ISSN 0868–5886 НАУЧНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, 2000, том 10, № 4, с. 87–89

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.391.14+53.08

© Ю. С. Музалевский, И. Б. Птицына

ДВУХПОРОГОВЫЙ ЗНАКОВЫЙ ДИСКРИМИНАТОР СО СЧЕТЧИКАМИ — ИЗМЕРИТЕЛЬ СЛАБОГО ПОСТОЯННОГО СИГНАЛА В СИЛЬНЫХ ШУМАХ

Рассмотрена возможность обнаружения и/или измерения слабого постоянного сигнала в присутствии сильных аддитивных шумов по информации, накопленной в счетчиках, установленных после двух дискриминаторов знака суммы сигнала и постоянного смещения. В отличие от предложенного ранее измерителя с одним порогом новый измеритель не требует априорной информации о дисперсии шума.

ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] была показана возможность точного измерения слабого стационарного сигнала на фоне сильного аддитивного шума с помощью однопороговой схемы с накоплением. Слабый постоянный сигнал интерпретировался как математическое ожидание стационарного случайного процесса. Измерение этого математического ожидания осуществлялось путем накопления в реверсивном счетчике знака выборок через шаг квантования по времени. Показание счетчика, отнесенное к числу выборок за интервал накопления, представляет собой величину, детерминированно зависящую от искомой величины сигнала в масштабе среднеквадратичного отклонения шума.

К достоинствам метода следует отнести в первую очередь простоту технической реализации схемы измерения слабого сигнала на фоне сильного стационарного шума и возможность использования "клиппирования" суммы сигнала с шумом, что в свою очередь существенно снижает требования к масштабным усилителям, устанавливаемым между источником сигнала и схемой его измерения.

Недостатком схемы можно считать необходимость априорного знания величины среднеквадратичного отклонения (или дисперсии) шума или организации специальных средств для его измерения.

В настоящей работе предлагается развитие метода [1], которое при относительно небольшом усложнении схемы позволяет получить одновременную информацию как о математическом ожидании шума (т.е. сигнале), так и о среднеквадратичном отклонении шума. Ограничения на стационарность сигнала и шума те же, что и в [1].

ДВУХПОРОГОВАЯ СХЕМА НАКОПЛЕНИЯ

Появление величины среднеквадратичного отклонения в качестве масштаба величины сигнала не случайно, поскольку в однопороговой схеме для "клиппированного" сигнала принципиально нет привязки к амплитудной шкале. Другими словами, в схеме нет масштабной "меры" сигнала.

Такую "меру" проще всего организовать путем дублирования измерений суммы сигнала с шумом по схеме из [1] для двух различных порогов, относительно которых определяется знак суммы (сигнал + шум). Именно величина расстояния между этими порогами и дает масштабную привязку к амплитудной шкале. На рис. 1 приведена схема, реализующая эту идею.

Входной сигнал, представляющий собой сумму $u=s+n(t)$ постоянного сигнала s и изменяющегося

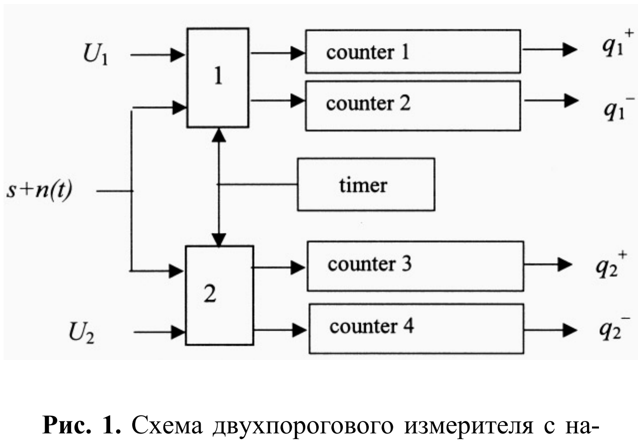

Рис. 1. Схема двухпорогового измерителя с накоплением

во времени шума $n(t)$, подается на входы двух схем определения знака. Знак суммы $s+n(t)+U_i$ будет зависеть от уровня порога, на который настроена схема определения знака, т. е. от величины смещения U_i. Опрос текущих знаков осуществляется от единого таймера.

На выходах четырех счетчиков при нормировке их показаний к числу выборок N фактически получаются значения квантилей порядка 0.5 [2] для двух идентичных сигналов, но с разными смещениями: q_1^+, q_1^-, q_2^+ и q_2^-.

На рис. 2 показано, как величины квантилей q_i соотносятся с функцией распределения шума $p(u)$.

Как видно из рис. 2, квантили q_1^+ и q_1^- определяются для смещения U_1, а квантили q_2^+ и q_2^- — для U_2 и представляют собой четыре испытания одного сигнала с шумом. При этом, очевидно, справедливы соотношения

$$q_1^+ + q_1^- = q_2^+ + q_2^- = 1, \qquad (1)$$

которые уменьшают число независимых измерений до двух. Именно два независимых измерения и позволяют получить два параметра суммы сигнала с шумом: оценки математического ожидания

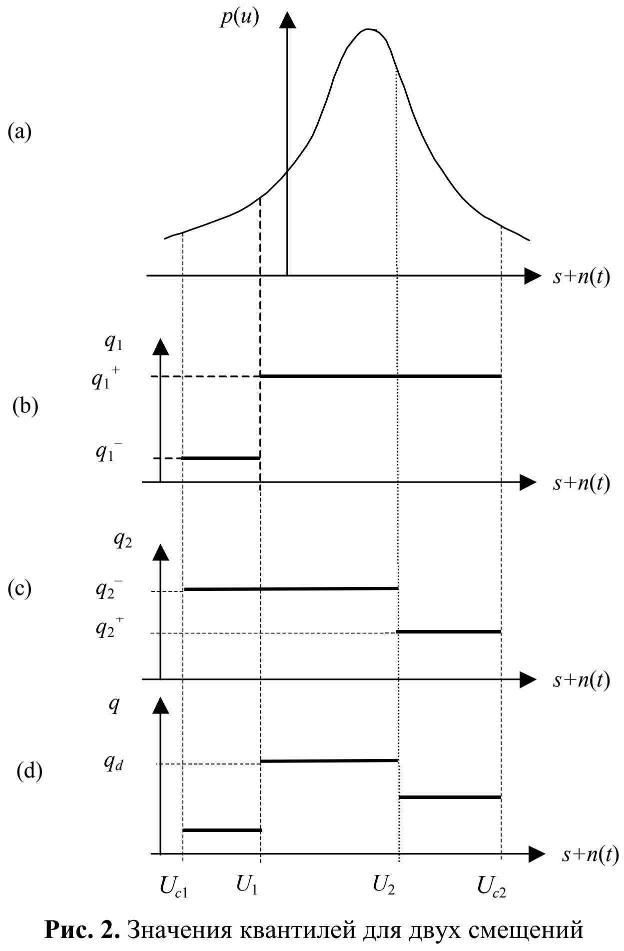

Рис. 2. Значения квантилей для двух смещений

в масштабе среднеквадратичного отклонения (как и в случае однопороговой схемы [1]) и оценки дисперсии, позволяющей определить истинную величину сигнала.

Действительно, согласно [1] имеем:

$$q_1^+ - q_1^- = \Phi\left[(s_0 + U_1)/\sigma_0\right], \qquad (2)$$

$$q_2^+ - q_2^- = \Phi\left[(s_0 + U_2)/\sigma_0\right], \qquad (3)$$

где $\Phi(\ )$ — интеграл вероятностей для случая гауссового шума, s_0 — искомый сигнал и σ_0 — среднеквадратичное отклонение шума.

Зная величины q_i, по соотношениям (2) и (3), можно определить оценки s_0, а также при необходимости σ_0.

Интересно отметить, что приведенная на рис. 1 схема может интерпретироваться как трехуровневый АЦП. Из рис. 2 видно, что функция распределения шума (a) по информации о квантилях q_i, (b) и (c), аппроксимируется гистограммой (d), сформированной по трем бинам, определяемым величинами U_i и реальными границами "клиппирования" сигнала с шумом u_{ci}.

Здесь величина q_d определяется из следующих соотношений:

$$q_d = q_1^+ - q_2^- = q_2^+ - q_1^-. \qquad (4)$$

Нелишне заметить, что соотношение (4), как и соотношения (1), могут являться контрольными для фиксации сбоев счетчиков.

ВЫВОДЫ

1) Относительно небольшое усложнение схемы, приведенной в [1], позволяет оценить первый и второй моменты стационарного нецентрированного шума. Это эквивалентно измерению медленно меняющегося слабого сигнала в присутствии сильного стационарного аддитивного шума.

2) Соотношения (2) и (3) с интегралом вероятностей $\Phi(\ )$ справедливы для обширного класса реальных широкополосных шумов, которые могут быть представлены гауссовым распределением. $\Phi(\ )$ может быть задано либо таблично, либо подходящей аппроксимацией. Реальный алгоритм вычисления s_0 по значениям измеренных q_i определяется видом $\Phi(\ )$, требованиями к точности измерения и конкретными свойствами встроенного в прибор микропроцессора.

3) Следуя логике построения предложенной схемы измерения слабых сигналов, изложенный метод будет справедлив и для шумов негауссового типа, но в этих случаях вид функции $\Phi(\ )$ в соотношениях (2) и (3) будет иным.

4) Предложенный метод комплементарен развиваемому Бенджамином Кедемом [3] методу частотного анализа сигналов на основе статистики нулей временны́х функций и может быть использован для оценки математического ожидания реальных сигналов с целью последующего их центрирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Музалевский Ю.С.* Нелинейная фильтрация: сильный шум обеспечивает точные измерения слабого сигнала // Сб. докладов 1-й Международной конференции "Цифровая обработка сигналов и ее применение". 30 июня – 3 июля 1998. М. II-216–II-218.
2. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1978. 720 с.
3. *Kedem B.* Spectral Analysis and Discrimination by Zero Crossing // Proc. IEEE. 1986. V. 74, No. 11. P. 1477–1493.

Группа компаний "ИСТА", Санкт-Петербург (*Музалевский Ю.С.*)

Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург (*Птицына И.Б.*)

Материал поступил в редакцию 30.10.2000.

DOUBLE-THRESHOLD SIGN DISCRIMINATOR WITH COUNTERS AS A METER OF WEAK CONSTANT SIGNALS BURIED IN SEVERE NOISE

Yu S. Muzalevsky[1], I. B. Ptitsyna

Institute for Analytical Instrumentation, Saint-Petersburg
[1]"ISTA" Group Company

The possibility of detecting and/or measuring weak constant signal buried in severe additive noise using the information accumulated in the counters installed after two discriminators of the sign of the sum at the signal and a constant Gias is considered. Unlike the previously introduced single-threshold meter, the new device needs no a priori information about the noise dispersion.