

## АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ СИГНАЛОВ С ППРЧ И НЕПРЕРЫВНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ФАЗЫ

К.А. Спорышев, А.М. Ткачѐв  
(Харьковский университет Воздушных Сил)

*Рассматриваются корреляционные свойства сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты и непрерывной модуляцией фазы, используемые в спутниковых радиоканалах управления и связи. Получено аналитическое выражение для расчета функции неопределенности сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты и непрерывной модуляцией фазы.*

**корреляционные свойства, сигналы с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты, непрерывная модуляция фазы**

**Постановка задачи.** Современные системы спутниковой связи и управления, обладая высокой пропускной способностью и скоростью передачи данных, не удовлетворяют требованиям по помехозащищенности. Решение задачи повышения помехозащищенности системы спутниковой связи при тех же значениях пропускной способности и скорости передачи данных возможно при использовании широкополосных сигналов с улучшенными свойствами. В данной статье рассматриваются сигналы с ППРЧ и непрерывной модуляцией фазы [1] (ППРЧ НФ).

**Цель статьи.** Получить аналитическое выражение для расчета функции неопределенности сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты и непрерывной модуляцией фазы. Провести анализ корреляционных свойств сигналов с ППРЧ-НФ.

### Основной материал.

Аналитически сигнал с ППРЧ-НФ представляется в виде [3]

$$S(t) = S_0 \sum_{l=1}^Q \cos \left\{ \omega_0 t + \frac{a_l \pi D [t - (l-1)]}{\tau_{\text{э}}} + \sum_{i=1}^{l-1} a_i \pi D + \varphi_0 \right\}, \quad (1)$$

где  $S_0$  – амплитуда сигнала;  $Q$  – число элементов в сигнале;  $a_l$  – символы информационной управляющей последовательности;  $D$  – индекс манипуляции  $\Delta f \cdot T$ , где  $\Delta f$  – разность между несущими частотами;  $\varphi_0$  – начальная фаза.

Анализ свойств любого класса сигналов, используемых в системе спутниковой связи, целесообразно начать с рассмотрения функции корреляции (ФК), позволяющей комплексно описывать все основные свойства сигналов в частотно-временной плоскости. В экспоненциальной форме вы-

ражения для ФК может быть записано в следующем виде [2]:

$$\Psi(\tau, F_g) = \frac{1}{2 \cdot E} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \cdot S^*(t - \tau) \cdot \exp(j \cdot 2 \cdot \pi \cdot F_g \cdot t) dt, \quad (2)$$

где  $\tau$  – временной сдвиг между сигналами;  $F_g$  – доплеровский сдвиг частоты;  $E$  – энергия сигнала;  $S^*(t - \tau)$  – комплексно-сопряженная огибающая сигнала.

При оценке одновременного влияния рассогласований по частоте и задержке на качество приема сигналов с ППРЧ НФ необходимо использовать указанную выше ФК. Для ППРЧ НФ выражение (1) имеет вид:

$$\Psi(\tau, F_g) = \frac{1}{2 \cdot S_0} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \text{rect} \left( \frac{t - (l-1) \cdot \tau_3}{\tau_3} \right) \text{rect} \left( \frac{\tau}{\tau_3} \right) S(t) \cdot S(t - \tau) \times e^{j2\pi F_g t} dt, \quad (3)$$

где  $\text{rect}(\xi) = 1$  при  $0 \leq \xi \leq 1$  и  $\text{rect}(\xi) = 0$  в других случаях – функция, учитывающая то, что сигнал рассматривается на длительности одного элемента  $\tau_3$ ;

$$\begin{aligned} \Psi(\tau, F_g) &= \frac{1}{2 \cdot S_0} \sum_{l=1}^Q \int_{-\infty}^{\infty} \text{rect} \left( \frac{t - (l-1) \tau_3}{\tau_3} \right) \text{rect} \left( \frac{\tau}{\tau_3} \right) \times e^{2\pi f_0 (t - (l-1) \tau_3)} \times \\ &\times \exp \left( \frac{a_l \pi D (t - (l-1) \tau_3)}{\tau_3} + \sum_{i=1}^l a_i \pi D + \varphi_0 \right) \times e^{2\pi f_0 ((t - \tau) - (l-1) \tau_3)} \times e^{j2\pi F_g t} \times \\ &\times \exp \left( \frac{a_l \pi D ((t - \tau) - (l-1) \tau_3)}{\tau_3} + \sum_{i=1}^l a_i \pi D + \Psi_0 \right) dt. \end{aligned} \quad (4)$$

Величины  $\tau_3$ ,  $\tau$ ,  $\phi_0$ ,  $\Psi_0$  на рассматриваемом интервале времени  $(l+1)\tau_3 + t$ , можно считать постоянными, т.е. не зависящими от времени  $t$ . Обозначим:

$$Z_l = \frac{a_l \pi \cdot D}{\tau_3}; \quad \tau_{\Sigma} = (l-1) \cdot \tau_3 - \frac{\tau}{2}; \quad \Phi_0 = 2 \sum_{i=1}^l a_i \pi D + \varphi_0 + \Psi_0.$$

В этом случае

$$\begin{aligned} |\Psi(\tau, F_g)| &= \frac{1}{2 \cdot S_0} \sum_{l=1}^Q \exp(\Phi_0 - 2\tau_{\Sigma} (2\pi f_0 + Z_l)) \times \frac{1}{2(2 \cdot \pi \cdot f_0 + Z_l) + j2\pi F_g} \times \\ &\times \left( \exp((4 \cdot \pi \cdot f_0 + 2Z_l + j2\pi F_g) l \cdot \tau_3) - \exp((4 \cdot \pi \cdot f_0 + 2Z_l + j2\pi F_g) (l-1) \cdot \tau_3) \right)^{1/2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Сравнительный анализ корреляционных функций показывает, что корреляционные свойства сложных ППРЧ-НФ сигналов по сравнению с ОФМ ШПС несколько ухудшаются. Это связано прежде всего с тем, что фазовые функции сигналов на временных интервалах отдельных символов непостоянны. В силу этого, для сигналов с непрерывной фазовой модуляцией связь между корреляционными функциями и свойствами последовательностей гораздо сложнее, и зависит от вида дискретной последовательности, используемой для модуляции по фазе.

**Выводы.** Непосредственные расчеты большого числа корреляционных функций ППРЧ-НФ (рис. 1, 2) при  $D = 0,5$ , характеристики функции корреляции (ширина основного пика, модуль уровня боковых лепестков) практически совпадают с функциями корреляции ОФМ ШПС сигналов. Незначительное увеличение уровня боковых лепестков при  $D = 0,5$  объясняются интерференцией, возникающей в результате сужения спектра сигналов ППРЧ-НФ. При этом увеличение уровня боковых лепестков не превышает 3 дБ.

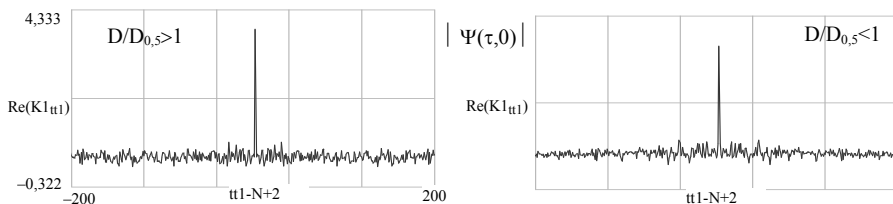


Рис. 1. Сечения огибающих ФК ППРЧ-НФ сигналов (при  $L = 32$ , плоскости  $F_d = 0$ )

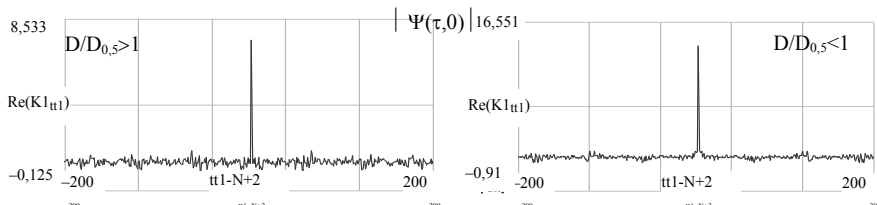


Рис. 2. Сечения огибающих ФК ППРЧ-НФ сигналов (при  $L = 64$ , плоскости  $F_d = 0$ )

При  $D \neq 0,5$  происходит изменение основных параметров функции корреляции. Анализ показывает, что ширина пика функции корреляции при  $D/D_{0,5} > 1$  уменьшается, а при  $D/D_{0,5} < 1$  – увеличивается. В частности при  $D = 0,75$  ширина основного пика функции корреляции уменьшалась в 2 раза, а при  $D = 0,25$  увеличилась в 3 раз. При этом уровень боковых лепестков функции корреляции в обоих случаях возрастает на 6 дБ (в 4 раза).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом ППРЧ / В.И. Борисов, И.В. Зинчук и др. – М.: Мир, 2000. – 283 с.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь. – М. Связь, 1979. – 591 с.

Поступила 22.08.2005

**Рецензент:** доктор физико-математических наук, профессор С.В. Смеляков, Харьковский университет Воздушных Сил.