

**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ  
НА ОСНОВЕ DSP-ПРОЦЕССОРОВ****О. О. Гурницкая***Гомельский государственный технический университет  
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научные руководители: Ю. В. Крышнев, С. Н. Кухаренко

Цифровая обработка информации получила широкое распространение практически во всех сферах науки и техники. Цифровая фильтрация на сегодняшний день применяется практически везде, где требуется обработка сигналов, в частности в спектральном анализе, обработке изображений, обработке видео, обработке речи, звука и многих других приложениях. Цифровые фильтры имеют ряд преимуществ по сравнению с аналоговыми:

1) простота реализации и удобство использования (используются одни и те же алгоритмы для проектирования фильтров с различными импульсными характеристиками);

2) качественные характеристики (при соответствующем выборе разрядности вычислителя можно получить практически любую заданную точность обработки сигналов);

3) возможность спроектировать фильтр любой сложности.

Разработка цифрового фильтра включает в себя пять этапов:

1. Спецификация требований к фильтру.

2. Вычисление подходящих коэффициентов фильтра.

3. Представление фильтра подходящей структурой.

4. Анализ влияния конечной разрядности на реальную характеристику фильтра.

5. Реализация фильтра на программном и/или аппаратном уровне.

Проследим перечисленные этапы разработки на примере цифрового фильтра нижних частот первого порядка с частотой среза  $f_c = 1$  кГц.

Вычисление цифровой передаточной характеристики выполняется с помощью билинейного  $z$ -преобразования [1]. Для любого преобразования из аналогового фильтра в цифровой необходимо учитывать, что на высоких частотах цифровая частота начинает нелинейно зависеть от аналоговой, что приводит к нежелательным искажениям. Во избежание этого аналоговый фильтр предварительно деформируется перед применением билинейного преобразования. Формула, связывающая аналоговую и цифровую частоты [1]:

$$\omega_{cp} = \operatorname{tg}\left(\frac{\omega_c T}{2}\right),$$

где  $T$  – период дискретизации;  $\omega_c$  – аналоговая частота среза;  $\omega_{cp}$  – цифровая частота среза.

После проведенных преобразований получили цифровой фильтр, структура и передаточная характеристика которого представлена на рис. 1.

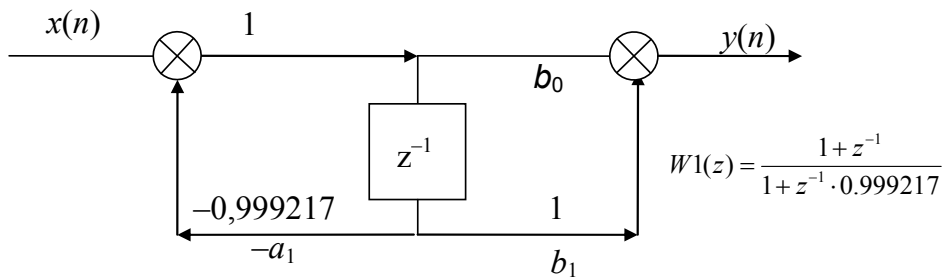


Рис. 1. Структура цифрового фильтра и его передаточная характеристика

Требовалось проанализировать влияние конечной разрядности на погрешность фильтрации. Исследования показали, что при увеличении количества разрядов, с помощью которых обрабатывается информация, погрешность уменьшается (см. таблицу).

#### Зависимость погрешности квантования для различных разрядностей обрабатываемых данных

Значения для разрядностей	8 бит	10 бит	12 бит	14 бит	16 бит
Истинное значение коэффициента $a_1$	-0,999217	-0,999217	-0,999217	-0,999217	-0,999217
Значение коэффициента $a_1$ после квантования	-0,984375	-0,996093	-0,999023	-0,999267	-0,999206
Погрешность квантования $\Delta$ , %	1,48	0,31	0,019	0,005	0,001

Цифровой фильтр был программно реализован на языке программирования C. Часть программы, описывающей фильтр, имеет вид:

```
for(n=0; n,(Ns-1); ++n){ /*Ns-число выборок данных*/
  xn=x[n];
  w=xn-0.999217w1;
  y=w+w1;
  w1=w;
  y[n]=y; /*n-ая выходная выборка*/
}
```

Для исследования в реальном времени характеристик рассчитанного фильтра была спроектирована схема эксперимента (рис. 2).

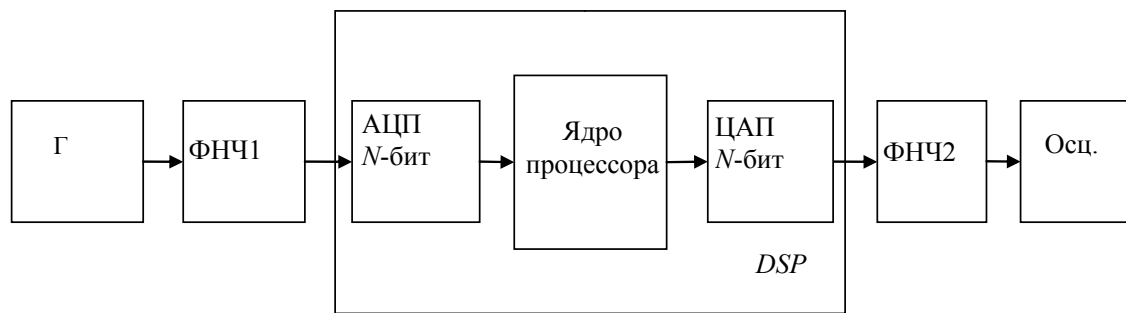


Рис. 2. Схема эксперимента:

Г – генератор с частотой сигнала  $f_a$  (в целях исследования необходим генератор, формирующий как гармонический сигнал, так и прямоугольные импульсы);  
*DSP* – сигнальный процессор; ФНЧ1 – входной антиалайзинговый фильтр;  
 ФНЧ2 – выходной антиимиджинговый фильтр; Осц. – осциллограф

Антиалайзинговый фильтр применяется для подавления эффекта наложения спектров после дискретизации сигналов  $N$ -битным АЦП.

Антиимиджинговый фильтр применяется для подавления побочных составляющих спектра полезного сигнала, преобразованного в аналоговый вид при помощи ЦАП.

Оба фильтра должны рассчитываться, исходя из критерия Найквиста:

$$f_s \geq 2f_a,$$

где  $f_s$  – частота дискретизации,  $f_a$  – максимальная частота спектра сигнала.

Примем  $f_s = 10f_a$ , тогда

$$f_s = \frac{10}{RC} = \frac{10}{100 \text{ Ом} \cdot 10 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ}} = 10 \cdot 10^3 \text{ Гц.}$$

В случае обработки широкополосного сигнала лучше всего для реализации обоих аналоговых фильтров подходит фильтр Бесселя, так как он имеет оптимальную фазочастотную характеристику с точки зрения неискаженной передачи сигнала в полосе пропускания. Будем использовать в качестве антиалайзингового и антиимиджингового фильтр Бесселя 2-го порядка на основе схемы Рауха [2] с частотой среза  $f_c = 0,5f_s = 5 \text{ кГц}$ .

Частотные характеристики фильтра, рассчитанного по методике, приведенной в [2], представлены на рис. 3.

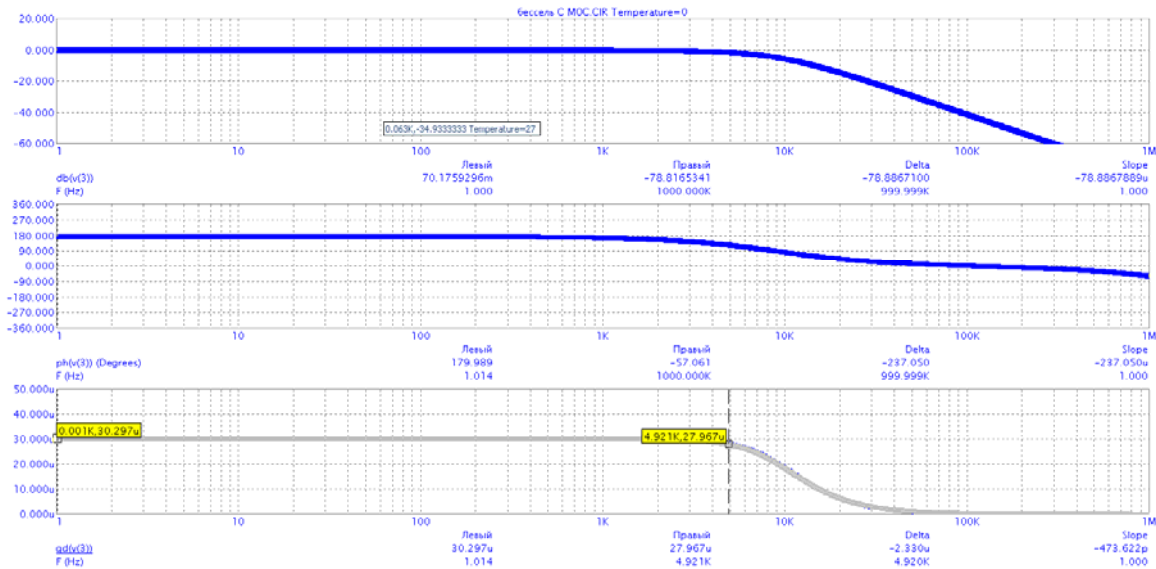


Рис. 3. Частотные характеристики фильтра Бесселя

**Заключение.** 1. В работе исследовано влияние ошибок квантования коэффициентов на качество фильтрации.

2. При увеличении числа бит, используемых для обработки сигнала, уменьшается погрешность искажения передаточной характеристики.

3. Достоинством цифровых фильтров является возможность реализации передаточных функций фильтров произвольного порядка без пропорционального наращивания аппаратных затрат.

#### Литература

1. Айфичер, Э. Цифровая обработка сигналов: практический подход / Э. Айфичер, Б. Джервис. – 2-е изд., 2004. – 992 с.
2. Лэм, Г. Аналоговые и цифровые фильтры. Расчет и реализация : пер. с англ. / Г. Лэм. – М. : Мир, 1984.