

ДИАГНОСТИКА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ: ВИБРАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ

Бондарева Т. О.

Кафедра программного обеспечения информационных технологий, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: tatyana.bondareva.2016@mail.ru

В данной статье приведена информация о современных подходах к анализу вибрационных сигналов и их сравнительный анализ. Приводится описание таких методов как спектральный анализ Фурье, вейвлет-анализ, Гильберта-Хуанга и поднимается проблематика их ограничений.

ВВЕДЕНИЕ

В ходе решения задач обеспечения надежности эксплуатации промышленного оборудования и предотвращения возникновения аварийных ситуаций отдельным направлением технической диагностики в анализе машин и механизмов, использующих роторные двигатели, является вибродиагностика.

В силу того, что основной задачей технической диагностики является обнаружение и поиск (указание местоположения) дефектов, то существенным преимуществом вибродиагностики является ее способность выявлять основные типы дефектов оборудования: дисбаланс, несоосность и непараллельность валов, жесткость и ослабление опор, обрыв анкерных болтов, нарушение геометрии линии вала, а так же различные дефекты подшипниковых узлов, включая проблемы со смазкой. Поэтому вибродиагностика используется в автоматизированном мониторинге в режиме реального времени.

I. О ВИБРАЦИИ

Вибрация – это сложный колебательный процесс, возникающий при периодическом смещении центра тяжести какого-либо тела от положения равновесия, а также при периодическом изменении формы тела по сравнению с той, какую оно имеет при статическом состоянии[1].

Производственная вибрация возникает в результате механического колебания работающих машин, движения жидкостей и других неуравновешенных воздействий. Такие вибрационные сигналы имеют кусочно-непрерывную структуру, представляющую собой последовательность чередующихся во времени квазистационарных и нестационарных вибрационных процессов, соответствующих различным режимам работы объекта.

II. МЕТОДЫ ОЦЕНИВАНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

С учетом природы вибросигнала в настоящее время для оценивания параметров многокомпонентных вибрационных сигналов используются следующие методы:

- преобразования Фурье;
- вейвлет-преобразования;
- преобразование Гильберта-Хуанга.

1. Преобразования Фурье – это математическая модель, которая преобразует форму сигнала во временной области в отдельные компоненты синусоидальной волны в частотной области. Частотно-временной анализ сигнала позволяет получить совмещенную частотно-временную картину характеристик сигнала.

При исследовании непрерывного спектра обычно невозможно сказать, принадлежит ли он случайному сигналу или переходному. Это ограничение присуще частотному анализу Фурье, поэтому, сталкиваясь с непрерывным спектром полезно изучить его временную реализацию. Применительно к анализу вибрации машины, это позволяет отличить удары, имеющие импульсные временные реализации, и случайный шум, вызванный, например, кавитацией.

Основным ограничением преобразование Фурье является его не применимость для нестационарных сигналов. Чтобы обойти ограничения анализа во временной области, применяют частотный, или спектральный, анализ вибрационного сигнала. Однако спектральный анализ не дает информацию о локализации частоты в пространстве или во времени.

В связи с этим Фурье-анализ хорош для анализа стационарных процессов, а при нестационарности принято привлекать вейвлет-преобразование и преобразование Гильберта-Хуанга, имеющие разную суть.

2. Основная идея вейвлет-анализа заключается в том, чтобы для поиска локальной особенности использовать разложение по функциям, похожим на искомую особенность, то есть также хорошо локализованным. Такой подход предполагает представление функции одной координаты в виде функции двух координат – пространственной и масштабной.

Поскольку вейвлет-анализ дает не только информацию о спектральном составе исследуемого процесса, как анализ Фурье, но также и информацию об изменении спектрального состава во времени или пространстве, то он нашел применение в первую очередь при анализе нестационарных процессов.

3. Преобразование Гильберта-Хуанга – метод эмпирической модовой декомпозиции нелинейных и нестационарных процессов и Гильбертов спектральный анализ. Преобразование Гильберта-Хуанга представляет собой частотно-временной анализ сигналов и не требует априорного функционального базиса преобразования. Функции базиса получаются адаптивно непосредственно из данных процедурами отсеивания функций «эмпирических мод». Мгновенные частоты вычисляются от производных фазовых функций Гильбертовым преобразованием функций базиса. Заключительный результат представляется в частотно-временном пространстве[2].

Реализация преобразования Гильберта-Хуанга состоит из двух этапов[3–4]:

- Выполняется эмпирическая модовая декомпозиция, в результате которой исходный сигнал разлагается на ряд компонент, которые называются эмпирическими модами;
- В полученному разложению применяются преобразование Гильберта.

Преобразование Гильберта-Хуанга может быть использовано для анализа вибрационных сигналов различной природы, в том числе и нестационарных. Также имеет хорошее разрешение по частоте и времени, что позволяет достаточно точно опреде-

лять момент появления или исчезновения определенных частотных составляющих.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанные выше методы сведены в Таблицу 1 по следующим критериям: наличие ограничения по стационарности, необходимость предварительного преобразования, необходимость предварительных расчетов параметров и сравнительная визуализация сигнала с кратковременным возмущением.

Из таблицы следует вывод о возможности сокращения временных затрат на анализ вибрационных сигналов путем использования алгоритма Гильберта-Хуанга. Преобразование Фурье и вейвлет-преобразование требуют для своей реализации базиса разложения, что несколько ограничивает их применение. В свою же очередь преобразование Гильберта-Хуанга может быть использовано для анализа вибрационных сигналов различной природы, не требуя для своей реализации выбора функционального базиса разложения, так как он формируется из самих данных.

1. Основы измерения вибрации [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – Режим доступа http://www.vibration.ru/osn_vibracii.shtml
2. The Hilbert-Huang transform and its applications / editors, Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 5 Toh Tuck. Link, Singapore 596224
3. Алимуратов, А.К. Повышение точности измерения частоты основного тона на основе оптимизации процесса декомпозиции речевых сигналов на эмпирические моды / А.К. Алимуратов, Ю.С. Квитка // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2018. – № 4(26). – С. 53–65.
4. Кан, Ш.Ч. Анализ нестационарных сигналов на основе преобразования Гильберта-Хуанга / Ш.Ч. Кан, А.В. Микулович, В.И. Микулович // Информатика. – 2010. – № 2. – С. 36–47.

Таблица 1 – Анализ преимуществ и недостатков Вейвлет-преобразования, преобразования Фурье и Гильберт-Хуанга преобразования

	Преобразование Фурье	Вейвлет-преобразование	Преобразование Гильберта-Хуанга
Наличие ограничения по стационарности	подходит только для стационарных сигналов;	ограничений нет	ограничений нет
Необходимость предварительного преобразования	необходимо преобразования исходного сигнала с помощью преобразования Фурье	необходимо преобразования исходного сигнала с помощью вейвлет-преобразования	необходимо разложение исходного сигнала на моды
Необходимость предварительных расчетов параметров	необходим базис разложения	необходим предварительный выбор типа вейвлета и центральной частоты его частотной характеристики	предварительные расчеты не требуются
Визуализация сигнала с кратковременным возмущением			