

СГЛАЖИВАНИЕ И ОЦЕНКА ПРОИЗВОДНЫХ СИГНАЛОВ В УСТРОЙСТВАХ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ, ОСНОВАННОЙ НА ДАННЫХ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

¹А.В. Кириленко, ²И.М. Кац

^{1,2}Томский политехнический университет

¹ЭНИН, ЭСиЭ, группа 5АМ5Д

²ЭНИН, ЭЭС

Использование синхронизированных векторных измерений (СВИ) позволяет повысить надежность функционирования электроэнергетических систем за счет увеличения объема и достоверности данных, используемых для мониторинга электрических режимов, а также предоставляет возможность создавать принципиально новые устройства автоматики и противоаварийного управления (ПА) [1].

Зачастую, в различных устройствах ПА, таких как автоматика предотвращения нарушения устойчивости или автоматика ликвидации асинхронного режима и др. используется информация о взаимных углах между различными узлами в ЭЭС [2]. Использование систем СВИ позволяет организовать непосредственное измерение углов в различных точках ЭЭС и использовать их для реализации функций ПА [3].

Однако, данные, получаемые от СВИ, содержат не только полезные составляющие сигналов, но и случайные ошибочные значения (шумы) [4, 5], которые могут приводить к ложному и/или неселективному срабатыванию устройств ПА. Поэтому применение необработанных данных от СВИ для организации функционирования ПА является нежелательным.

Обработка данных СВИ, поступающих в режиме реального времени, может быть организована путем оконной фильтрации, т.е. для формирования значения последнего поступившего измерения учитываются несколько предшествующих измерений. При этом необходимо обеспечить максимально точную оценку полезного аналогового сигнала, породившего эти данные. Для решения этой задачи сегодня используется достаточно широкий набор алгоритмов. Однако все из используемых алгоритмов могут вносить искажения в информационную составляющую сигнала, а простота их реализации и требуемые вычислительные ресурсы значительно различаются друг от друга.

Одним из эффективных способов фильтрации и оценивания производных зашумленных временных рядов являются фильтры Савицкого-Голая [7], которые реализуют аппроксимацию с помощью метода наименьших квадратов полиномами n -й степени в окрестности каждого измерения. При этом используется m предшествующих точек от рассматриваемого измерения. Коэффициенты аппроксимирующего полинома зависят только от степени полинома k и числа точек m , учитываемых при аппроксимации, и не зависят от значений измерений.

При равноудаленных измерениях, могут быть использованы табулированные коэффициенты аппроксимирующих полиномов α_i для различных зна-

чений k и m [8]. Выражение для получения сглаженного значения или оценки производной временного ряда в точке:

$$Y_t = \frac{1}{\Delta t \cdot h} \sum_{i=0}^{m-1} a_i \cdot X_{t-1} \quad (1)$$

где Y_t – текущее значение оцененного временного ряда, X_t – текущее необработанное значение исходного временного ряда, Δt – шаг дискретизации значений, h – нормировочный коэффициент, a_i – коэффициент аппроксимирующего полинома.

Для оценки эффективности выбранного алгоритма фильтрации сигналов были использованы зависимости значения фаз напряжений по концам линии электропередачи при переходном процессе, вызванном двухфазным КЗ на землю на ЛЭП с успешным АПВ, полученные путем математического моделирования двухмашинной эквивалентной энергосистемы [3]. Шаг дискретизации составляет $\Delta t = 0.02$ с, что соответствует передачи данных СВИ со скоростью 50 сообщений в секунду [6]. На полученный сигнал был наложен Гауссовский шум с отношением сигнала к шуму равным 45 дБ [5].

Например, для сглаживания полиномом второй степени с шириной окна аппроксимации $m = 11$ точек были получены следующие результаты, приведенные на рис. 1.

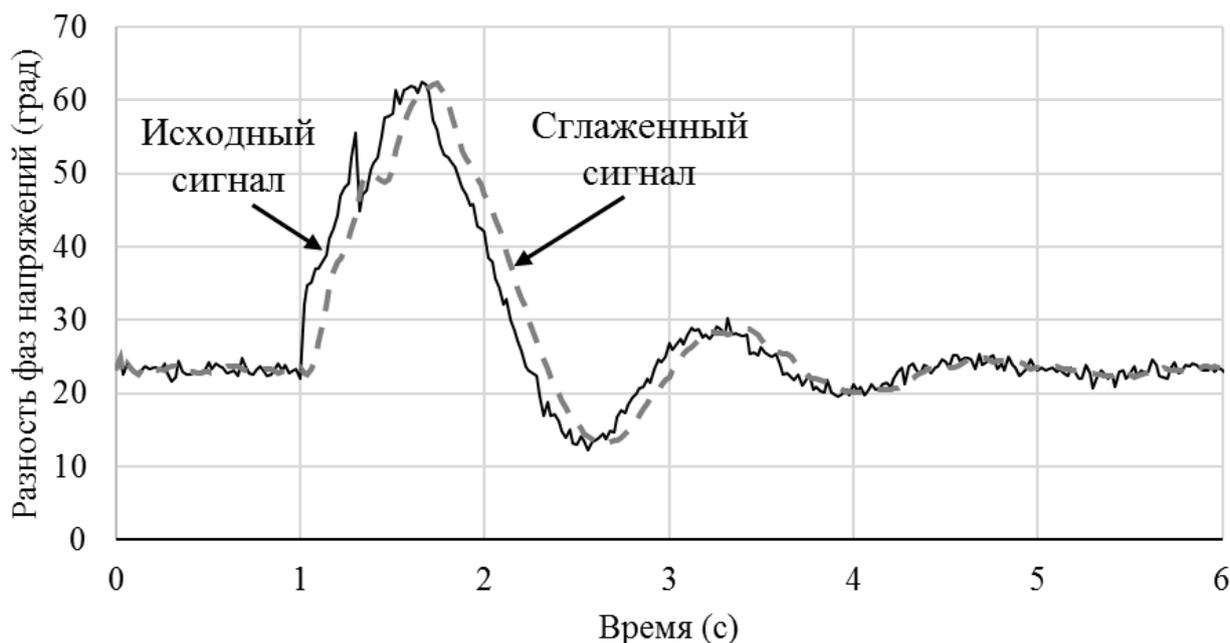


Рис. 1. Сглаживание полиномом второй степени для окна аппроксимации $m = 11$ точек

Результаты оценивания первой производной сигнала аналогичным полиномом приведены на рис. 2.

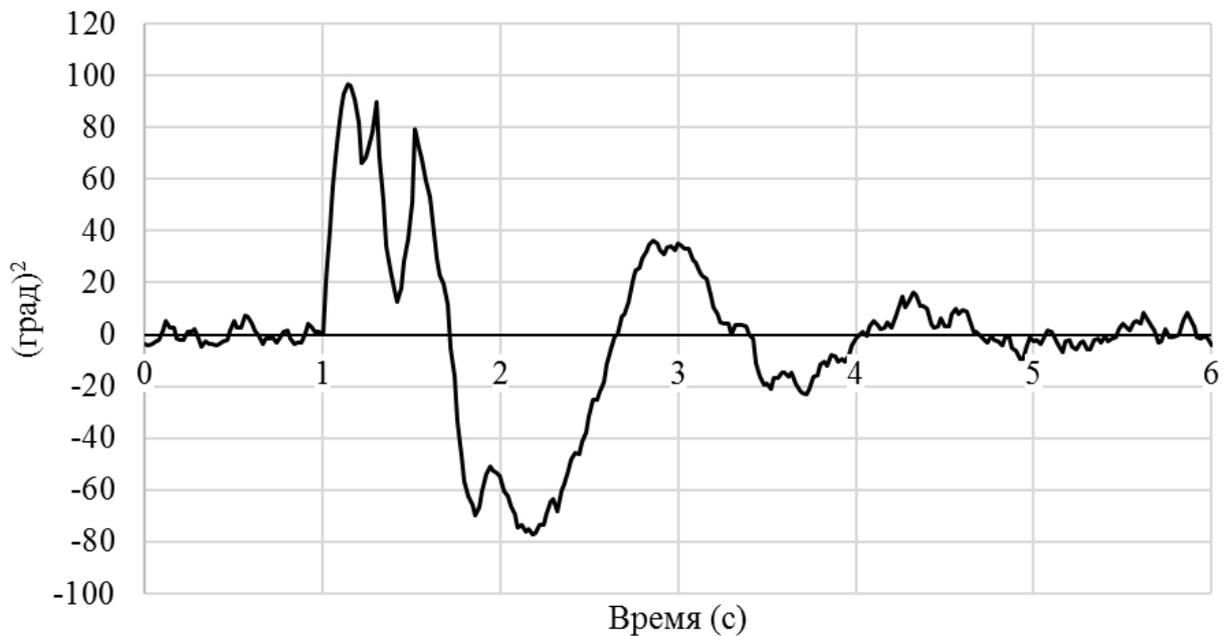


Рис. 2. Оценивание первой производной полиномом второй степени для окна аппроксимации $m = 11$ точек

Практическим примером использования полученных значений может быть получение траектории переходного процесса на фазовой плоскости, на основе которого можно сделать выводы об устойчивости переходного процесса в энергосистеме [2]. Пример построения фазовой траектории для значений, полученных с помощью фильтров Савицкого-Голая приведен на рисунке 3.

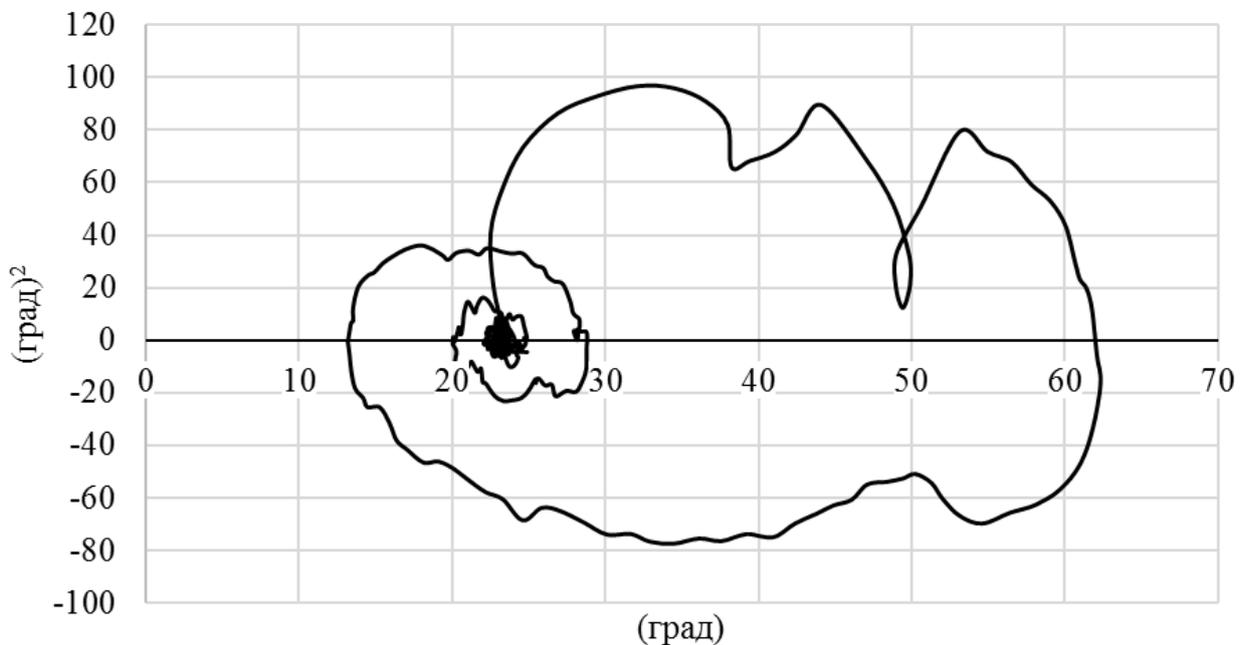


Рис. 3. Построение фазовой траектории переходного процесса

Как показали результаты исследований, фильтры Савицкого-Голая для дискретных сигналов с фиксированным шагом предоставляют хорошие сглаживающие способности при оценке сигналов и их производных, не внося значительных изменений в информационную составляющую по сравнению с дру-

гими фильтрами. Наличие табулированных коэффициентов аппроксимации обеспечивает простоту их реализации и небольшие вычислительные затраты.

Однако необходимо учитывать, что при оценивании данных в реальном времени появляется неизбежная задержка равная половине окна аппроксимации, что может быть недопустимо в некоторых задачах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Phadke, A.G., Thorp J.S. Synchronized Phasor Measurements and Their Applications. New York: Springer, 2008. – 247 p.
2. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е. и др. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1990. – 390 с.
3. Кириленко А.В., Кац И.М. Разработка алгоритма функционирования устройств автоматики ликвидации асинхронного режима на основе данных синхронизированных векторных измерений. // Сборник материалов «Электроэнергетика глазами молодежи – 2016». Казань, КГЭУ. – 2016.
4. Mahmood F., Hooshyar H. and others. Extracting Steady State Components from Synchrophasor Data Using Kalman Filters. Energies. – issue 9. – p. 315. – 2016.
5. Brown M., Biswal M. Characterizing and Quantifying Noise in PMU data. In Proceedings IEEE PES General Meeting. – 2016.
6. IEEE Standard for Synchrophasor Data Transfer for Power Systems / IEEE Std C37.118.2. New York: IEEE, 2011. – 43 p.
7. Savitzky, A.; Golay, M.J.E. Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. – Analytical Chemistry, 1964, v.36(8), p.1627–1639.
8. Savitzky-Golay Filter – Coefficients [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.statistics4u.info/fundstat_eng/cc_savgol_coeff.html – 17.09.2016

Научный руководитель: И.М. Кац, к.т.н., доцент кафедры ЭЭС ЭНИН ТПУ.

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОДСТАНЦИИ "БЕЛОЗЕРНАЯ"

В.А. Душечкин
Томский политехнический университет
ЭНИН, ЭЭС, группа 5А3Б

Белозёрная группа подстанций (ГПС) находится в Нижневартовском районе. Подстанции являются транзитными; передают энергию для нефтеперерабатывающих и газоперерабатывающих заводов, а также в населённые пункты.