

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

УДК 621.39

І.В. Горбатий

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра телекомунікацій,

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ АМПЛІТУДНОЇ МОДУЛЯЦІЇ БАГАТЬОХ СКЛАДОВИХ

Ó Горбатий І.В., 2010

I.V. Gorbatyy

RESEARCH OF INFORMATIVE EFFICIENCY OF AMPLITUDE MODULATION OF MANY COMPONENTS

Ó Gorbatyy I.V., 2010

Досліджено інформаційну ефективність нового різновиду модуляції сигналу – амплітудної модуляції багатьох складових (АМБС). Здійснено порівняльний аналіз ефективності АМБС та квадратурної амплітудної модуляції (КАМ). На основі виконаного аналізу вироблено рекомендації щодо застосування АМБС у телекомунікаційних системах та мережах.

Ключові слова: інформаційна ефективність, телекомунікаційні системи та мережі, квадратурна амплітудна модуляція, амплітудна модуляція багатьох складових.

The informative efficiency of new variety of signal modulation – amplitude modulation of many components (AMMC) was explored. The comparative analysis of efficiency of AMMC and quadrature amplitude modulation (QAM) was carried out. On the basis of conduct analysis the recommendations in relation to application of AMMC in the telecommunication systems and networks was produced.

Keywords: informative efficiency, telecommunication systems and networks, quadrature amplitude modulation, amplitude modulation of many components.

Вступ

Передумовою широкого впровадження під час розроблення та виготовлення сучасного телекомунікаційного обладнання нових методів формування та оброблення сигналів є їх різнобічне дослідження та порівняння з відомими методами. Під час такого дослідження важливо виявити особливості та характеристики телекомунікаційних систем та мереж, що можливо досягнути у разі використання нових методів, та порівняти їх із широкоживаними системами. Використання нових методів доцільне за забезпечення покращання характеристик.

Важливе значення під час порівняння різних методів має вироблення єдиних підходів до оцінювання важливих параметрів та характеристик, що є передумовою адекватності одержаних результатів. До основних належить узагальнена характеристика технічної ефективності телекомунікаційних систем та мереж – коефіцієнт використання каналу зв'язку за пропускну здатністю (інформаційна ефективність).

У літературі [1–4] наведено співвідношення для обчислення інформаційної ефективності телекомунікаційних систем під час використання відомих методів модуляції сигналу. Проте недостатньо дослідженими залишаються деякі нові види модуляції, зокрема, АМБС [5]. Тому доцільно здійснити порівняльний аналіз ефективності систем, побудованих із використанням АМБС та широкоживаних відомих методів модуляції.

Метою роботи є дослідження інформаційної ефективності нового різновиду модуляції сигналу – АМБС, здійснення порівняльного аналізу ефективності АМБС та КАМ, а також вироблення на основі проведеного аналізу рекомендацій щодо застосування АМБС у телекомунікаційних системах та мережах.

Обчислення інформаційної ефективності систем зв'язку

Інформаційна ефективність η показує, наскільки швидкість передавання інформації V є меншою від пропускну здатності C каналу зв'язку й дорівнює [4]

$$\eta = V / C. \quad (1)$$

Інформаційна ефективність пов'язана з енергетичною ефективністю β та частотною ефективністю γ таким співвідношенням:

$$\eta = \frac{\gamma}{\log_2 \left(\frac{\gamma}{\beta} + 1 \right)}. \quad (2)$$

Отже, для обчислення інформаційної ефективності необхідно попередньо обчислити енергетичну й частотну ефективності.

Частотна ефективність телекомунікаційних систем та мереж із використанням амплітудно-фазо-маніпульованих (АФМн) сигналів згідно з [4] становить

$$\gamma = \log_2 M, \quad (3)$$

де M – кількість символів у алфавіті маніпульованих сигналів.

Це співвідношення придатне для використання як під час дослідження КАМ, так і АМБС.

Для обчислення енергетичної ефективності необхідні співвідношення для обчислення залежності ймовірності символної помилки від відношення середньої енергії одного біта інформації $E_{b,сеп}$ до енергетичної спектральної густини N_0 білого шуму (спектральної густини потужності шуму) у каналі зв'язку. Такі співвідношення є відомими для деяких вживаних видів модуляції, зокрема, КАМ [2].

Для оцінювання ймовірності помилки довільних M -кових сигналів можна використовувати верхню границю [2, 6]

$$P_{сумM} \leq (M - 1) \cdot Q \left(\sqrt{\frac{(d_{сигн,мін})^2}{2N_0}} \right) = (M - 1) \cdot Q \left(\sqrt{\frac{\Delta E_{мін}}{2N_0}} \right), \quad (4)$$

де $Q(x)$ – функція густини ймовірності гауссової випадкової величини від аргументу x ; $d_{сигн,мін}$ – мінімально можлива евклідова відстань між сусідніми точками сигнального сузір'я, B ; $\Delta E_{мін}$ – мінімально можлива енергія різниці двох символів, що відповідають сусіднім точкам сигнального сузір'я.

Енергія різниці двох довільних i -го та j -го символів дорівнює

$$\Delta E = \int_0^T (s_i(t) - s_j(t))^2 dt = \int_0^T (s_i(t))^2 dt - 2 \int_0^T s_i(t) s_j(t) dt + \int_0^T (s_j(t))^2 dt = E_{s_i} - 2E_{s_{ij}} + E_{s_j}, \quad (5)$$

де $s_i(t)$ та $s_j(t)$ – сигнали, що відповідають i -му та j -му символам; T – період сигналів; E_{s_i} та E_{s_j} – енергії сигналів, що відповідають i -му та j -му символам; $E_{s_{ij}}$ – взаємна енергія сигналів, що відповідають i -му та j -му символам.

Виразимо ймовірність символної помилки довільних M -кових сигналів (4) як функцію від $E_{b_{сер}} / N_0$. Згідно з (5) бачимо, що мінімально можлива енергія різниці двох символів у загальному може бути виражена через середню енергію символу $E_{сум\ сер}$ для певного сигнального сузір'я:

$$\Delta E_{мін} = E_{сум\ сер} \cdot K_E, \tag{6}$$

де K_E – коефіцієнт пропорційності.

З (6) бачимо, що коефіцієнт K_E дорівнює відношенню мінімально можливої різниці енергій $\Delta E_{мін}$ двох символів, що відповідають сусіднім точкам, до середньої енергії $E_{сум\ сер}$ всіх символів, що відповідають неповторюваним сигнальним точкам:

$$K_E = \frac{\Delta E}{E_{сум\ сер}} = \frac{\Delta E}{\frac{\sum_{i=1}^{M_{ef}} E_{сум\ i}}{M_{ef}}} = \frac{\Delta E \cdot M_{ef}}{\sum_{i=1}^{M_{ef}} E_{сум\ i}}, \tag{7}$$

де $E_{сум\ i}$ – енергія i -го символу.

З урахуванням відомого зв'язку [2] між середньою енергією символу $E_{сум\ сер}$ та середньою енергією біта $E_{\delta_{сер}}$ при ефективній кількості символів M_{ef} в алфавіті маніпульованого сигналу (ефективній кількості точок сигнального сузір'я)

$$E_{сум\ сер} = \log_2(M_{ef}) \cdot E_{\delta_{сер}} \tag{8}$$

можна показати, що

$$P_{сум\ M} \leq (M_{ef} - 1) \cdot Q \left(\sqrt{\frac{\Delta E_{мін} \cdot \log_2(M_{ef})}{E_{сум\ сер}} \cdot \frac{E_{\delta_{сер}}}{2N_0}} \right). \tag{9}$$

З урахуванням співвідношення (7) отримано

$$P_{сум\ M} \leq (M_{ef} - 1) \cdot Q \left(\sqrt{K_E \cdot \log_2(M_{ef}) \cdot \frac{E_{\delta_{сер}}}{2N_0}} \right). \tag{10}$$

За результатами проведених досліджень автор встановив, що для підвищення точності обчислень замість множника $(M_{ef} - 1)$ доцільно використовувати коефіцієнт n_c , що дорівнює середній кількості сусідніх точок, що розташовані навколо однієї з точок сигнального сузір'я. У такому разі для АМБС під час використання сигналів з однаковими відстанями між усіма сусідніми точками автор запропонував використовувати таку залежність для обчислення ймовірності символної помилки:

$$P_{сум\ АМБС} \approx n_c \cdot Q \left(\sqrt{K_E \cdot \log_2(M_{ef}) \cdot \frac{E_{\delta_{сер}}}{2N_0}} \right). \tag{11}$$

Адекватність запропонованої залежності (11) підтверджена збігом результатів обчислення ймовірності помилки під час її використання для КАМ та результатів, одержаних під час використання відомого співвідношення для обчислення ймовірності помилки КАМ [2]. Отже, запропонована формула (11) є придатною для обчислення ймовірності символної помилки КАМ та АМБС.

Приклади сигнальних сузір'їв АМБС-19 у разі використання трьох та шести складових наведені на рис. 1, а та рис. 1, б відповідно.

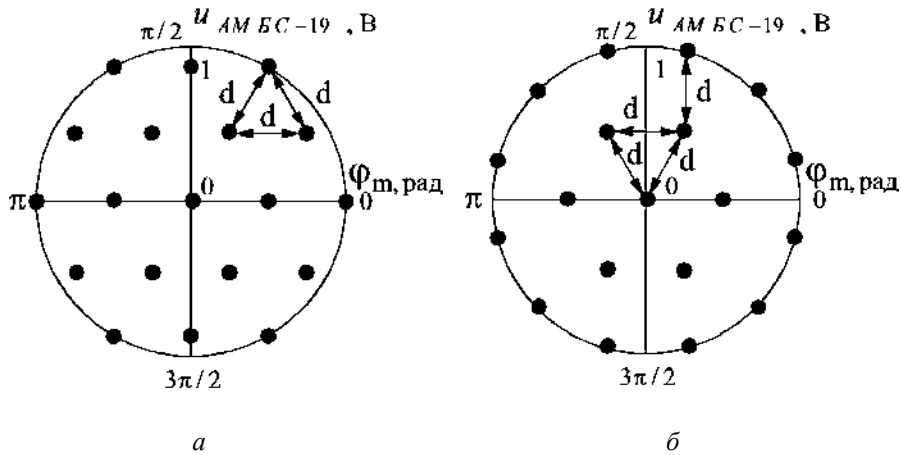


Рис. 1. Варіанти сигнального сузір'я АМБС-19

Для обчислення енергетичної ефективності β використовують залежності ймовірності помилки для певного різновиду модуляції від відношення середньої енергії одного біта інформації $E_{b_{сер}}$ до енергетичної спектральної густини N_0 білого шуму в каналі зв'язку за певного значення такої ймовірності. Такі залежності для КАМ відомі з [2] або їх можна обчислити згідно з (11), а для АМБС можна обчислити лише з використанням (11).

Результати досліджень

Використовуючи відомі залежності [2] та запропоноване співвідношення (11), одержано графічні залежності ймовірності символної помилки $P_{сим}$ від відношення середньої енергії одного біта інформації $E_{b_{сер}}$ до енергетичної спектральної густини N_0 білого шуму в каналі зв'язку для КАМ та АМБС із різною ефективною кількістю символів M_{ef} у алфавіті маніпульованого сигналу, зображені на рис. 2.

З рис. 2 видно, що для забезпечення певного значення ймовірності символної помилки під час використання АМБС необхідно забезпечити менше відношення $E_{b_{сер}} / N_0$ порівняно з КАМ з тією самою ефективною кількістю символів M_{ef} . За однакового відношення $E_{b_{сер}} / N_0$, використовуючи АМБС, можливо досягнути меншої ймовірності символної помилки порівняно з КАМ із тією самою ефективною кількістю символів. Такі тенденції не залежать від M_{ef} .

Використовуючи співвідношення (1)–(5) та [2], досліджено інформаційну ефективність КАМ та АМБС із трьома складовими залежно від M_{ef} за різних значень ймовірності символної помилки $P_{сим}$. Результати досліджень наведено на рис. 3.

За результатами досліджень видно, що інформаційна ефективність η АМБС є більшою порівняно з КАМ за всіх значень символної помилки $P_{сим}$ та однакової ефективною кількості символів M_{ef} . Це пояснюється тим, що точки сигнального сузір'я АМБС розташовані рівномірніше в колі одиничної амплітуди сигналу порівняно з точками сузір'я КАМ. Отже, АМБС доцільно використовувати в сучасних телекомунікаційних каналах та системах передавання даних для підвищення їх ефективності.

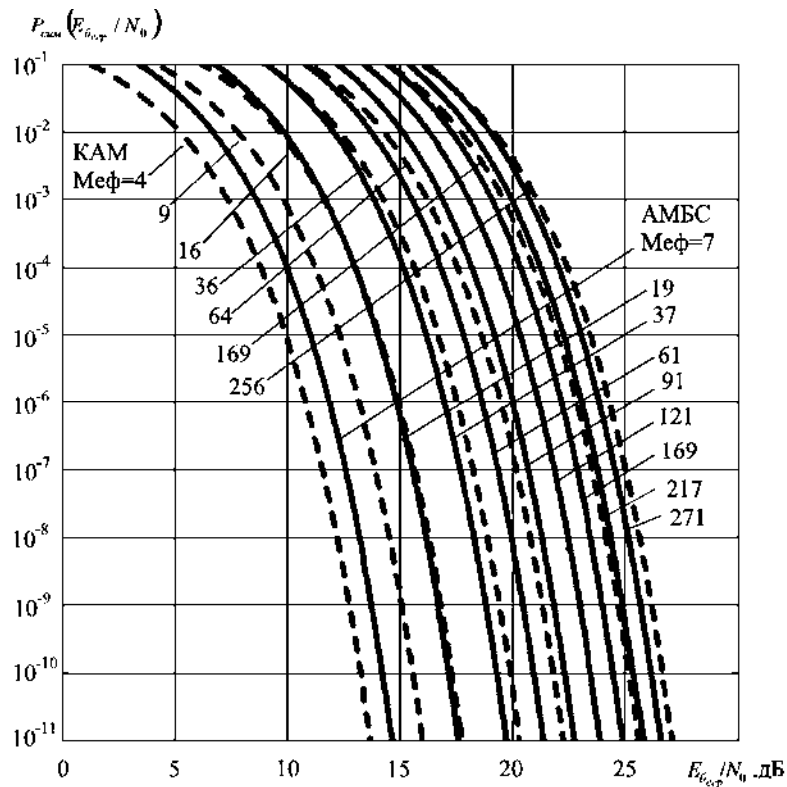


Рис. 2. Залежність імовірності символної помилки $P_{сим}$ від відношення E_b / N_0 в каналі зв'язку для КАМ та АМБС

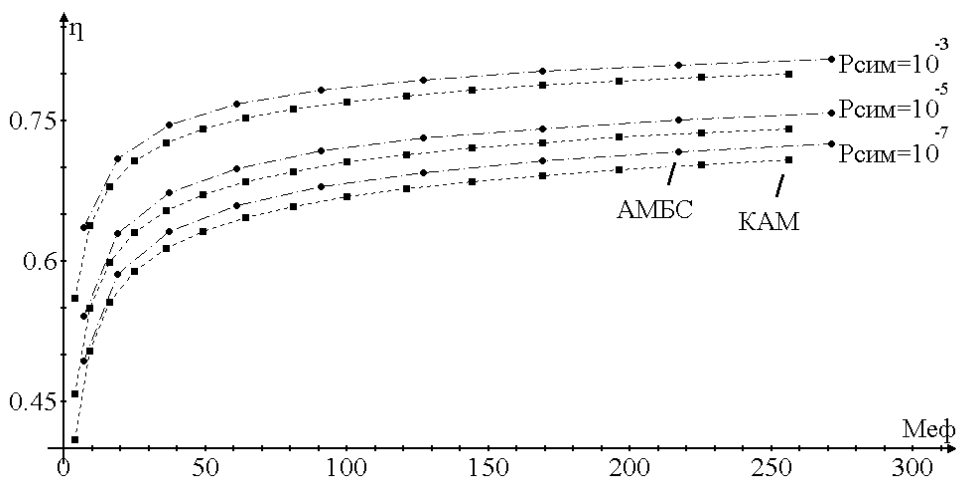


Рис. 3. Залежність інформаційної ефективності η від ефективної кількості символів $M_{эф}$ у алфавіті сигналів КАМ та АМБС

Висновки

1. Досліджено залежність імовірності символної помилки $P_{сим}$ від відношення $E_{b,сеп} / N_0$ в каналі зв'язку для КАМ та АМБС і залежність інформаційної ефективності η від ефективної кількості символів $M_{эф}$ в алфавіті маніпульованих сигналів КАМ та АМБС.

2. Установлено, що для забезпечення певного значення ймовірності символної помилки під час використання АМБС необхідно забезпечити менше відношення $E_{b,сеп} / N_0$ порівняно з КАМ із

тією самою ефективною кількістю символів M_{ef} . За однакового відношення $E_{b_{сер}} / N_0$ під час використання АМБС можливо досягнути меншої ймовірності символної помилки порівняно з КАМ із тією самою ефективною кількістю символів.

3. Показано, що інформаційна ефективність η АМБС є більшою порівняно з КАМ за всіх значень символної помилки $P_{сим}$ та однакової ефективної кількості символів M_{ef} .

4. Отже, досліджений новий різновид модуляції АМБС доцільно використовувати в сучасних телекомунікаційних системах та мережах передавання даних для підвищення їх ефективності.

У подальшому доцільно експериментально дослідити інформаційну ефективність АМБС.

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – 2-е изд. / Пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2004. – 1104 с. 2. Прокис Дж. Цифровая связь / Пер. с англ.; Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с. 3. Marvin K. Simon, *Bandwidth-Efficient Digital Modulation with Application to Deep-Space Communications*, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 2001. – 228 p. 4. Теория передачи сигналов: Учеб. для вузов / А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, М.В. Назаров, Л.М. Финк. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1986. – 304 с. 5. Горбатий І.В. Метод та пристрій для здійснення амплітудної модуляції багатьох складових // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2009. – № 646: Електроніка. – С. 185–190. 6. Коржик В.И. и др. Расчет помехоустойчивости систем передачи дискретных сообщений: справочник / В.И. Коржик, Л.М. Финк, К.Н. Щелкунов; Под ред. Л.М. Финка. – М.: Радио и связь, 1981. – 232 с.