции. Поэтому нахождение повреждений и восстановление работоспособности двигателей имеет важное значение для повышения экономичности производства. Трудность получения диагностической информации состоит в том, что между главными функциональными узлами электрических машин существует взаимозависимость между техническими состояниями этих узлов. Это означает, что при возникновении физического повреждения в каком-либо узле в других узлах появляются условные неисправности. Располагая набором диагностических параметров, характеризующих соответствующие неисправности, или набором контрольных измерений, предлагается построить математическую модель технического состояния электрической машины, имеющей логический характер, например, в виде булевой матрицы [3].

Анализ существующих методов технической диагностики электродвигателей показывает, что существуют два направления их развития. К первому относятся методы, применяемые при проведении профилактических испытаний и ремонтов на неработающих двигателях и позволяющие выявлять практически все возможные виды электрических повреждений. Ко второму направлению относятся методы, применяемые на работающих двигателях и позволяющие судить о наличии повреждений определенного типа.

К первому направлению относится работа [7], в которой применяют методы математического моделирования диагностических кривых – зависимостей коэффициентов пульсаций потребляемой активной мощности, тока статора и скольжения от числа поврежденных стержней ротора. Методы разработаны только для двигателей с одной короткозамкнутой обмоткой на роторе и требуют больших расчетных затрат. Способ развивается для двигателей с двумя обмотками на роторе в работе [8], в котором применяют специальные математические методы, а реализация их требует еще больше расчетных затрат.

Методы второго направления основаны на анализе текущих данных и требуют применения специальной измерительной аппаратуры [9]. В работе [4] изложен метод, позволяющий определить обрыв стержней, когда снимаются осциллограммы полного фазного тока в обмотке статора, соединенной треугольником, и его первая и третья гармоники. Одновременно на шкале анализатора наблюдаются изменения осциллографированных токов. Обрыв стержня проявляется на пульсации третьей гармоники в фазных токах. Аналогичный метод, основанный на изменении характерных признаков спектра тока статора, представлен в работе [6], в котором учтены также симметричные составляющие, генерируемые высшими гармониками напряжения питания.

В работе [5], опубликованной в порядке обсуждения, рассмотрен метод, рекомендуемый для крупных электрических машин энергетических систем из-за высоких требований, предъявляемых к надежности работы, и в ответственных технологических процессах. Сущность метода заключается в том, что при искусственно созданных неисправностях производятся измерения параметров и анализ свойств электромагнитных и виброакустических процессов в режимах холостого хода и различных нагрузок. Подобная диагностическая информация поддается обработке на компьютере. Результаты могут быть использованы по специальной программе и в системах автоматизированного контроля.

Наиболее эффективными с точки зрения полноты данных представляются способы одновременного получения возможно полной информации о наличии дефектов на отключенном (статические испытания) и работающем (динамические испытания) двигателе. Корреляция статических и динамических данных испытаний дает возможность оценить реальное техническое состояние двигателя и дать надежный прогноз его работоспособности. Среди систем подобного назначения, в которых реализованы эти возможности, можно назвать оборудование MCE™ (анализатор цепей двигателя) и DMA (система динамического анализа двигателей), производимые корпорацией PdMA (США). В системе предусмотрено использование программного обеспечения MCEGold для анализа данных измерений и базы данных, позволяющей получать временные тренды данных измерений. Обе системы и технология ориентированы на обнаружение наиболее повреждаемых элементов и узлов двигателей, а также контроль качества питания сети или приводов [6].

В этой статье предлагаются методы диагностики, которые выходят за рамки обоих направлений, то есть не требуется использования методов математического моделирования или специальной измерительной аппаратуры. Они позволяют простейшими средствами определить наличие повреждений стержней ротора или короткозамкнутых витков в обмотке статора асинхронного двигателя.

Известно, что при наличии несимметрии в цепи ротора магнитное поле, создаваемое током ротора, становится эллиптическим, которое раскладывается на прямо- и обратнорвращающееся относительно ротора магнитные поля. Обратнорвращающееся поле индуцирует токи в обмотке статора частоты  $f_{2s} = 1 - 2s$ , которые взаимодействуют с этим полем, и при частотах вращения от нуля до половины номинальной создают вращающий момент, действующий в направлении вращения ротора, как и в обращенном двигателе с фазным ротором, питаемым со стороны ротора. При частоте вращения, превышающей половину номинальной, знак этого момента меняется на обратный, то есть становится тормозным [2]. Суть метода состоит в том, что подводимое к обмотке статора напряжение медленно повышают, начиная с нуля. При некоторой величине подводимого напряжения, которую нужно зафиксировать, ротор трогается с места. Это напряжение нужно сравнить с соответствующим напряжением из базы эталонных данных. ***При наличии повреждения измеренное напряжение будет меньше, так как за счет дополнительного момента от обратного поля требуется меньшее напряжение, чтобы преодолеть момент сопротивления на валу.***

В лаборатории отдела моделирования электрических машин переменного тока Института электродинамики НАН Украины проводились испытания асинхронного двигателя с такими паспортными данными:  $P_n = 1,7$  кВт,  $U_n = 380$  В,  $I_n = 6,2$  А,  $n_n = 460$  об/мин.

В испытуемом двигателе искусственно были осуществлены разрывы трех стержней путем их сверления. После проведения опытов в полученные отверстия завинчивались винты, чем обеспечивалось нормальное состояние ротора двигателя. Чтобы проверить возможность выявления и других неисправностей при пуске путем постепенного повышения напряжения от нуля, были искусственно выполнены и другие повреждения, а также проведены следующие испытания:

1. Двигатель без повреждений.
2. Двигатель при наличии разрывов в трех стержнях ротора.

3. Двигатель с несколькими короткозамкнутыми витками одной фазы обмотки. Для этой цели искусственно были выведены наружу ответвления от витков и производились замыкания с помощью тумблеров двух витков.
4. Двигатель с “поврежденным” подшипником, то есть искусственно был создан эксцентриситет ротора.

Результаты измерений при наличии различных повреждений приведены в таблице.

№ п/п	Вид повреждения	Напряжение $U$ (В)
1	Без повреждений	22
2	Разрыв стержней	12,6
3	КЗ витки в обмотке статора	23,7
4	Эксцентриситет ротора	–

Из приведенных в таблице значений видно, что при поврежденных стержнях ротора двигатель трогается с места при напряжении, меньшем, чем исправный двигатель. Это и подтверждает наличие данной неисправности. При наличии короткозамкнутых витков в одной из фаз обмотки статора ротор начинает двигаться, наоборот, при большем напряжении, чем у исправного двигателя. Действительно, при наличии короткозамкнутых витков нарушается симметрия трехфазной обмотки, и при протекании по ней тока создается также эллиптическое магнитное поле, но действующее со стороны статора, которое также можно разложить на два вращающихся в противоположные стороны поля. Обратновращающееся поле создает во всем диапазоне скольжений тормозной момент, и поэтому результирующий электромагнитный момент уменьшается. В связи с этим для создания требуемого момента требуется большее напряжение.

Следует обратить внимание на то, что требуется создание идентичных условий при проведении экспериментов. Например, после простоя двигателя вязкость смазки в подшипниках может измениться. Поэтому предварительно двигатель при пониженном напряжении должен ограниченное время поработать на холостом ходу.

Обращается также внимание на то, что основной электромагнитный момент при незначительном напряжении, составляющем 10...20 % от номинального, относительно мал. После остановки двигателя зубцы ротора занимают произвольное положение по отношению к зубцам статора, и даже при незначительном эксцентриситете обусловленные им силы в различных точках по окружности воздушного зазора будут отличаться. Сказывается влияние сил взаимодействия остаточных магнитных потоков статора и ротора, которые также будут различаться по окружности воздушного зазора, а значит, и результирующие моменты. Поэтому перед каждым измерением ротор нужно фиксировать в одном и том же положении, а измерения желательнее производить несколько раз. Величины измеренных напряжений, как правило, колеблются в узком диапазоне.

В таблице приведены средние значения величин. Созданный искусственно эксцентриситет путем вставки прокладки в подшипнике проявлялся так сильно, что наблюдалось “прилипание” ротора. Поэтому значение напряжения в соответствующей строке отсутствует. По этой причине обеспечение минимального эксцентриситета как при эксплуатации двигателей, так и в экспериментах по выявлению неисправностей является первоочередной задачей.

В результате изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Расширение списка эталонных данных, кроме паспортных и величин холостого хода и короткого замыкания, создает предпосылки для нахождения новых диагностических признаков повреждений в асинхронных двигателях. Целесообразно перед монтажом производственной установки зафиксировать на холостом ходу напряжение, при котором ротор трогается с места.
2. Если двигатель начинает вращение при напряжении, меньшем величины эталонного, то это является диагностическим признаком разрыва одного или нескольких стержней

ротора, при большем напряжении – наличия повреждения в обмотке статора или несимметрии подводимого напряжения.

1. *Вайнреб К* Диагностика неисправностей ротора асинхронного двигателя методом спектрального анализа токов статора // *Электричество*. – 2012. – № 7. – С. 51–57.
2. *Вольдек А.И.* Электрические машины. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
3. *Гашимов М.А.* Логические методы диагностики технического состояния электрических машин // *Электричество*. – 1999. – № 7– С. 20–26.
4. *Гашимов М.А., Гаджиев Г.А., Мирзоева С.М.* Диагностирование эксцентриситета и обрыва стержней ротора в асинхронных электродвигателях без их отключения // *Электротехника*. – 1998. – № 10. – С. 46–51.
5. *Гашимов М.А., Рамазанов Н.К.* Диагностическое исследование электрических неисправностей электроэнергетических машин для задач экспресс-оценки технического состояния в процессе их работы // *Электротехника*. – 2006. – № 3. – С. 14–22.
6. *Крупенин Н.В., Голубев А.В., Завидей В.И.* Новые возможности в диагностике электрических машин // *Электричество*. – 2011. – № 9. – С. 45–48.
7. *Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А.* Расчет параметров схем замещения и пусковых характеристик глубокопазных асинхронных машин // *Электричество*. – 1979. – № 10. – С. 18–24.
8. *Сивокобыленко В.Ф., Нури Абделбасет.* Диагностика состояния короткозамкнутых роторов асинхронных машин // *Электричество*. – 1997. – № 3. – С. 25–26.
9. *Титко А.И., Осадчий Е.П., Шаломыгин М.В.* Программно-технический комплекс диагностики изоляции обмоток асинхронных двигателей // *Новини енергетики*. – 1998. – № 8. – С. 38–42.

УДК 621.313

**О.І. Титко**, чл.-кор. НАН України, **В.М. Андрієнко**, канд. техн. наук, **А.В. Худяков**, інж., **М.С. Гудорова**, інж.  
Інститут електродинаміки НАН України,  
пр. Перемоги, 56, Київ-57, 03680, Україна

#### **Нові методи діагностики асинхронних двигунів**

*Отримано діагностичні ознаки розриву стержнів ротора або пошкодження статорної обмотки способом порівняння напруги у момент початку обертання ротора з еталонною напругою. Бібл. 9, таблиця.*

**Ключові слова:** асинхронний електродвигун, діагностичні ознаки, еталонні дані, розрив стержнів, пошкодження обмотки статора.

**O.I. Tytko, V.M. Andriyenko, A.V. Khudyakov, M.S. Gutorova**  
Institute of Elektrodynamics National Academy of Science of Ukraine,  
Peremogy, 56, Kyiv-57, 03680, Ukraine

#### **New methods of diagnostics of asynchronous motors**

*Established diagnostic signs of the existence of a gap rotor bars or damage to the stator winding through comparison of voltage when moving from place rotor engine with a reference voltage. References 9, table.*

**Key words:** asynchronous electric motor, diagnostic features, reference data, gap rods, damage to the stator winding.

Надійшла 25.10.2013  
Received 25.10.2013