

ЧАСТОТНО-ВРЕМЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ИМПУЛЬСОВ

Марукян В.М., Фаерман В.А.

Томский политехнический университет
faermanvlad@mail.ru

В настоящее время, техническая диагностика является одной из основных задач неразрушающего контроля [1]. В зависимости от типов обследуемых объектов находят применения различные методы контроля, такие как акусто-эмиссионный, электро-магнитный, оптоволоконный. Однако наиболее широкое распространение при решении задачи диагностики машин вращения получил вибрационный метод, в связи с его относительной простотой и доступностью оборудования [1, 2].

В основе вибрационной диагностики машин вращения лежит известная взаимосвязь между техническим состоянием устройства и производимыми им механическими колебаниями. Данная взаимосвязь находила применение для диагностики со времен эксплуатации первых машин. Однако, обследования устройств производились с целью выбора оптимальных конструкторских решений на этапе разработки машины и не имели широкого распространения, что объяснялось низкой точностью и большой трудоемкостью измерения вибрации, с использованием простейших оптических средств [2].

В последние десятилетия, благодаря появлению более совершенных и доступных датчиков колебаний и интенсивному развитию микропроцессорной техники, исследование вибрации стало значительно более простым и эффективным, что привело к расширению круга решаемых таким образом практических задач [3]. В настоящее время данный подход внесен в реестр методов неразрушающего контроля [1].

Стоит отметить, что в качестве основных информативных признаков сигнала вибрации при диагностике выступают его гармонические составляющие, определенные значения частот и амплитуд которых являются признаками дефектов [2]. Для выделения гармонических составляющих обычно применяется преобразование Фурье сигналов. Однако, вследствие того, что частотный интервал, в котором потенциально могут быть обнаружены признаки дефектов, достаточно широк, распознавание гармонических составляющих в смеси может представлять сложность при наличии интенсивных аддитивных шумов. Последнее накладывает ограничения на возможность эффективного решения задачи извлечения информативных признаков вибрации посредством спектрального анализа [4].

В некоторых случаях, информацию о наличии дефектов или о режимах работы машин могут нести периодические импульсы. Особенностью сигналов подобного рода является невозможность их исследования лишь методами спектрального анализа. Последнее обуславливается тем, что форма импульсных сигналов определяется комплексной огибающей спектра [5], в то время как период зависит от количества не нулевых частотных отсчетов [5]. Таким образом, основываясь лишь на частотной полосе, в которой сосредоточен спектр сигнала не представляется возможным определить периодичность его импульсов. На рисунке 1 представлен примерный вид огибающей амплитудного спектра периодического импульсного сигнала и соответствующая форма импульсов. Как отмечалось выше, вне зависимости от периодичности импульсов, огибающая не будет изменяться.

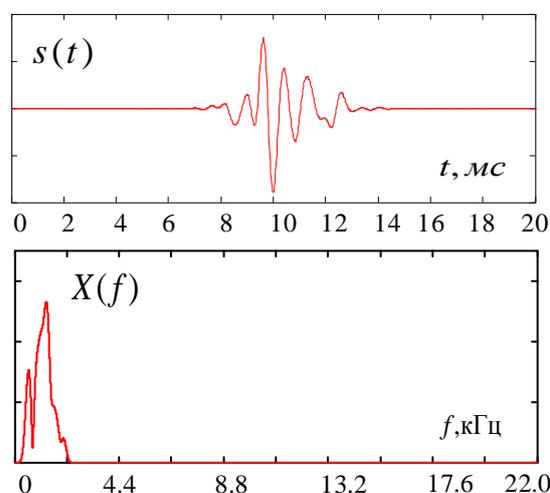


Рисунок 1 – Форма импульса (сверху) и огибающая амплитудного спектра (снизу)

Для анализа периодических импульсных сигналов различной, в том числе сложной формы, а также для выделения слабых гармонических составляющих находит применение корреляционный анализ [6].

В связи с тем, что одинаковые импульсы периодически повторяются, на коррелограмме появляются выраженные пики по положению которых может быть определена периодичность импульсов. Для этого достаточно измерить разницу во времени появления двух соседних пиков.

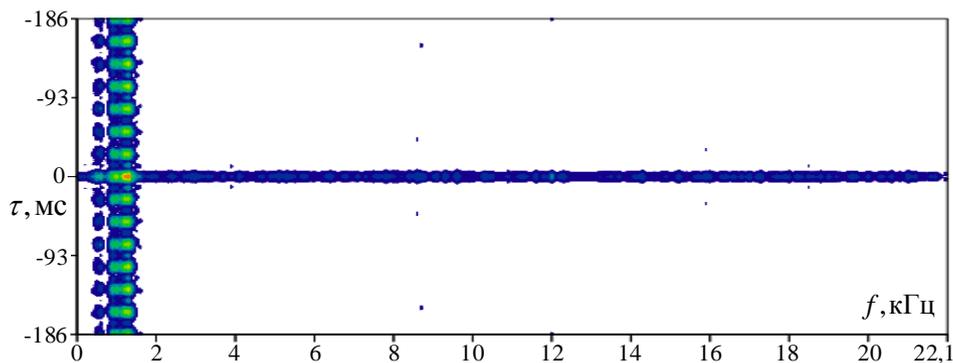


Рисунок 2 - График частотно-временной автокорреляционной функции периодического сигнала

Недостатком метода основанного на исследовании автокорреляционных функций сигналов является трудность получения информации о спектральных характеристиках сигнала. При этом данная проблема не всегда может быть решена путём одновременного непосредственного применения как спектрального, так и корреляционного методов [7]. Последнее обусловлено отсутствием очевидной связи между спектральной характеристикой и автокорреляционной функцией сигнала, в особенности если информативная составляющая является широкополосной, а в смеси присутствует интенсивный аддитивный шум.

В качестве решения может быть использован подход, основанный на применении математического аппарата частотно-временного корреляционного анализа. В качестве примера далее рассматривается исследование периодического импульсного сигнала, огибающая спектра которого приведена выше. Синтез сигналов производился в Mathcad в соответствии с [8]. Параметры исследуемого сигнала представлены в таблице.

Таблица. Параметры тестового сигнала

Параметр	Значение
Длительность импульса, мс	8
Период, мс	26,54 мс
Границы спектра, Гц	250..2250
Шум	Отсутствует

Графическое изображение частотно-временной автокорреляционной функции приведено на рисунке 2. Яркие цвета (зелёный, жёлтый, красный) соответствуют высоким значениям функции, белый цвет – низким.

Как отмечалось, по виду частотно-временной автокорреляционной функции сигнала, могут быть определены период следования импульсов и их частотные границы. В частности, для определения периода следования импульсов достаточно вычислить отношения длительности временного интервала на котором определена функция к количеству выраженных корреляционных пиков. Для рассматриваемого примера

$$T_{\text{имп}} = 372/14 = 26,57 \text{ мс.}$$

Точность оценки периода оказывается значительно более низкой в том случае, если число импульсов попадающих на рассматриваемый временной интервал не является целым. Однако путём увеличения ширины окна преобразования Фурье представляется возможным обеспечить достаточную точность оценки.

Список использованных источников

1. Каневский И.Н., Сальникова Е.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пос. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
2. Петрухин В.В. Основы вибродиагностики и средств измерения вибрации: Учебн. пособие. / Петрухин В.В., Петрухин С.В. – М.: Изд-во Инфраинженерия, 2010 – 176 с.
3. Фаерман В.А. Структурные и функциональные особенности современных вибродатчиков / В.А. Фаерман, П.С. Степанцов, В.С. Аврамчук: Сб. трудов. XI межд. научно-практ. конференции «Молодёжь и современные информационные технологии». – Томск. – 2013. – С. 221-223.
4. Фаерман В.А., Аврамчук В.С. Общие принципы контроля машинного оборудования: сб. трудов XI межд. научно-практ. конференции «Молодёжь и современные информационные технологии». – Томск. - 2013. - С. 223-225.
5. Радиотехнические цепи и сигналы. Задачи и задания / учеб. для вузов / под ред. проф. А.Н. Яковлева. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 348 с.
6. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход: 2-е изд.: пер. с англ. – М.: Вильямс, 2004. – 992 с.
7. Аврамчук В.С., Казьмин В.П. Анализ сигналов вибрации двигателя внутреннего сгорания // Известия Томского политехнического университета. - 2013. – Т. 323. - № 5. – С. 69-73.
8. Марукян В.М., Фаерман В.А. Генерация периодических сигналов с заданной локализацией спектра в ППП Mathcad: сб. трудов XII всеросс. научно-практ. конференции. – Томск. – 2015. – 251 с