

## Математическое моделирование цифровых фильтров

Науменко А.Д.

Научный руководитель: Глотов А.Ф., к.т.н, доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: MoglieAnna@yandex.ru

Одним из наиболее важных аспектов в сфере обеспечения безопасности полета при эксплуатации воздушных судов является передача информации о работе удаленного аппарата и физическом состоянии его экипажа. Передача данных в центр управления полетом осуществляется преимущественно в цифровом виде на большие расстояния, вследствие чего возрастает вероятность возникновения ошибки принятого сигнала из-за наличия большого количества источников помех. Поэтому особое внимание уделяется работе систем приема, обработки и анализа данных.

Для подавления помех и выделения информативных параметров сигнала используются цифровые фильтры, методам синтеза которых уделяется большое внимание в литературе [1, 2]. В данной работе взят за основу известный метод частотной выборки для построения гребенчатых фильтров. Математическое моделирование таких фильтров позволяет получать характеристики, физически нереализуемые в цифровых фильтрах, построенных методами синтеза на основе использования аналогового прототипа.

В качестве примера рассмотрим алгоритм реализации математической модели синтеза режекторного фильтра (РФ) методом частотной выборки (рис.1.).

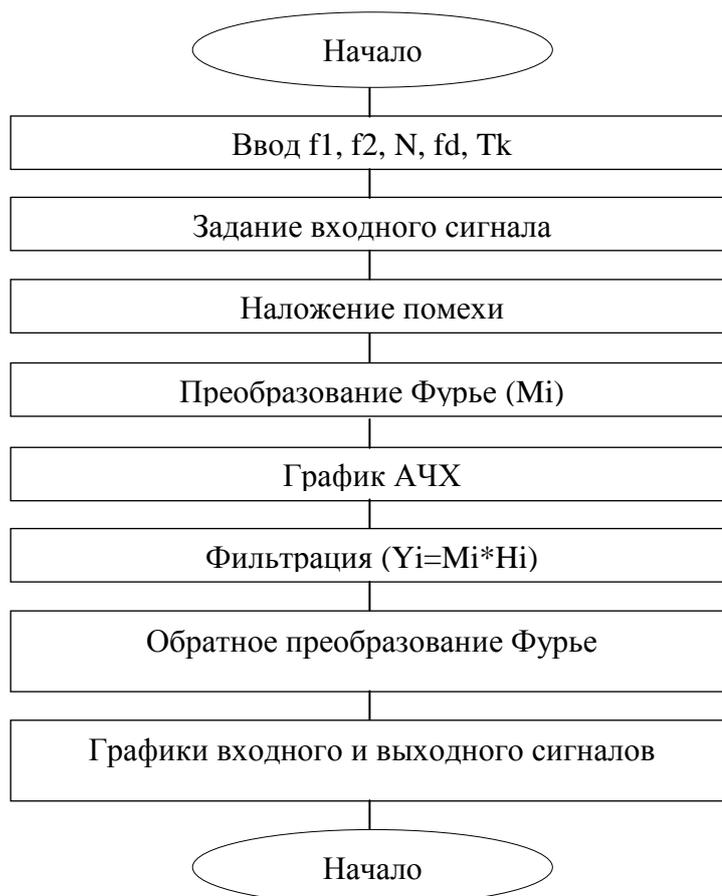


Рисунок 1 - Алгоритм реакции цифрового фильтра на входной сигнал методом частотной выборки

Реализация фильтра выполнена в ППП «MathCad».

1. На первом этапе работы с программой необходимо задать исходные данные для нахождения коэффициентов передаточной функции и вычисления АЧХ:

- Верхняя и нижняя границы частот РФ составляют  $f_1=50$  Гц и  $f_2=50$  Гц соответственно;

- Исходя из требований к точности фильтра, длину частотной выборки примем равной  $N=100$ ;

- Частота дискретизации входного сигнала ( $f_d$ ) задается в диапазоне  $f_d \geq 2f_{\max}$ , где  $2f_{\max}$  – максимальная частота в спектре входного сигнала. Также, частота дискретизации должна иметь приближенное значение к частоте выборки  $N$ . В данной работе эта величина составляет  $f_d=100.01$  Гц;

- Частотная выборка ( $T_k$ ) для  $k=0 \dots N-1$  представляет собой требуемую амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) рассчитываемого фильтра.

2. После задания вышеприведенных параметров определяются частотные диапазоны для вычисления АЧХ фильтра и строится график.

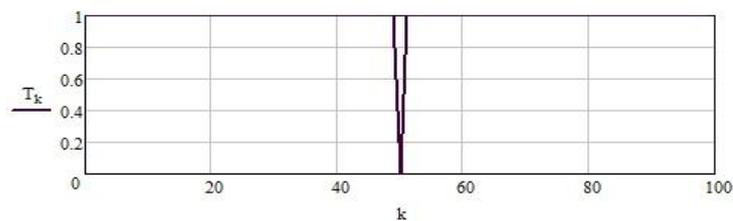


Рисунок 2 - АЧХ РФ

3. Далее производится расчет коэффициентов передаточной функции по формуле (1) и строится график АЧХ.

$$H(jw) = \sum_{k=0}^{N-1} h_k * e^{-j*k*w*T} , \tag{1} [3]$$

где  $H(jw)$  – АЧХ цифрового фильтра;

$N$  – длина частотной выборки;

$k$  – номер отсчета сигнала;

$h_k$  – весовые коэффициенты;

$T$  – период

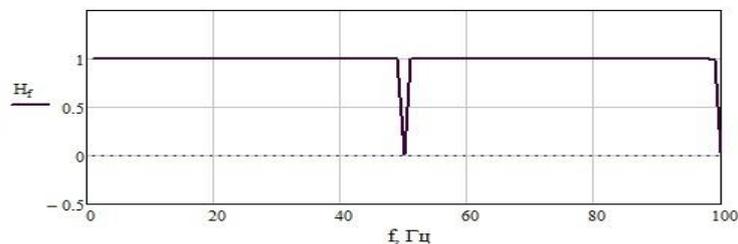


Рисунок 3 - АЧХ передаточной функции РФ

4. Зададим теоретически входной сигнал, поступивший для дальнейшей обработки, в виде функции (2)

$$qi = 1,5 * \sin(5 * p * \frac{i}{64}) + 1 * \cos(18 * p * \frac{i}{64}) \tag{2}$$

Смоделируем сигнал помехи за счет сложения входного сигнала с сигналом частотой 50 Гц

$$xi = 1 * \cos\left(50 * p * \frac{i}{64}\right) + qi, \quad (3)$$

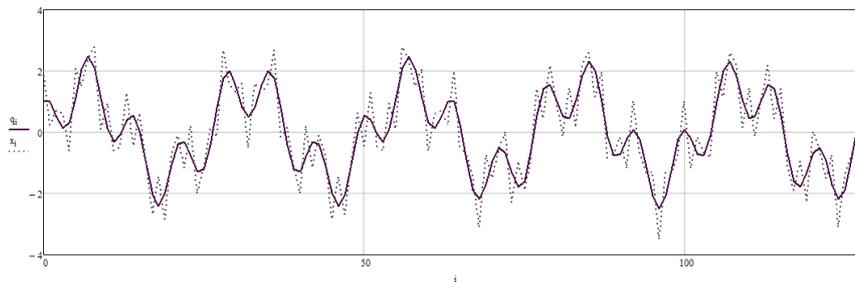


Рисунок 4 - Графики сигнала без помех (qi) и при наличии помех (xi)

5. Далее применяется быстрое преобразование Фурье с помощью встроенной функции MathCAD (Mi), содержащей алгоритм быстрого вычисления дискретного преобразования Фурье;

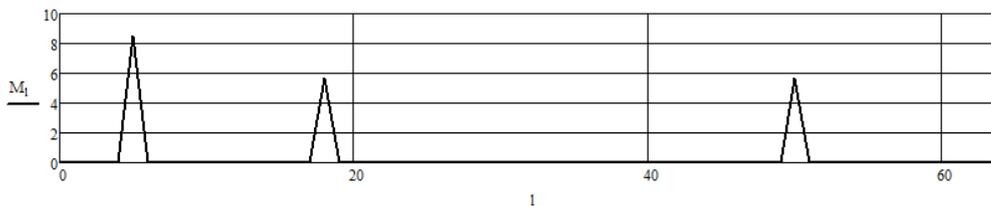


Рисунок 5 - Спектр сигнала с помехой 50 Гц

6. Проводим фильтрацию сигнала с помощью формулы (4). График спектра полученного выходного сигнала приведен на рис.6.

$$Yi = Mi * Ni, \quad (4)$$

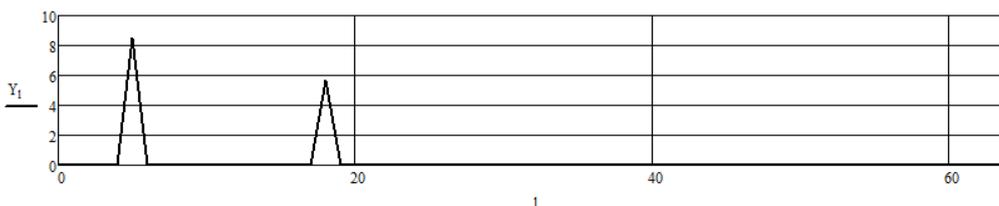


Рисунок 6 - Спектр сигнала без помехи

7. Для проверки правильности проведенных вычислений, необходимо вычислить быстрое обратное преобразование Фурье, после чего выводится заключение о правильности проведенного анализа данных, и приводится график выходной функций (рис.7).

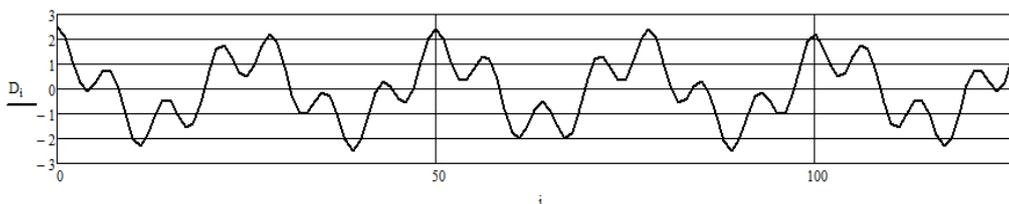


Рисунок 7 - График выходного сигнала

Таким образом, применение математической модели фильтров позволяет программным путем получать сигнал с идеальными характеристиками в полосах пропускания и затухания,

а также, при необходимости, выделять или подавлять из всего спектра сигнала единственную гармонику полосовым или режекторным фильтрами. С появлением специализированных микропроцессоров, появилась возможность реализации быстрого преобразования Фурье для цифровой обработки сигналов в режиме реального времени с минимальной задержкой, что позволяет минимизировать вероятность возникновения ошибки в процессе передачи и обработки данных.

Работа может быть полезна при изучении курса цифровой обработки сигналов.

Список литературы:

1. Богнер Р., Константи́нидис А. Введение в цифровую фильтрацию. М.: Мир, 1976. – 237 с.
2. Гольденберг Л.М., Левчук Ю.П., Поляк М.Н. Цифровые фильтры. М.: Связь, 1974. – 285 с.
3. Антонию А. Цифровые фильтры: анализ и проектирование. М.: Радио и связь, 1983. – 318с.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. - 2-е. - СПб.: Питер, 2007. — С. 751.

**Модификация алгоритмов обработки данных и управление аппаратными функциями портативного электрокардиографа для применения в космической индустрии**

Оверчук К.В., Уваров А.А., Лежнина И.А.

Научный руководитель: Гольдштейн А.Е., д.т.н., профессор

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: kirill\_ovk@mail.ru

Портативный электрокардиограф предназначен для индивидуального использования человеком с целью отслеживания и выявления заболеваний сердца. Подобное наблюдение за сердцем необходимо для людей, которые работают в тяжелых условиях и подвержены различным неблагоприятным факторам. Использование прибора поможет обнаружить заболевания на ранней стадии.

Одной из нескольких особенностей, реализованных в приборе, является возможность считывания электрокардиограммы с пальцев пациента, а для более подробного обследования в приборе реализована возможность подключения грудных отведений, что позволит произвести считывание ЭКГ в других проекциях.

К особенностям прибора можно отнести использование аналого-цифрового преобразователя большой разрядности, а именно сигма-дельта АЦП на 24 бита, это позволило отказаться от применения аналоговых фильтров в пользу цифровых фильтров. Такое исполнение прибора стало возможным благодаря использованию новой элементной базы. Список основных элементов, использованных в приборе, описан в таблице 1.

Таблица 1 - Список элементов с интерфейсом взаимодействия

Название элемента	Интерфейс взаимодействия
ADS1292	SPI
LCD Screen	SPI
SD Card	SDIO
Keyboard	GPIO
STM32F152	SWD