

В.В. Крохин, Н.Ю. Митиков

ОБ ИССЛЕДОВАНИИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Аннотация. Предложено использовать для оценки качества проектирования цифровых фильтров не только уровень пульсаций в полосе задержания и пропускания, но и ширину переходной зоны между этими полосами. Разработано программное обеспечение, позволяющее определять ширину переходной полосы. С использованием предложенной методики проведен анализ качества фильтров, разработанных с помощью различных весовых функций.

Ключевые слова: цифровой фильтр, весовые функции, уровень пульсаций, ширина переходной полосы.

Введение. При наличии большого числа методов проектирования цифровых фильтров, значительный интерес представляет вопрос о сравнительных характеристиках их качества [1,2]. В данной статье предлагается методика, позволяющая автоматизировать анализ качества разрабатываемых цифровых фильтров. На основе предложенной методики, проводится сравнительный анализ характеристик нерекурсивных цифровых фильтров, построенных с использованием различных весовых функций. [2,3]. Для этой цели разработано специализированное программное обеспечение.

При построении дискретных фильтров с применением различных весовых функций использовался МАТЛАБ - пакет, в котором имеется множество встроенных функций для проектирования фильтров, а также средства измерения и визуализации характеристик получаемых устройств. [1,4].

Постановка задачи. Задачей настоящей работы является сравнительный анализ качества разрабатываемых цифровых фильтров на основе количественного определения не только уровня пульсаций, но и ширины переходной зоны между полосами пропускания и задержания.

Основная часть. Анализ качества разработанного фильтра проводится на основе измерения следующих параметров:

- ширина переходной зоны между полосой пропускания и полосой задержания ($\Delta W_{пер.}$);
- уровень пульсаций в полосе пропускания ($P_{проп.}$);
- уровень пульсаций в полосе задержания ($P_{зад.}$);

Для целей автоматизации сравнительного анализа качества разрабатываемых фильтров большое значение имеет алгоритмически корректное определение характеристик, которые должны быть измерены. В этом отношении, наибольшая проблема связана с определением ширины переходной зоны между полосами пропускания и задержания [3]. В связи с наличием пульсаций, определение ширины этой зоны, как расстояния по оси частоты между максимальным и минимальным значениями амплитудно-частотной характеристики (АЧХ), не представляется корректным. Поэтому предлагается для определения ширины переходной зоны в случае проектирования фильтра нижних частот (ФНЧ) использовать величину:

$$\Delta W_{пер.} = W_{проп.} - W_{зад.},$$

где $W_{проп.}$ - точка АЧХ, в которой амплитуда последний раз пересекает уровень $k_1 A_{max}$, а $W_{зад.}$ - точка АЧХ, в которой амплитуда в первый раз пересекает уровень $k_2 A_{max}$. (Здесь A_{max} - максимальное значение амплитуды в области пропускания). Величина коэффициентов k_1 и k_2 может выбираться произвольно, в зависимости от требований к проектируемому устройству. Вычисление характеристики $\Delta W_{пер.}$ а также параметров $P_{проп.}$ и $P_{зад.}$ иллюстрирует рис. 1.

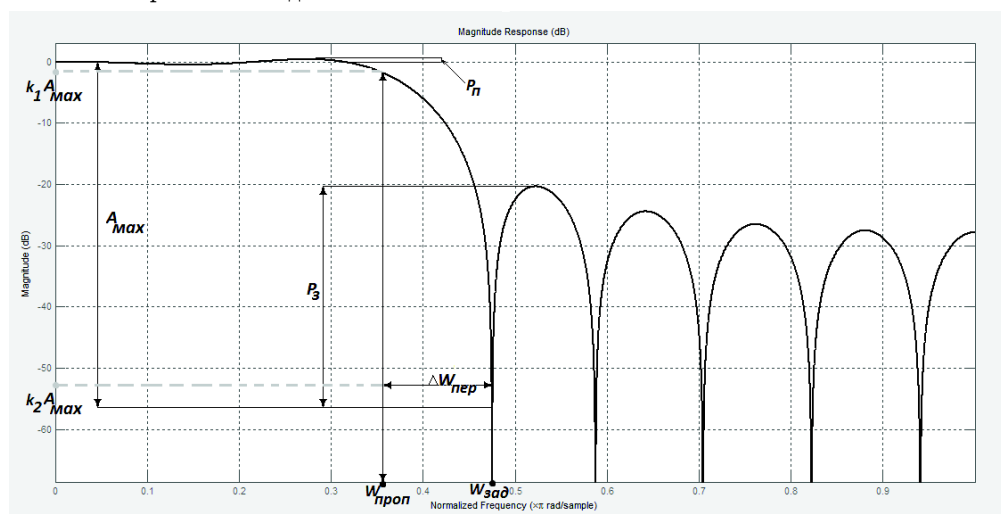


Рисунок 1 - Определение характеристик качества ФНЧ по АЧХ

Для фильтров других типов (фильтра высоких частот, полосового или заградительного) изменения в определении $\Delta W_{пер}$ являются очевидными.

Для вычисления $\Delta W_{пер}$ была разработана специальная программа на языке C Sharp с использованием Windows.Forms, для которой k_1 и k_2 являются входными параметрами. Данная технология позволяет быстро разработать программное обеспечение с пользовательским интерфейсом. Использование данной программы позволяет быстро и наглядно сравнивать качество разрабатываемых цифровых фильтров.

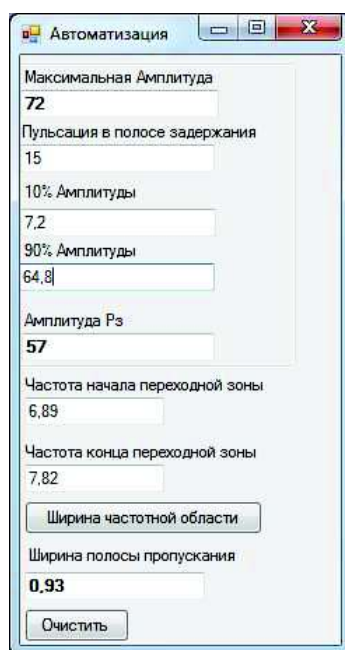


Рисунок 2 - Программа для автоматизации вычислений

В качестве примера нами было проанализировано качество проектирования нерекурсивных фильтров, получаемых квазиоптимальным методом с использованием различных весовых функций (окон). [1]. Применялись следующие весовые функции:

- Прямоугольное окно
- Окно Хэмминга
- Окно Чебышева
- Окно Кайзера
- Окно Гаусса
- Окно Тукея

Параметры измерялись в соответствии с изложенной методикой. Использовались значения $k_1=0,9$ и $k_2=0,1$. В приведенной ниже

таблице 1 показаны значения параметров спроектированных фильтров в зависимости от порядка фильтра.

Таблица 1

| Вид весовой функции | Порядок | $\Delta W_{\text{пер}}$, кГц | $ A_{\text{max}} $, дБ | R_z , дБ |
|-------------------------|---------|-------------------------------|-------------------------|------------|
| Прямоугольное | 8 | 3,65 | 52 | 31,3 |
| | 16 | 2,2 | 46 | 26,35 |
| | 32 | 0,95 | 40 | 19,4 |
| | 64 | 0,5 | 37,45 | 15,75 |
| Хемминга | 8 | 11,65 | 64 | 22,02 |
| | 16 | 5,79 | 68 | 11,72 |
| | 32 | 2,89 | 65 | 11,16 |
| | 64 | 1,3 | 65 | 11 |
| Гаусса $\sigma=1,25$ | 8 | 9,68 | 61 | 21,82 |
| | 16 | 3,48 | 47 | 17,7 |
| | 32 | 2,38 | 44,25 | 14 |
| | 64 | 0,73 | 39,31 | 8,07 |
| Чебышева $\beta=100$ | 8 | 21,37 | 134 | 20,2 |
| | 16 | 12,44 | 128,64 | 19,4 |
| | 32 | 7,17 | 122 | 18,28 |
| | 64 | 3,69 | 121,3 | 7,61 |
| Кайзера $\alpha=4$ | 8 | 7,53 | 61,6 | 21,2 |
| | 16 | 4,4 | 62 | 12,3 |
| | 32 | 2 | 56,53 | 8,9 |
| | 64 | 0,83 | 54,12 | 8,2 |
| Тукея $\alpha=1$ | 8 | 10,43 | 65 | 19,5 |
| | 16 | 5,27 | 63,5 | 17,2 |
| | 32 | 2,11 | 52 | 8 |
| | 64 | 0,99 | 50 | 6,2 |

Для сравнительного анализа полученных результатов удобно представить данные из таблицы 1 в виде графиков. На рисунке 3 приведена зависимость длины переходной полосы от порядка фильтра. Чем меньше переходная полоса, тем быстрее происходит переключение фильтра из состояния пропускания в состояние задержания сигналов.

Анализ графиков, приведенных на рис. 3 показывает, что для всех проанализированных типов фильтров ширина переходной зоны $\Delta W_{пер}$ убывает по мере увеличения порядка фильтра, что вполне естественно. Однако это уменьшение является нелинейным и происходит значительно быстрее для невысоких значений порядка фильтра. Среди различных типов весовых функций, наименьшая ширина переходной зоны наблюдается для прямоугольного окна.

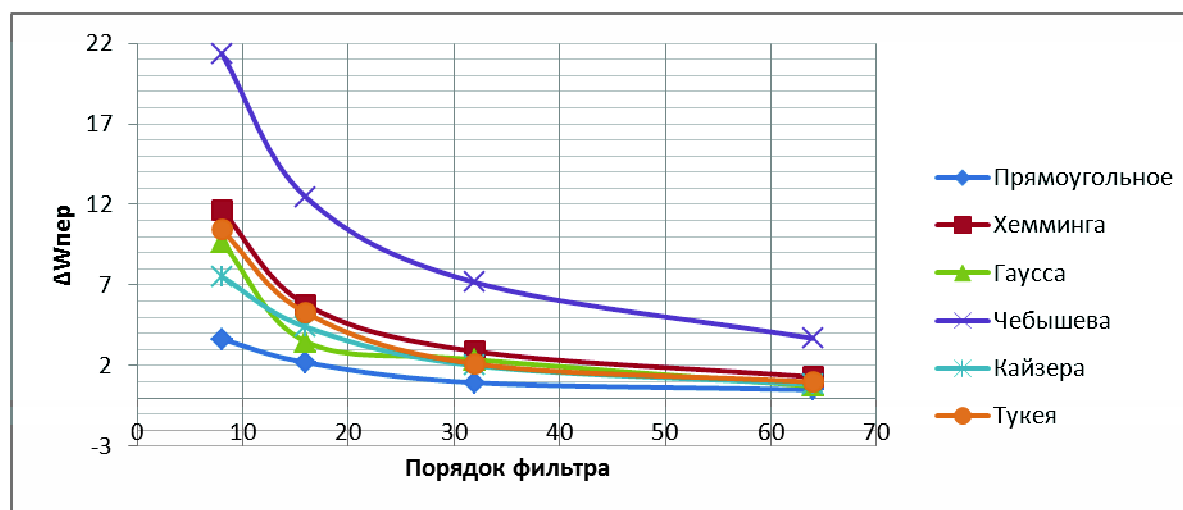


Рисунок 3 - Зависимость длины переходной полосы от порядка фильтра

На рисунке 4 приведена зависимость уровней пульсаций в полосе задержания от порядка фильтра.

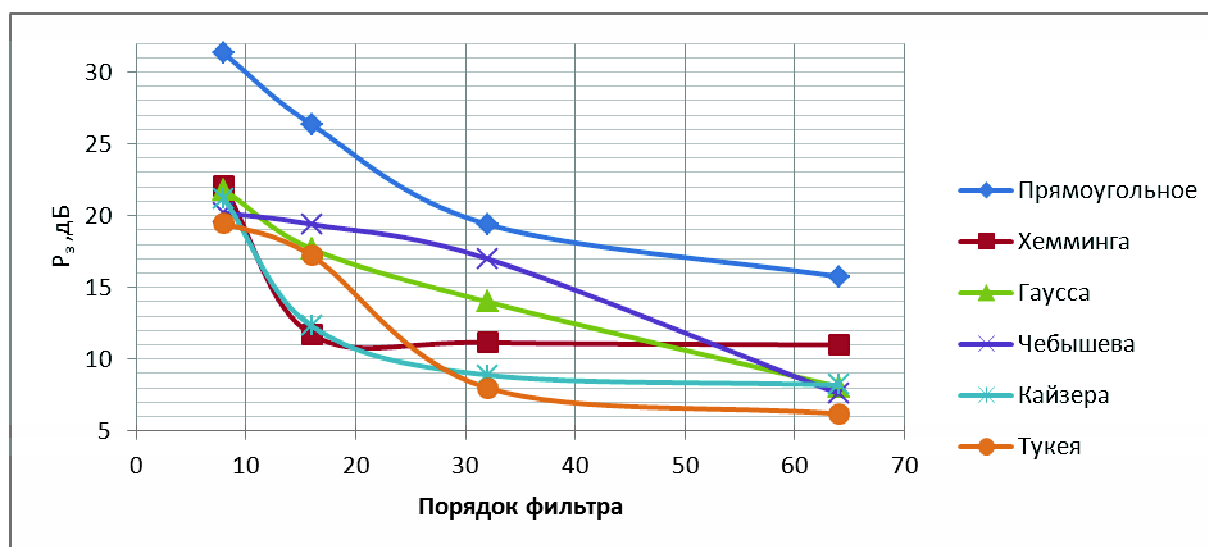


Рисунок 4 - Зависимость уровней пульсаций в полосе задержания от порядка фильтра

Эти графики показывают, что при использовании прямоугольного окна пульсации в полосе задержания являются наибольшими. С точки зрения уровня пульсаций $P_{\text{зад}}$ наилучшие результаты получаются при использовании окна Чебышева.

Выводы. Таким образом, выбор оптимальной весовой функции с точки зрения только одного из параметров качества не представляет затруднений. Однако при оптимизации по нескольким параметрам выбор не является столь очевидным. Сравнение графиков, приведенных на рисунках 3 и 4, дает основание рекомендовать использовать окно Кайзера. Данный тип окна позволяет получить достаточно узкую полосу переключения и невысокий уровень пульсаций в полосе задержания.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Б. Сергиенко. "Цифровая обработка сигналов ", СПб.: Питер, 2002.
2. A.R. Collins "FIR Filter Design", July 2011, University of Oslo.
3. F.P.G. Мбrquez "Digital Filters" Publisher: InTech., Published: April 11, 2011 under CC BY-NC-SA 3.0 license.
4. Z. Milivojević "Digital Filter Design", mikroElektronika, 2009.