

УДК 621.372.543.2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ СО СМЕЩАЕМОЙ ФАЗОЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

ШАКУРСКИЙ М. В., ВОЛОВАЧ В. И.

*Поволжский государственный университет сервиса,
Россия, Тольятти, 445677, ул. Гагарина, 4*

Аннотация. В статье приведены математические модели цифровых фильтров частотной выборки со смещаемой фазочастотной характеристикой (ФЧХ) и обобщенная математическая модель, учитывающая смещение ФЧХ, вносимое на входе. Проведенные исследования позволили разработать класс узкополосных фильтров с возможностью как смещения ФЧХ, так и изменения мгновенной фазы выходного сигнала в реальном времени.

Ключевые слова: цифровой фильтр; метод частотной выборки; фазочастотная характеристика; ФЧХ; элементарный цифровой фильтр; конечная импульсная характеристика

ВВЕДЕНИЕ

Исследования измерительных автоколебательных преобразователей девиации фазы и частоты, работающих в режиме повышенной чувствительности [1–3] показали необходимость синтеза цифровых фильтров (ЦФ) с перестраиваемой фазочастотной характеристикой (ФЧХ). Известно, что ФЧХ цифровых фильтров выходит из нуля, а угол ее наклона определяется длительностью импульсной характеристики, что усложняет, а в большинстве случаев делает невозможной настройку цифровой автоколебательной системы [4].

Проведенные исследования позволили синтезировать класс ЦФ со смещаемой ФЧХ [5, 6], позволяющие не только настраивать ФЧХ, но и влиять на мгновенную фазу обрабатываемого сигнала [7]. В данной статье предложена обобщенная математическая модель ЦФ со смещаемой ФЧХ.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦФ ЧАСТОТНОЙ ВЫБОРКИ

В основе реализации любого алгоритма цифровой фильтрации лежит его математическое описание [8]. Рассмотрим различные способы смещения ФЧХ цифровых КИХ-фильтров на основе метода частотной выборки и скользящего дискретного комплексного преобразования Фурье. Получим математические модели для ЦФ без смещения ФЧХ [9, 10], и ЦФ со смещением ФЧХ.

Рассмотрим работу элементарного цифрового фильтра (ЭЦФ) на основе скользящего дискретного комплексного преобразования Фурье [8, 9, 11, 12]. Для этого получим выражение, позволяющее найти значение отсчета выходного сигнала по известной скользящей выборке отсчетов входного сигнала.

Отсчет выходного сигнала формируется на каждом интервале дискретизации последним отсчетом сигнала, полученного в результате обратного преобразования Фурье [9]:

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванов, В. В.* Генераторные фазовые и частотные преобразователи и модуляторы / В. В. Иванов, В. К. Шакурский. — М. : Радио и связь, 2003. — 184 с.
2. *Иванов, В. В.* Синтез цифровых фильтров для генераторных преобразователей повышенной чувствительности / В. В. Иванов, М. В. Шакурский, В. К. Шакурский // Приборостроение. — 2012. — Т. 55, № 7. — С. 28–31. — (Известия вузов). — Режим доступа : http://pribor.ifmo.ru/ru/article/6078/sintez_cifrovyyh_filtrov_dlya_generatornykh_preobrazovateley_povyshennoy_chuvstvitelnosti.htm.
3. Патент 113597 РФ, МПК G06F 17/14. Цифровой фильтр со смещаемой фазочастотной характеристикой / В. К. Шакурский, М. В. Шакурский (Россия); опубл. 20.02.2012, Бюл. № 5.
4. *Шакурский, М. В.* Цифровые фильтры частотной выборки / М. В. Шакурский, В. В. Иванов. — Самара : СНЦ РАН, 2012. — 106 с.
5. *Айфичер, Э. С.* Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис : пер. с англ. — М. : Вильямс, 2004. — 990 с.
5. *Harris, S. P.* Automatic design of frequency sampling filters by hybrid genetic algorithm techniques / S. P. Harris, E. C. Ifeachor // IEEE Trans. Signal Process. — Dec. 1998. — Vol. 46, No. 12. — P. 3304–3314. — DOI : [10.1109/78.735305](https://doi.org/10.1109/78.735305).
6. *Rabiner L.* An approach to the approximation problem for nonrecursive digital filters / L. Rabiner, B. Gold, C. McGonegal // IEEE Trans. Audio Electroacoustics. — Jun. 1970. — Vol. 18, No. 2. — P. 83–106. — DOI : [10.1109/TAU.1970.1162092](https://doi.org/10.1109/TAU.1970.1162092).

Поступила в редакцию 12.09.2014

После переработки 02.04.2016