

Новые возможности в диагностике электрических машин

КРУПЕНИН Н.В., ГОЛУБЕВ А.В., ЗАВИДЕЙ В.И.

Проанализированы современные методы и средства диагностики технического состояния асинхронных и синхронных электрических машин. Указаны перспективные направления развития этих методов. Даны рекомендации по выбору оптимальных систем контроля при эксплуатации и обслуживании машин.

Ключевые слова: электрические машины, повреждаемость, методы диагностики

Асинхронным и синхронным электроприводом потребляется более половины электроэнергии, производимой в мире. Однако их эффективному применению препятствует относительно высокая повреждаемость — около 25% общего числа установленных электродвигателей ежегодно. Это нарушает технологические процессы, повышает брак продукции, ведет к дополнительным затратам на восстановление и ремонт машин. Непланные аварии, как правило, сопряжены со значительными экономическими издержками, особенно в ключевых отраслях производства (энергетика, нефтегазодобыча, транспорт и др.). Оперативное диагностирование технического состояния электродвигателей в рабочих режимах или при кратковременных остановках призвано обнаружить дефект на ранней стадии его развития.

Разработки и исследования последних лет по развитию методов и средств контроля и анализа текущего технического состояния электродвигателей позволяют реализовать технологию обслуживания «по состоянию», актуальную для российской промышленности. Основная задача заключается в том, что обслуживание и ремонт проводятся в зависимости от реального текущего технического состояния электрических машин по контролируемому в процессе эксплуатации ряду основных параметров. При этом затраты на техническое обслуживание машин многократно снижаются по сравнению с

Modern methods and means for diagnosing the technical state of induction and synchronous electrical machines are analyzed. Prospective lines for development of these methods are pointed out. Recommendations for selecting the optimal monitoring systems for operation and maintenance of machines are given.

Key words: electrical machines, damageability, methods of diagnostics

обслуживанием по системе планово-предупредительных ремонтов [1, 2].

Цель данной работы — анализ современных методов и средств диагностики технического состояния асинхронных и синхронных электродвигателей и рекомендации по выбору оптимальных систем контроля.

Анализ существующих методов технической диагностики электродвигателей показывает, что существуют два направления их развития. К первому относятся методы, применяемые при проведении профилактических испытаний и ремонтов (т.е. на неработающих электродвигателях) и позволяющие выявлять практически все возможные виды электрических повреждений. Ко второму направлению относятся методы, применяемые на работающих электродвигателях и позволяющие судить о наличии повреждений определенного типа, например дефектов подшипников, изоляции статорной обмотки и др.

В электрических машинах наиболее часто повреждаются обмотки статоров (~37%) и роторов (~9%), для диагностирования которых предложен ряд методов. Для обмоток ротора короткозамкнутого асинхронного электродвигателя предлагается контролировать пусковой ток статора, в [3], например, техническое состояние обмоток электродвигателя оценивается по значению гармонических составляющих тока статора. В [4, 5] стержни корот-

отдела ВНИЦ ВЭИ — филиала ФГУП ВЭИ.

Присеко Юрий Степанович окончил радиотехнический факультет МЭИ в 1988 г. Начальник отдела ВНИЦ ВЭИ — филиала ФГУП ВЭИ.

Сидоров Владимир Алексеевич окончил электромеханический факультет МЭИ в 1974 г. В 1990 г. защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка вакуумных управляемых разрядников отпаянной конструкции для импульсных источников

энергии» в ВЭИ. Ведущий научный сотрудник ФГУП ВЭИ.

Филиппов Валентин Георгиевич окончил электротехнический факультет Чувашского государственного университета им. И.Н. Ульянова в 1972 г. В 1985 г. защитил кандидатскую диссертацию в МЭИ. Первый зам. директора ВНИЦ ВЭИ — филиала ФГУП ВЭИ.

козамкнутого ротора асинхронных электродвигателей предложено диагностировать с использованием пульсаций обобщенного вектора тока статора на работающем двигателе. К недостаткам указанных методов можно отнести возможные ошибки в определении технического состояния при наличии пульсаций питающего напряжения и гармонических составляющих. Важную роль в обеспечении нормальной работы электродвигателей играет качество питания, уровень перенапряжений, наличие в сети высокочастотных гармоник тока и напряжения, небаланс фаз.

Согласно «Нормам испытаний...» техническое состояние электродвигателей определяется значениями сопротивлений изоляции, обмоток постоянному и переменному току и результатами высоковольтных испытаний на отключенном двигателе. На работающих электродвигателях измеряются токи статорных обмоток и ведется вибрационный и тепловизионный контроль корпусных элементов, узлов присоединения и подшипников. Таким образом, полный контроль параметров двигателя требует проведения разнородных измерительных операций, которые, как правило, оперативным персоналом не выполняются.

Наиболее эффективными с точки зрения полноты данных представляются способы одновременного получения возможно более 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 MCETM (анализатор цепей двигателей) и DMA (система динамического анализа двигателей), производимые корпорацией PdMA. В системе предусмотрено использование программного обеспечения MCEGold для анализа данных измерений и базы данных, позволяющей получать временные тренды данных измерений. Обе системы и технология диагностики ориентированы на обнаружение наиболее повреждаемых элементов и узлов двигателей, а также контроль качества питания сети или приводов.

Система позволяет провести оперативный анализ значимости дефектов и дать рекомендации при проведении ремонта или замене двигателя. Следует отметить, что техническое состояние оценивается по параметрам, аналогичным принятым в «Нормах испытаний...» и в соответствии с критериями стандартов США, установленными институтами EPRI

(The Electric Power Research Institute USA) и IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers).

Контролю подвергаются:

качество электропитания сети или привода (перенапряжения, небаланс фаз, наличие высокочастотных гармоник и импульсных помех);

активное сопротивление силовых элементов питания (сопротивление контактных и паяных соединений обмоток, выключатели, проводники, контакторы и др.);

комплексное сопротивление обмотки, индуктивность, емкость (витковые замыкания витков);

индекс поляризации изоляции обмотки статора (деградация изоляции);

взаимная индуктивность статорной и роторной обмоток (дефекты роторной обмотки — пайка стержней с кольцом, замыкания стержней и стали, статический и динамический эксцентриситет ротора).

Рассматриваемые в данной работе системы могут использоваться при контроле как синхронных и асинхронных двигателей, так и двигателей постоянного тока, для этого система укомплектована специальными приспособлениями и устройствами. Помимо этого системы данного типа могут применяться и для контроля технического состояния силовых трансформаторов. Отличительная особенность рассмотренных систем — проведение одним прибором комплекса измерений, автоматическое занесение данных контроля в базу данных, их анализ и прогноз рабочего состояния.

Эффективная и надежная работа электродвигателя зависит от подводимого к нему питания, которое должно соответствовать определенным требованиям по наличию высокочастотных гармоник, перенапряжениям и др. Для контроля этих параметров система определяет несимметрию напряжений и токов по трем фазам, оценивает баланс токов и напряжений по фазам и выдает информацию о наличии высокочастотных гармоник. При отсутствии в питающем напряжении мощных импульсных помех при работе двигателя могут быть выявлены дефекты паек роторной обмотки по гармонике нижнего значения боковой частоты, уровень которой не должен превышать -35 dB от основной частоты питания сети (рис. 1).

На отключенном двигателе измеряются межфазные и активные сопротивления обмоток постоянному току, индуктивность, импеданс и угловая зависимость тока от частоты (до 1200 Гц) напряжения встроенного в прибор генератора питания. Данные параметры необходимы для обнаружения и оценки наиболее опасных дефектов виткового замыкания обмотки статора, ротора, а также эксцентриситет ротора.

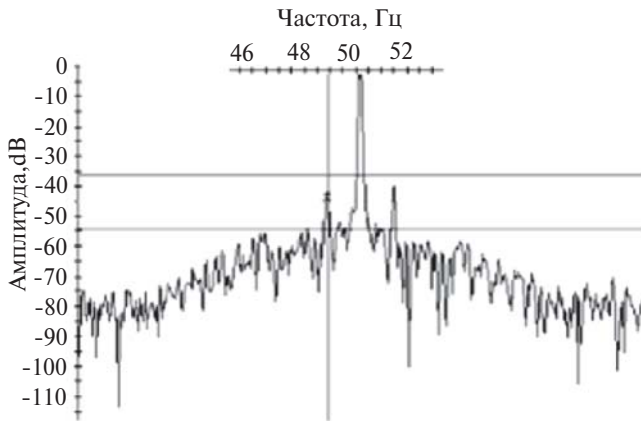
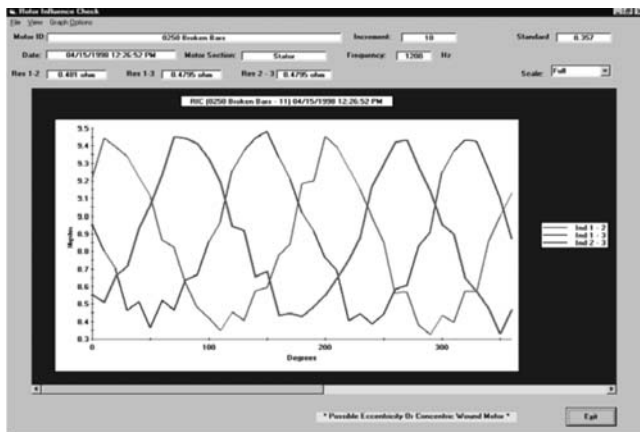


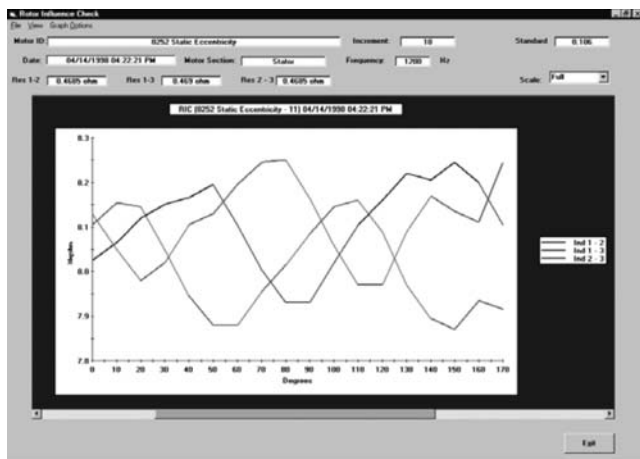
Рис. 1. Данные гармонического анализа на работающем двигателе с дефектом обмотки ротора

Угловая зависимость взаимоиנדукции между обмотками статора и ротора определяется при дискретном повороте вала через равные угловые интервалы. Это дает возможность определить межвитковые замыкания статорной обмотки (рис. 2,а) или эксцентриситет вала ротора (рис. 2,б).

Данные измерений хранятся в базе данных и дают возможность сопоставлять результаты измере-



а)



б)

Рис. 2. Данные гармонического анализа на отключенном двигателе с дефектом обмотки ротора (а), характерная форма индуктивности при эксцентриситете ротора (б)

ний путем построения трендов основных параметров. Удобное программное обеспечение описанных систем контроля позволяет оперативно готовить протоколы и отчеты испытаний (рис. 3).

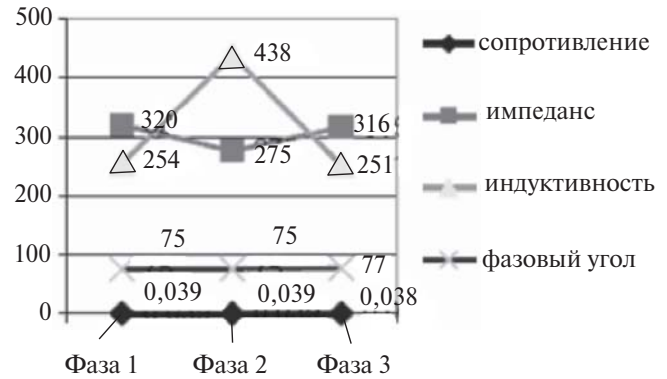


Рис. 3. Сопоставительный анализ основных контролируемых параметров

Заключение о месте возникновения (обмотка статора или ротора) и виде дефекта (обрыв ветвей параллельной обмотки статора и стержней обмотки короткозамкнутого ротора, витковое замыкание, нарушение контактов паяных соединений в обмотках статора и ротора) дается на основании анализа совокупности измерений. Заложенные в системе возможности измерения угловой зависимости взаимоиנדукции статорной и роторной обмоток на зондирующих частотах до 1200 Гц с повышенной чувствительностью позволяют выявлять дефекты паек стержней ротора и механические повреждения. Технология анализа технического состояния двигателя и связанных с ними цепей по основным повреждающимся узлам представляется технически и экономически целесообразной, так как проводится одним прибором.

Вывод. Применение комплексных систем диагностики электродвигателей по фактическому состоянию позволяет снизить издержки от аварийных отказов за счет раннего обнаружения дефектов и контроля их развития. Возможность удаленного контроля и автоматизация процесса измерений значительно облегчают систематический контроль большого парка машин. Объективные данные о техническом состоянии сокращают число внеплановых остановов из-за преждевременного выхода из строя двигателя, дают возможность своевременно спланировать его ремонт или замену.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гашимов М.А., Гаджиев Г.А., Мирзоева С.М. Диагностика неисправностей обмотки статора электрических машин. — Электрические станции, 1998, № 11.

2. **Гармаш В.С.** Метод контроля исправности стержней ротора короткозамкнутого асинхронного двигателя. — Энергетика, 1990, № 10.

3. **Петухов В.** Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения. — Новости электротехники, 2008, №1(49).

4. **Лукьянов, М.М.** Новые принципы виброакустической диагностики изношенного силового электрооборудования. — Электрика, 2001, № 2.

5. **Еремеев С.Н.** Профилактическое обслуживание электродвигателей высоконагруженного технологического оборудования. — Электрика, 2001, № 3.

*Авторы: **Крупенин Николай Владимирович** окончил факультет электроизоляционной и кабельной техники Московского энергетического института в 1982 г. Кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка обмоточных проводов для погружных электродвигателей» защитил в г. Заместитель генерального директора ФГУП ВЭИ.*

***Голубев Александр Витальевич** окончил Московский инженерно-физический институт по специальности «Экспериментальная ядерная физика» в 1981 г. Защитил докторскую диссертацию по ядерным энергетическим установкам. Начальник отдела ФГУП ВЭИ.*

***Завидей Виктор Иванович** окончил МФТИ факультет космических исследований Московского физико-технического института в 1973 г. Докторскую диссертацию по специальной теме защитил в 2010 г. Главный научный сотрудник ФГУП ВЭИ.*