

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ ЗВ'ЯЗКУ В УМОВАХ НИЗЬКОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Уривський Л.О., Шмігель Б.О.

*Інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна*

*E-mail: leonid\_uic@ukr.net, bshmigel@gmail.com*

### Analysis of properties of the wideband signals in the low energy conditions

In this paper considered a comparative analysis of the noise immunity of wideband and narrowband signals. The properties of broadband signals in low energy conditions are analyzed.

З літератури [1-3] відомо, що одним із запропонованих методів підвищення завадостійкості є застосування систем з широкосмуговими сигналами (ШСС).

В багатьох випадках зручно представити ШСС як сигнальну конструкцію, що складається із певної кількості  $n$  «елементів»  $S_e(t)$ , кожен з яких може розглядатися як простий сигнал тривалістю  $T$  з власним значенням амплітуди, фази або частоти.

Якщо джерело повідомлень формує символи тривалістю  $\tau_s$ , відповідно, із швидкістю  $V_s = 1/\tau_s$ , то при заданій потужності сигналу в точці прийому  $P_c$  енергетичний фактор  $h^2$  для вузькосмугового сигналу (ВСС) складає:

$$h^2 = \frac{E_s}{N_0} = \frac{P_c \cdot \tau_s}{N_0}. \quad (1)$$

Відповідно, такий сигнал займає смугу частот  $\Delta F_c \approx V_s$ .

Якщо енергію ВСС поділити між  $n$  елементами ШСС з такою ж потужністю, то тривалість елемента складатиме:  $T = \tau_s / n$ , а смуга частот сигналу:

$$\Delta F \approx 1/T = n * (1/\tau_s) \approx n * \Delta F_c. \quad (2)$$

Добуток  $\Delta F T = B$  має назву бази ШСС и чисельно співпадає з  $n = B$ . Результуюча енергія всіх  $n$  «елементів»  $S_e(t)$  дорівнює енергії ВСС  $E_s$ .

**Широкосмуговими сигналами (ШСС)** називають такі сигнали, у яких добуток ширини спектра  $F$  на тривалість елемента сигналу  $T$  багато більше одиниці, тобто база сигналу  $B$ :

$$B = FT \gg 1. \quad (3)$$

Для широкосмугових сигналів характерним база сигналу **значно більше одиниці** (частіше значення  $B$  досягає 1000 і більше).

Отже, широкосмугові сигнали можна розглядати як похідні від відповідних вузькосмугових сигналів з рівною еквівалентною енергією. Відношення сигнал-шум  $h^2$  для вузькосмугового сигналу ділиться на  $B$  для кожного окремого символу ШСС  $S_e(t)$ :  $h_e^2 = h^2 / B$ . Саме це є фактором скритності ШСС.

Розглянемо показники завадостійкості системи ШСС з активною паузою і протилежними сигналами, як одну із найбільш завадостійких [1]. Будемо вважати, що генератор шуму передавального пристрою генерує нормальний шум з рівномірним спектром в полосі частот  $F$ , а на вхід приймального пристрою, крім корисного сигналу, поступає адитивна завада в виді нормального білого шуму в смузі частот корисного сигналу.

Тоді вираз для залежності ймовірності помилки інформаційного біта  $p_b$  від відношення потужності сигнал/шум (параметра  $h^2$ ) у автокореляційній системі з активною паузою і протилежними сигналами має вигляд [1]:

$$P_b(h^2) = \frac{1}{2} \left[ 1 - \Phi \left( \frac{h^2}{\sqrt{\frac{5h^4}{2FT} + 4h^2 + 2FT}} \right) \right]. \quad (4)$$

Для порівняння показників ШСС з показниками достовірності ВСС при побудові графіків для сигналу з фазовою маніпуляцією, скористаємося співвідношенням [4]:

$$P_{b\text{ PSK}}(h^2) = \frac{1}{2} [1 - \Phi(\sqrt{2h^2})]. \quad (5)$$

Відповідно до формул, побудуємо графіки залежності ймовірності біткової помилки  $p_b$  від енергетичного потенціалу в радіолінії  $h^2$ .

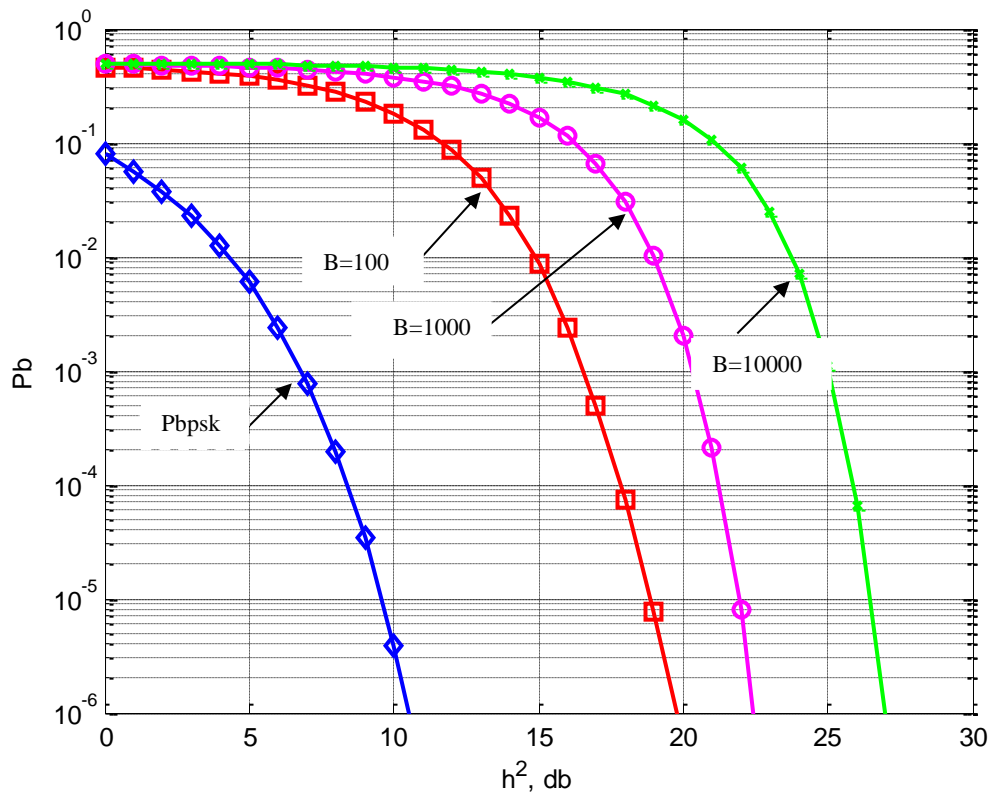


Рис 1. Порівняння завадостійкості широкосмугового сигналу з активною паузою і протилежними сигналами та вузькосмугового сигналу ФМ з еквівалентною потужністю.

Порівнюючи завадостійкість ШСС та ВСС, бачимо, що при однакових значеннях  $h^2$  вузькосмугові сигнали мають кращу завадостійкість в порівнянні з широкосмуговими. Наприклад, для забезпечення достовірності  $10^{-6}$  для ФМ достатньо значення  $h^2=10.5$  дБ.

Одночасно, із графіків (рис.1) видно, що при зростанні бази В, необхідно збільшувати  $h^2$  для досягнення еквівалентної достовірності сигналу.

Для широкосмугового сигналу для забезпечення достовірності  $10^{-6}$  при  $V=100$  необхідно забезпечити  $h^2 = 19.8$  дБ, при  $V=1000$  –  $h^2 = 22.4$  дБ, а при  $V=10000$  –  $h^2= 27$  дБ. Це пояснюється тим, що потужність завад в смузі частот F при використанні ШСС накопичується, в цієї смузі в В раз більше шумів в порівнянні зі смугою вузькосмугового сигналу. Поряд з цим, ця закономірність витікає також із виразу (4).

Отже, системи з розширенням спектру не дають вигоди в завадостійкості при однакових значеннях енергії сигналу. Оскільки смуга частот є обмеженою і витратною, то розширювати її недоцільно при звичайному функціонуванні телекомунікаційної системи. У випадку, коли частоти регламентовані і регулюються, то не може йти річ про взаємні перешкоди в заданій смузі частот.

Використання ШСС доцільне тільки у випадку неорганізованої чи вразливої телекомунікаційної системи (наприклад, при загрозі дії потужних вузькосмугових завад). Тому використання ШСС має сенс з точки зору або досягнення підвищеної скритності (за рахунок зниження в В раз відношення сигнал/завада), або протидії потужній вузькосмуговій заваді. Прикладом такого використання є військова сфера, щоб отримати зв'язок в умовах перешкод з боку противника, а також забезпечити скритність електромагнітних сигналів при невеликій кількості випромінювачів.

**Висновки:** широкосмуговість не забезпечує кращої достовірності в порівнянні з вузькосмуговими сигналами при однаковій потужності випромінювання та способі обробки. При розширенні спектру сигналу накопичується в В раз більше шумів в порівнянні з вузькосмуговими сигналами. Системи з розширенням спектру не дають вигоди в завадостійкості, а являються інструментом забезпечення функціонування системи зв'язку в особливих умовах. Використання широкосмугових сигналів доцільне тільки для протидії вузькосмуговим завадам, які займають тільки частину смуги частот і для забезпечення скритності електромагнітних сигналів у спеціальних сферах використання.

#### Література

1. Семенов А.М., Сикарев А.А. Широкополосная радиосвязь. – М.: Воениздат, 1970. — 280 с.
2. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Мазурков М.И. Системы широкополосной радиосвязи. — Одесса: Наука и техника, 2009. — 344 с.
4. Основи теорії телекомунікацій / Підручник / Під заг. ред. Ільченка М.Ю. — К.: ІССЗІ НТУУ «КПІ», 2010. — 786 с.