

- забоинах или вмятинах на поверхности сепаратора;
- четких отпечатков шариков (роликов) на дорожках качения.

После осмотра подшипника измеряют радиальный зазор и проверяют его осевой люфт. Радиальный зазор подшипников проверяют при нагрузке 150 Н. Для измерения зазора пластину пластинчатого шупа заводят между телом качения и поверхностью внутреннего кольца и нижней его части. Осевой люфт шарикоподшипника проверяют перемещением наружного кольца в осевом направлении [6].

Если зазоры в подшипниках соответствуют допустимым и люфт незначителен, то подшипник пригоден к дальнейшей эксплуатации. Если зазоры превышают допустимые или имеет место большой осевой люфт, то подшипник необходимо заменить. Непригодный подшипник снимают с помощью съемника. Если подшипник не снимается, то его подогревают горелкой.

После снятия подшипника осматривают посадочное место вала. Оно не должно иметь задиров или блестящей полированной поверхности, что свидетельствует о недостаточности натяга. Натяг можно восстановить путем установки втулки, электродуговой наплавки вала или электроискровым методом.

После восстановления натяга и механической обработки вала проверяют индикатором бой заплечиков. При диаметре вала 50...120 мм бой заплечиков должен быть не более 25 мкм, а при 120...250 мм — не более 30 мкм. Заплечики валов, а также галтели обрабатывают с чистотой поверхности, соответствующей чистоте посадочных мест вала. Высота заплечиков должна быть равна половине толщины внутреннего кольца подшипника, а радиус

галтели — несколько меньшим, чем радиус фаски подшипника.

Овальность и конусность посадочной поверхности не должны превышать 1/2 допуска на диаметр. Шероховатость посадочных поверхностей и заплечиков должна быть не ниже $R_a = 1,25; 2,5$. После снятия замеров посадочные места смазывают минеральным маслом или консистентной смазкой.

Список литературы

1. Сапожников И.И. Анализ посадок местонагруженных колец подшипников качения сельскохозяйственной техники // Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии: Сборник статей, № 288-2. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. С. 108-110.
2. Сапожников И.И. Теоретические условия выбора допусков, влияющих на качество изделий // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2006, № 8. С. 48-50.
3. Сапожников И.И., Девянин С.Н. Технический уровень качества типажа двигателей для средств малой механизации // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2013, № 9. С. 38-41.
4. Сапожников И.И., Рославцев А.В. Сертификационное сопровождение качества продукции агроинженерии на основе теории движения тягово-транспортных средств // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2012, № 2. С. 36-40.
5. Сапожников И.И. Основные принципы и подходы к повышению качества продукции машиностроения // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2007, № 4. С. 49-52.
6. Сапожников И.И. Модернизация технологии сертификационного сопровождения качества // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2011, № 8. С. 37-38.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА, КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ТРЕБУЕМЫМ ОБРАЗОМ АЧХ ИЗМЕРЯЕМОГО СИГНАЛА

Узенгер Алексей Андреевич

к.т.н.

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»

DOI: [10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.61.16](https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2019.2.61.16)

АННОТАЦИЯ.

В статье рассматривается вопрос проектирования цифрового фильтра, выполняющий коррекцию амплитудно-частотной характеристики сигнала требуемым образом. Предполагается что фильтр будет работать в устройствах с ограниченным вычислительным ресурсом.

ABSTRACT.

The article discusses the issue of designing a digital filter that performs correction of the amplitude-frequency characteristic of a signal as required. It is assumed that the filter will work in devices with limited computing resources.

Ключевые слова: цифровой фильтр, коррекция АЧХ, ФНЧ, КИХ фильтр.

Keywords: digital filter, correction of frequency response, low-pass filter, FIR filter.

Введение

При рассмотрении типового измерительного канала регистрации значений с датчика можно выделить следующие основные блоки (рис. 1). Собственно, сам датчик, как правило линейный только в определенном диапазоне значений и в определен-

ном частотном диапазоне. Далее стоит усилительный каскад с необходимым аналоговым фильтром (А.ФНЧ), который ограничивает полосу частот сигнала, подаваемого на аналого-цифровой преобразователь (АЦП). После АЦП сигнал обрабатывается цифровым фильтром (ЦФ) и передается для потребителей. Наиболее часто ЦФ реализуется в виде

КИХ фильтра. «КИХ-фильтры используют сложение для расчета своих выходов таким же образом,

как в процессе усреднения используется сложение» [1, с. 203].

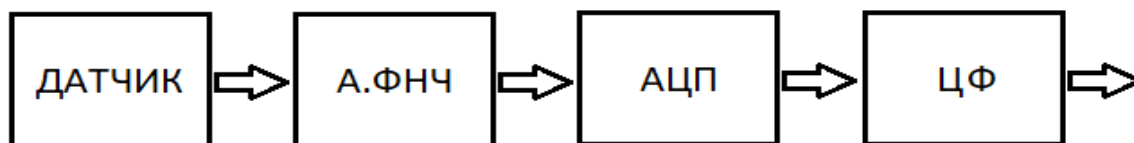


Рис.1. Блок-схема измерительного канала

Цифровой фильтр выполняет важную роль в обработке измеряемого сигнала, например: выделение частотных компонентов сигнала; понижение, либо повышение частоты дискретизации измеряемого сигнала и связанные с ней задачи децимации и интерполяции. Мы остановимся на задаче коррекции требуемым образом амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) измеряемого сигнала.

Реализация поставленной задачи

Предположим, получены следующие экспериментальные значения с датчика на выходе АЦП при изменении частоты входного сигнала (рис. 2). Эксперимент проводился в точках важных для дальнейшей обработки сигналов. Частота дискретизации сигнала выбрана 80 кГц.

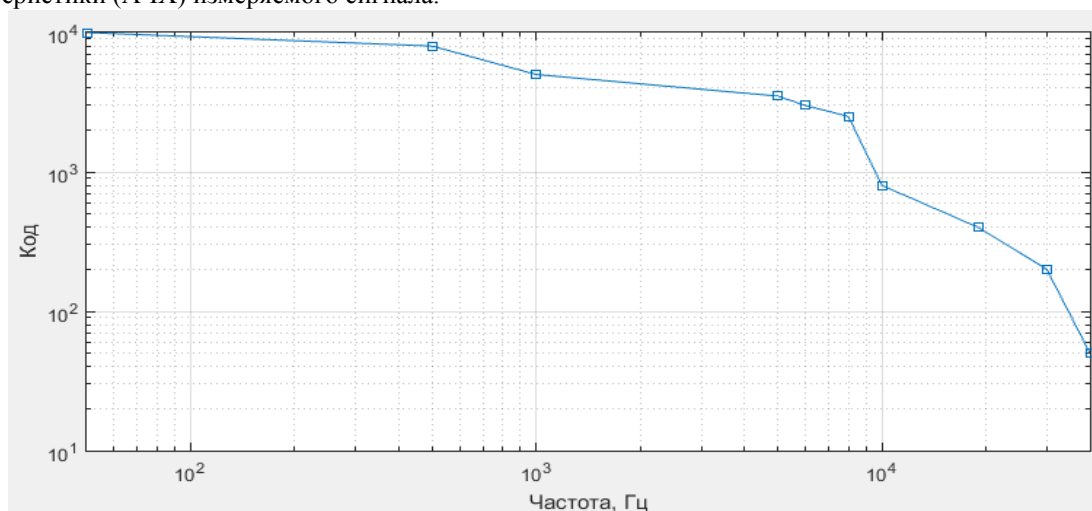


Рисунок 2. АЧХ экспериментальных данных на выходе АЦП при изменении частоты

Ставится задача проектирования ЦФ, выравнивающего АЧХ сигнала в диапазоне частот от 0 до 40 кГц. Для этого воспользуемся средствами Matlab, функциями пакета «Filter Design Toolbox – функции анализа и синтеза фильтров, в том числе с учетом эффектов квантования и арифметики с фиксированной запятой» [2, с. 717]:

```

clc; clear; close all; format long;
% Экспериментальные данные
freq = [0 50 500 1000 5000 6000 8000 10000 19000 30000 40000];
a = [10000 10000 8000 5000 3500 3000 2500 800 400 200 50];
a = a ./ max(a);
mag = 1 ./ a;
% Расчет фильтра
d = designfilt('arbmagfir', 'FilterOrder', 160, 'Frequencies', freq, 'Amplitude', mag, 'SampleRate', 80000);
fvtool(d);

```

Рассмотрим вышеприведенный код. Вначале используются стандартные команды очистки рабочего пространства. Далее вводятся точки проведения эксперимента *freq* и результаты измерений на выходе АЦП *a*. Нормируем вектор *a* и рассчитываем значения корректирующей функции *mag*, она будет обратной к заданной *a*. Для расчета ЦФ воспользуемся функцией *designfilt*. Среди множества параметров выбираем следующие: тип фильтра – *arbmagfir*, порядок фильтра – 160, значения векторов частоты и им соответствующих амплитуд, частоту дискретизации – 80 кГц. Для вывода результатов спроектированного фильтра воспользуемся функцией *fvtool* (рис. 3). На рис. 1 график 1 – эскиз фильтра, график 2 – АЧХ ЦФ. На рис. 4 представлена импульсная характеристика ЦФ.

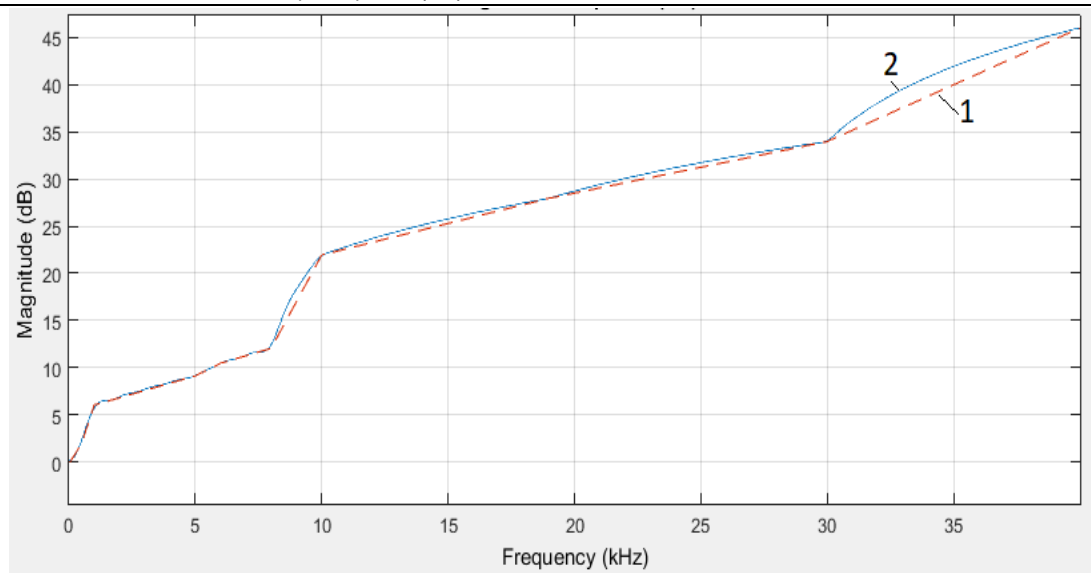


Рисунок 3. АЧХ спроектированного фильтра

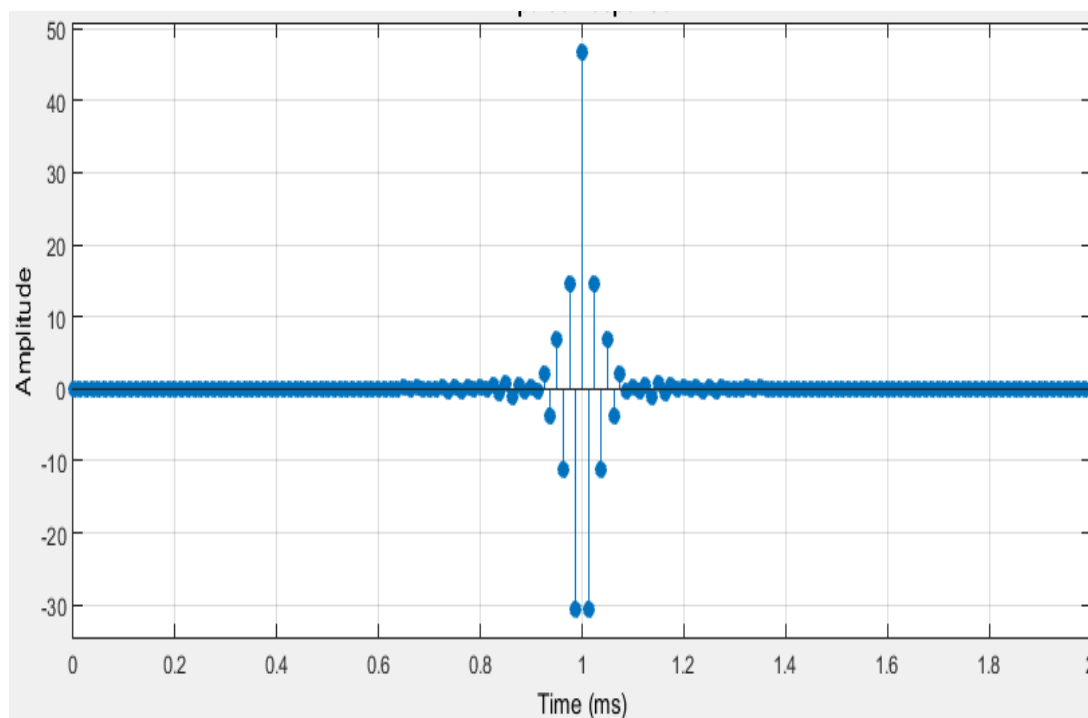


Рисунок 4. Импульсная характеристика ЦФ

Вариацией порядка фильтра можно добиться требуемой характеристики ЦФ, наиболее точно описывающей эскиз. Следует заметить, что для рассматриваемого случая, порядок фильтра малочувствителен к повышению порядка проектируемого фильтра. Однако, изменение порядка всего на единицу (четный - на нечетный) радикально меняет ха-

рактеристику фильтра. Очевидно, это связано с количеством коэффициентов (рис. 4), их должно быть нечетное количество.

Результирующий коэффициент передачи измерительного канала будет иметь характеристику представленную на рис. 5. В диапазоне частот от 8 до 40 кГц коэффициент достигает 1.3, что не очень хорошо. В наиболее важных экспериментальных точках результат составляет 1, что и требовалось.

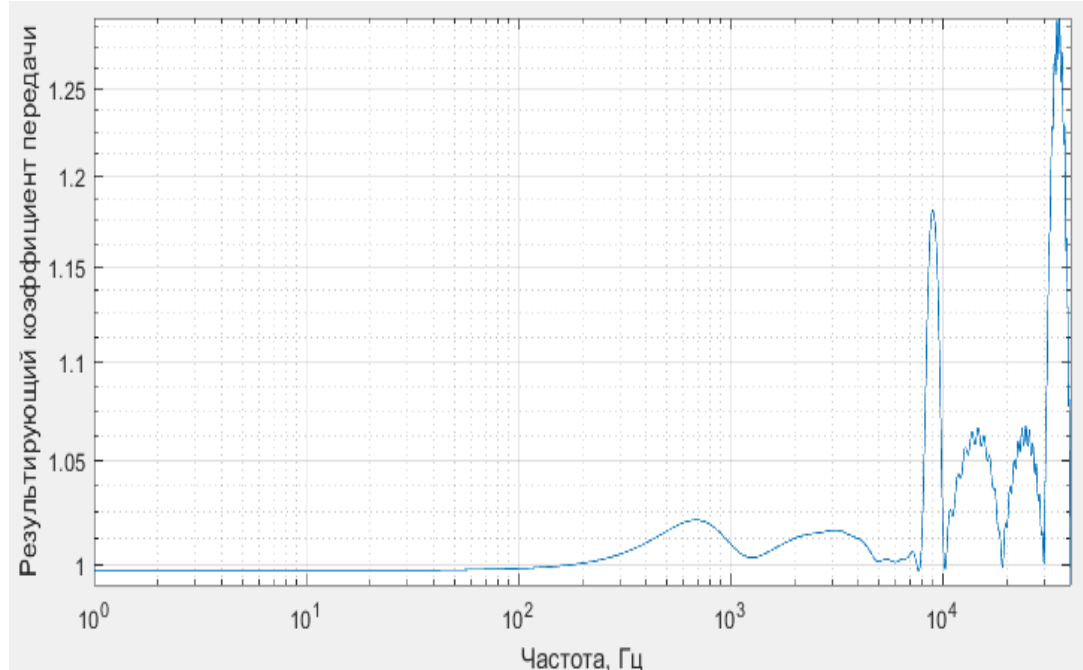


Рисунок 5. Коэффициент передачи измерительно канала

Рассмотрим ниже механизм получения квантованных коэффициентов, для работы ЦФ в устройствах с ограниченным быстродействием, т.к. выправление АЧХ логичнее выполнять в процессе предобработки, в микроконтроллерах.

```
% получение коэффициентов корректирующего фильтра
hq = dfilt.dfir(d.Coefficients);
% создание объекта dfilt 'fixed'
set(hq, 'arithmetic', 'fixed', 'CoeffAutoScale', 1, 'CoeffWordLength', 32);
% вывод корректирующего фильтра на график с квантованными коэффициентами
fvtool(hq, 'Fs', 80000)
% запись коэффициентов фильтра в рабочий каталог
fcfwrite(hq, 'coef_hex', 'hex');
sfcfwrite(hq, 'coef_dec', 'dec');
```

В результате выполнения вышеприведенного кода появятся файлы с коэффициентами в десятичном и шестнадцатеричных форматах в 32-х битном формате.

В современных 16-ти, 32-х разрядных микроконтроллерах в составе набора библиотек присутствует библиотека цифровой обработки сигналов с фиксированной точкой. В данной библиотеке присутствуют функции КИХ, БИХ фильтров, быстрое Фурье преобразование и др. Библиотека работает с типами данных Q15 либо Q31, диапазон которых ограничен рядом от -1.0 до 0.999999999. Рассмотренный выше случай расчета коэффициентов корректирующего фильтра дал результат с коэффициентами выходящих за диапазон формата Q31, это видно по импульсной характеристике (фактически это и есть набор коэффициентов рассчитанного фильтра). Для того чтобы коэффициенты работали в фильтре со значениями с фиксированной точкой, в функции получения квантованных коэффициен-

тов *set* использован параметр авто-масштабирования коэффициентов. В результате коэффициенты представлены в формате Q6.25 т.е. 6 разрядов - целая часть, 25 разрядов - дробная часть и 1 разряд - знак. При использовании данных результатов в микроконтроллерной системе следует помнить о том, что результат будет меньше в 64 раза.

Заключение

Рассмотренная методика коррекции АЧХ реализуема для широкого класса измерительных устройств. Гибкость инструментария Matlab позволяет реализовать корректирующие КИХ фильтры с требуемыми показателями для любого устройства с его уникальной аппаратной реализацией.

Список литературы:

1. Understanding digital signal processing / Richard G. Lyons. - 3rd ed. 2011. ISBN 0-13-702741-9
2. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие. - 3-е изд. - СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 768 с.: ил.