

М. Ш. НУРМАНОВ, А. Ж. САГЫНДИКОВА

## ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ КОГЕРЕНТНОГО ПРИЕМА ФМ СИГНАЛОВ СО СЛУЧАЙНЫМИ НАЧАЛЬНОЙ И КОНЕЧНОЙ ФАЗАМИ И НЕСУЩЕЙ ЧАСТОТЫ

Определение наиболее перспективных направлений развития методов передачи информации в дискретной форме требует проведения сравнительного анализа помехоустойчивости передачи данных с многоуровневыми и с многократными сигналами при условии равенства суммарной скорости в данных методах передачи.

Оценка помехоустойчивости усложняется в случае, когда начальная фаза случайна. Когда несущая частота элементарных посылок случайна в небольшом частотном интервале  $-\delta\omega \div \delta\omega$ , то начальная и конечная фазы ФМ  $n$ -й посылки также случайны в некоторых относительно небольших интервалах  $\Delta Y_n$  и  $\Delta Y_{n+}$ . При этом возникает задача оценки помехоустойчивости когерентного метода приема, ибо такой метод приема в зависимости от  $\delta\omega$ ,  $\Delta Y_n$  и  $\Delta Y_{n+}$ , может быть более помехоустойчивым, чем не когерентный способ приема.

На практике частота задающего генератора имеет определенную нестабильность и применяется в некотором частотном интервале около своего среднего значения  $\omega_0 = \omega_{CP} + \delta\omega$ . Соответственно начальная и конечная фазы  $n$ -й посылки случайным образом изменяются не от 0 до  $2\pi$ , а в существенно более узком интервале

$$\varphi_{n,0} - \Delta\varphi_n \leq \varphi_n \leq \varphi_{n,0} + \Delta\varphi_n$$

и

$$\varphi_{n+1} - \Delta\varphi_{n+1} \leq \varphi_{n+1} \leq \varphi_{n+1,0} + \Delta\varphi_{n+1},$$

где  $\varphi_{n,0}$  и  $\varphi_{n+1,0}$  – начальная и конечная фаза  $n$ -й посылки при отсутствии случайных изменений фаз;  $\Delta\varphi_n$  и  $\Delta\varphi_{n+1}$  – моментальные величины, на которые могут измениться  $\varphi_n$  и  $\varphi_{n+}$ .

Выражение для синфазной составляющей отклика канала в случае, когда в когерентном приемнике после синхронного детектора квадратурная составленная отклика отсутствует и канал связи считается высокоизбирательным, а  $\delta\omega$ ,  $\Delta\varphi_n$  и  $\Delta\varphi_{n+1}$  малы, имеет вид [2]:

$$P_{or} = a - a_1(\delta\omega)^2 - a_2\varphi_n\delta\omega - a_3\varphi_n\delta\omega - a_4\varphi_n^2 + a_5\varphi_{n+1}^2,$$

где

$$a_{OFM} = \frac{2}{\pi} Si \frac{\Delta\omega \Delta t}{2};$$

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \left( \frac{1}{\Delta\omega^2} \sin \frac{\Delta\omega \Delta t}{2} + \frac{\Delta t^2}{4} Si \frac{\Delta\omega \Delta t}{2} + \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta\omega} \cos \frac{\Delta\omega \Delta t}{2} \right);$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{2} - \frac{\Delta t}{\pi} Si \frac{\Delta\omega \Delta t}{2} + \frac{2}{\pi} \frac{1}{\Delta\omega} \cos \frac{\Delta\omega \Delta t}{2} \right);$$

$$a_3 = \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta t}{2} - \frac{\Delta t}{\pi} Si \frac{\Delta\omega \Delta t}{2} - \frac{2}{\pi} \cos \frac{\Delta\omega \Delta t}{2} \right);$$

$$a_4 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} Si \frac{\Delta\omega \Delta t}{2} \right);$$

$$a_5 = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} Si \frac{\Delta\omega \Delta t}{2} \right).$$

Здесь  $Si(x) = \int_0^x \frac{\sin x}{x} dx$  интегральный синус.

При случайных, но фиксированных значениях  $\omega_0$ ,  $Y_n$  и  $Y_{n+1}$  вероятность ошибки

$$P_{FM} = \frac{1}{2} \left\{ 2 - \Phi \frac{1}{\sigma_{ш} \sqrt{2}} \left[ a_{OFM} - a_1(\delta\omega)^2 - a_2\varphi_n\delta\omega - a_3\varphi_{n+1}\delta\omega - a_4\varphi_n^2 + a_5\varphi_{n+1}^2 \right] \right\}. \quad (2)$$

Как известно

$$Si(x) = x - \frac{x^3}{3 \cdot 3!} + \frac{x^5}{5 \cdot 5!} - \frac{x^7}{7 \cdot 7!} + \dots,$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots,$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots, \text{ здесь } x = \frac{\Delta\omega\Delta t}{2}.$$

Ограничившись двумя членами из этих рядов, получаем для коэффициентов  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$ .

В конечном счете, усреднение значений вероятности ошибки в каналах со случайной несущей частоты начальной и конечной фазами элементарных посылок и для малых вероятностей ошибок в канале с постоянными параметрами.

$$P_{0\Phi M} = \frac{\sigma_\omega}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{a_{0\Phi M}} e^{-a_{0\Phi M}^2 / 2\sigma^2} \text{ имеет}$$

$$\overline{P_{\Phi M}} = P_{OM} \left\{ 1 + \frac{4}{3} \frac{a_{0\Phi M}}{\sigma_\omega^2} \times \left[ a_1 (\Delta q)^3 + a_4 (\Delta\varphi_n)^3 - a_5 (\Delta\varphi_n)^3 \right] \right\},$$

где  $\Delta q = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$  – максимальное отклонение несущей частоты

$$a_1 = \frac{1}{\pi} \left[ \left( \frac{1}{\Delta\omega^2} + \frac{\Delta t^2}{4} \right) x - \frac{2}{9} \left( \frac{\Delta t^2}{4} + \frac{1}{\Delta\omega^2} \right) x^3 + \frac{1}{2} \frac{\Delta t}{\Delta\omega} \left( 1 - \frac{x^2}{2} \right) \right],$$

$$\frac{x^3}{6} + \frac{x^3}{18} = \frac{4x^3}{18} = \frac{2}{9},$$

$$a_2 = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Delta t}{2} - \frac{\Delta t}{\pi} \left( x - \frac{x^3}{18} \right) + \frac{2}{\pi} \frac{1}{\Delta\omega} \left( 1 - \frac{x^2}{2} \right) \right],$$

$$a_3 = \frac{1}{2} \left[ \frac{\Delta t}{2} - \frac{\Delta t}{\pi} \left( x - \frac{x^3}{18} \right) + \frac{2}{\pi} \frac{1}{\Delta\omega} \left( 1 - \frac{x^2}{2} \right) \right],$$

$$a_4 = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \left( x - \frac{x^3}{18} \right) \right],$$

$$a_5 = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \left( x - \frac{x^3}{18} \right) \right].$$

С учетом этих выражений для коэффициентов  $a_1$ – $a_5$  можно легко вычислить усредненное значение вероятности ошибки  $P_{\Phi M}$ .

Наиболее эффективным методом повышения помехоустойчивости систем связи является разработка модемов, реализующих новые, ранее не применявшиеся на практике алгоритмы оптимального приема сигналов на фоне случайных межсимвольных помех и коррелированного шума.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Поляк А.М. Энергетические спектры биимпульсных сигналов // Электросвязь. 1979. № 11-12. С. 43.
2. Михайлов А.В. Высокоэффективные оптимальные системы связи. М.: Связь, 1980.
3. Михайлов А.В. Помехоустойчивость оптимального приема сигналов в каналах со случайной межканальной интерференцией и коррелированным шумом. М.: Связь, 1978.

#### Резюме

Анализ помехоустойчивости высокоэффективных систем связи – задача трудная. Однако решение этой задачи можно облегчить, если ввести некоторые критерии: отношение сигнал / межсимвольная помеха – для одноканальных систем связи и отношение сигнал / межсимвольная и межканальная помехи – для многоканальных систем связи.

#### Summary

The analysis of a noise stability highly effective communication systems – a difficult problem. However the decision of this problem can be facilitated by adding some criteria: the attitude a signal/an intersymbolical handicap – for single-channel communication systems and the attitude a signal/ intersymbolical and interchannel handicaps – for multichannel communication systems.

КазНТУ им. К. Сатпаева,  
г. Алматы

Поступила 3.05.07г.