

ФИЛЬТРЫ С ХАРАКТЕРИСТИКОЙ “КОРЕНЬ ИЗ СПЕКТРА НАЙКВИСТА”

DESIGNING OF “SQUARE-ROOT NYQUIST” FILTER

Аннотация: Предложен метод оценки характеристик фильтров на соответствие фильтру с характеристикой “корень из спектра Найквиста”.

Summary: Offered the estimation method of filters using as “square-root Nyquist filter”.

Проблема выбора цифровых фильтров для высокоскоростных модемов с характеристиками Найквиста является давней [1]. Высокоскоростные модемы в настоящее время широко используются для цифровизации линий абонентского доступа местных сетей, для передачи цифровых потоков по стволам существующих аналоговых РРСП. В работе [2] показана целесообразность использования таких модемов для оцифровки медного кабеля внутризоновых сетей.

Для обеспечения максимальной скорости следования символов необходимо уменьшить межсимвольные искажения, а это возможно, если символы проходят через цепи (передатчика, канала и приемника), которые имеют сквозную амплитудно-частотную характеристику Найквиста [1]. В современных цифровых модемах для согласованного приема и передачи используют два фильтра с характеристиками “корень из спектра Найквиста” – один на передаче, для формирования спектра сигнала, другой на приеме, для ограничения мощности принимаемых шумов [3]. Однако аналитического выражения для расчета коэффициентов фильтра с характеристикой “корень из спектра Найквиста” нет и возникает задача, как найти фильтр, обладающий характеристикой “корень из спектра Найквиста”.

Цель данного исследования – разработать алгоритм, позволяющий оценивать и сравнивать фильтры между собой на соответствие их характеристик фильтру с характеристикой “корень из спектра Найквиста”.

Блок-схема алгоритма для анализа исследуемого фильтра представлена на рис.1. Генератор КАМ символов генерирует I и Q символы КАМ-4 (прямую и квадратурную составляющие КАМ сигнала), так как для исследования и оценки межсимвольных искажений удобно использовать сигнал КАМ-4. I и Q символы поступают на последовательно включенные исследуемые фильтры, которые должны дать сквозную амплитудно-частотную характеристику Найквиста (одна часть фильтров стоит в передатчике, другая часть фильтров – в приемнике).

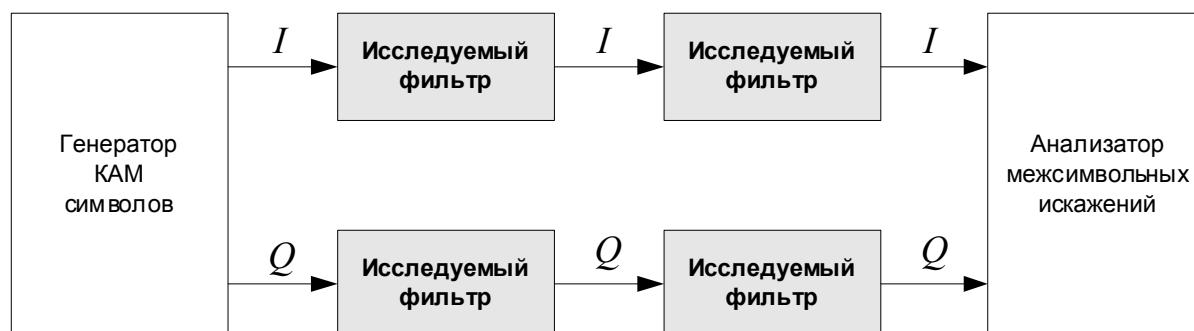


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритма для анализа исследуемого фильтра

В качестве критерия оценки фильтра возьмем отношение мощности КАМ сигнала к мощности межсимвольных искажений (МСИ) [4]. Эту оценку рассчитывает анализатор межсимвольных искажений по принятым I и Q КАМ символам. Так как канал связи отсутствует, то для получения сигнального созвездия нет необходимости синхронизировать тактовую и символьную частоты – они синхронны и синфазны по построению (аналоговые цепи отсутствуют, а цифровые фильтры вносят задержку, кратную частоте следования КАМ символов). Поэтому для построения сигнального созвездия следует использовать отсчеты I и Q символов в моменты времени, в которые принимаются решения о принятом символе.

Алгоритм поиска фильтра с характеристикой «корень из спектра Найквиста» представлен на рис. 2. Цель данного алгоритма – найти частоту среза (полосу пропускания) двух последовательно включенных одинаковых фильтров, при которой сквозная характеристика этих фильтров будет обладать свойствами фильтра с характеристикой Найквиста, и оценить максимально возможное отношение мощности сигнала к мощности МСИ, которое можно при этом получить.

В блоке 1 вводятся начальные значения частоты среза, диапазон и шаг изменения частоты; в блоке 2 рассчитываются коэффициенты фильтра с начальной частотой; далее в блоке 3 рассчитывается отношение мощности сигнала к мощности МСИ. Если весь заданный частотный диапазон не пройден, то текущая частота увеличивается на заданный шаг и программа возвращается в блок 2, в котором вновь происходит расчет фильтра с новой частотой среза. После прохождения заданного частотного диапазона в блоке 5 выводится зависимость отношения мощности сигнала к мощности МСИ от частоты среза фильтра.

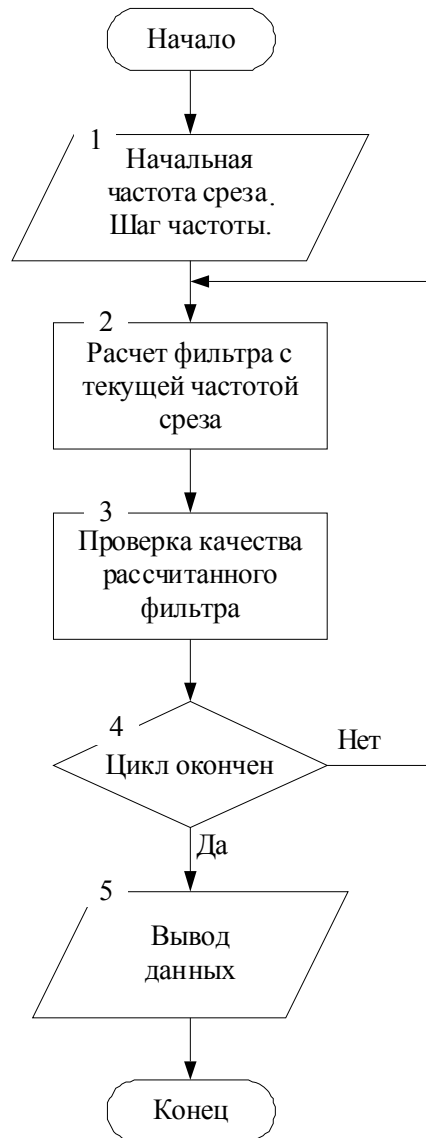


Рисунок 2 – Блок схема алгоритма поиска оптимальной частоты среза исследуемого фильтра

Для исследования возьмем три нерекурсивных фильтра, рассчитанных по разным алгоритмам, и три – рекурсивных и найдем алгоритм расчета фильтра, дающий наилучшие результаты. Частоту дискретизации выберем равной удвоенной частоте следования КАМ символов. Результаты расчета зависимости отношения мощности сигнала к мощности МСИ от частоты среза фильтра представлены

на рис. 3 и табл. 1. Нормированные частоты среза фильтров (отношение частоты среза F_c к частоте дискретизации F_t взяты по уровню 0,1 дБ.

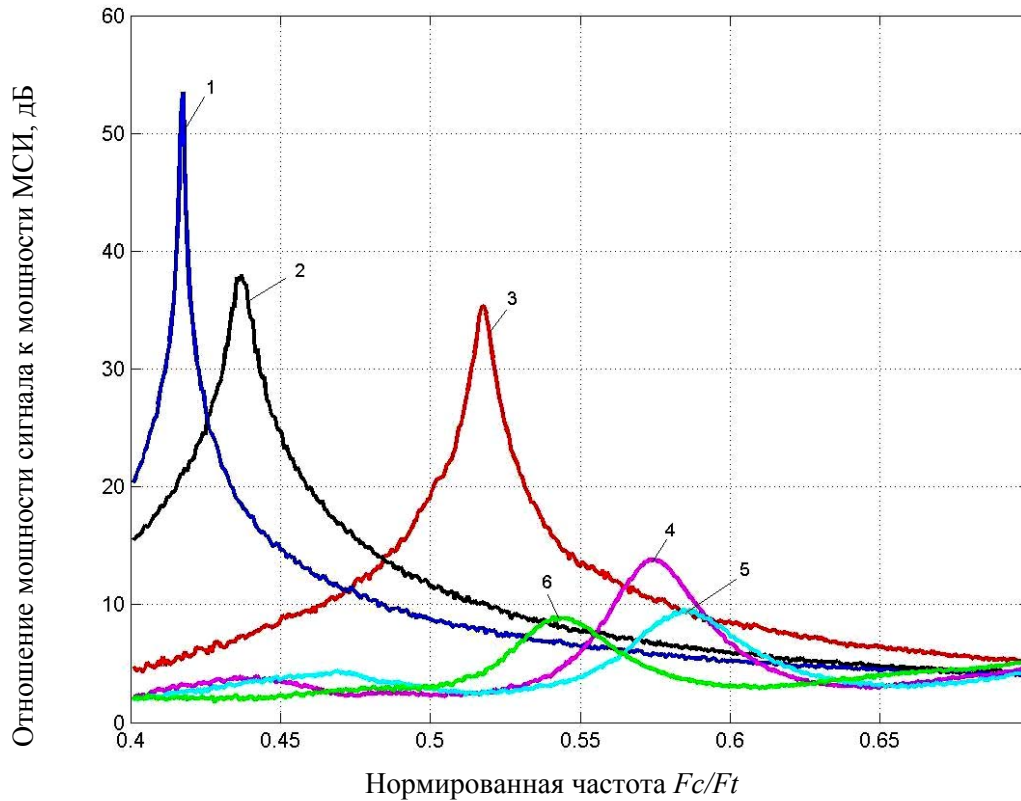


Рисунок 3 – Зависимость отношения мощности сигнала к мощности МСИ от нормированной частоты для разных типов фильтра

Таблица 1 – Зависимость максимального значения отношения мощности сигнала к мощности МСИ от алгоритма расчета и типа фильтра

Номер фильтра на рисунке	Алгоритм расчета фильтра, название фильтра	Порядок фильтра, N	Нормированная частота среза	Отношение сигнал/МСИ, дБ
1	Алгоритм Паркса – Мак-Клеллана	41	0,4169	58,61
2	Алгоритм использования окон	41	0,4368	37,96
3	Алгоритм наименьших квадратов	41	0,5193	35,36
4	Фильтр Баттерворта	5	0,5733	13,86
5	Фильтр Чебышева	5	0,5845	9,60
6	Эллиптический фильтр	5	0,5410	8,97

Из полученных результатов видно, что наилучшие результаты дают рекурсивные фильтры с линейной фазой (1, 2, 3). У нерекурсивных фильтров (4, 5, 6) фаза нелинейная и, чем больше порядок нерекурсивного фильтра, тем меньшее максимальное отношение мощности сигнала к мощности МСИ можно получить, так как нелинейность фазы искажает форму символа и тем самым

увеличивает МСИ. Наилучший результат достигается, если фильтр рассчитан по алгоритму Паркса – Мак-Клеллана. Исследуем указанный алгоритм. Он также известен как алгоритм Ремеза, который основан на минимаксной оптимизации, т. е. минимизации пикового отклонения АЧХ синтезированного фильтра от заданной. В результате получается фильтр с равномерными пульсациями АЧХ и линейной фазо-частотной характеристикой.

На рис. 4 в табл. 2 представлены зависимости отношения мощности сигнала к мощности МСИ от частоты среза фильтра по уровню 0,1 дБ для разных порядков фильтра N .

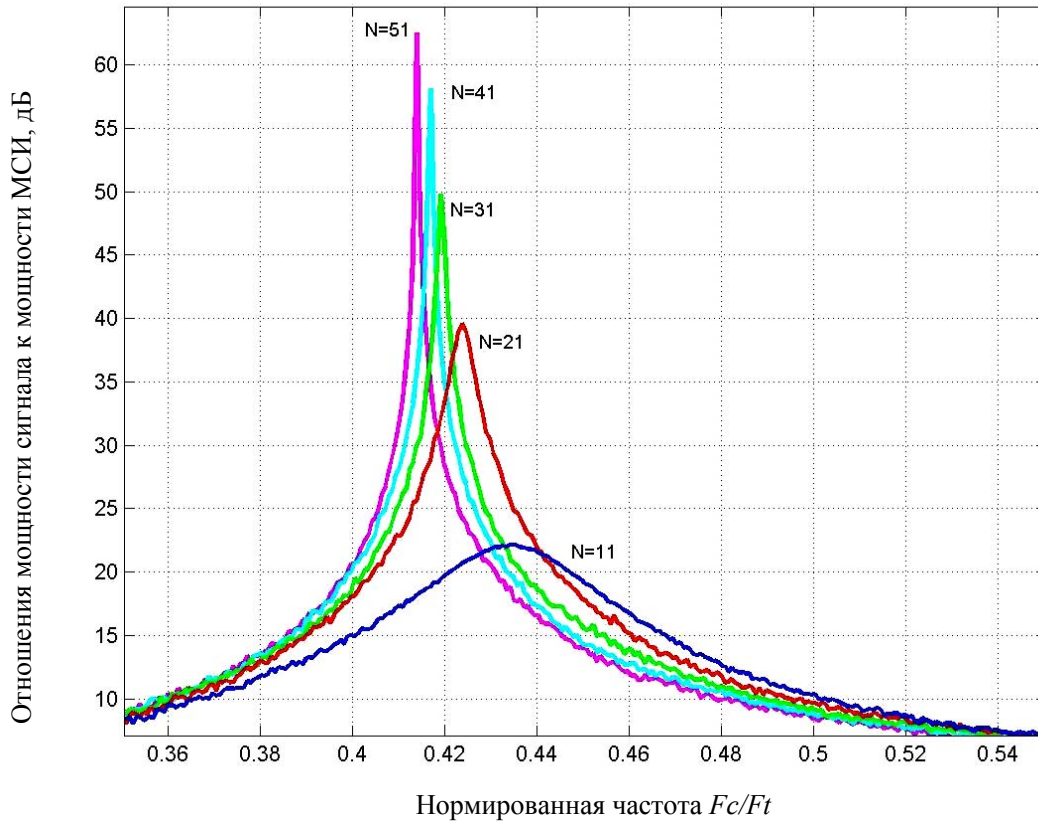


Рисунок 4 – Зависимость отношения мощности сигнала к мощности МСИ от нормированной частоты среза фильтра для фильтров разных порядков, рассчитанных по алгоритму Паркса–Мак-Клеллана

На рис. 5 представлена амплитудно-частотная и фазочастотная характеристика нерекурсивного фильтра 41-го порядка, рассчитанного по алгоритму Паркса – Мак-Клеллана. Чем больше порядок фильтра, тем меньше область перехода от области пропускания к области подавления и тем меньше коэффициент прямоугольности фильтра.

Таблица 2 – Зависимость отношения сигнал/МСИ от длины фильтра

Порядок фильтра, N	Расчет фильтра по алгоритму Паркса – Мак-Клеллана	
	нормированная частота среза	отношение сигнал/МСИ, дБ
11	0,4340	22,16
21	0,4240	39,72
31	0,4194	50,10
41	0,4169	58,61
51	0,4141	67,37

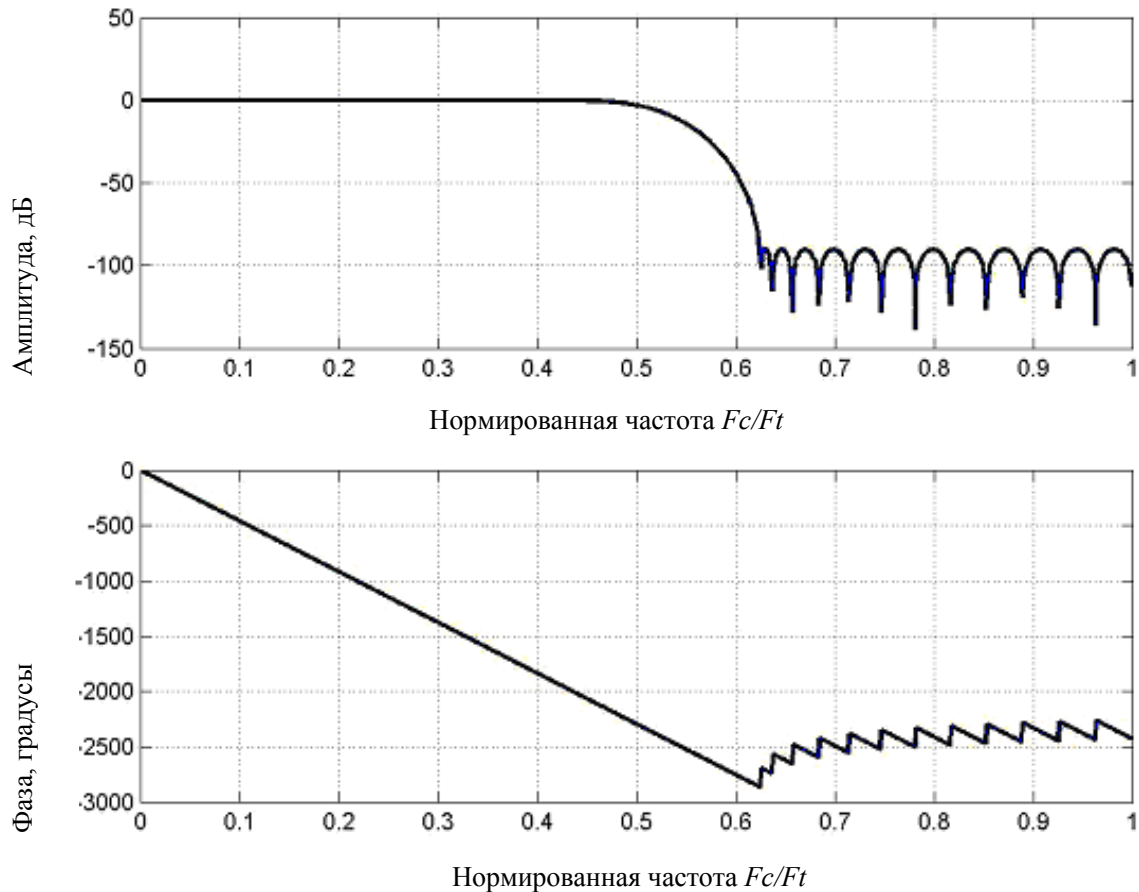


Рисунок 5 – Амплитудно- и фазочастотная характеристики фильтра 41-го порядка, рассчитанного по алгоритму Паркса–Мак-Клеллана

По результатам исследований, проведенных в данной работе, можно сделать **вывод**, что использование критерия качества – отношения мощности сигнала к мощности МСИ – для анализа фильтра с характеристикой “корень из спектра Найквиста” позволяет однозначно оценивать и сравнивать между собой фильтры. По зависимости, представленной на рис. 4, видно, насколько важно точно определить частоту среза фильтра: даже незначительные отклонения (на десятые доли) от оптимальной частоты среза ухудшают отношение мощности сигнала к мощности МСИ на десятки децибелов, что будет сказываться на предельно достижимых параметрах модема. Данная методика выбора фильтра с характеристикой “корень из спектра Найквиста” хорошо зарекомендовала себя на практике, и фильтры, выбранные по ней, используются в модемах серии MegaCom и MegaLink компании УКРСВЯЗЬ [5].

Литература

1. Hanzo L., Webb W., Keller T. Single- and multi-carrier quadrature amplitude modulation: principles and application for personal communications, WLANs and broadcasting. – New York: by John Wiley and Sons, Ltd., 2000. – 739 pp.
2. Брескин В. А. Модемный метод модернизации линий передачи металлического кабеля первичной сети // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса. – 2003. – № 2. – С. 55 – 58 .
3. Прокис Д. Цифровая связь; Пер. с англ. / Под ред. Д. Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
4. Сухарев К.В. Метод анализа корректирующей способности эквалайзера в модемах с КАМ модуляцией // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – Одеса. – 2005. – №2. – С. 75 – 78.
5. <http://ukrsvyaz.com/>