

УДК 621.39:621.391.82

С.М. Паук, А.К. Кавасмі

ВПЛИВ ЧАСТОТНО-ЧАСОВИХ НЕВИЗНАЧЕНОСТЕЙ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ШИРОКОСМУГОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Запропоновано модель для оцінки впливу частотно-часових невизначеностей на ефективність широкосмугових систем зв'язку, а також впливу кількості позицій широкосмугового сигналу на ефективність системи сигналів.

Однією з головних рис широкосмугових сигналів, які зумовлені тим, що база сигналу $B \gg 1$, є велика скритність передавання інформації. Виконання в широкосмуговій системі зв'язку (ШССЗ) умови $B \gg 1$ дозволяє в місці прийому мати відношення середніх потужностей сигналу і шуму $h^2 - P_s/P_{ш} \ll 1$. Це дозволяє маскувати сигнал в шумах та виділяти його завдяки відомим структурним рисам [1,2].

Потенціальна завадостійкість прийому в ШССЗ досягається при точній синхронізації за часом та точній настройці за частотою. Однак в реальних умовах мають місце частотно-часові невизначеності. Вони знижують ефективність і завадостійкість реальних систем в порівнянні з потенційно можливими. Частотно-часові невизначеності можуть мати різний характер в залежності від типу ШССЗ, методів формування і обробки сигналів, від структури передавача і приймача, від елементної бази, яка використовується. Можна виділити загальні причини, які властиві будь-яким варіантам ШССЗ: нестабільність несучих частот; зміна масштабу часу (нестабільність тактових частот, часу затримки); паразитна модуляція; частотні та нелінійні перекручення [1,3]. Сукупність перелічених випадкових факторів в процесі приймання інформації в ШССЗ призводить до таких основних явищ:

- зменшується амплітуда центрального піка функції невизначеності (ФН) $R(\tau, \Omega)$; замість максимального значення $R_{\max}=1$ амплітуда центрального піка $R(\tau, \Omega) < R_{\max}=1$, що веде до зменшення відношення сигнал/завада;

- збільшується ширина центрального піка і рівень бокових піків, що веде до збільшення перехідних завод (взаємної ФН $k(\tau, \Omega)$) і зниження імовірності правильного прийому;

- порушується ортогональність системи широкосмугових сигналів (для ШССЗ з ортогональними сигналами), що призводить до зменшення завадостійкості.

Для ШССЗ з оптимальним приймачем ортогональних рівноімовірних сигналів вплив дестабілізуючих факторів, які наведені вище, досліджено в роботах [1,3]. На основі результатів цих досліджень для імовірності похибки багатопозиційного частотно-модульованого сигналу з врахуванням реальних умов можна записати:

$$P_m^{(p)} = P_m^{(u)} \frac{I_0(kh^2)}{1 - h^2/q^2} \exp \left[\frac{h^2}{2} - (R^2 + k^2) \right]; \quad (1)$$

$$P_m^{(u)} = \frac{m-1}{2} \exp \left[\frac{h^2}{2} \right], \quad (2)$$

де $P_m^{(u)}$ – завадостійкість в ідеальному випадку; $I_0(x)$ – модифікована функція Бесселя нульового ступеня $k = k(\tau, \Omega)$; $R = R(\tau, \Omega)$; $h^2 = E_s/\delta_0^2$ – відношення енергії сигналу до спектральної щільності шуму в інформаційному каналі; q^2 – відношення енергії сигналу до спектральної щільності шуму в каналі синхронізації; m – кількість частотних позицій.

При невеликих значеннях частотних розбіжностей $\delta_f = \frac{|\Delta f|}{f_0}$ та розсинхронізації $\delta_\tau = |\Delta \tau|/\tau_0$ модулі ФН і взаємної ФН можна подати в такому вигляді [1,3]:

$$\left. \begin{aligned} |R| &= 1 - (\delta_f^2 + \delta_\tau^2); \\ |k| &\leq k_0 + (\delta_f^2 + \delta_\tau^2), \end{aligned} \right\}$$

де k_0 – відносний рівень перехідної завади, що викликана неідеальністю характеристик приймача навіть при $\delta_f = \delta_\tau = 0$.

Якщо використати подання функцій Бесселя у вигляді рядів і за умов $kh^2 < 1$, $q^2 \gg h^2$ обмежитись двома членами рядів, то, скориставшись формулами (1) і (2), після перетворень будемо мати:

$$P_m^{(p)} = P_m^{(u)} K_p, \quad (3)$$

де

$$K_p = \begin{cases} 1 + kh^2 & \text{при } \delta_f \neq 0, \delta_\tau \neq 0; \\ 1 + k_0^2 h^2 / 4 & \text{при } \delta_f = \delta_\tau = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Отримані вирази (3) і (4) дозволяють визначити ступінь зниження завадостійкості ШССЗ з частотною модуляцією з врахуванням частотно-часових розбіжностей. Погіршення завадостійкості веде до зменшення ефективності ШССЗ.

Оцінювати ефективність ШССЗ можна за коефіцієнтом використання смуги частот каналу [1,3]:

$$\gamma = \frac{\log_2 m}{FT} \quad (6)$$

і коефіцієнта використання потужності сигналу

$$\beta = \frac{\log_2 m}{\left[2 \ln \frac{m(2^{\log_2 m} - 1)}{4 P_m^{(p)} K_p 2^{\log_2^{-1}}} \right]} = \frac{\log_2 m}{2 \ln \frac{m(1 - \frac{1}{2^{\log_2 m}})}{2 P_m^{(u)} K_p}} \quad (7)$$

За формулами (3) – (6) розраховано і на рис. 1 та 2 показано графіки сімейства залежностей $10 \lg \beta = f(10 \lg \gamma)$. Графіки побудовано для трьох значень $P_m^{(u)} = \{10^{-3}; 10^{-5}; 10^{-7}\}$ різних видів сигналів (ортогональних, симплексних, біртогональних та двосимплексних) і різних значень $k = \{0; 0,05; 0,1\}$. Аналіз отриманих результатів і графіків (рис. 1 і 2) показує:

– при великому числі позицій m коефіцієнти використання потужності β для різних видів сигналів прагнуть до однакового значення, тобто вибір типу системи сигналів при великих значеннях m мало впливає на значення β ;

– для різних значень імовірностей $P_m^{(u)}$ при збільшенні k і $h^2 = \text{const}$ збільшується коефіцієнт використання потужності. Причина такого результату криється в тому, що вплив дестабілізуючих факторів та частотно-часових невизначеностей при незмінній потужності передавача веде до зниження завадостійкості системи, яке згідно з виразом (6) компенсується збільшенням коефіцієнта β ;

– при умовах $P = \text{const}$, і $h^2 \neq \text{const}$ збільшення значення k веде до зменшення β .

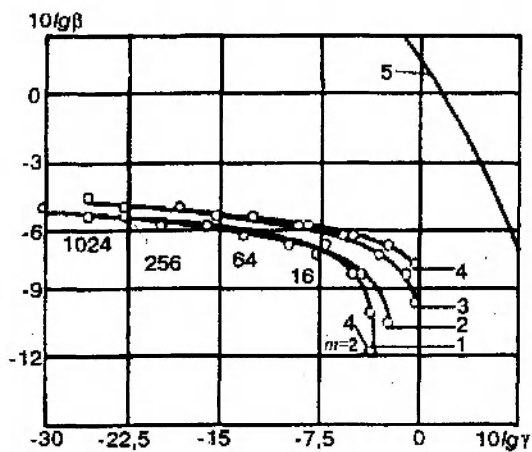


Рис. 1. Ефективність ШССЗ при $P=10$:
1 – ортогональні сигнали; 2 – симплексні сигнали; 3 – біортогональні сигнали; 4 – бісимплексні сигнали; 5 – межа Шеннона

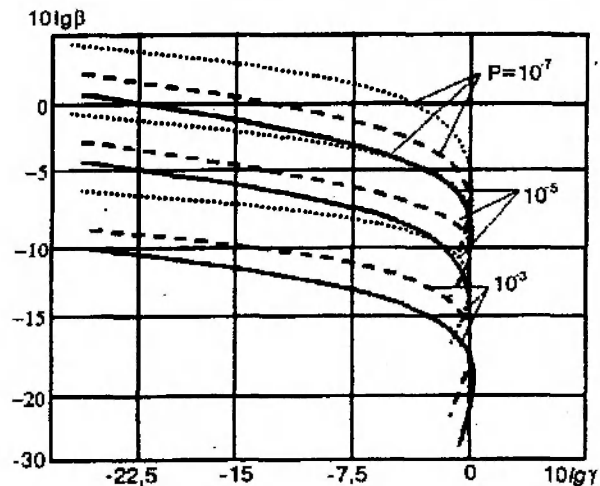


Рис. 2. Ефективність ортогональних ШССЗ:
— $k=0$; - - - $k=0,05$; $k=0,1$

– в системах з високою якістю передавання інформації ($P_m^{(u)} \leq 10^{-5}$) порушення ортогональності сигналів внаслідок дії дестабілізуючих факторів практично не впливає на ефективність ШССЗ, якщо значення $k(\tau, \Omega) \leq 0,1$.

Отримані результати мають практичне значення, оскільки дозволяють обґрунтовано формулювати технічні вимоги до ШССЗ з ортогональними сигналами.

Список літератури

1. Варакін Л.Е. Системи зв'язу з шумоподібними сигналами. -М.: Радио и связь, 1985. –384 с.
2. Зюко А.Г. Помехоустойчивость и эффективность систем связи. -М.: Радио и связь, 1988. –360 с.
3. Зелинский Д.И., Лучук А.М., Паук С.М. Приемники дискретных многопозиционных сигналов. -К.: Наук. думка, 1976. –240 с.

Стаття надійшла до редакції 24 листопада 1997 року



Сергій Михайлович Паук (1938) закінчив радіофакультет Київського політехнічного інституту в 1960 році. Кандидат технічних наук, доцент кафедри авіаційних радіоелектронних систем Київського міжнародного університету цивільної авіації. Спеціаліст у галузі телекомунікаційних мереж та систем мобільного радіозв'язку.

Sergiy M. Pauk (b. 1938) graduated from Kyiv Polytechnical Institute (1960). PhD (Eng) ass. professor of Aviation radioelectronic systems Department of Kyiv International University of Civil Aviation. Specializes in the field of telecommunication networks and systems of mobile radiolinks.



Абдель-Рахман Камель Кавасмі (Йорданія) (1969) закінчив Київський інститут інженерів цивільної авіації в 1994 році. Аспірант кафедри авіаційних радіоелектронних систем Київського міжнародного університету цивільної авіації. Спеціалізується в галузі мобільного телекомунікаційного зв'язку.

Qawasmi Abdel-Rahman Kamel (b. 1969 in Jordan) graduated from Aviation radioelectronic system Department of Kyiv Institute of Civil Aviation Engineers (1994). Specializes in the field of mobile telecommunication.