

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГИЛЬБЕРТА-ХУАНГА

Бондарева Т.О., Пикиреня П.И., Леванцевич В.А

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Леванцевич В.А., м.т.н., ст. преподаватель

Рассмотрены классические способы анализа вибрационных сигналов. Указаны их основные недостатки. Исследуется возможность применения преобразования Гильберта-Хуанга для анализа вибросигналов. Разработан прототип программного средства, который выполняет декомпозицию исходного вибросигнала на эмпирические моды.

В настоящее время для обработки вибрационных сигналов в большинстве случаев применяются методы спектрального анализа, основанные на дискретном преобразовании Фурье, сущность которого состоит в том, что исходный сигнал во временной области, раскладывается на гармонические составляющие во временной области [2]. Однако существуют некоторые ограничения спектрального Фурье-анализа: исследуемая система должна быть линейной; анализируемые данные должны быть или периодическими или стационарными, т.е. амплитуда и частота отдельных составляющих сигнала должны быть постоянны во времени. Значительное количество реальных систем не удовлетворяют этим требованиям,

Недостатки спектрального преобразования могут быть частично устранены использованием вейвлет-преобразования, которое представляет собой свертку исследуемого сигнала с базисной вейвлет-функцией [2]. Основная проблема вейвлет преобразования-это выбор базисной функции.

Основой преобразования Гильберта-Хуанга является эмпирическая модовая декомпозиция исследуемого сигнала, в результате которой исходные данные разлагаются на ряд компонент, которые называются эмпирическими модами, а затем к полученному разложению применяется преобразование Гильберта [3].

Для реализации эмпирической модовой декомпозиции на первом этапе необходимо определить все максимальные и минимальные значения исследуемого вибросигнала $y(t)$.

На втором этапе по полученным минимальным и максимальным значениям строится верхняя и нижняя огибающие $Y_{max_i}(t)$ и $Y_{min_i}(t)$. Для построения огибающей, как правило, используются кубические сплайны.

На третьем этапе вычисляется среднее значение огибающих по формуле:

$$m_1(t) = \frac{Y_{max_i}(t) + Y_{min_i}(t)}{2} \quad (1)$$

На четвертом этапе определяется первое приближение к первой функции эмпирической моды сигнала $y(t)$:

$$h_1(t) = y(t) - m_1(t) \quad (2)$$

На следующей итерации, принимая вместо функции $y(t)$ функцию $h_1(t)$ и повторяя этапы с первого по четвертый, находим второе приближение к первой функции моды $h_2(t)$. Аналогичным способом находим следующие приближения к первой функции моды. Итерации продолжают до тех пор, пока нормализованная квадратичная разность между двумя приближениями $h_{i-1}(t)$ и $h_i(t)$, не станет меньше некоторого предельного значения:

$$\alpha = \sum_{i=0}^T \left(\frac{(h_{i-1}(t) - h_i(t))^2}{h_{i-1}(t)} \right) \quad (3)$$

Последнее значение $h_i(t)$ представляет первую эмпирическую моду $c_1(t) = h_1(t)$. Далее первая эмпирическая мода вычитается из исходного сигнала:

$$y(t) - c_1(t) = r_1(t) \quad (4)$$

Для получения второй эмпирической моды над остатком $r_1(t)$ так же выполняются этапы преобразования с первого по четвертый. Просуммировав полученные значения $c_i(t)$ и последний полученный остаток $r_n(t)$, который может быть трендом или постоянной составляющей сигнала, получим разложение $y(t)$ в виде

$$y(t) = \sum_{i=1}^n c_i(t) + r_n \quad (5)$$

Процесс определения новых эмпирических мод может быть остановлен в следующих случаях:

- сумма модовых функций, полученная по выражению (5) отличается от исходного сигнала на величину, которая не превышает заранее установленного значения;
- остаточная функция $r_n(t)$ становится монотонной функцией без экстремумов.

Для анализа вибрационных сигналов с помощью преобразования Гильберта-Хуанга было разработано программное средства, которое позволяет проводить эмпирическую модовую декомпозицию вибрационных сигналов, отображать исходный сигнал и полученные моды (рисунок 1).

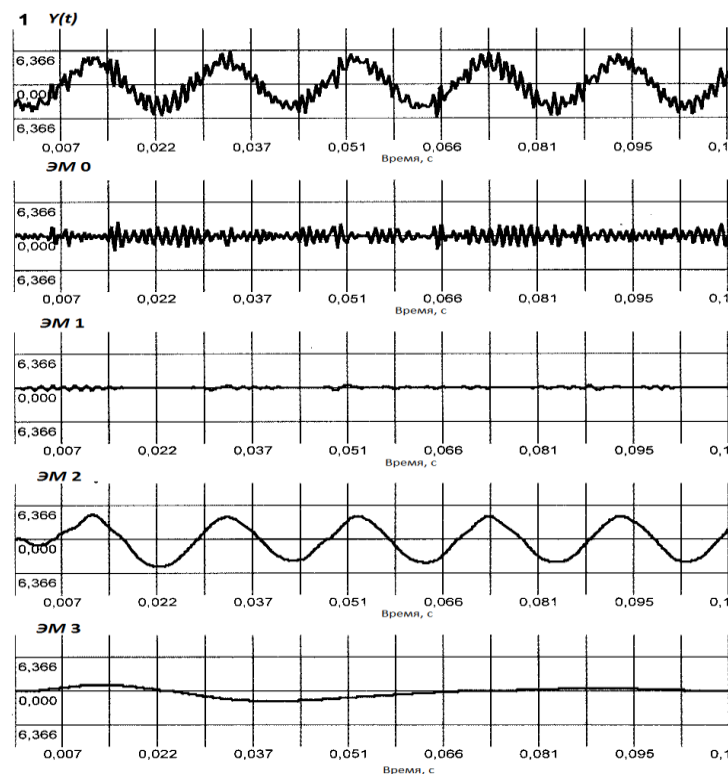


Рисунок 1 - Результат работы программного средства

На рисунке видно, что нулевая мода ЭМ 0 представляет собой наиболее высокочастотную часть сигнала, оставшиеся моды ЭМ 1 – ЭМ 3 отражают низкочастотную часть сигнала.

Выводы. Преобразование Гильберта–Хуанга позволяет определить зависимость амплитуды и частоты составляющих модовых функций сигнала от времени, что позволяет применить его для анализа нелинейных и нестационарных данных.

Список использованных источников:

1. Бранцевич, П.Ю. Применение разложения вибрационных сигналов на периодическую и шумоподобную составляющие. / П.Ю. Бранцевич, В.Э. Базаревский, С.Ф. Костюк // *Механика 2011: сб. науч. тр. V Белорусского конгресса по теорет. и прикладной механике*, Минск, 26–28 окт. 2011 г.:
2. Бурнаев Е.В. Применение вейвлет преобразования для анализа сигналов: Учебно-методическое пособие – М.: МФТИ, 2007, 138 с.
3. The empirical mode decomposition method and the Hilbert spectrum for non-stationary timeseries analysis / N.E. Huang [et al.] // *Proc. R. Soc. Lond.* – 1998. – A454. – P. 903–995