

АНАЛИЗ ВИБРАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ МЕТОДОМ РАЗЛОЖЕНИЯ НА ПЕРИОДИЧЕСКУЮ И ШУМОПОДОБНУЮ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

Бранцевич П. Ю., Леванцевич В. А., Кулик А. В.
Кафедра программного обеспечения информационных технологий,
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: branc@bsuir.edu.by, lvn@bsuir.by

Обоснована актуальность контроля вибрационного состояния технических объектов. Анализируются технические средства виброконтроля. Предлагается метод анализа вибрационных сигналов, основанный на его декомпозиции в виде периодической и шумоподобной компонент, определении их параметров и выявления вибрационных всплесков и возмущений.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших параметров, характеризующих состояние технических объектов, являются параметры вибрации. Мониторинг параметров вибрации позволяет выявлять изменения состояния наблюдаемых механизмов и агрегатов в ходе их эксплуатации при изменении режимов работы и нагрузок. Однако этого недостаточно для решения задач технической диагностики и прогнозирования. Если стоит задача создания системы проактивного технического обслуживания оборудования, то возникает потребность тщательного изучения изменений вибрационного состояния технических объектов на разных режимах работы в течение их эксплуатации, обнаружения редких кратковременных изменений структуры вибрационного сигнала и выявления причинно-следственных связей между их появлением и развитием дефектов. Для этого осуществляется регистрация и анализ непрерывных вибрационных сигналов, отражающих состояние объекта, на протяжении длительных временных интервалов (часы и даже сутки) [1].

1. АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Для решения задач по улучшению вибрационного контроля, мониторинга, оценки технического состояния турбоагрегатов Белорусской энергосистемы лабораторией «Технической диагностики» НИЧ БГУИР была предложена концепция построения компьютерных измерительно-вычислительных комплексов (ИВК). Компьютер является основным элементом такого ИВК, а его функциональность определяется программным обеспечением, разрабатываемым под конкретные производственные задачи и достаточно просто модифицируемым при изменении или расширении функциональных требований. Для преобразования аналоговых сигналов в цифровые используется универсальный модуль АЦП, подключаемый на стандартную шину компьютера и передающий данные в компьютер в режиме реального масштаба времени. На входы АЦП могут подключаться

выходы любых первичных информационных каналов, которые преобразуют изменения физических величин в электрический сигнал тока или напряжения [2].

Предложена структура ИВК для работы в режиме реального времени с групповым переключением каналов для многооточечного контроля многоопорного механизма или агрегата. Разработано несколько модификаций ИВК серии «Лукомль».

Проводя анализ формы вибрационных сигналов, отражающий интенсивность механических колебаний корпусных элементов механизмов роторного типа, функционирование которых предполагает вращательное движение, и их амплитудных спектров, можно заметить, что в большинстве случаев такие вибрационные сигналы содержат периодическую компоненту, состоящую из гармоник, кратных частоте вращения, и некоторую шумоподобную составляющую.

II. РЕАЛИЗАЦИЯ

С целью более детального исследования предлагается представить исходный вибросигнал в виде суммы периодической и шумоподобной составляющих [3]:

$$x(nt) = p(nt_d + s(nt_d)) = \sum_{m=1}^L A_m \cos(2\pi\kappa_m f_0 n t_d - \phi_m) + s(nt_d), \quad (1)$$

где $p(nt_d)$ – периодическая составляющая вибрационного сигнала;

$s(nt_d)$ – шумоподобная составляющая вибрационного сигнала;

n – номер дискретного отсчета, $n = 0, 1, 2, \dots$;

t_d – интервал дискретизации;

f_0 – частота вращения приводного вала (оборотная частота);

κ_m – кратность m -й гармоники, включенной в периодическую составляющую, относительно f_0 ;

A_m, f_m, ϕ_m – амплитуда, частота, начальная фаза m -й гармоники, $f_m = \kappa_m f_0$;

L – число гармоник, выбранных для периодической составляющей вибросигнала.

Кратность гармоник, входящих в состав периодической составляющей вибросигнала, определяется с учетом параметров подшипников, зубчатых передач, схемы редуктора контролируемого узла и его других конструктивных особенностей. Если точно известна частота f_0 , то амплитуда и начальная фаза m -й гармоники легко вычисляются с помощью дискретного преобразования Фурье, причем количество дискретных точек преобразования выбирается таким, чтобы интервал анализа был кратным (в рамках возможностей интервала дискретизации) периоду f_m . Когда частота f_0 известна, периодическая составляющая сигнала $p(nt_d)$ вычисляется по формуле первого слагаемого выражения (1), а шумоподобная составляющая находится как:

$$s(nt_d) = x(nt_d) - p(nt_d).$$

После разделения вибрационного сигнала на полигармоническую и шумоподобную составляющие определяются параметры каждой из составляющих в отдельности. На рисунке 1 показан исходный вибрационный сигнал, отражающий вибрационное состояние подшипниковой опоры генератора, его периодическая и шумоподобная составляющие. 1.

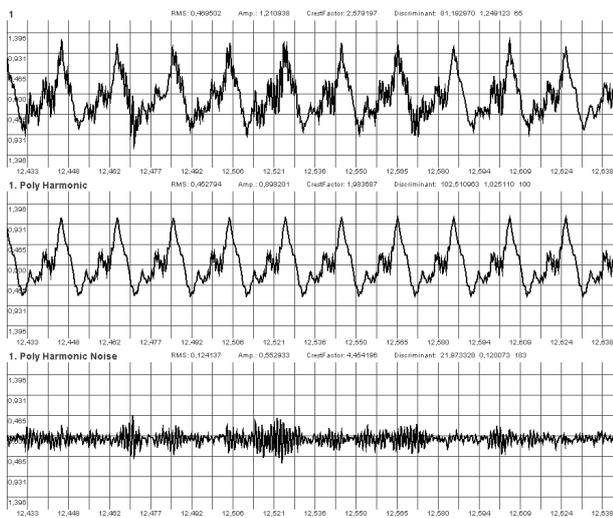


Рис. 1 – Исходный вибросигнал подшипниковой опоры генератора и ее периодическая и шумоподобная составляющие.

В качестве вибрационного всплеска или возмущения можно признать превышение шумоподобной составляющей вибрационного сигнала по абсолютной величине некоторого порогового уровня a_p . Уровень a_p определяется для нормального вибрационного состояния контролируемого объекта на временном интервале, соответствующем

4 – 8 оборотам ротора (вала). Можно предложить следующую формулу для его вычисления:

$$a_p = k_e \cdot a_{RMS} PF,$$

где k_e – повышающий коэффициент, выбирается большим единицы с учетом однородности шумоподобной составляющей;

a_{RMS} – СКЗ шумоподобной составляющей;
 PF – пик-фактор шумоподобной составляющей.

Если принять значение $k_e = 1,5$, то для рассматриваемой ситуации: $a_p \approx 12$.

На рисунке 2 показан исходный вибрационный сигнал, его периодическая и шумоподобная составляющие.

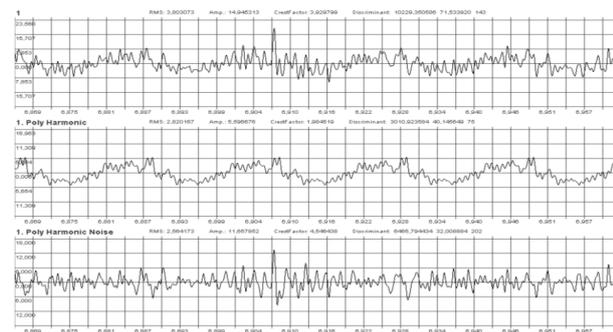


Рис. 2 – Исходный вибросигнал и его периодическая и шумоподобная составляющие в единицах вибро-ускорения при обнаружении возмущений путем сравнения с уровнем, равным $12m/c^2$.

Сравнивая абсолютные значения шумоподобной составляющей с уровнем всплеска a_p и, обнаруживая превышения этого уровня, локализуются моменты всплесков и ударов, присутствующих в исходном сигнале.

III. ВЫВОДЫ

Использование предложенного метода разложения вибросигналов на периодическую и шумоподобную составляющие позволяет сделать предположение, что изменения параметров периодической составляющей – следствие достаточно существенного изменения технического состояния объекта, а локальные изменения шумоподобной составляющей – это проявление зарождающихся дефектов.

IV. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Неразрушающий контроль. Справочник. Том 7. Книга Вибродиагностика /Ф.Я. Балацкий и др. М.: Машиностроение, 2005. – 485 с.
2. Бранцевич, П. Ю. Компьютерные системы и комплексы обработки вибрационных сигналов / П. Ю. Бранцевич. – Минск: Бестпринт, 2023. – 282 с.
3. Бранцевич, П. Ю. Цифровая обработка вибрационных сигналов / П. Ю. Бранцевич. – Минск: Бестпринт, 2022. – 297 с.