

К ВОПРОСУ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ДИАГНОСТИКИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Федоров М.М., д.т.н., проф.

Донецкий национальный технический университет

Украина, 83089, Донецк, Артема 58, ДонНТУ, кафедра "Электротехники и ТОЭ"

тел. (062) 305-23-581

Ткаченко А.А.

Донбасская государственная машиностроительная академия

Украина, Краматорск, Донецкая обл., ул. Шкадинова, 48, кафедра "Электромеханические основы автоматизации"

тел. (06264) 1-68-93

Наведено аналіз несправностей асинхронних електродвигунів. Розглянуто причини виникнення та характер розвитку типових відмов. Наведений аналіз існуючих методів будовання систем діагностики. Запропонована структура системи контролю технічного стану асинхронних двигунів, яка використовує інформацію про миттєві значення струмів та напруг статора.

Представлен анализ отказов асинхронных электродвигателей. Рассмотрены причины возникновения и характер развития неисправностей. Приведен анализ существующих подходов к построению систем диагностики. Предложена структура системы контроля текущего состояния асинхронных электродвигателей, использующая данные о мгновенных значениях токов и напряжений статора.

ВВЕДЕНИЕ

Асинхронные электродвигатели (АД) являются распространенным типом электрических машин. Доля асинхронных приводов составляет около 95%. Отказ АД может привести к остановке ответственного механизма. В этой связи надежность эксплуатации АД является фактором безаварийной работы различных технологических процессов. Одним из путей сокращения внеплановых простоев и повышения надежности оборудования является диагностика, контроль и прогнозирование наиболее часто встречаемых неисправностей АД в процессе эксплуатации. Известно, что наибольшую долю отказов асинхронных электродвигателей составляют неисправности обмоток статора (витковые замыкания, обрывы проводников и т. д.) [1, 2]. Исследование причин возникновения неисправностей, их проявлений и влияния на характер электромагнитных и тепловых процессов является важным этапом в построении систем диагностики.

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СТАТОРНЫХ ОБМОТОК АД

Отказы обмоток могут быть вызваны разрушением их изоляции, разрывом проводников, и другими неисправностями, вызванными рядом причин (воздействием тепла, вибраций и т.д.).

Одним из факторов износа и последующего разрушения изоляционных материалов является продолжительное действие повышенных температур. Изоляция сохраняет свои свойства в течение номинального срока службы D_n при максимально допустимой температуре $\theta_{доп}$ [1]. Источниками тепла являются потери в меди, активной стали и дополнительные потери. Величину потерь в обмотках можно определить по величине токовой нагрузки ($\beta_I = I/I_N$ - коэффициент нагрузки по току). Повышенная температура изоляции вызывает сокращение срока ее службы. В качест-

ве примера на рис. 1 показаны зависимости превышения установившейся температуры и сокращения срока службы лобовой части обмотки статора от коэффициента нагрузки в относительных единицах.

На графиках видно, что незначительное превышение температурой допустимого значения вызывает заметное сокращение срока службы. При режиме короткого замыкания (КЗ) $\beta_I = 7 \div 8$, время работы сокращается до минут и менее.

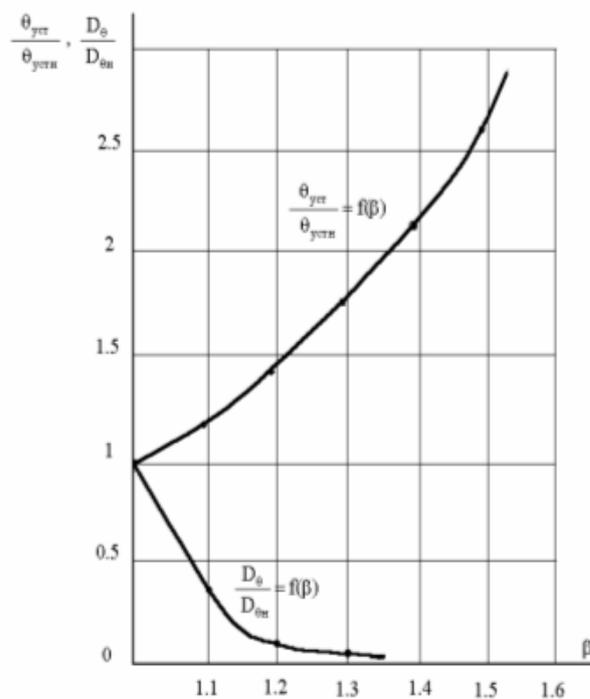


Рис. 1. Зависимости $\theta_{устб}/\theta_{доп} = f_1(\beta)$ и $D_\theta/D_{\theta_n} = f_2(\beta)$ лобовой части обмотки статора МТН 312-6

Помимо величины температуры, большое значение имеют также скорость ее нарастания (градиент). Быстрый рост температуры вызывает неравномерное тепловое расширение материалов, что может вызвать выход из строя обмотки при температурах, меньших максимально допустимой.

Таким образом, контроль тепловых перегрузок, их градиентов и времени действия является важной задачей системы диагностики.

Помимо равномерного перегрева по фазам статора могут иметь место перегрузки по отдельным фазам по причине несимметрий различного рода.

Несимметрично питающее напряжение может вызвать токовые перегрузки и перегрев отдельных фаз. ГОСТ 13109-97 устанавливает, что длительно допустимые значения коэффициента несимметрии не должны превышать 2%, предельно допустимые 4%. На практике несимметрия часто превышает нормированные значения, что негативно сказывается на работе электродвигателей. Так при коэффициенте несимметрии источника питания в 20% срок службы обмоток составляет 3,5 часа [4], что говорит о недопустимости работы двигателя в данных условиях.

Особо отрицательное влияние несимметрии оказывает в динамических режимах. Так вследствие тяжелых пусков имеет место увеличение длительности тепловых перегрузок. Поэтому важно контролировать не только величину, но и длительность токовых перегрузок. Следовательно, контроль несимметрии, особенно в динамических режимах, имеет большое значение.

Несимметричный режим имеет место и при различного рода неисправностях (обрыве фазы, обрыве параллельных ветвей, межвитковых замыканиях и т. п.). Причинами могут быть: вибрации, особенно при плохой увязке и пропитке обмоток, пробой изоляции в результате механического повреждения и пр.

При обрыве фазы и нагрузке порядка 75% токи двигателя могут не превышать номинальных, однако после остановки и повторного включения возникает режим КЗ с последующим выходом АД из строя.

Обрыв одной из параллельно соединенных ветвей приводит к несимметрии, которая при пониженной (порядка 90%) нагрузке не оказывает отрицательного влияния, однако пуск затяжной, с повышенными токами, которые могут вызвать выход из строя электродвигателя. В качестве примера в табл. 1 для двигателя АО 262, имеющего по 2 параллельные ветви в каждой фазе показаны относительные фазные токи и их начальные фазы ψ при обрыве одной ветви в фазе А [5].

Таблица 1
Относительные фазные токи и их начальные фазы при обрыве параллельной ветви

β_{IA}	ψ_A	β_{IB}	ψ_B	β_{IC}	ψ_C
0.85	0^0	1.07	-109^0	1.07	109^0

Из табл. 1, следует, что имеет место перераспределение токов, при этом при пониженной нагрузке их значения могут не превышать I_n , однако фиксируя сдвиг по фазе, можно обнаружить неисправность.

Более сложной задачей является диагностика межвитковых замыканий. Причинами возникновения неисправности могут быть: разрушение изоляции по приведенным выше причинам, обрыв проводника и др. Наличие зарождающихся витковых замыканий незначительно отражается на величине и фазе токов статора. Однако повышенные токи в короткозамкнутых витках вызывают местный нагрев и ускоренный износ изоляционных материалов безотказной работы. Существуют различные методы обнаружения межвитковых замыканий, среди них перспективный - анализ гармонического состава токов статора.

Вопросам диагностики состояния электродвигателей посвящено значительное количество отечественных и зарубежных исследований. Используется множество подходов: анализ вибраций, поля, энергобаланса, токов, напряжений статора и др.

Диагностические системы, основанные на контроле виброакустических сигналов разрабатываются АО ВАСТ, Россия, С.-Пб. и рядом зарубежных фирм. Вибрации сопровождают работу любого механизма и могут быть вызваны различными причинами: несбалансированностью вращающихся частей, дефектами подшипников, дефектами магнитных цепей и т.д. Устройства, построенные на контроле характерных составляющих вибрационного сигнала эффективно справляются с обнаружением механических неисправностей, выявить которые затруднительно другими методами, однако обнаружение зарождающихся витковых замыканий по-видимому затруднено ввиду малой интенсивности вибраций, ими вызванных, датчики вибраций являются дорогостоящими и легко повреждаемыми

Системы диагностики неисправностей на основе анализа распределения поля обладают высокой информативностью и ценны в лабораторных условиях, однако их практическое использование ограничено в виду сложности измерения поля.

Перспективным является метод энергодиагностики, основанный на анализе уравнений энергобаланса мгновенных мощностей во всех элементах конструкции электродвигателя [6]. В настоящее время данный подход нуждается в дальнейшей теоретической разработке.

Информативным подходом к диагностике электродвигателей является использование показателей, связанных с мгновенными значениями токов статора. Для отстройки от помех, получаемых от источника питания часто фиксируются также фазные напряжения. В основе метода лежит положение, что любое изменение в работе АД отражается на величине, симметрии или гармоническом составе токов статора. Таким образом, анализируя изменения в мгновенных значениях токов возможно определить наличие, в частности, витковых замыканий, и степень их развития [7].

Перечисленные системы диагностики не обеспечивают полный контроль неисправностей, поэтому имеется необходимость их совершенствования.

СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ АД

Входными сигналами являются: величины, симметрия и гармонический состав токов статора. Необходимо также контролировать питающие напряжения, поскольку их искажение может вызвать проявления, схожие с проявлениями неисправностей. Важное значение имеет контроль температуры обмоток. Поскольку измерение температур прямыми измерениями на практике не всегда удобно, следует оценивать ее методами моделирования, в том числе необходимо разработать методику расчета местных нагрева в условиях наличия неисправности.

Упрощенная структура системы диагностики АД с использованием микропроцессорного комплекса приведена на рис. 2. Сбор данных о фазных токах и напряжениях, осуществляет измерительный комплекс.

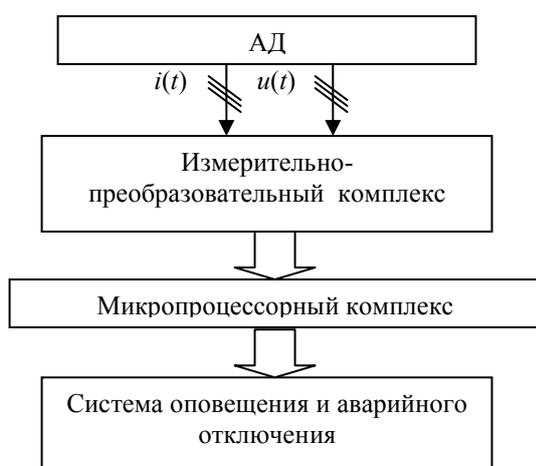


Рис. 2. Структура системы диагностики АД

Измерительно-преобразовательный комплекс осуществляет преобразование сигналов с датчиков в дискретный вид. В микропроцессорном комплексе реализован алгоритм выявления: несимметрии и гармонического состава питающих напряжений, величины, несимметрии и гармонического состава токов. На основании полученных данных, исходя из рассмотренных выше проявлений неисправностей и серьезных аномальных режимов выносится решение о допустимости дальнейшей работы, наличия неисправности, определения степени ее развития и прогнозирования ожидаемого срока безотказной работы.

Информация о текущем состоянии электродвигателя сообщается оператору с помощью системы оповещения. В случае необходимости происходит отключение двигателя.

ВЫВОДЫ

Оснащение электродвигателей системами диагностики, прогнозирования и раннего обнаружения неисправностей позволяет удешевить их ремонт и эксплуатацию. Предлагаемая система диагностики позволит в большем объеме осуществить контроль, прогнозирование и диагностику неисправностей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Гольдберг О.Д., Абдуллаев И.М., Алиев А.Н. Автоматизация контроля параметров и диагностика асинхронных двигателей. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 160 с.
- [2] Comprehensive Predictive Maintenance of Electrical Motors in Indian Nuclear Power Plants V.G. Manohar, Prabhat Kumar, An International Journal of Nuclear Power - Vol. 17 No. 1-3 (2003).
- [3] Котеленец Н.Ф., Кузнецов Н.Л. Испытания и надежность электрических машин: Учебное пособие для вузов по специальности "Электромеханика". – М. Высшая школа., 1988. – 232 с.
- [4] О пожарной опасности асинхронных электродвигателей, эксплуатирующихся на промышленных предприятиях. Шевченко О.А., Якимишина В.В., Пинчук О.Г. / Наукові праці ДонНТУ – Електротехніка і енергетика – Випуск 67 – 2003.
- [5] Тепловое состояние электродвигателей переменного тока при обрывах параллельных ветвей статорных обмоток / Наукові праці ДонНТУ – Електротехніка і енергетика – Випуск 17 – 2000.
- [6] Организация измерений в исследованиях электромеханических систем методом энергодиагностики. Родкин Д.И., Барвинок Д.В., Хараджян А.А., Бялобржеский А.В., Величко Т.В. - Труды КГПИ "Проблемы создания новых машин и технологий" 2001 год, сборник 2(11).
- [7] Diagnosis of Stator Winding Inter-Turn Shorts in Induction Motors Fed by PWM-Inverter Drive Systems Using a Time-Series Data Mining Technique ChiaChou Yeh, Student Member, IEEE, Richard J. Povinelli, Senior Member, IEEE, Behrooz Mirafzal, Student Member, IEEE, and Nabeel A. O. Demerdash, Fellow, IEEE / 2004 International Conference on Power System Technology - POWERCON 2004 Singapore, 21-24 November 2004.

Поступила 29.09.2005