

# АДАПТИВНОЕ ПОДАВЛЕНИЕ ПОМЕХ НА БАЗЕ НЕЛИНЕЙНОГО АВТОКОМПЕНСАТОРА

Валеев В.Г., Язовский А.А.

Уральский государственный технический университет-УПИ,  
 каф. «Радиоэлектронные и телекоммуникационные системы»  
 620002, Екатеринбург, ул.Мира 32, [jaz@nexcom.ru](mailto:jaz@nexcom.ru), [jaz@rtf.ustu.ru](mailto:jaz@rtf.ustu.ru).

Адаптивные устройства подавления помех часто строятся по компенсирующему принципу в виде двухканальной схемы (смотри Рис.1) с адаптивным фильтром помехи (АФП) в виде весового сумматора в компенсирующем канале [1]. Здесь  $y(t)$  - процесс на входе, представляющий собой аддитивную смесь полезного и мешающего сигналов;  $x(t)$  - опорный сигнал, коррелированный с мешающим сигналом, из которого АФП формирует оценку помехи  $\tilde{y}(t)$ ;  $z(t)$  - сигнал ошибки (выходной сигнал) автокомпенсатора. Качество подавления помех в таких автокомпенсаторах зависит от спектральных различий сигнала и помехи. Наш метод базируется на предположении, что полезный сигнал значительно слабее помехи, и состоит в нелинейной аппроксимации их аддитивной смеси с заданной мощностью ошибки, превышающей мощность полезного сигнала. В нашем случае фильтром помехи является адаптивный безынерционный нелинейный квантователь (смотри Рис.2), амплитудная характеристика  $f(x)$  которого настраивается таким образом, чтобы с минимальной среднеквадратической ошибкой воспроизвести сигнал  $y(t)$ . На  $z$  - выходе такого автокомпенсатора получаем сигнал ошибки квантования  $z(t)$ , содержащий ослабленную помеху и полезный сигнал.

Представим амплитудную характеристику квантователя в виде

$$f(x) = a \cdot \phi(x) + b \cdot \varphi(x), \quad (1)$$

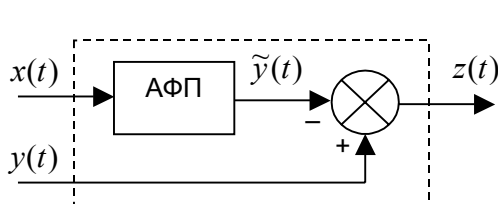


Рис.1.

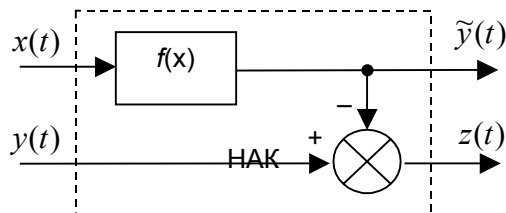


Рис.2.

где  $a$  и  $b$  - параметры ее настройки (выходные уровни квантования);  $\phi(x)$  и  $\varphi(x)$  - базисные функции, причем  $\varphi(x) = 1 - \phi(x)$ , а  $\phi(x)$  - функция, равная 1 для  $x > 0$ , и нулю - в другом случае. Заметим, что функции  $\phi(x)$  и  $\varphi(x)$  - взаимно ортогональны, т.е.  $\phi(x) \cdot \varphi(x) = 0$ , а также  $\phi^2(x) = \phi(x)$  и  $\varphi^2(x) = \varphi(x)$ .

Введем следующие обозначения. Пусть  $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  - вектор-столбец, состоящий из  $n$  отсчетов процесса  $x(t)$  в моменты времени  $t = t_i$ . Аналогично введем вектор-столбцы  $\vec{y}$ ,  $\vec{\tilde{y}}$  и  $\vec{z}$ . Совокупность отсчетов процесса  $x(t)$  после нелинейных преобразований  $\phi[x(t)]$  и  $\varphi[x(t)]$  обозначим соответственно векторами  $\vec{\phi}$  и  $\vec{\varphi}$ .

Средний квадрат ошибки автокомпенсации (квантования) представим скалярным произведением:  $I = \vec{z}^T \vec{z}$ . (2)

Оптимальные параметры  $\vec{a}$  и  $\vec{b}$ , обеспечивающие минимум величины (2), найдем приравнявая частные производные от  $I$  по  $a$  и  $b$  к нулю и решая полученную систему линейных уравнений. В итоге, с учетом ортогональности функций  $\phi(x)$  и  $\varphi(x)$ , выражения для оптимальных параметров и минимальной ошибки  $\vec{I}$  примут вид

Соединим каскадно  $m$  таких НАК, как показано на Рис.3.

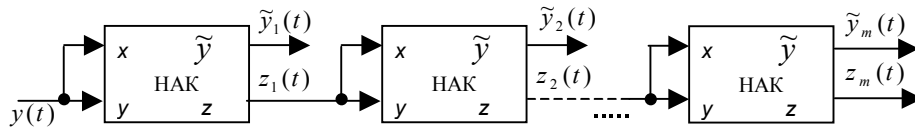


Рис.3.

Здесь  $z_k(t)$  и  $\tilde{y}_k(t)$  - сигналы на  $z$ - и  $\tilde{y}$ - выходах  $k$ -го каскада соответственно;  $k=1,2,\dots,m$ .

Каскады могут работать одновременно или последовательно во времени, производя сначала адаптацию, а затем формирование сигнала ошибки. Схема такого  $m$ -каскадного НАК обладает рядом достоинств по сравнению с однокаскадным:

1) Каждый каскад осуществляет оптимальное бинарное квантование сигнала ошибки с выхода предыдущего каскада, а это означает, что вся схема последовательно во времени реализует оптимальное, в общем случае, неравномерное  $2^m$  - уровневое квантование процесса  $y(t)$  и формирование сигнала ошибки после такого квантования.

2) Для реализации алгоритма адаптации (3) каждой ступени НАК требуется всего лишь две операции деления (для вычисления  $\tilde{a}$  и  $\tilde{b}$ ) и четыре ячейки памяти (для накопления  $\bar{y}^T \bar{\phi}$ ,  $\bar{y}^T \bar{\varphi}$ ,  $\bar{\phi}^T \bar{\phi}$  и  $\bar{\varphi}^T \bar{\varphi}$ ).

3) При последовательной работе каскадов, возможно итеративное вычисление оптимальных параметров настройки и последующая компенсация с сохранением промежуточных результатов в одних и тех же ячейках памяти.

4) Сумма  $\tilde{y}(t) = \tilde{y}_1(t) + \tilde{y}_2(t) + \dots + \tilde{y}_m(t)$  не содержит полезный сигнал и представляет собой итоговую оценку помехи.

$$\tilde{a} = \frac{\bar{y}^T \bar{\phi}}{\bar{\phi}^T \bar{\phi}} \quad \tilde{b} = \frac{\bar{y}^T \bar{\varphi}}{\bar{\varphi}^T \bar{\varphi}} \quad \tilde{I} = \bar{y}^T \bar{y} - \left[ \frac{(\bar{y}^T \bar{\phi})^2}{\bar{\phi}^T \bar{\phi}} + \frac{(\bar{y}^T \bar{\varphi})^2}{\bar{\varphi}^T \bar{\varphi}} \right] \quad (3)$$

Предлагаемый нелинейный автокомпенсатор был испытан в среде имитационного моделирования SimuLink системы MatLab 6.1. На его вход подавалась аддитивная смесь двух гармонических сигналов, отличающихся частотой и амплитудой. На Рис.4. представлены спектры процессов на входе (пунктиром) и выходе (сплошной линией) двухкаскадного НАК. Их анализ показывает, что уровень мощной гармонической помехи уменьшается при прохождении через НАК более чем на 20 дБ, а уровень слабого сигнала остается прежним.

Все изложенное выше, доказывает, что предложенный нами метод нелинейной автокомпенсации помех эффективен, прост в реализации и может применяться при разработке помехоустойчивых систем обработки сигналов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов/ Пер. с англ. М.: Радио и связь, 1989.

Рис. 4.



#### **SELF-COMPENSATOR BASE ADAPTIVE NOISE CUTTING-OFF**

Valeev V., Yazovsky A.

Frequently, noise cutting-off adaptive circuits are under construction by a compensatory principle with the noise adaptive filter as the weight adder. Our work dedicated to research of an adaptive noisemaker with usage of the noise non-linear filter as adaptive quantizer. Filter output signal is step-function of time. This function aims to input process by minimum of root-mean-square deviation criteria. The applying of such noise filter has some advantages. At first, the digital processing, that realized noise adaptive suppression procedure, is simple, have less number "multiplying" operations and smaller demanded memory volume. Secondly, higher suppression performance reached in the non-gaussian noise class as contrast to adaptive suppressors operating, which used weight adder as the noise filter.

Some applications examples of the non-linear noise filter in adaptive circuits reviewed.