

## Диагностика состояния электродвигателей на основе спектрального анализа потребляемого тока

Петухов В.С.  
к.т.н., член IEEE  
Соколов В.А.

Центр электромагнитной безопасности

В настоящее время двигатели переменного тока являются крупнейшими потребителями электрической энергии. Согласно последним исследованиям, они потребляют свыше 80% вырабатываемой электроэнергии. Однако в процессе эксплуатации могут возникать повреждения элементов двигателя, что в свою очередь приводит к преждевременному выходу его из строя.

Многочисленные исследования характера повреждений двигателей переменного тока позволили получить следующие статистические данные /1-2/:

- Повреждения элементов статора - 38%
- Повреждения элементов ротора - 10%
- Повреждения элементов подшипников - 40%
- Другие повреждения - 12%

Во многих производствах внезапный выход из строя двигателя может привести к непоправимым последствиям. Кроме того, эксплуатация находящихся в неудовлетворительном техническом состоянии электродвигателей приводит как к прямым финансовым потерям, связанным с непрогнозируемым выходом из строя оборудования и вызванным этим нарушением технологического процесса, так и к значительным (до 5-7%) косвенным непродуктивным затратам электроэнергии, обусловленным повышенным электропотреблением (при той же полезной мощности). Поэтому возникает необходимость диагностики состояния двигателя в процессе его работы. Сегодня в России широко используется метод вибродиагностики состояния элементов электродвигателей. Данный метод является достаточно дорогим и трудоемким, требующим применения специальной измерительной техники и программного обеспечения. Кроме того, должен быть обеспечен доступ к обследуемому объекту, что в некоторых случаях сопряжено с определенными организационными и техническими трудностями.

В последнее время получили развитие методы диагностики состояния электрических машин, основанные на выполнении мониторинга потребляемого тока с последующим выполнением специального спектрального анализа полученного сигнала /3-8/, что позволяет с высокой степенью достоверности определять состояние различных элементов двигателя.

Кроме того, проведение мониторинга тока электродвигателя может быть выполнено как непосредственно на нем, так и в электрошите питания (управления).

В настоящее время специалистами Центра электромагнитной безопасности разработан аппаратно - программный комплекс для выполнения работ по аудиту состояния и условий работы электрической и механической части электродвигателей и связанных с ними механических устройств на основе спектрального анализа сигналов потребляемого электродвигателем тока.

Блок – схема комплекса представлена на рис. 1.

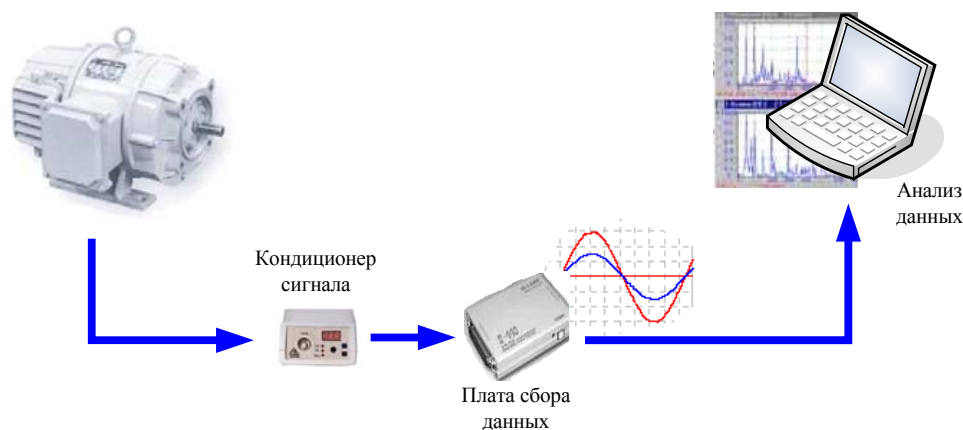


Рис. 1 Блок – схема диагностического комплекса

В состав комплекса входят разъемный токовый датчик с линейной частотной характеристикой, кондиционер сигнала (фильтр низких частот, препятствующий появлению ложных частот сигналов (aliasing) при их дискретизации [9], аналого-цифровой преобразователь (АЦП), персональный компьютер (ПК) с необходимым программным обеспечением для сбора и обработки информации. Запись сигналов тока осуществляется в течение времени, необходимого для выполнения спектрального анализа с разрешением по частоте не менее 0.01-0.02 Гц.

Оцифрованные АЦП данные передаются в ПК, где выполняется обработка полученных данных: определяется частота вращения двигателя и число стержней его ротора, затем выполняется специальный спектральный анализ сигнала тока.

Физический принцип, положенный в основу работы диагностического комплекса, заключается в том, что любые возмущения в работе электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним устройства приводят к изменениям магнитного потока в зазоре электрической машины и, следовательно, к слабой модуляции потребляемого электродвигателем тока.

Таким образом, наличие в спектре тока двигателя характерных (и не совпадающих) частот определенной величины свидетельствует о наличии повреждений электрической и/или механической части электродвигателя и связанного с ним механического устройства [1].

В качестве примера ниже приведены результаты спектрального анализа токов двух однотипных вентиляторных установок: находящейся в эксплуатации 1 неделю (рис.2) и проработавшей 5 лет (рис 3).

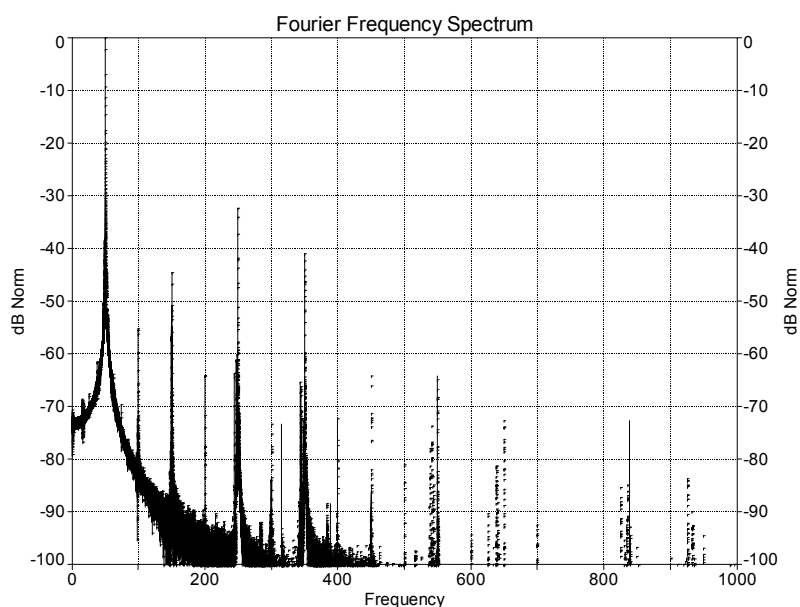


Рис 2. Спектральный состав тока нового электродвигателя

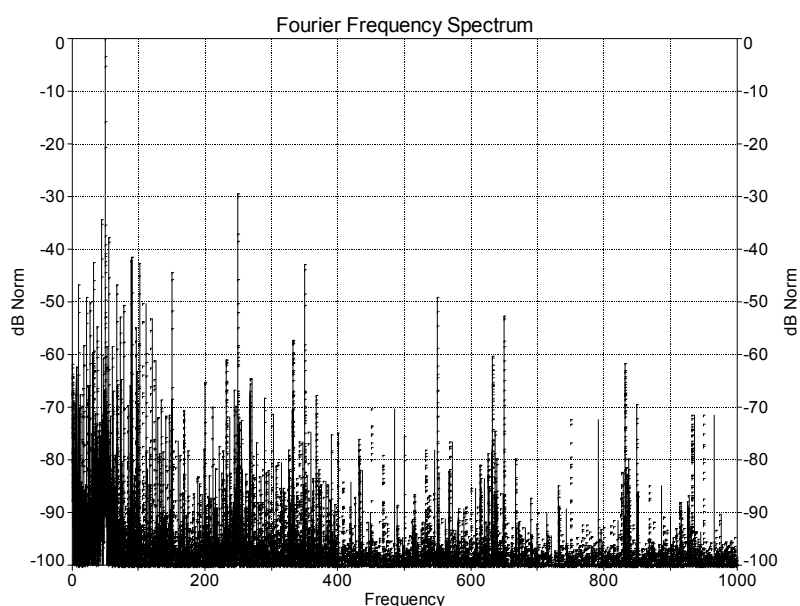


Рис 3. Спектральный состав тока электродвигателя, находящегося в эксплуатации в течение 5 лет

На вышеприведенных рисунках ясно видно как увеличение количества частотных полос, соответствующих различным видам повреждений, так и рост их величины (при значимом уровне сигналов в частотной области от  $-80$  дБ) для электродвигателя, длительно находящегося в работе.

Остановимся более подробно на возможностях рассматриваемого метода диагностики с точки зрения обнаружения различных видов повреждений и характерных для них частот.

**Повреждения ротора двигателя** (обрыв стержней, ослабление крепления стержней к контактным кольцам, скрытые дефекта литья).

Этот вид неисправности обнаруживается по наличию 2-х симметричных относительно частоты питающей сети пиков в спектре тока (см. рис. 4).

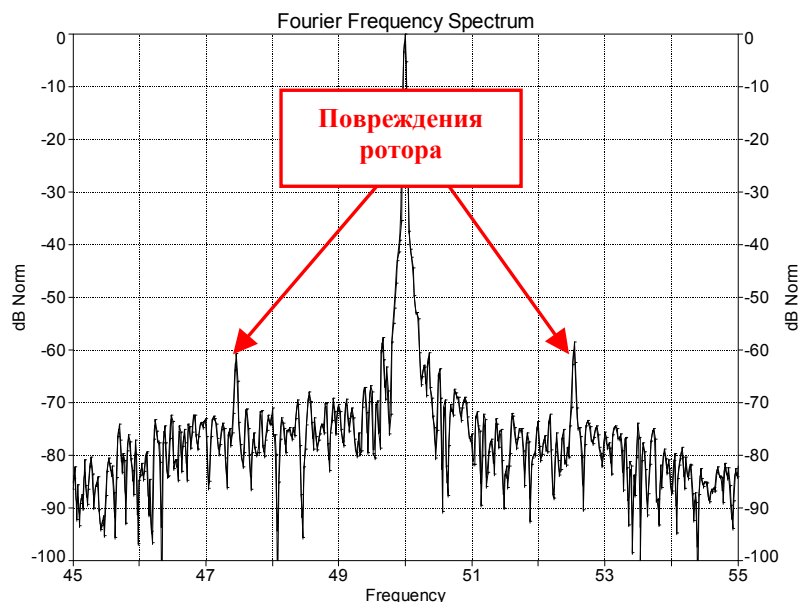


Рис 2. Частоты, характерные для повреждений ротора

**Несоосность валов двигателя и механической нагрузки.** Этот вид неисправности определяется по частотам, кратным частоте вращения ротора (см. рис. 5)

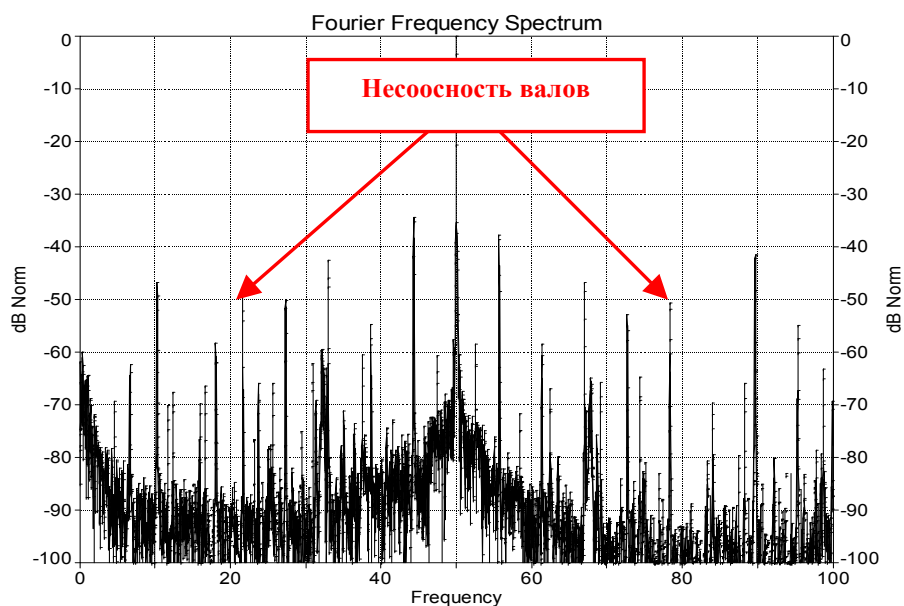


Рис 5. Характерные частоты при наличии несоосности валов двигателя и механической нагрузки

**Дефекты ременной передачи вентилятора.** Этот вид неисправности определяется по частотам, кратным частоте биений ремня, определяемой длиной последнего и диаметрами шкивов (см. рис. 6)

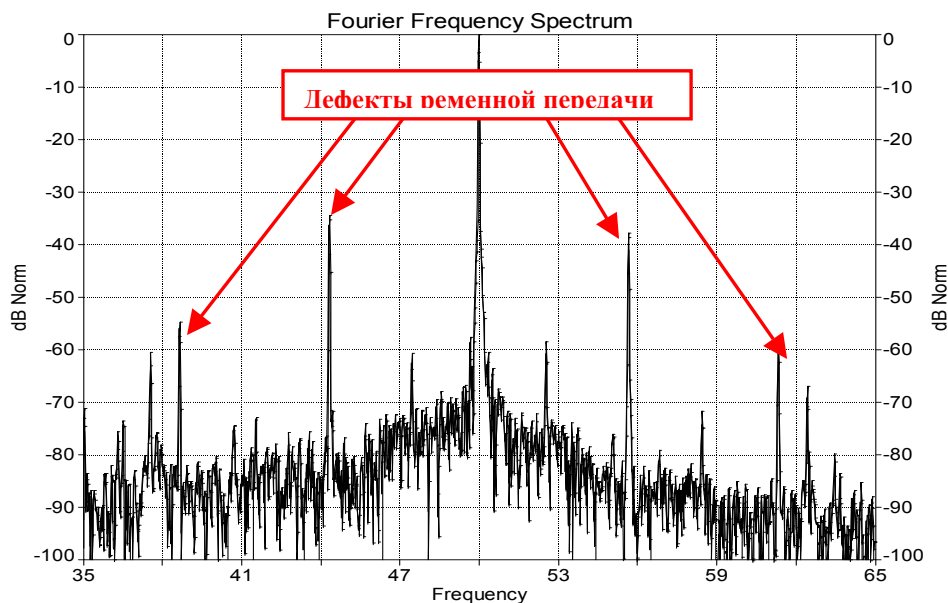


Рис 6. Характерные частоты при наличии дефектов ременной передачи

Аналогичным образом определяется и наличие таких дефектов, как:

- **межвитковые замыкания обмоток статора;**
- **повреждения подшипников (необходимы данные о подшипниках электродвигателя и механического устройства);**
- **повышенный эксцентриситет ротора (статический и/или динамический);**
- **ослабление элементов крепления электродвигателя;**
- **дефекты механической части связанных с электродвигателем устройств.**

Определение степени серьезности повреждений производится по градации «Повреждения отсутствуют» - «Повреждения обнаружены» - «Обнаружены критичные повреждения» путем сравнения величины сигнала на характерной частоты повреждения с величиной сигнала на частоте питающей сети.

При проведении повторных измерений на данном оборудовании формируется база данных, позволяющая отслеживать динамику развития повреждений во времени, что дает возможность заблаговременно планировать выведение оборудования в ремонт.

Помимо вышеописанных измерений, настоятельно рекомендуется проведение мониторинга приложенного к электродвигателю напряжения, что позволяет определить его несимметрию, наличие высших гармонических составляющих и импульсов перенапряжений (что возможно при работе с частотными регуляторами скорости вращения) – т.е. тех факторов, которые напрямую влияют на срок службы и экономичность работы двигателя. Хорошо известно, что первые два из вышеупомянутых факторов приводят как к перегреву обмоток статора, так и повреждению подшипников за счет возникновения высокочастотных вращающихся моментов обратной последовательности.

Измерения могут быть выполнены как непосредственно на клеммной коробке электродвигателя (без какого-либо нарушения режима его работы), так и в электрошите питания и/или управления.

Выполнение этой работы позволит провести полномасштабную натурную диагностику и анализ условий работы парка электродвигателей и связанных с ними механических устройств, существенно сократить как затраты, связанные с «неожиданными» отказами оборудования, так и снизить непродуктивные затраты электроэнергии.

## Литература

1. W. T. Thomson : "A Review of On-Line Condition Monitoring Techniques for Three-Phase Squirrel-Cage Induction Motors -Past Present and Future" Keynote address at IEEE Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives, Gijon, Spain, Sept. 1999 pp 3-18.
2. EPRI: "Improved Motors for Utility Applications and Improved Motors for Utility Applications, Industry Assessment Study", Vol 1, EPRI EL-2678, Vol 1 1763-1, final report and EPRI EL-2678, Vol 2,1763-1 final report October 1982
3. V Thorsen and M Dalva: "Condition Monitoring Methods, Failure Identification and Analysis for High Voltage Motors in Petrochemical Industry", Proc 8a IEE Int Conf, EMD'97, University of Cambridge, No 444, pp 109-113
4. W T Thomson and D Rankin; "Case Histories of Rotor Winding Fault Diagnosis in Induction Motors", 21<sup>st</sup> Int Conf Proc on Condition Monitoring, University College Swansea, March 1987
5. G B Kliman and J Stein: "Induction Motor Fault Detection Via Passive Current Monitoring", Proc Int Conf (ICEM'90), MIT, Boston, USA, 1990, pp 13-17
6. W T Thomson, S J Chalmers and D Rankin: "On-line Current Monitoring and Fault Diagnosis in High Voltage Induction Motors - Case Histories and Cost Savings in Offshore Installations", Offshore Europe '87, Conf Proc SPE September 1987, Aberdeen, SPE 16577/1 - SPE 16577/10
7. Randy R. Schoen, Thomas G. Habetler, Farrukh Kamran, Robert G. Barthel "Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring" IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL.31, NO. 6, November/December 1995
8. William T.Thomson, Mark Fenger "Current Signature Analysis to Detect Induction Motor Faults"IEEE Industry Application Magazine July/August 2001.
9. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб., Питер, 2002.-608с. ил.