

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ КИХ И БИХ-ФИЛЬТРОВ ПРИ ПРЕДОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ ВИБРАЦИОННЫХ ДАТЧИКОВ В СРЕДЕ MATLAB

ДЕМКИН Василий Иванович

кандидат технических наук, доцент

УТОЧКИНА Елизавета Станиславовна

студент

Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»
г. Зеленоград, Россия

Проведен сравнительный анализ КИХ-фильтра (50 порядок) и БИХ-фильтра Баттерворта (4 порядок) при обработке сигналов вибродатчиков в MATLAB. Оценены прирост ОСШ, среднеквадратическая ошибка и время обработки. КИХ-фильтр лучше сохраняет форму импульсов, БИХ незначительно точнее на комбинированных сигналах. КИХ-фильтр быстрее в 2-3.6 раза, что предпочтительно для систем реального времени.

Ключевые слова: цифровая фильтрация, КИХ-фильтр, БИХ-фильтр, Баттерворт, MATLAB.

Сигналы вибрационных датчиков, используемые для диагностики вращающегося оборудования, содержат помехи, затрудняющие выделение полезной информации [4]. Качественная фильтрация является обязательным этапом предобработки.

В цифровой обработке сигналов применяются два основных типа фильтров. КИХ-фильтры обладают линейной фазой и устойчивостью, но требуют высокого порядка [5]. БИХ-фильтры Баттерворта обеспечивают избирательность при меньших затратах, однако вносят фазовые искажения [1-3].

Фильтры Баттерворта имеют гладкую характеристику в полосе пропускания [2, 3], но с ростом порядка увеличиваются линейные искажения [1]. Среда MATLAB предоставляет средства для синтеза таких фильтров [2], а их реализация возможна на языках типа C++ [5].

Цель работы – сравнить КИХ и БИХ-фильтры Баттерворта по точности (ОСШ - отношение сигнал/шум, СКО – среднеквадратическая ошибка) и

быстродействию при обработке вибросигналов.

Задачи:

1. Сформировать тестовые сигналы, имитирующие отклики вибродатчиков.
2. Синтезировать КИХ-фильтр (окно Хэмминга) и БИХ-фильтр Баттерворта.
3. Оценить качество фильтрации и время выполнения.
4. Сформулировать рекомендации по выбору типа фильтра.

В MATLAB сформированы три типа сигналов на основе суммы гармоник 50, 120 и 180 Гц: с белым шумом, с тремя импульсами в моменты 0.2, 0.5, 0.8 с, и комбинированный. Частота дискретизации 1000 Гц, длительность 1 секунда. Для подавления высокочастотных составляющих (выше 200 Гц) использовались: КИХ-фильтр 50-го порядка (окно Хэмминга) и БИХ-фильтр Баттерворта 4-го порядка с `filtfilt` (функция фильтрации с нулевым фазовым сдвигом).

Результаты фильтрации представлены в таблице 1.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ФИЛЬТРАЦИИ

Тип сигнала	ΔОСШ КИХ, дБ	ΔОСШ БИХ, дБ	СКО КИХ	СКО БИХ	Время КИХ, мс	Время БИХ, мс
Гарм. + шум	3.57	3.70	0.1107	0.1075	0.61	1.24
Импульсный	2.11	1.97	0.0326	0.0336	0.17	0.61
Реалистичный	1.30	1.48	0.2012	0.1931	0.18	0.60

При обработке гармонического сигнала с шумом фильтры равноценны: разница в приросте ОСШ менее 0.2 дБ, СКО отличается не более чем на 3%.

На импульсном сигнале КИХ-фильтр точнее: СКО на 3% ниже благодаря линейной фазе, лучше сохраняющей форму выбросов. БИХ-фильтр вносит небольшие искажения фронтов.

На комбинированном сигнале БИХ-фильтр дает СКО на 4% ниже, но уступает по быстродействию.

По времени КИХ-фильтр быстрее в 2-3.6 раза на всех сигналах за счет оптимизированной свертки. Проведенное исследование показало, что на гармонических сигналах с

шумом оба фильтра равноценны. Для обнаружения ударных дефектов предпочтителен КИХ-фильтр, лучше сохраняющий форму импульсов благодаря линейной фазе. На комбинированных сигналах БИХ-фильтр незначительно точнее, но уступает КИХ по быстродействию в 3.3 раза. КИХ-фильтр стабильно работает в 2-3.6 раза быстрее, что делает его оптимальным для систем реального времени.

В дальнейшем целесообразна оптимизация параметров фильтров под конкретные типы дефектов, разработка адаптивных алгоритмов переключения типа фильтра и реализация предложенных методов на аппаратных платформах с ограниченными ресурсами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Зиатдинов, С.И.* Линейные искажения сигнала фильтром Баттерворта // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2007. – Т. 50, № 1. – С. 36-39.
2. *Мукер Х.Ш., Турулин И.И.* Анализ применимости системы MATLAB для синтеза управляемых цифровых рекурсивных БИХ-фильтров Баттерворта // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2021. – № 3(220). – С. 72-82.
3. *Поляков Р.С.* Моделирование фильтра нижних частот Баттерворта второго порядка для цифрового генератора низких частот // Перспективы науки. – 2023. – № 3(162). – С. 46-49.
4. *Серебряков Д.В.* Анализ точности и быстродействия цифрового БИХ-фильтра Баттерворта, применяемого для распознавания высокочастотных составляющих неполных потоковых OFDM-символов // Прикладная математика и информатика: сборник материалов XI Международной научно-практической конференции. – Тольятти, 2025. – С. 64-68.
5. *Шорохов С.К.* Фильтрация сигнала с помощью цифрового КИХ-фильтра низкой частоты // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: Сборник научных статей 5-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок. В 4-х томах, Курск, 29 ноября 2024 г. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 245-248.

COMPARATIVE ANALYSIS OF FIR AND IIR FILTER EFFICIENCY IN PREPROCESSING OF VIBRATION SENSOR SIGNALS IN MATLAB ENVIRONMENT

DEMKIN Vasily Ivanovich

Candidate of Sciences in Technology, Associate Professor

UTOCHKINA Elizaveta Stanislavovna

Student

National Research University «Moscow Institute of Electronic Technology»
Zelenograd, Russia

A comparative analysis of FIR (50 order) and Butterworth IIR (4 order) filters for vibration sensor signals in MATLAB is presented. SNR improvement, MSE and processing time were evaluated. FIR filter better preserves pulse shape, while IIR is slightly more accurate on combined signals. FIR filter is 2-3.6 times faster, making it preferable for real-time systems.

Keywords: digital filtering, FIR filter, IIR filter, Butterworth, MATLAB.
