

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

ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ С ВЫХОДА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНОЧНЫХ СЕНСОРОВ

Датчики физических величин, работающие на промышленных объектах, подвержены влиянию внешних электромагнитных излучений (ЭМИ), приводящих к генерации шумов и искажению измерительного сигнала. Для получения от датчика информации с наименьшими искажениями от шумовой генерации необходимо отфильтровывать высокоамплитудные импульсные или тепловые помехи, вызванные различными внешними факторами.

Большинство цифровых электроизмерительных приборов состоит из следующих частей: измерительной цепи, выполняющей необходимые аналоговые преобразования измеряемой величины, аналого-цифрового преобразователя (АЦП) и дешифратора (ДС), в котором кодированный сигнал преобразуется в соответствующее число и затем отображается на цифровом индикаторе или дисплее (см. рис. 1). Как правило, все блоки цифрового измерителя починяются единому блоку управления.

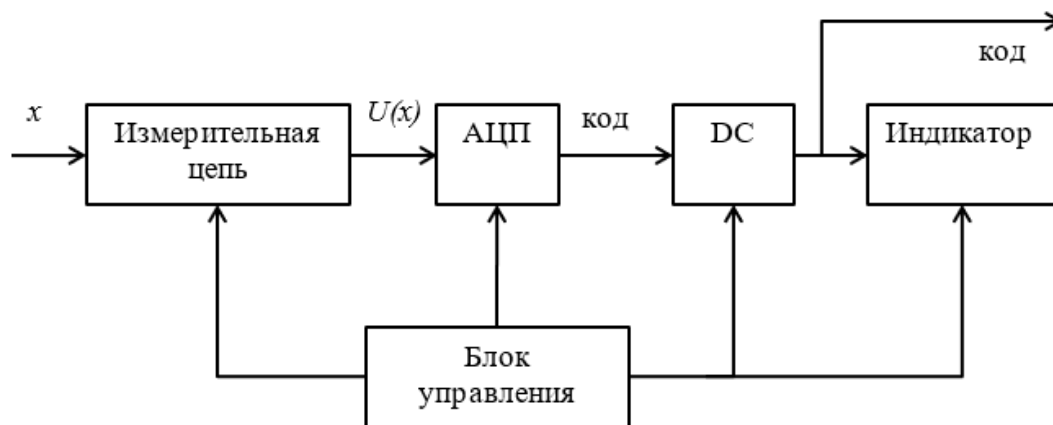


Рисунок 1 – Структура цифрового измерительного прибора

На этапе получения цифровой или аналоговой информации наиболее важным становится выделение полезного сигнала на фоне шумов, что реализуется с помощью различных схем фильтрации.

Традиционные методы фильтрации предъявляют высокие требования к вычислительным ресурсам, что накладывает некоторые ограничения на выбор фильтра и способы его реализации. В цифровых электроизмерительных приборах применяются цифровые филь-

тры (ЦФ), математически описываемых разностными уравнениями, в которых входная последовательность x_k преобразуется в выходную y_k [1]:

$$y(k) = \sum_{i=0}^{m-1} a_i \cdot x_{k-i} + \sum_{j=0}^{n-1} b_j \cdot y_{k-j}, \quad n = 0, 1, 2, 3 \dots$$

Целые числа m , n , определяют порядок ЦФ, а весовые коэффициенты a_i и b_j определяют передаточную функцию фильтра.

По виду разностного уравнения определяют два класса цифровых фильтров: нерекурсивные (НЦФ), в которых выходной параметр y_k определяется только значениями входной последовательности:

$$y_k = a_0 x_k + a_1 x_{k-1} + a_2 x_{k-2} + \dots + a_{m-1} x_{k-m+1} = \sum_{n=0}^{m-1} a_n x_{k-n}.$$

При прямой форме реализации НЦФ будет иметь структуру как на рис. 2.

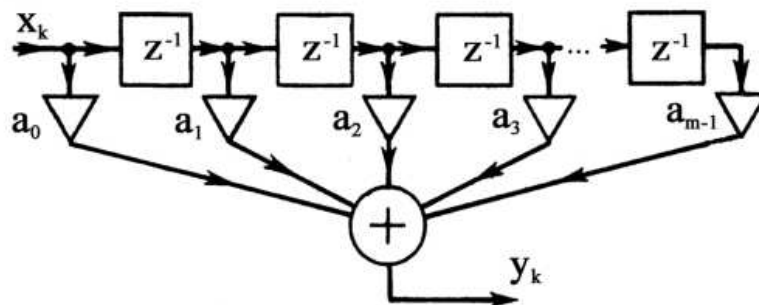


Рисунок 2 – Структура нерекурсивного цифрового фильтра

Рекурсивные (РЦФ), в которых выходной параметр y_k определяется как текущим значением x_k , так и предшествующими значениями входных и выходных последовательностей:

$$\begin{aligned} y_k &= a_0 x_k + a_1 x_{k-1} + a_2 x_{k-2} + \dots + a_{m-1} x_{k-m+1} + b_1 y_{k-1} + b_2 y_{k-2} + \dots \\ &\quad + b_{n-1} y_{k-n+1} = \\ &= \sum_{i=0}^{m-1} a_i \cdot x_{k-i} + \sum_{j=0}^{n-1} b_j \cdot y_{k-j}, \end{aligned}$$

причем коэффициенты $b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$, определяющие рекурсивную часть алгоритма фильтрации, не равны нулю одновременно.

Существует значительное число различных форм реализации рекурсивных фильтров. Прямая форма соответствует непосредственной реализации фильтра как на рис. 2

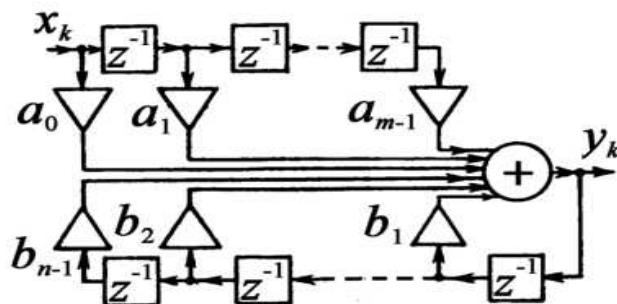


Рисунок 3 – Структура рекурсивного цифрового фильтра

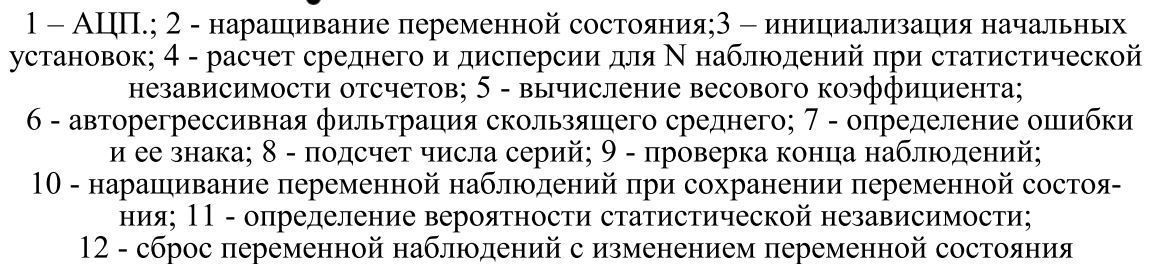
Известно, что при их соизмеримых порядках, РЦФ обладают более высокой эффективностью по сравнению с НЦФ. Однако при выборе весовых коэффициентов РЦФ необходимо обеспечить условия устойчивости.

Для обработки в режиме реального времени слабых сигналов с нестационарным характером шумов и помех в измерительной технике можно использовать адаптивные цифровые фильтры (АЦФ). В АЦФ весовые коэффициенты разностного уравнения изменяются по определенному закону с целью минимизации нежелательных (шумовых) составляющих обрабатываемого сигнала.

Применение АЦФ актуально при использовании быстродействующих аналогово-цифровых преобразователей (АЦП). В существующих методах цифровой адаптивной фильтрации применяют фильтры скользящего среднего с изменяемыми весовыми коэффициентами, имеющие конечную импульсную характеристику (КИХ). 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]. Данный тип фильтров требует оценки устойчивости в случае нестационарности вероятностных характеристик процесса.

Поэтому возникает задача разработки альтернативного метода цифровой фильтрации, который характеризовался бы минимальным временем запаздывания при нестационарном исследуемом процессе и обладал бы бесконечной импульсной характеристикой.

В качестве решения был предложен АЦФ, который основывается на использовании критерия серий для оценки статистической независимости или тренда данных с АЦП. Функциональная схема фильтра приведена на рис. 4 [2].



Метод адаптивной фильтрации на основе критерия серий показал, что при появлении нестационарности запаздывание, соответствующее установлению нового значения, не превышает 2-3 тактов. После чего фильтр переходит в новое состояние с наращиванием времени усреднения. А наряду с высокой скоростью установления в динамическом режиме при скачке входных данных разработанный фильтр обеспечивает возрастающее с течением времени ослабление случайных погрешностей в статическом режиме, что позволяет обеспечить снижение динамических и случайных погрешностей.

1. Умняшкин, С.В. Основы теории цифровой обработки сигналов: учебное пособие / С.В. Умняшкин. – 7-е изд. – Москва: Техносфера, 2024. – 552 с.
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