

ФАЗОВЫЙ МОДУЛЯТОР НА ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ

Шакурский М. В., Шакурский В. К.

Кафедра "Информационный и электронный сервис" кафедры электроснабжения и электротехники,

Поволжский государственный университет сервиса

Тольяттинский государственный университет

Тольятти, Российская Федерация

E-mail: m.shakurskiy@gmail.com, shakurskiy@mail.ru

В работе рассматривается цифровой фазовый модулятор с использованием цифрового фильтра частотной выборки со смещаемой фазочастотной характеристикой. Достоинством такого модулятора является исключение эффекта «растекания спектра» и высокая вычислительная эффективность при обработке узкополосных сигналов на малых интервалах дискретизации.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из негативных эффектов фазовой модуляции при передаче дискретных сообщений является эффект «растекания спектра», возникающий при скачкообразном изменении мгновенной фазы сигнала. Для избавления от этого эффекта на выходе модулятора ставится фильтрующее звено. В рамках данной работы предлагается использовать цифровой фильтр частотной выборки со смещаемой фазочастотной характеристикой для объединения фазового модулятора и фильтрующего звена в одном устройстве. Значительный выигрыш в быстродействии можно получить за счёт использования рекурсивной структуры реализации цифрового фильтра.

I. Постановка задачи

Синтез систем передачи информации сопряжён с рядом проблем. Одной из проблем является повышение общего быстродействия системы за счёт применения более эффективных алгоритмов. В системах фазовой модуляции или, в частном случае, манипуляции имеет место задача обеспечения занимаемой модулированным сигналом заданной полосы частот [1]. С этой целью на выходе модулятора ставится полосный фильтр. Достижение высокой скорости обработки информации цифровыми фильтрующими звеньями может быть обеспечено распараллеливанием выполняемых операций. Тем не менее при больших порядках фильтров, необходимых для работы на малых интервалах дискретизации, количество выполняемых операций может быть колоссально. Для решения этой задачи могут быть использованы цифровые фильтры частотной выборки [2], так как они могут быть реализованы с помощью рекурсивной структурной схемы, что позволяет значительно сократить количество расчётных операций на одном периоде дискретизации. Разработанные цифровые фильтры частотной выборки со смещаемой фазочастотной характеристики позволяют совместить цифровой фазовый модулятор и фильтр

в рамках одного, вычислительно эффективного устройства.

II. ЦИФРОВОЙ ФИЛЬТР СО СМЕЩАЕМОЙ ФАЗОЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Цифровой фильтр частотной выборки представляет собой суперпозицию элементарных цифровых фильтров, каждый из которых является полосным фильтром, с амплитудно-частотной характеристикой вида sinc . Для получения высокой скорости работы цифрового фильтра частотной выборки используется рекурсивная структура реализации элементарных цифровых фильтров. Принцип работы элементарного цифрового фильтра базируется на обработке одной составляющей скользящего спектра. Вычисление текущего спектра происходит для фиксированного окна выборки N отсчётов входного сигнала. Учитывая, что на каждом интервале дискретизации окно смещается на 1 отсчёт, вычисление производится за счёт модификации имеющегося в памяти значения. Это позволяет построить рекурсивную структурную схему фильтра с конечной импульсной характеристикой [3]. При этом длина окна выборки отсчётов обрабатываемого сигнала перестаёт влиять на скорость обработки информации, а определяет только количество отсчётов, хранящихся в памяти. Реализация цифрового фильтра частотной выборки со смещаемой фазочастотной характеристикой достигается за счёт использования комплексной формы представления и обработки сигнала. Входящий действительный сигнал представляется в виде комплексного сигнала с нулевым аргументом, и реализуется его поворот на заданный угол. Математическая модель элементарного цифрового фильтра будет иметь следующий вид [4]:

$$U_{q,n} = \mathbf{X}_{q,n-1} e^{\frac{2j\pi q}{N}} + \left(\frac{u_{n-N-1}}{N} - \frac{u_n}{N} \right) e^{\frac{2j\pi q}{N}} + j\Psi,$$

где \mathbf{X} - отсчёты комплексного спектра скользящей выборки сигнала; u - массив отсчётов входного сигнала; q - номер спектральной составляющей.

Структурная схема элементарного цифрового фильтра приведена на рисунке 1 [5].

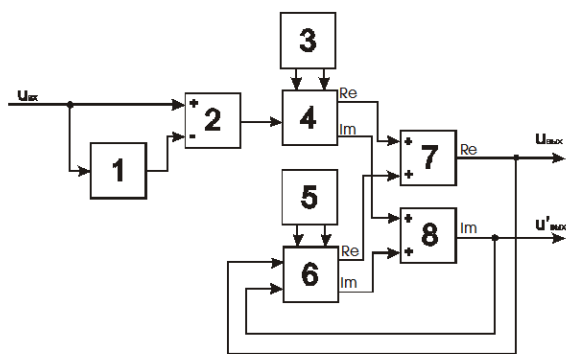


Рис. 1 – Структурная схема элементарного цифрового фильтра со смещаемой фазоастотной характеристикой

Структурная схема содержит цифровую линию задержки на интервал дискретизации 1; сумматоры 2, 7 и 8; блок формирующий информационный сигнал 3; блок комплексного умножения 4; блок 5 памяти коэффициентов действительной и мнимой составляющей выражения $e^{\frac{2j\pi q}{N}}$; блок комплексного умножения 6.

III. ФАЗОВЫЙ МОДУЛЯТОР НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ

Входными сигналами фазового модулятора являются несущее колебание и информационный сигнал. В соответствии с Рис. 1 входным сигналом является несущее колебание, а информационный сигнал подаётся в схему с блока 3. Очевидно, что форма переходного процесса при скачкообразном изменении информационного сигнала будет определяться количеством элементарных цифровых фильтров в структуре. Таким образом, в соответствии с математической моделью элементарного цифрового фильтра можно представить структурную модель фазового модулятора на основе цифровых фильтров частотной выборки со смещаемой фазочастотной характеристикой (Рис. 2).

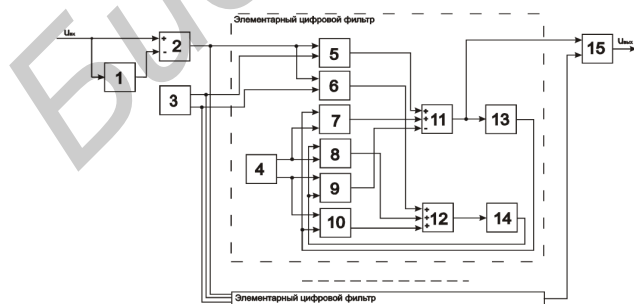


Рис. 2 – Структурная схема фазового модулятора

Представленная на рис. 2 схема содержит блоки линии задержки на интервал дискретизации 1, 13 и 14 -; суммирующие блоки - 2, 11, 12 и 15; блок 3 формирующий две составляющие комплексного единичного вектора информационного сигнала (аргумент которого определяется углом фазовой модуляции); блок 4 памяти коэффициентов действительной и мнимой составляющей выражения $e^{\frac{2j\pi q}{N}}$; умножители 5, 6, 7, 8, 9 и 10. Отметим, что блок суммирования имеет количество входов равное количеству элементарных цифровых фильтров в структуре модулятора. При этом суммирование осуществляется знакопеременно, т.е. выходные сигналы с элементарных цифровых фильтров с чётными номерами суммируются с положительными знаками, а выходные сигналы элементарных цифровых фильтров с нечётными порядковыми номерами суммируются с отрицательными знаками. В представленной структурной схеме информационный сигнал может изменяться произвольно, однако спектр выходного сигнала будет ограничен эквивалентной амплитудно-частотной характеристикой, формируемой суперпозицией характеристик элементарных цифровых фильтров.

IV. ВЫВОДЫ

Разработанная структурная схема цифрового фазового модулятора позволяет реализовывать произвольное фазовое смещение без значительных вычислительных затрат. Использована рекурсивная схема реализации, позволяющая добиться независимости вычислительной эффективности системы от количества отсчётов импульсной характеристики модулятора, что крайне эффективно при работе на малых интервалах дискретизации. Предложенная структурная схема позволяет реализовывать принцип распараллеливания выполнения математических операций и контролировать эффект «расползания спектра».

V. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие / А. Б. Сергиенко // Спб.: Питер, 2004. – 751 с.
2. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис // пер. с англ.-М.: Издат. дом «Вильямс» – 2004. – 990 с.
3. Шакурский, М. В. Патент РФ на полезную модель №108669 Цифровой фильтр / М. В. Шакурский // опубл. 20.09.2011 Бюл. №26.
4. Шакурский, В. К. Патент РФ на полезную модель №113597 Цифровой фильтр со смещаемой фазочастотной характеристикой / В. К. Шакурский, М. В. Шакурский // опубл. 20.02.2012 Бюл. №5.
5. Иванов, В. В. Цифровые фильтры частотной выборки / В. В. Иванов, М. В. Шакурский // Самара.: СНЦ РАН – 2012. – 105 с.