

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ В УСТРОЙСТВАХ ФОРМИРОВАНИЯ ИМИТИРУЮЩИХ ПОМЕХ

А.А. Ростов, В.М. Морозов, А.В. Шарамет

Учебный научно-исследовательский инновационный центр Авиационного факультета

Военная академия Республики Беларусь

Минск, Республика Беларусь

E-mail: shandrei@yandex.ru

Рассмотрены теоретические аспекты задачи проектирования многоступенчатой структуры фильтра-дециматора, понижающего частоту дискретизации в заданное число раз при минимальных вычислительных затратах, с учетом ограничений на точность воспроизведения желаемых частотных характеристик и выделенные аппаратные ресурсы. Приведены результаты практической реализации фильтра дециматора в составе имитатора помех радиолокационных сигналов.

Многоскоростная обработка сигналов предполагает, что в процессе преобразования цифровых сигналов возможно изменение частоты дискретизации в сторону уменьшения или увеличения и, как следствие, требуемой скорости обработки сигналов, так как позволяет значительно уменьшить требуемую вычислительную производительность проектируемой цифровой системы. Совершенно уникальные возможности дает использование многоскоростной обработки в системах адаптивной и нелинейной фильтрации, сжатия, анализа и восстановления речи, звука, изображений и обработке радиолокационного сигнала.

Понижение частоты дискретизации сигнала может показаться тривиальной задачей, но лишь до тех пор, пока идет речь о прореживании сигнала в 2 или 4 раза. Во многих приложениях цифровой обработки сигналов, в частности в цифровых приемниках систем различного назначения, возникает потребность понижать частоту дискретизации входного сигнала в десятки и даже в сотни раз. Для решения данной задачи в настоящее время наибольшее распространение получил метод DDC (Digital Down Conversion) (рис. 1), сочетающий квадратурное преобразование спектра исходного сигнала на нулевую промежуточную частоту, ограничение полосы оцифровки и его прореживание (децимация). Это метод цифровой обработки сигналов, сочетающий квадратурное преобразование спектра исходного сигнала на нулевую промежуточную частоту, ограничение полосы оцифровки и его прореживание (децимация).

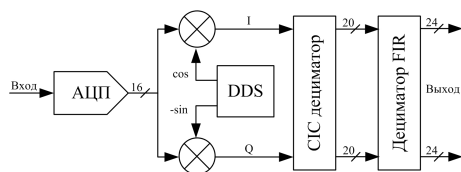
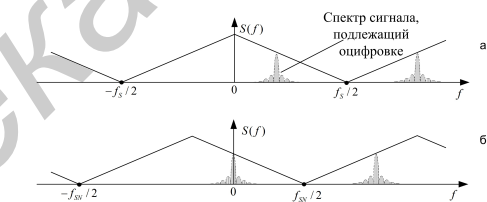


Рис. 1 – Структурная схема DDC дециматора сигнала

В процессе обработки сигнала на выходе АЦП формируется вещественный дискретный сигнал с симметричным относительно нуля периодическим спектром.

При этом периодичность спектра сохраняется, но он перестает быть симметричным. Квадратурный преобразователь (DDS и два умножителя) линейно сдвигает его спектр по оси частот так, чтобы центральная частота требуемой полосы обработки сместилась на нулевую промежуточную частоту (рис. 2).



а) вещественный сигнал на выходе АЦП;
б) комплексный вещественный сигнал на выходе квадратурного преобразователя

Рис. 2 – Спектр дискретного сигнала

Сигнал на выходе умножителей раскладывается на субполосные I и Q составляющие. Каждый субполосный сигнал децимируется с понижением частоты дискретизации в заданное число раз. Ключевым источником ошибок является наложение спектров цифрового сигнала при его децимации, поскольку фильтры являются неидеальными в зоне их непрозрачности. Это требует принятия специальных решений по компенсации наложений. Другим источником ошибки являются амплитудно-фазовые искажения, вносимые фильтрами. Поэтому дальнейшие усилия ученых и специалистов по многоскоростной обработке сигналов были направлены на то, что повторяющиеся спектры должны быть подавлены и устранены фазовые искажения с заданным качеством.

Для этих целей часто используются каскадные интегрально-гребенчатые фильтры (cascaded integral-comb filters CIC) Хогенауэра (рис. 3). Главная отличительная особенность CIC

фильтров заключается в том, что они не требуют операций умножения. Это обстоятельство делает СИС фильтры наиболее привлекательными для их аппаратной реализации.

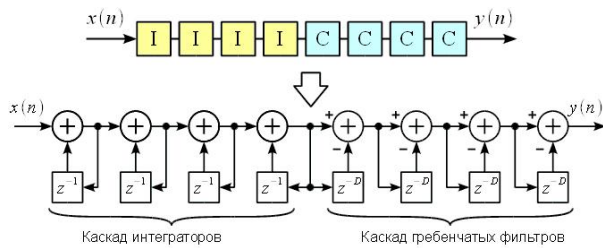


Рис. 3 – Пример реализации СИС фильтра 4-го порядка

Его АЧХ имеет многопестковую форму, а затухание АЧХ в средних точках бесконечно и как нельзя лучше подходит для реализации децимирующего фильтра, т.к. имеет глубокие провалы на тех частотах, где требуется подавлять “алиасы” (рис. 4).

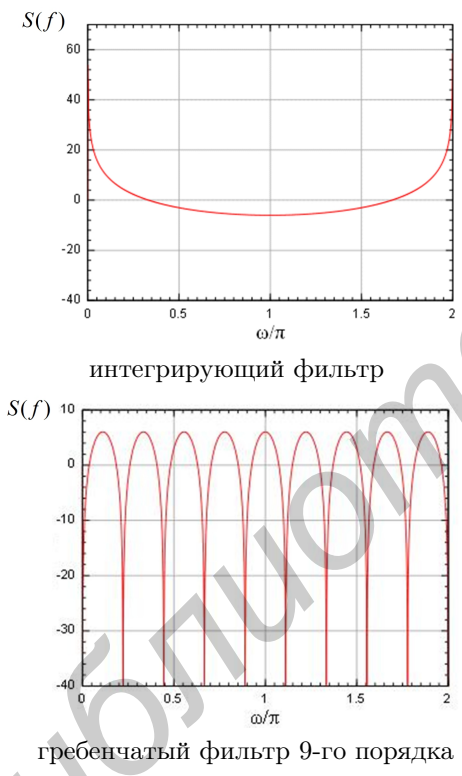
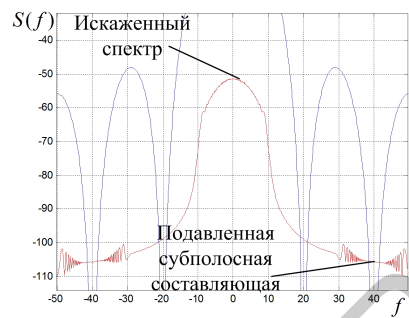


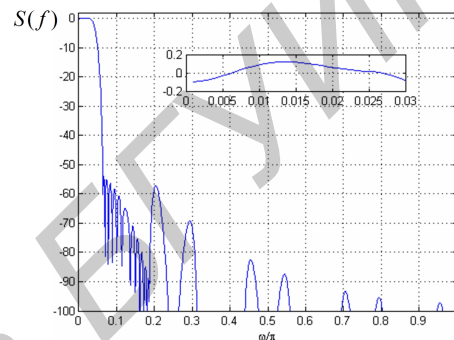
Рис. 4 – Пример АЧХ элементов СИС фильтра

Ввиду сильной неравномерности АЧХ СИС фильтра амплитуды гармоник сигнала сильно искажаются (рис.5). Для предотвращения искажения амплитуд гармоник прибегают к схеме дециматора с фильтром корректором на основе FIR фильтра. Результирующая АЧХ фильтра имеет равномерную АЧХ в полосе пропускания и высокое подавление в полосе заграждения. Таким образом, может быть скомпенсирована неравномерность АЧХ СИС фильтра. Необходимо заметить, так как сначала стоит очень эффективный СИС - дециматор, то FIR работает на частотах в несколько десятков раз ниже

чем частота дискретизации исходного сигнала, что снимает ограничения на его порядок при аппаратной реализации (рис. 5).



спектр сигнала на выходе интегрирующего фильтра без коррекции



FIR фильтр-корректор

Рис. 5 – Пример АЧХ элементов СИС фильтра

Данная схемная реализация использовалась в ходе разработки устройства формирования имитирующих помех. Таким образом, в ходе реализации имитатора помех одним из элементов ЦОС был реализован двухкаскадный дециматор. В первом каскаде шестикаскадный СИС дециматор выполняет основную работу по снижению частоты входного потока в 10 раз (без единого множителя). Во втором каскаде FIR дециматор компенсирует нелинейности СИС фильтра, выполняет точную компенсацию и делит входной поток ещё в 4 раза. Во втором каскаде уже потребовался полифазный FIR-фильтр с множителями. Но он уже работает на пониженной в 10 раз частоте, и аппаратно уже может быть реализован экономично. Требования к АЧХ этого фильтра существенно ниже, чем при однокаскадной децимации. Такой фильтр не требует больших аппаратных затрат.

1. Лапука, О. Г. Радиотехнический облик приемника авиационного барьерного радиолокатора предупреждения о ракетной атаке / О. Г. Лапука, С. Б. Калитин, А. В. Шарамет // Вестн. Военн. акад. Респ. Беларусь. – 2012. – № 1 (34), С. 79–85.
2. Ричард Лайонс. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ.–М.: ООО «Бином-Пресс», 2006.–656 с.
3. Shafer R. W., Rabiner L. R. A digital signal processing approach to interpolation // Proc. IEEE. V. 61. June, 1973. P. 692-702.