

# Расчёт помехоустойчивости радиоканала с кодовым разделением ортогонального и неортогонального типа

Владимир Филатов (Москва)

**Помехоустойчивость систем с простыми сигналами или частотно-временным разделением уступает системам с кодовым разделением. В статье рассматриваются различие помехоустойчивости в радиоканале с кодовым разделением с учётом использования ортогональных и неортогональных кодов**

Если через радиоканал передаётся последовательность дискретных символов длительностью  $T$  со скоростью  $V = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{I}{T}$ , где  $I$  – количество информации, содержащееся в последовательности символов, то предельное значение скорости передачи информации является пропускной способностью радиоканала [1]:

$$C = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{I_{\max}}{T}. \quad (1)$$

Из этого следует, что пропускная способность полностью определяется:

- основанием кода,  $m$ ;
- скоростью передачи элементарного символа,  $\frac{1}{T}$ ;
- вероятностью приёма элементарного символа.

Современные радиосистемы передачи информации, как правило, являются многоканальными, то есть позволяют передавать по одной линии, включающей передатчики, приёмники, антенны и фидеры, сообщения от многих независимых источников [2].

Приём информации в радиоканале с  $N$ -канальным уплотнением осуществляется корреляционным приёмником на фоне флуктуационных шумов со спектральной плотностью мощности  $N\sigma_n^2$ . При этом внешние помехи ослабляются приёмником приблизительно в количестве раз, равное базе  $B$ . Исходя из заданных требований к радиоканалу по качеству приёма информации, необходимо адаптивно управлять параметрами на передатчике. В каждом канале при нали-

чии помех  $P_{\text{ш}}$ , отношение сигнал–шум принимает следующий вид [3]:

$$b = \frac{P_{\text{сб}}}{P_{\text{ш}} + \delta P_{\text{ш}} / B}, \quad (2)$$

где,  $P_{\text{ш}} = N\sigma_n^2 \Delta f$ . Согласно выражению помехоустойчивости:

$$\Pi(\epsilon) = \left(\frac{B}{\delta b}\right) \left(1 - \frac{1}{\epsilon}\right), \quad (3)$$

где  $\epsilon = \frac{P_{\text{сб}}}{P_{\text{ш}} b}$ , помехоустойчивость монотонно возрастает и ограничивается  $\epsilon$ .

Использование ортогональных сигнально-кодовых конструкций (СКК) позволяет принципиально по-новому решать вопрос помехоустойчивости (см. рис. 1). При использовании широкополосных сигналов вероятность ошибки в символе имеет вид [4]:

$$P_{\text{ош}} = -0,5e^{-Es/2Nn} = 0,5e^{-\frac{Ps \cdot B}{\sigma_n^2}}, \quad (4)$$

где  $P$  – мощность сигнала,  $B$  – его база,  $\sigma_n^2$  – средняя плотность мощности помехи. Но данное выражение всё же не позволяет произвести оценку радиоканала с кодовым разделением на помехозащищённость и помехоустойчивость, поскольку не предусмотрена многоканальность в полосе частот.

Указанная на рисунке 1 заштрихованная область – область полезности, в которой обеспечивается максимальная помехоустойчивость при минимальных энергетических затратах. При использовании  $m$ -последовательностей, которые не являются ортогональными, показатель помехоустойчивости в радиоканале с кодовым разделением определяется по формуле:

$$\Pi_{\text{к}} = \frac{P_{\text{по}}}{P_{\text{сб}}} = \frac{\delta}{\delta_2} \left( \sqrt{\frac{B}{\delta b}} \left( \sqrt{\frac{B}{\delta b}} - 1 \right) - \frac{\delta_1}{\delta} (N - 1) \right), \quad (5)$$

где  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  и  $\delta$  – среднее значение квадрата корреляции сигналов и помех.

Таким образом, максимальная помехоустойчивость такого радиоканала имеет линейную зависимость, согласно статье «Помехозащищённость радиосистем со сложными сигналами» [3], от пропускной способности:

$$N_{\text{max}} = \Pi_0 + 1. \quad (6)$$

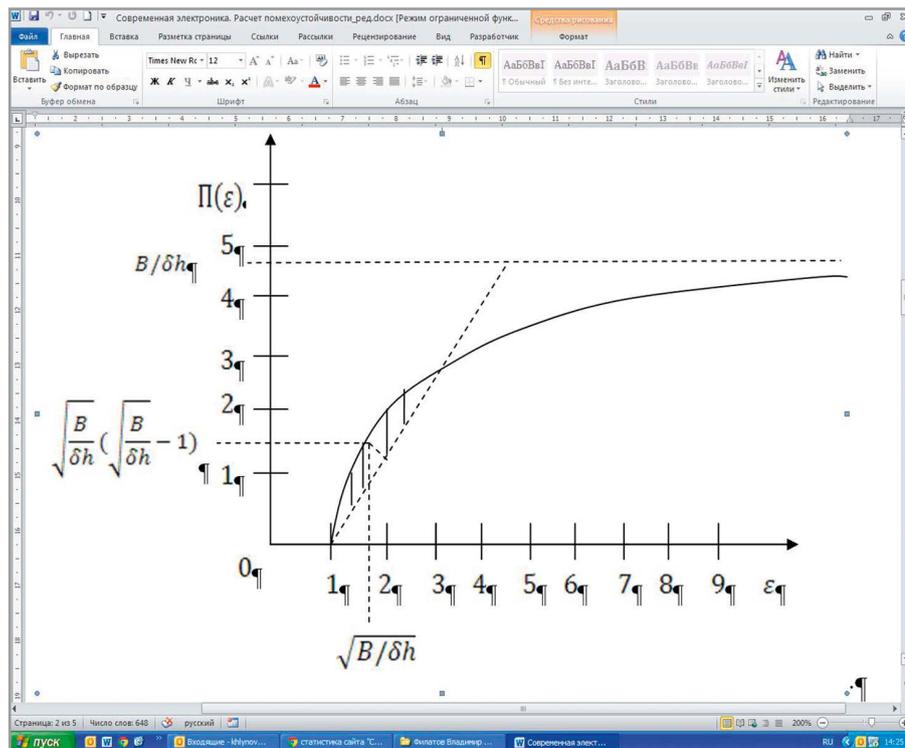


Рис. 1. Зависимость помехоустойчивости от затрачиваемой энергии в одном канале

Следовательно, помехоустойчивость в радиоканалах с кодовым уплотнением и не использующих ортогональных СКК будет зависеть не только от энергии, затрачиваемой на передатчике в каждый канал, но также будет обуславливаться исключительно свойствами самой используемой СКК. Таким образом, для повышения способности радиоканалов по помехозащищённости необходимо использовать ортогональные последовательности, а в частности нелинейные кодовые последовательности (НКП). Следует отметить, что по свойствам ортогональности для решения данной задачи могут также использоваться последовательности Уолша, но их недостаток – в крайне небольшом ансамбле, что недопустимо при использовании в радиоканалах с высокими требованиями к скрытности радиointерфейса.

Таким образом, при разработке перспективных радиоканалов повышенной оперативности необходимо использовать НКП, что обеспечит независимость помехоустойчивости от пропускной способности. Данная зависимость при этом будет наблюдаться исключительно от энергетических затрат  $\epsilon$ :

$$P_k = \frac{P_{по}}{P_{ск}} = \sqrt{\frac{B}{\delta b}} \left( \sqrt{\frac{B}{\delta b}} - 1 \right) - 1. \quad (7)$$

Следовательно, как показано на рисунке 2, при увеличении помеховой обстановки в радиоканале помехоустойчивость будет зависеть исключительно от отношения сигнал–шум при

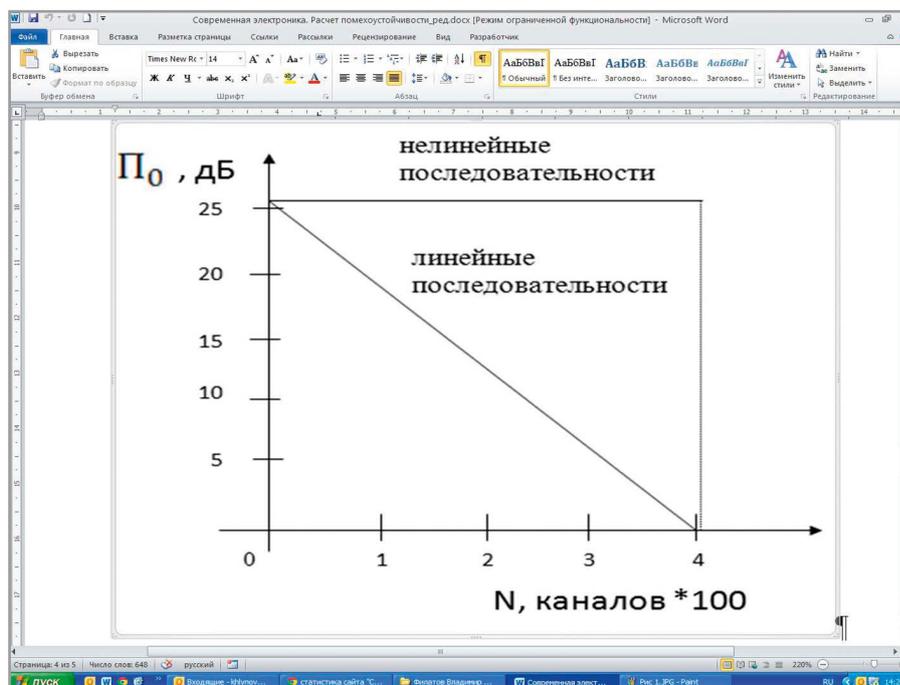


Рис. 2. Сравнение помехоустойчивости радиоканалов при уплотнении ортогональными и неортогональными СКК для  $q = 7\text{дБл}$ ,  $B = 2047$

$B = \text{const}$ , без потери в скорости передачи информации.

Изменение частоты при определённых условиях является эффективным путём повышения помехозащищённости радиоэлектронных средств, но всё же такое не всегда возможно из-за ограничений выделенного спектра. Поэтому при разработке радиосистем передачи информации изначально важно присутствие определённого запаса по помехоустойчивости, которое необходимо учесть в силу факта взаимных помеховых влияний при любом распределении выделенных радиочастот.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лёзин Ю.С. Введение в теорию и технику радиотехнических систем. М. Радио и связь. 1986. 280 с.
2. Калашников Н.И., Крупицкий Э.И., Доронин И.Л., Носов В.И. Под ред. Калашникова Н.И. Системы радиосвязи: Учебник для вузов. М. Радио и связь. 1988. 352 с.
3. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И. и др. Под ред. Тузова Г.И. Помехозащищённость радиосистем со сложными сигналами. М. Радио и связь. 1985. 264 с.
4. Пестряков В.Б., Кузнецов В.Д. Радиотехнические системы: Учебник для вузов. М. Радио и связь. 1985. 376 с.

