

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕГИСТРОГРАММ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Семенова Л.А., канд. техн. наук, доцент, Тавтилов Р.И.
Оренбургский государственный университет

Параметрическая идентификация сигналов производится с целью выявления и анализа их параметров, фильтрации помех типа шума от сигнала, разделения многокомпонентных сигналов, устранения искажений, вызванных несовершенством канала передачи или погрешностями измерения и т.п.

Для электроэнергетических систем (ЭЭС) параметрическая идентификация регистрограмм может быть использована для выявления низкочастотных колебаний (НЧК) мощности, являющихся одной из основных проблем надежности и функционирования энергосистем во всем мире. Наличие таких колебаний может ограничить режим работы системы, приводя к сокращению перетоков мощности и к широкомасштабным технологическим нарушениям. Если эти колебания плохо демпфируются, то раскачивание системы может привести к каскадному отключению линий электропередач и генераторов и вызвать значительные нарушения электроснабжения потребителей.

Регистрограммы процессов, протекающих в энергосистеме, могут быть описаны аддитивной функцией [1]:

$$f(t) = f_T(t) + f_N(t) + f_R(t), \quad t \in [0, T] \quad (1)$$

где $f_T(t)$ – медленная нерегулярная составляющая – тренд, обусловленный систематическим изменением наблюдаемого параметра в течение продолжительного времени;

$f_N(t)$ – близкие к регулярным колебания относительно тренда – низкочастотные, сезонные или суточными составляющие;

$f_R(t)$ – нерегулярные составляющие типа «белый» шум.

Корректное разложение регистрограмм на составляющие в соответствии с выражением (1) требует использования методов, позволяющих в реальном времени обеспечить адекватную с определенной степенью точности их параметрическую идентификацию по частоте и амплитуде.

Сравнительный анализ методов, применяемых в настоящее время для параметрической идентификации сигналов [1-8] позволил разбить их на три условные группы, в зависимости от характера изменения сигнала во времени с учетом его линейности или нелинейности:

- I группа методов предназначена для исследования линейных и стационарных процессов;
- II группа методов предназначена для исследования линейных и нестационарных процессов;
- III группа методов предназначена для исследования нелинейных и нестационарных процессов.

К первой группе отнесены методы, использующие преобразование Фурье [2, 3]. Достоинство этих методов – законченная, «проработанная» теория. Основным недостатком является использование априорно заданного базиса (тригонометрических функций синуса и косинуса, меандровых функций Уолша), а также затрудненность получения информации о локализации во времени компонент регистрограмм.

Ко второй группе методов отнесены вейвлет-анализ, методы Вагнера-Вилла и Прони [4]. Достоинством этих методов является возможность анализа регистрограмм одновременно в области частот и в области времени (или пространственной переменной). К недостаткам отнесено использование априорно заданного базиса (вейвлеты Хаара, Добеши, Морле, Мейера и др.), что вносит дополнительную погрешность при параметрической идентификации регистрограмм.

К третьей группе отнесен эмпирический метод декомпозиции (EMD), позволяющий разложить регистрограмму на определенное число высоко- и низкочастотных составляющих посредством процесса, названного «отсеиванием» [5]. В результате декомпозиции исследуемая регистрограмма $f(t)$ может быть представлена:

$$f(t) = \sum_{i=1}^{N-1} c_i(t) + r_N(t) \quad (2)$$

где $c_i(t)$ – эмпирические модовые функции;

N – количество эмпирических мод, которое устанавливается в процессе разложения (отсеивания);

$r_N(t)$ – конечный остаток, представляющий собой тренд или константу.

Метод EMD – часть процесса преобразования Гильберта-Хуанга (ННТ), который состоит из двух главных компонентов: EMD и спектрального анализа Гильберта. Достоинствами метода является формирование адаптивного базиса разложения – эмпирических мод ($c_i(t)$), а также, отсутствие предварительной обработки регистрограмм, связанной с их предварительной линеаризацией [6].

Проведенный сравнительный анализ методов выявил, что в качестве базового метода исследования нелинейных и нестационарных процессов, в том числе и регистрограмм, получаемых от объектов энергосистемы, следует рассматривать классический эмпирический метод декомпозиции [7].

Однако, как отмечено в работах [8, 9], при неравномерном распределении исходных (анализируемых) данных вдоль оси абсцисс или наличии в них погрешностей, использование интерполяции кубическими сплайнами в классическом алгоритме EMD может привести к некорректному разложению регистрограмм и, как следствие, выбору неадекватного управления демпфированием НЧК и нарушению статической устойчивости ЭЭС.

В связи с этим авторами выдвинута гипотеза о применении для параметрической идентификации регистрограмм B -сплайна, основным свойством которого является формирование кривой сглаженной формы, что

позволит нивелировать возможные погрешности, в том числе осцилляции модовых функций. В соответствии с вышеизложенным, целью дальнейшего исследования является разработка алгоритмической модели идентификации низкочастотных колебаний в электроэнергетических системах и ее программная реализация на основе B -сплайн разложения.

Список литературы

1. Гурский С. К. Адаптивное прогнозирование временных рядов в электроэнергетике / С.К. Гурский ; под ред. Р. И. Фурунжиева. – Минск : Наука и техника, 1983. – 271 с.

2. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко – СПб.: Питер, 2002. – 608 с. – ISBN 5-318-00666-3.

3. Вадутов, О. С. Математические основы обработки сигналов: учебное пособие / О. С. Вадутов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 212с.

4. Кривошеев, В. И. Современные методы цифровой обработки сигналов (цифровой спектральный анализ). Учеб. метод. пособие / В. И. Кривошеев. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2006. – 117 с.

5. Давыдов, В. А. Уменьшение краевых эффектов при выполнении эмпирической модовой декомпозиции сигналов преобразования Гильберта – Хуанга [Электронный ресурс] / В. А. Давыдов, А. В. Давыдов // Электронное издание «Актуальные инновационные исследования: наука и практика», 2011 – Режим доступа: <http://www.actualresearch.ru> (дата обращения: 15.10.2017)

6. Лазоренко, О. В. Системный спектральный анализ сигналов: теоретические основы и практические применения / О. В. Лазоренко, Л. Ф. Черногор // Радиофизика и радиоастрономия. – 2007. – т. 12. – №2. – С. 162-181.

7. Norden, E. Huang. The Hilbert-Huang transform and its applications/ - 2nd Edition / Norden E. Huang, Samuel S.P. Shen // Interdisciplinary Mathematical Sciences. Vol. 16. – World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2014. – 381 p.

8. Семенова, Л. А. B – сплайн разложение нелинейных сигналов в электроэнергетических системах / Л. А. Семенова // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. – №7. – С. 151-161.

9. Chen, Q. A B -spline approach for empirical mode decompositions/ Q. Chen, N. E. Huang, S. Riemenschneider, Y. Xu // Advances in Computational Mathematics. – 2006. – № 24(1-4). – P. 171-195.