

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

Лепихова В.А.

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова, г. Новочеркасск*

Ключевые слова: тяговый двигатель, подшипниковые узлы, виброакустический сигнал, амплитудно-частотный спектр, надежность, спектральный анализ, интегральное преобразование Фурье, кепстр.

Аннотация. Приведен анализ сигналов акустической эмиссии с помощью интегрального преобразования Фурье, нелинейных и специализированных преобразований, позволяющий проводить диагностику дефектов элементов тяговых двигателей исследуя работоспособность подшипников качения. Разлагать акустический сигнал на составляющие было предложено с помощью аналоговых или цифровых спектроанализаторов. Обработка сигналов акустической эмиссии осуществлялась как в спектральном одностороннем Фурье спектре акустического сигнала, так и в кепстральном Фурье спектре от логарифмического спектра мощности. Задача исследований заключается в проведении текущего экспресс-анализа состояния диагностируемых элементов в процессе эксплуатации на движущемся электровозе.

THEORETICAL BACKGROUND OF VIBROACOUSTIC DIAGNOSTICS AND ANALYSIS OF BEARING UNITS

Lepihova V.A.

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI) Novochoerkassk

Keywords: traction motor, bearing units, vibroacoustic signal, amplitude-frequency spectrum, reliability, spectral analysis, integral Fourier transform, cepstrum.

Abstract. The analysis of acoustic emission signals with the help of integral Fourier transform, nonlinear and specialized transformations is given, which allows diagnosing defects of traction motor elements by examining the performance of rolling bearings. Decomposing an acoustic signal into components was proposed using an analog or digital spectrum analyzer. Processing of acoustic emission signals was carried out both in the spectral (in the form of a one-way Fourier spectrum of the acoustic signal) and in the cepstrum Fourier spectrum from the logarithmic spectrum of the representation power. The task of the research is to conduct a current rapid analysis of the state of the diagnosed elements in operation on a moving electric locomotive.

В ряде исследований замечено, что излучение сигналов акустической эмиссии деталями, изготовленными из чугуна и различных сталей, вследствие большой интенсивности виброакустических процессов, происходит с перекрытием отдельных импульсов и маскировкой виброакустических сигналов. Это затрудняет выделение из суммарного сигнала акустической эмиссии отдельных источников излучений [1]. По этой причине было предложено суммарный акустический сигнал разлагать на составляющие с помощью аналоговых или цифровых спектроанализаторов. Предполагалось, что каждый вид дефектов в диагностируемом объекте отличается особой формой амплитудно-частотного спектра. Однако в дальнейшем было замечено, что прямая интерпретация спектра

дает противоречивые результаты и только специальные способы математической обработки спектрограмм позволяют выделить информацию о виде неисправности и ее месте локализации в диагностируемом объекте.

Проведем анализ сигналов акустической эмиссии [2] с помощью интегрального преобразования Фурье, нелинейных и специализированных преобразований.

На вход анализатора спектра от анализируемого объекта может поступать несколько сигналов одновременно. Остановимся на случаях двух сигналов $x_{(t)}$ и $y_{(t)}$. Рассмотрим их независимые попарные взаимодействия и их преобразования Фурье, предполагая, что сигналы стационарны и эргодичны [3]. Спектральная плотность мощности $S_{xx}(\omega)$ сигнала $x_{(t)}$:

$$S_{xx}(\omega) = |x(\omega)|^2.$$

Вычислим нормированный взаимный спектр $\gamma_{xy}^2(f)$ или функцию когерентности:

$$\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_x(f) \cdot G_y(f)} ; \quad 0 \leq \gamma_{xy}^2(f) \leq 1$$

Эта функция обладает важным свойством. Если $\gamma_{xy}^2(f) = 1$, то между сигналами $x_{(t)}$ и $y_{(t)}$ имеет место линейная связь [4]. При отсутствии линейной связи $\gamma_{xy}^2(f) = 0$. При промежуточных значениях функции когерентности $0 \leq \gamma_{xy}^2(f) \leq 1$ в сигналах присутствуют некоррелированные с $x_{(t)}$ и $y_{(t)}$ внешние шумы. Вычислив значения функции когерентности и убедившись в сложном нелинейном взаимодействии составляющих сигналов, можно попытаться разделить их эффекты действия с помощью нелинейного преобразования, называемого кепстром $G_{(\tau)}$:

$$G_{(\tau)} = F^{-1} \{ \log S_{xx}(f) \},$$

где F^{-1} - обратное преобразование Фурье; τ - переменная, имеющая размерность времени, так называемая «кьюфренси». Как видно, это преобразование имеет сходство с функцией корреляции $K_{(\tau)} = F^{-1} \{ S_{xx}(f) \}$, но в отличие от последней обладает рядом замечательных свойств. В то время, как функция корреляции есть свертка сигналов $x_{(t)}$ и $y_{(t)}$ с помощью интеграла Дюамеля и, потому оба сигнала в спектрограмме оцениваются в каждой точке, маскируя друг друга, то не оставляет возможности для их разделения. Кепстровое преобразование инвариантно относительно точки установки датчика и ориентации его оси.

Основным же преимуществом кепстра следует считать то, что он концентрирует диагностическую информацию, содержащуюся в спектре в виде множественных модуляционных компонентов, выделяя обычно не более двух-трех диагностических составляющих.

Таким образом, задачи исследований по диагностике и повышению ресурсов узлов тяговых двигателей заключаются в следующем:

- выявлению современных перспективных методик диагностики подшипниковых узлов, пригодных для тяговых двигателей электровозов;
- формированию рабочих диагностических моделей для качественного описания и диагностики тяговых двигателей и установка рабочих диагностических частот;
- выбора типа датчика для виброакустической диагностики подшипниковых узлов;
- поиску гибких помехоустойчивых волноводов концентраторов энергии спектральной мощности звукового диапазона, с целью проведения текущего экспресс-анализа состояния диагностируемых элементов в процессе эксплуатации на движущемся электровозе;
- формированию методики диагностики подшипниковых узлов тяговых двигателей с помощью индикаторов шума на движущемся электровозе;
- формированию схем методики для диагностики подшипниковых узлов тяговых двигателей с помощью спектроанализаторов аналогового типа и анализаторов на числовых интегральных микросхемах;
- разработке стенда для проверки методики виброакустической диагностики в лабораторных условиях;
- формированию рекомендаций по повышению надежности подшипниковых узлов тяговых двигателей с помощью аппаратурной диагностики.

Список литературы

1. Матюшкова О.Ю., Тэттэр В.Ю. Современные методы виброакустического диагностирования // Омский научный Вестник. – 2013. – № 3 (123). – С. 294-299.
2. ГОСТ Р 55045-2012 Национальный стандарт Российской Федерации . Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Термины, определения и обозначения – М.: Стандартинформ, 2013. – 37 с.
3. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 463 с.
4. Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. – М.: Связь, 1980. – 248 с.

Сведения об авторе:

Летихова Виктория Анатольевна – к.т.н., доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», ЮРГПУ (НПИ), г. Новочеркасск.