

Г. В. НЕСТЕРЕНКО

**ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ  
ВЫСОКОТОЧНЫХ СИСТЕМ СЛИЧЕНИЯ ШКАЛ РАЗНЕСЕННЫХ  
ХРАНИТЕЛЕЙ ВРЕМЕНИ**

Достигнутая среднеквадратическая погрешность сличения (ПС) шкал разнесенных хранителей времени (ШРХВ) по метеорному радиоканалу имеет порядок десятков наносекунд [1]. Проводятся исследования, направленные на дальнейшее снижение ПС ШРХВ. Уменьшение ПС связано с существенным ростом аппаратных затрат.

Оценим приемлемые границы для некоторых параметров высокоточных систем сличения ШРХВ, выход за пределы которых вызывает неоправданные аппаратные и энергетические затраты.

Введем следующие обозначения:  $\beta$  — эффективная ширина спектра сигнала, временное положение которого подлежит измерению;  $q$  — соотношение сигнал-шум по напряжению,  $q = \sqrt{2E/N_0}$ ;  $\omega_0$  — несущая частота сигнала,  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ;  $\Delta\omega$  — полоса частот сигнала;  $k_{\text{ш}}$  — коэффициент широкополосности сигнала,  $k_{\text{ш}} = \omega_0/\Delta\omega$ ;  $k_p$  — коэффициент различимости порогового устройства,  $k_p = u_m/\sigma_u$ ;  $u_m$  — максимально допустимая амплитуда сигнала на входе порогового устройства;  $\sigma_u$  — среднеквадратическое значение нестабильности значений пороговых напряжений;  $\tau^*$  — измеренное значение временного положения сигнала.

Для одного и того же сигнала точность определения его временного положения зависит от выбранного алгоритма работы схемы

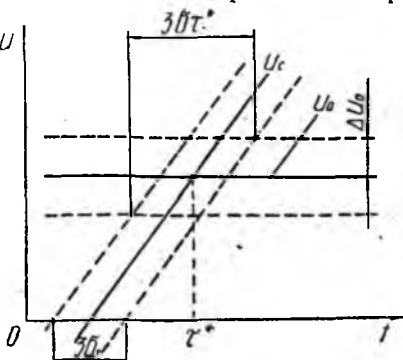
привязки. Широко распространен метод привязки к продетектированной огибающей оптимально обработанного сигнала. Достижимая при этом ПС определяется из соотношения

$$\sigma_t = 1/\beta q \quad (1), \text{ где } \beta^2 = [(2\pi)^2/2E] \int_{-\infty}^{\infty} f^2 U \dot{U}^* df \quad (2);$$

$\dot{U}$  — спектр комплексной функции модуляции сигнала;  $u(t) = a(t) \exp [j\theta(t)]$ .

В формуле (1) не учтены явления, влияющие на ПС, которые обусловлены аппаратными факторами. Наиболее весомым из них является нестабильность применяемых схем определения временного положения сигнала, в качестве которых наиболее широко применяются пороговые устройства.

В момент определения временного положения сигнала (рисунок) происходит сравнение значения сигнальной функции с порогом  $u_0$  и пороговая схема генерирует импульс, положение  $\tau^*$  которого на оси времени принимается за истинное положение сигнала. Под действием шума происходит флуктуация момента пересечения сигнальной функции с пороговым напряжением. Закон распределения  $\tau^*$  принято считать нормальным с дисперсией, даваемой формулой (1). В окрестности точки  $\tau^*$  сигнальная функция может быть аппроксимирована линейной функцией  $u_c(t) = u_m \beta t$  (3).



Очевидно, что нестабильности схемы привязки к сигналу эквивалентны флуктуациям значений порогового напряжения  $u_0$  и приводят к дополнительному росту ПС.

Экспериментально установлено, что время корреляции этих флуктуаций существенно превосходит длительность сигнала. Считая закон распределения значений  $u_0$  нормальным и учитывая (3) на основании устойчивости нормального закона и независимости случайных процессов  $u_0(t)$ ,  $u_0(t)$ , закон распределения измеренных реальным пороговым устройством значений  $\tau^*$  можно также считать нормальным с дисперсией

$$\sigma_{\tau^*} = \sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_{tu}^2} \quad (4)$$

где  $\sigma_{tu}$  — среднеквадратическая погрешность определения временного положения сигнала при  $q \rightarrow \infty$  реальным пороговым устройством с нестабильным порогом.

Подставляя (1) в (4), с учетом (3) получаем

$$\sigma_{\tau^*} = \frac{1}{\beta} \sqrt{1/q^2 + 1/k_p^2} \quad (5)$$

Смещение средних значений  $\tau^*$  за счет медленных изменений  $\Delta u$  порога  $u_0(t)$  можно оценить с помощью величины  $\Delta\tau^*$ , которую находим из (3) в момент фиксации времени прихода сигнала  $u_c(t)$ :  $\Delta\tau^* = \Delta u_0 / u_m \beta$  (6). Следовательно, для снижения систематических составляющих ПС требуется жесткая стабилизация  $u_0$ , увеличение  $\beta$  и расширение динамического диапазона по входу и у применяемых пороговых схем.

Представляет интерес исследование возможности измерения временного положения сигнала  $\tau^*$  по фазе высокочастотного заполнения сигнала, поскольку при этом в (1) входит величина [2]  $\beta_c = \sqrt{\omega_0^2 + \beta^2}$  (7), причем при  $k_{ш} \gg 1$  имеем  $\beta_c \approx \omega_0$ . Очевидно, что в этом случае для устранения неоднозначности путем предварительной временной привязки к огибающей сигнала необходимо выполнение условия  $\sigma_{\tau^*} \leq 2\pi/3\omega_0$  (8). Решая (8) с учетом (5) относительно  $q$ , получаем

$$q^2 \geq 9/(4\pi^2\beta^2/\omega_0^2 - 9/k_p^2). \quad (9)$$

Зависимость между  $\beta$  и  $\Delta\omega$  определяется видом сигнала. Для двухчастотного сигнала, обеспечивающего потенциальную точность измерения  $\tau^*$ ,  $\beta_{дчс} = \pi\Delta f = \Delta\omega/2$ , поэтому

$$q_{\text{пред дчс}}^2 \geq 9/\pi^2/k_{ш}^2 - 9/k_p^2 \approx 1/(1/k_{ш}^2 - 1/k_p^2). \quad (10)$$

Для идеального порогового устройства ( $k_p \rightarrow \infty$ )

$$q_{\text{пред дчс}} \geq 3k_{ш}/\pi \approx k_{ш}. \quad (11)$$

Оценим требования к реальным  $k_p$ . Полагая  $q = bq_{\text{пред дчс}}$ , решаем (10) относительно  $k_p$ :  $k_p^2 \geq 9b^2k_{ш}^2/(b^2\pi^2 - 9)$ . При  $b \rightarrow \infty$  получим  $k_p^2 \geq 9k_{ш}^2/\pi^2 \approx k_{ш}^2$ , т. е.  $k_p \geq k_{ш}$  (12).

Таким образом, для измерения временного положения сигнала по фазе несущей частоты достаточно совместного выполнения (11) и (12). Если канал не вносит дополнительных искажений сигнала, то достигаемая при этом погрешность измерения  $\tau^*$  из (5) составит

$$\sigma_{\tau^*} \approx \sqrt{2/k_{ш}^2/\omega_0} = \sqrt{2}\Delta\omega/\omega_0^2. \quad (13)$$

При этом вполне приемлемо применение пороговых устройств, имеющих  $k_p = (2-3)k_{ш}$ .

**Список литературы:** 1. О точности различных методов сличения шкал координатного времени ИТС (X) с ИТС (SU). Исследования в области времени и частоты: Сб. науч. тр. ВНИИФТРИ. М., 1982.— С. 13—21. 2. Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы: Пер. с англ./Под ред. В. С. Кельзона.— М.: Сов. радио, 1971.— 568 с.

Поступила в редколлегию 19.11.85.