

вузлу, в такому випадку експоненційно зростає з ростом кількості вузлів.

1. *W. R. Ashby*, "Principles of the self-organizing system," in *Principles of Self-Organization*, *H. V. Foerster and G. W. Zopf*, Eds. Pergamon Press, Date 1962, pp. 255–278.
2. *Rappaport*, *T. S.* (1996). *Wireless Communications*, 1st edn. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
3. *Roberto Verdone, Davide Dardari, Gianluca Mazzini, Andrea Conti*. *Wireless Sensor and Actuator Networks: Technologies, Analysis and Design* 2008.
4. *М.Ю.Зеляновський, О.В.Тимченко*. Інтелектуальна система для бездротових спеціалізованих сенсорних та мереж персонального радіусу дії: програмно-апаратна платформа вузла бездротової мережі // Моделювання та інформаційні технології. Зб. наук. пр. ІПМЕ НАН України. – Вип.49. – К.: 2008. – С. 185-193.

Поступила 2.02.2009р.

УДК 621.39

І.В. Горбатий, к.т.н., доц. кафедри телекомунікацій, НУ "Львівська політехніка"

АМПЛІТУДНА МОДУЛЯЦІЯ БАГАТЬОХ СКЛАДОВИХ

Розглянуто новий різновид модуляції, що може використовуватись в телекомунікаційних системах передавання даних. Показано його особливості порівняно різновидами фазової маніпуляції.

Вступ. У телекомунікаційних системах використовують шість основних видів модуляції сигналу: амплітудну, кутову, імпульсну, спектральну, поляризаційну та комбіновані модуляції. Така різноманітність пов'язана з можливістю передавати інформаційний сигнал шляхом модуляції одного або декількох параметрів гармонічного коливання. Існує декілька десятків широко вживаних модуляцій, що належать до згаданих вище видів. Незважаючи на це, з'являються нові різновиди модуляції, як правило, комбіновані. Це пов'язано з тим, що щороку у світі необхідно передавати телекомунікаційними каналами все більші об'єми інформації. Це досягається як підвищенням ефективності телекомунікаційних каналів та систем, так і збільшенням кількості високошвидкісних телекомунікаційних каналів. Для забезпечення підвищення ефективності каналів необхідно розробляти та впроваджувати сучасні більш ефективні методи формування та обробки сигналів, що використовують для передавання інформації в аналоговому та цифровому вигляді.

У процесі формування сигналів важливу роль відіграє модуляція та демодуляція. Саме тому підвищення ефективності телекомунікаційного

каналу може бути досягнуте використанням нових більш ефективних різновидів модуляції. Тому розробка нових видів модуляції та дослідження їх властивостей є актуальним завданням.

Властивості сучасних видів модуляції в літературі [1, 2, 3] описані недостатньо, тому це питання потребує подальшого вивчення.

Метою даної роботи є дослідження особливостей нового різновиду модуляції – амплітудної модуляції багатьох складових.

1. Різновиди модуляції, що використовуються в сучасних телекомунікаційних системах передавання даних. У телекомунікаційних системах найбільш часто використовують амплітудну, частотну та фазову модуляції. Оскільки частка інформації в цифровому вигляді, що передається телекомунікаційними каналами, росте порівняно із часткою інформації в аналоговому вигляді, більш уживаним є частковий випадок модуляції – маніпуляція, при якій параметр гармонічного коливання, що несе інформацію, набуває дискретних значень. Так, при використанні фазової маніпуляції (ФМн, phase shift keying – PSK) фаза сигналу може приймати M дискретних значень. Таку модуляцію часто називають багатофазною маніпуляцією (multiple phase-shift keying – MPSK) або M -фазною маніпуляцією. При цьому фазо-маніпульований сигнал має вигляд [1]:

$$u_{MPSK}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_m(t) + \varphi_0), \quad T_c \cdot k_c < t \leq T_c \cdot (1 + k_c), \quad (1)$$

де номер фази $m = 1, 2, \dots, M$; номер інформаційного символу $k_c = 0, 1, \dots, \infty$; U_0 , ω_0 , φ_0 – амплітуда, кругова частота та початкова фаза несучого коливання відповідно; T_c – час передавання інформаційного символу.

Найбільш уживаним є випадок, коли змінна складова фази сигналу визначається як

$$\varphi_m(t) = 2\pi(m-1)/M. \quad (2)$$

Так при двофазній маніпуляції (ФМ-2, binary phase shift keying – BPSK) фаза сигналу може набувати лише два можливих значення 0 або π рад. Тому дана модуляція дозволяє передавати один біт протягом часу T_c . Для даної модуляції характерні різкі стрибки фази на π рад у моменти зміни інформаційних символів.

Більш уживаною є чотирифазна модуляція або квадратурна фазова маніпуляція (ФМ-4, quadrature phase shift keying – QPSK). Остання назва пов'язана з методом формування маніпульованого сигналу.

Сигнал QPSK може бути описаний співвідношенням (1), але, звичайно, його представляють у вигляді суми двох ортогональних складових – косинусоїдальної (синфазної) та синусоїдальної (квадратурної):

$$u_{QPSK}(t) = U_0 a_I u_{mI}(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + U_0 a_Q u_{mQ}(t) \cos\left(\omega_0 t + \varphi_0 - \frac{\pi}{2}\right), \quad (3)$$

де a_I , a_Q – коефіцієнти пропорційності для синфазного I та квадратурного

Q каналів, що є параметрами модулятора; $u_{mI}(t)$, $u_{mQ}(t)$ – модулюючі сигнали на синфазному I та квадратурному Q входах модулятора.

При здійсненні такої модуляції використовують модулюючі сигнали, що є послідовностями прямокутних імпульсів із можливими значеннями амплітуд $U_{mI} = \pm U_{m_{\max}}$, $U_{mQ} = \pm U_{m_{\max}}$, де $U_{m_{\max}}$ – максимально можлива амплітуда модулюючого сигналу.

Сигнальні сузір'я для модуляції BPSK, QPSK, 6PSK та 12PSK зображені на рис. 1.

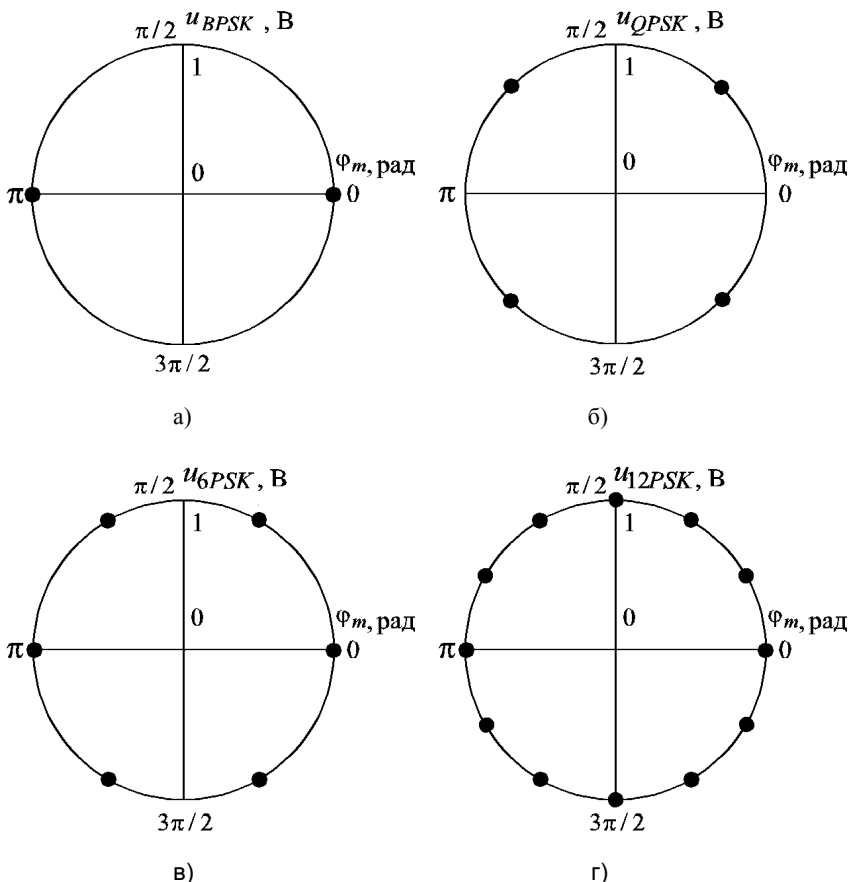


Рис. 1. Сигнальні сузір'я: а) BPSK; б) QPSK; в) 6PSK; г) 12PSK

3. Амплітудна модуляція багатьох складових. Для підвищення ефективності телекомунікаційних каналів автором запропоновано використовувати новий різновид модуляції – амплітудну модуляцію багатьох складових (АМБС, амплитудная модуляция многих составляющих – АММС,

amplitude modulation of many components – АММС), при якій модульований сигнал має вигляд:

$$u_{\text{АМБС}}(t) = \sum_{n=1}^N U_0 a_n u_{m_n}(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \varphi_n), \quad (4)$$

де a_n – коефіцієнти пропорційності для n -их каналів модулятора, що є параметрами модулятора; $u_{m_n}(t)$ – модулюючі сигнали на n -их входах модулятора.

Дана модуляція належить до класу неортогональних амплітудно-фазових модуляцій. Її частковим випадком є амплітудна маніпуляція багатьох складових (АМнБС, амплитудная манипуляция многих составляющих – АМнМС, amplitude shift keying of many components – АСКМС), при якій модулюючі сигнали є дискретними.

Сигнал АМБС є сумою N гармонічних складових, зсунутих на фазові кути φ_n . Заслуговує увагу сигнал АМБС, при формуванні якого використовують фазові кути

$$\varphi_n = \pi / N. \quad (4)$$

При використанні модулюючих сигналів, що є послідовностями прямокутних імпульсів із двома можливими значеннями амплітуд $U_{m_n} = \pm U_{m_{\text{макс}}}$ при $N=3$ (АМБС6) та $N=4$ (АМБС12) одержимо модульовані сигнали, сигнальні сузір'я яких зображені на рис. 2, а та рис. 2, б відповідно. Слід зауважити, що при формуванні сигналу АМБС12 для підвищення завадостійкості доцільно використовувати з 16 наявних точок на сигнальній площині лише 12 (слід не використовувати точки, позначені на рисунку колами).

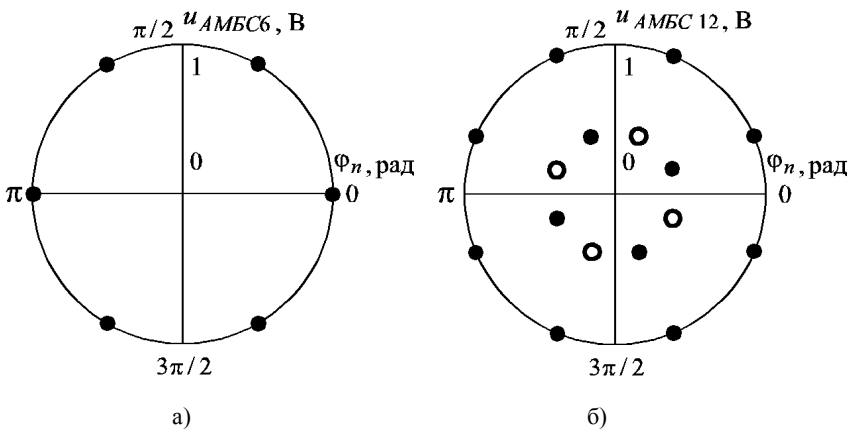


Рис. 2. Сигнальні сузір'я: а) АМБС6; б) АМБС12

З [1-3] відомо, що відстань між сигнальними точками на сигнальній площині при максимально можливій амплітуді сигналу 1 В для MPSK дорівнює

$$d_{\text{сигн}} = 2 \sin(\pi / M). \quad (4)$$

Одержані за допомогою (4) відстані для BPSK, QPSK, 6PSK та 12PSK становлять 2 В, 1,414 В, 1 В та 0,518 В відповідно. Установлено, що відстані для АМБС6 та АМБС12 дорівнюють 1 В та 0,586 В відповідно, отже, завадостійкість АМБС6 не менша від 6PSK, а завадостійкість АМБС12 вища від 12PSK.

За допомогою АМБС6 можливо передати $\log_2 6 = 2,59$ біт інформації за один інформаційний такт як при 6PSK та більше від QPSK (2 біт) чи BPSK (1 біт). При використанні АМБС12 можливо передати $\log_2 12 = 3,59$ біт як при 12PSK.

Бачимо, що при використанні модулюючих сигналів із двома можливими рівнями амплітуди при АМБС6 одержимо решітку, подібну на 6PSK. При АМБС12 точки решітки розташовані по всій площі сигнальної площини (при 12 PSK – лише по колу), що забезпечує вищу завадозахищеність запропонованої модуляції за рахунок збільшення мінімальної відстані між точками на сигнальній площині.

Суттєвою відмінністю АМБС порівняно з PSK є те, що для демодуляції модульований сигнал подають на N перемножувачів на опорні сигнали, зсунуті одні відносно інших на кути φ_n , що зменшує ймовірність помилки на виході демодулятора як при використанні АМБС6 (порівняно з 6 PSK), так і при використанні АМБС12 (порівняно з 12 PSK).

ВИСНОВКИ

1. Запропоновано новий різновид амплітудно-фазової модуляції – амплітудну модуляцію багатьох складових (АМБС).
2. Використання АМБС дозволяє зменшити ймовірність помилки на виході демодулятора порівняно з PSK при тій самій інформативності модульованого сигналу.
3. Запропоновану модуляцію доцільно використовувати в сучасних телекомунікаційних каналах та системах передавання даних.

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2004. – 1104 с.: ил. – Парал. тит. англ.
2. Проксис Д. Цифровая связь. Пер. с англ. / Под. ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь. 2000. – 800 с.: ил.
3. Теория передачи сигналов: Учебник 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.: ил.

Поступила 2.02.2009р.