

И. О. Оробей, канд. техн. наук, доц.;  
Д. А. Гринюк, канд. техн. наук, доц.;  
М. А. Анкуда, ст. преп., Н. М. Олиферович, ассист. (БГТУ г. Минск)

## **АДАПТИВНАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ИНФОРМАЦИИ ОТ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АВТОДИНА**

Схема автодина с параметрическим возбуждением представляет собой усилитель мощности, в котором энергия от изменения реактивного параметра преобразуется в энергию сигнала. Усиление в параметрическом усилителе происходит за счет внесения генератором накачки в сигнальный контур условного отрицательного сопротивления, которое зависит от амплитуды накачки. Обратная связь реализуется через подачу сигнала после усиления на управляющий электрод варикапа, который является частью колебательного контура. Данный генератор имеет параметрическую обратную связь с частотой накачки равной удвоенной частоте сигнала [1]. Поскольку шум является обратно пропорциональной величиной частоте сигнала, то подобное удвоение необратимо приводит к повышению соотношения полезного сигнала к шумовой составляющей, но целиком от нее не избавляет от шумовой составляющей.

Для обработки в режиме реального времени слабых сигналов с нестационарным характером шумов и помех в измерительной технике можно использовать цифровые адаптивные фильтры (АФ). Применение АФ актуально при использовании для обработки сигнала контроллеров с быстродействующим аналогово-цифровым преобразователем (АЦП). В существующих методах цифровой адаптивной фильтрации применяют фильтры скользящего среднего с изменяемыми весовыми коэффициентами, имеющие конечную импульсную характеристику (КИХ), причем весовые коэффициенты выбирают по вектору ошибки или невязки из перестраиваемой матрицы коэффициентов, рассчитывают на основе минимизации ошибок градиентным методом с поисковым определением компонент градиента или определяют методом наименьших квадратов. Фильтр с КИХ требует большого объема памяти для хранения усредняемых значений и матрицы весовых коэффициентов и имеет ограниченное возрастание точности с течением времени даже при соблюдении модельных и реальных значений сигнала и шума [2].

Сущность предложенного цифрового АФ основывается на использовании аналого-цифрового преобразования сигнала с последующей фильтрацией полученной цифровой последовательности с дополнительной локальной аппроксимацией некоторой длины временной последовательности квадратичной или линейной зависимостью и определением интегральных значений показателя скорости и ускорения. Полученные значения вместе с суммой квадратов отклонений позволяют спрогнозировать временной параметр для формирования выходного значения на данном такте измерения.

Данный способ можно отнести к методам локальной аппроксимации. Суть этого метода состоит в использовании скользящих локально-параметрических моделей, в качестве которых предлагается использовать линейную и квадратичную аппроксимации:

$$y(t) = c_1 + c_2 t$$

$$y(t) = d_1 + d_2 t + d_3 t^2$$

где

$$\begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_2 & w_1 \\ w_3 & w_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix};$$

$$\begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_3 & w_2 & w_1 \\ w_4 & w_3 & w_2 \\ w_5 & w_4 & w_3 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{pmatrix};$$

$$w_i = (t_1)^{i-1} + (t_2)^{i-1} + \dots + (t_N)^{i-1};$$

$$b_i = (t_1 x_1)^{i-1} + (t_2 x_2)^{i-1} + \dots + (t_N x_N)^{i-1}.$$

Данные уравнения является результатом применения метода наименьших квадратов и, в отличие от других весовых функций, не требует большого количества вычислений.

Для формирования выходного значения  $y_i$  может быть использовано любое значение времени  $t$  в диапазоне аппроксимации

$$t_k = [0 \quad \Delta t \quad 2\Delta t \quad \dots \quad (N-2)\Delta t \quad (N-1)\Delta t],$$

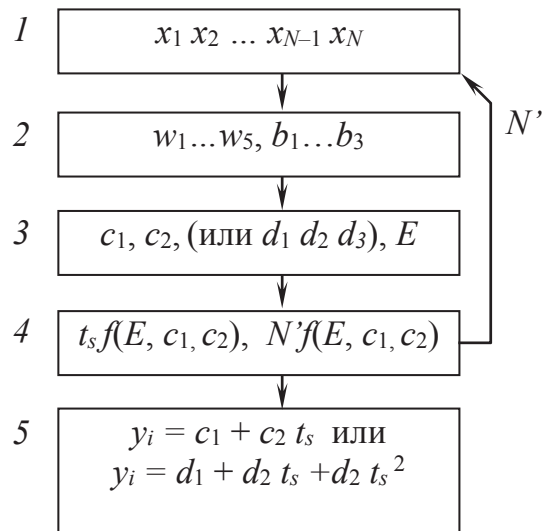
где  $\Delta t$  – время квантования.

В зависимости от величины  $N$  и особенности шумов,  $t_k$  имеет свое оптимальное значение. Проведенные исследования показали, что

$$E = |y_i(t_s) - y_s|,$$

имеет параболическую зависимость, минимум которой находится в первой половине диапазона аппроксимации, где  $y_i(t_s)$  – значение параметра в любой момент времени  $t = t_s$  в диапазоне аппроксимации  $t_k$ ,  $y_s$  – истинное значение параметра.

Функциональная схема АФ приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Автономная работа адаптации**

Работа адаптации предполагает проведение постоянных расчетов по линейной или параболической аппроксимации. Блок 1 запоминает требуемую длину последних значений отсчетов АЦП в соответствии с окном аппроксимации  $N$ , блок 2 производит расчет значений  $w_1 \dots w_5, b_1 \dots b_3$ , блок 3 производит расчет  $c_1, c_2$  (или  $d_1, d_2, d_3$ ) и вычисление величины дисперсии отклонения  $E$  значений от аппроксимированных кривых. Блок 4 позволяет осуществлять выбор между линейной и квадратичной аппроксимацией и их параметрами. Блок 5 реализует аппроксимацию.

Метод наименьших квадратов следит за адекватностью выбранного решения, поскольку минимизация данной суммы говорит и о минимальных отклонениях результатов аппроксимации от истинных значений контролируемого параметра. Эта особенность позволяет производить постоянное обучение фильтра под изменяющие условия и изменять функции  $t_s f(E, c_1, c_2), N' f(E, c_1, c_2)$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анкуда, М. А. Модель автодина с параметрическим возбуждением / М. А. Анкуда, И. О. Оробей // Труды БГТУ. - Минск : БГТУ, 2016. - № 6 (188) 2016 год. - С. 127-131
2. Фильтр с адаптацией по вероятностному критерию / И. О. Оробей [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 3, Физико-математические науки и информатика. - Минск : БГТУ, 2020. - № 1 (230). - С. 50-56