

УДК 621.396

**РЕАЛИЗАЦИЯ ЦЕЛОЧИСЛЕННЫХ РЕКУРСИВНЫХ ФИЛЬТРОВ  
БЕЗ УМНОЖИТЕЛЕЙ НА ПЛИС**

© 2014 г.

**В.В. Артемьев**

Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского

zzzrf413@bk.ru

Поступила в редакцию 25.09.2013

Рассматривается вопрос аппаратной реализации целочисленного рекурсивного цифрового фильтра с линейной фазой без умножителей на ПЛИС XILINX Spartan-3AN. Приведён пример сравнения аппаратных затрат на реализации с использованием умножителей и без.

*Ключевые слова:* рекурсивный цифровой фильтр, программируемая логическая интегральная схема.

В цифровой обработке сигналов особое внимание уделяется цифровой фильтрации с использованием цифровых фильтров, т.к. она может занимать до половины объёма всех вычислений. Задача уменьшения сложности аппаратной реализации цифровых фильтров приобретает все большую популярность. Зачастую при решении задачи цифровой обработки сигнала достаточно использовать цифровой фильтр с постоянными коэффициентами. В этом случае использование полноценных умножителей при его разработке является неоправданно затратным. Умножение на фиксированное число можно представить в виде набора сумматоров и сдвигов по степеням двойки, что позволит существенно уменьшить аппаратные затраты на реализацию и ускорить процесс обработки данных [1].

В статье рассматривается вопрос реализации рекурсивного цифрового фильтра с линейной фазой, синтезированного методом целочисленного нелинейного программирования (ЦНП) [2–4]. Разностное уравнение рекурсивного цифрового ЦНП-фильтра записывается как

$$y_n = -\sum_{k=1}^N \frac{a_k}{a_0} y_{n-k} + \sum_{k=0}^N \frac{b_k}{a_0} x_{n-k}. \quad (1)$$

Коэффициенты цифрового фильтра могут быть представлены в поразрядном представлении числа как

$$C = \sum_{i=1}^R k_i * 2^i, \quad (2)$$

где  $k_i = \{0,1\}$ , а  $R$  – разрядность коэффициентов. Однако есть другое – знако-разрядное SD (Signed Digit) – представление числа. В этом представлении  $k_i$  в выражении (2) может принимать значения  $\{0,1,\bar{1}\}$ , где  $\bar{1}$  означает -1. Для любого числа существует бесконечное множество SD-представлений этого числа. Преимущество SD-представления числа заключается в меньшем количестве сумматоров при аппаратной реализации. В таблице 1 приведено сравнение двух способов представления числа.

В таблицах 2 и 3 представлены коэффициенты соответственно первого и второго звена синтезированного рекурсивного цифрового ЦНП-

Таблица 1

**Представление числа**

	Поразрядное	Знако-разрядное
Число	31	31
Представление	00011111	0010000 $\bar{1}$
Структура	16 + 8 + 4 + 2 + 1	32 – 1
Количество сумматоров	4	1

Таблица 2

**Коэффициенты первого звена фильтра**

Коэффициент фильтра	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$b_0$	$b_1$	$b_2$
Значение	8192	1720	-3833	715	1347	-7884
Необходимое число сумматоров	0	3	3	3	3	4



**IMPLEMENTATION OF INTEGER RECURSIVE MULTIPLIERLESS FILTERS ON FPGA****V.V. Artemiev**

A hardware implementation of an integer recursive multiplierless digital filter with a linear phase on Xilinx Spartan-3AN FPGA is considered. An example of comparison of hardware implementation costs for filters with and without the use of multipliers is presented.

*Keywords:* digital recursive filter, programmable logic integrated circuit.

*References*

1. Mingazin A.T. Sintez kaskadnyh cifrovych fil'trov s minimal'nym chislom summatorov v blokah umnozhenija // *Jelektrosvjaz'*. 1993. S. 122–125.
2. Bugrov V.N. Proektirovanie cifrovych fil'trov metodami celochislennogo nelinejnogo programmirovaniya // *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. 2009. № 6. S. 61–70.
3. Bugrov V.N., Lupov S.Ju., Zemnjukov N.E., Korokozov M.N. Diskretnyj sintez cifrovych rekursivnyh fil'trov // *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo*. 2009. № 2. S. 76–82.
4. Shkelev E.I., Bugrov V.N., Projdakov V.I., Artem'ev V.V. Celochislennye cifrovye fil'try –

jeffektivnoe reshenie dlja 8-bitovyh cifrovych platform // *Komponenty i tehnologii*. 2013. № 10. S. 167–175.

5. Artem'ev V.V., Kovanova E.V. Metod diskretnogo sinteza rekursivnyh cifrovych fil'trov s linejnoj fazoj // *Tezisy doklada Mezhdunar. nauch. konf. «IST-2013»*. N. Novgorod: NGTU, 2013. S. 36–37.

6. Artem'ev V.V., Bugrov V.N. Sintez cifrovych rekursivnyh fil'trov s linejnoj fazoj // *Komponenty i tehnologii*. 2013. № 7. S. 132–134.

7. Aljoshin D.V. Algoritm sinteza celochislennyh umnozhitelej dlja cifrovych KIH-fil'trov // *9-ja Mezhdunar. konf. «Cifrovaja obrabotka signalov i ejo primenenie»*, DSPA-2007. S. 96–98.