

## ОСОБЕННОСТИ ДЕЦИМАЦИИ СИГНАЛА В СИСТЕМАХ МНОГОСКОРОСТНОЙ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА

Шарамет А. В.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
e-mail: a.sharamet@kbradar.by

**Summary.** *The theoretical aspects of the problem of designing a multi-stage filter structure-a decimator that lowers the sampling rate by a given number of times with minimal computational costs, taking into account the limitations on the accuracy of reproducing the desired frequency characteristics and allocated hardware resources are considered.*

Многоскоростная обработка сигналов предполагает, что в процессе преобразования цифровых сигналов возможно существенное уменьшение частоты дискретизации и, как следствие, требуемой скорости обработки. Это приводит к более эффективной обработке сигналов, так как позволяет значительно уменьшить требования к производительности вычислительной платформы. Применение многоскоростной обработки в системах адаптивной и нелинейной фильтрации, сжатия, анализа и восстановления речи, звука, изображений и обработке радиолокационного сигнала позволяет реализовать более сложные алгоритмы. Во многих приложениях цифровой обработки сигналов, 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), сочетающий квадратурное преобразование спектра исходного сигнала на нулевую промежуточную частоту, ограничение полосы оцифровки и его прореживание.

В процессе обработки сигнала на выходе АЦП (рис. 1) формируется вещественный дискретный сигнал с симметричным относительно нуля периодическим спектром.

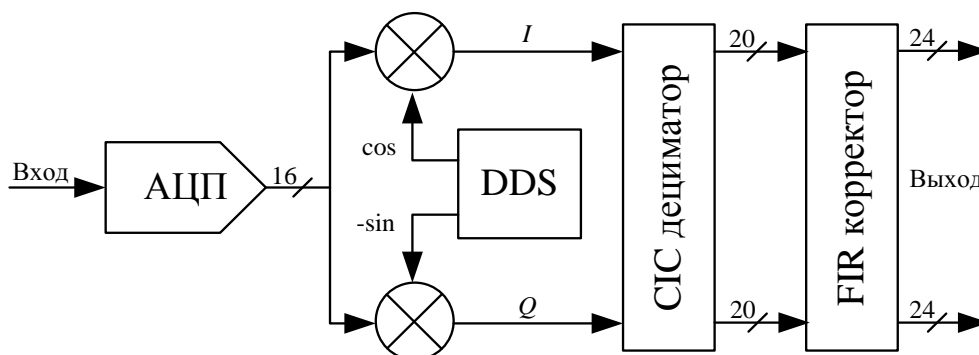


Рисунок 1 – Структурная схема DDC дециматора сигнала

Сигнал на выходе умножителей раскладывается на субполосные  $I$  и  $Q$  составляющие, которые в дальнейшем обрабатываются параллельно. Каждая субполосная составляющая децимируется с понижением частоты отдельно. Это может приводить к возникновению ошибок. Ключевым источником возникающих 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 ошибок являются амплитудно-фазовые искажения, вносимые CIC и FIR фильтрами.

Для реализации децимации часто используются каскадные интегрально-гребенчатые фильтры (cascaded integral-comb filters CIC) Хогенауэра. Главная отличительная особенность CIC фильтра-дециматора заключается в том, что он не требует операций умножения. Это обстоятельство делает его наиболее привлекательным для аппаратной реализации. Его АЧХ имеет многолепестковую форму, а затухание АЧХ в средних точках имеет глубокие провалы (рис. 2, б).

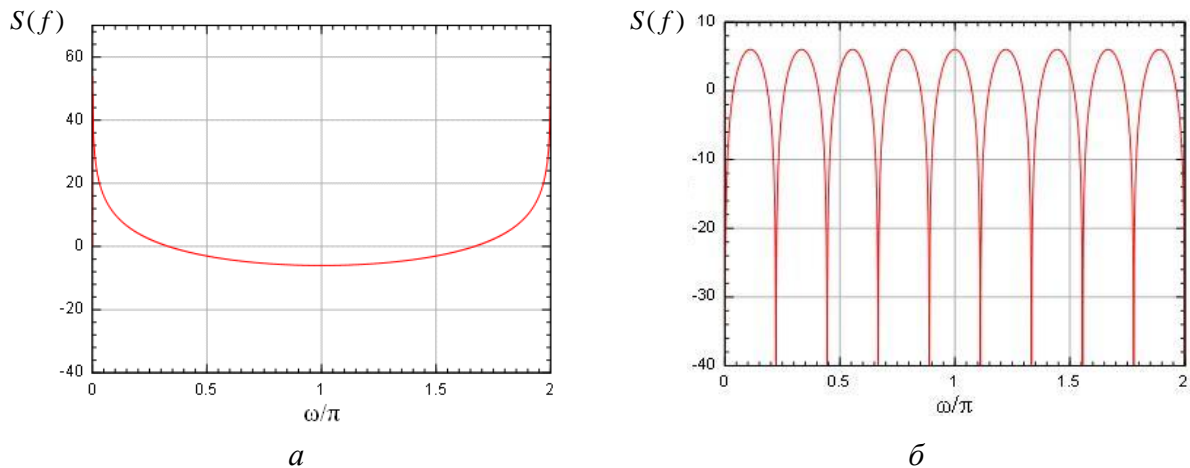


Рисунок 2 – Пример АЧХ элементов CIC фильтра-дециматора: *a* – интегрирующий фильтр; *б* – пример гребенчатого фильтра 9-го порядка

Ввиду сильной неравномерности АЧХ CIC фильтра-дециматора амплитуды гармоник сигнала сильно искажаются (рис. 3, *a*). Для предотвращения искажения амплитуд гармоник прибегают к схеме дециматора с фильтром корректором (рис. 3, *б*) на основе FIR фильтра-корректора.

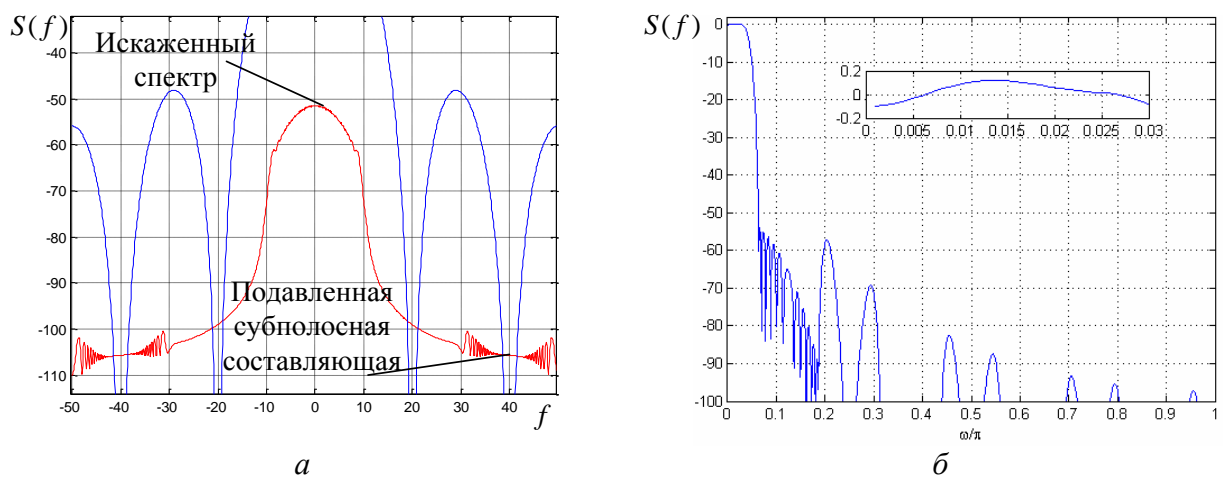


Рисунок 3 – Пример АЧХ элементов CIC фильтра-дециматора: *a* – спектр на выходе интегрирующего фильтра без коррекции; *б* – FIR фильтр-корректор

Результирующая АЧХ фильтра имеет равномерную АЧХ в полосе пропускания и высокое подавление в полосе заграждения. Таким образом, может быть скомпенсирована неравномерность АЧХ CIC фильтра-дециматора. Необходимо заметить, что так как в схеме дециматора сначала стоит эффективный CIC фильтр-дециматор, то FIR фильтр-корректор работает на частотах в несколько десятков раз ниже чем частота дискретизации исходного сигнала (многоскоростная обработка), что снижает требования к его порядку при аппаратной реализации.

Таким образом, CIC фильтра-дециматора выполняет основную работу по снижению частоты входного потока (без единого умножителя). Далее FIR фильтр-корректор компенсирует нелинейности CIC фильтра, т. е. выполняет точную компенсацию искажений. Но при этом он уже работает на пониженной частоте, и аппаратно уже может быть реализован более экономично. Требования к АЧХ этого фильтра существенно ниже и он не требует больших аппаратных затрат.