

МЕТОД ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ АМПЛІТУДНОЇ МОДУЛЯЦІЇ БАГАТЬОХ СКЛАДОВИХ

Ó Горбатий І.В., 2009

I.V. Gorbatyy

METHOD AND DEVICE FOR REALIZATION OF AMPLITUDE MODULATION OF MANY COMPONENTS

Ó Gorbatyy I.V., 2009

Розглянуто сучасні різновиди амплітудно-фазової модуляції та їх особливості. Наведено сигнальні сузір'я найуживаніших різновидів амплітудно-фазової модуляції. Запропоновано метод та пристрій для здійснення різновиду амплітудно-фазової модуляції – амплітудної модуляції багатьох складових. Показано ефективність використання такої модуляції порівняно із квадратурною амплітудною модуляцією.

The modern varieties of amplitude phase modulation and their feature was consider. The signal constellations of the most common varieties of amplitude phase modulation was lead. The method and device for realization of variety of amplitude phase modulation – the amplitude modulation of many components was offered. The efficiency of use of such modulation by comparison to the quadrature amplitude modulation was shown.

Вступ

Важливим завданням під час проектування сучасних систем зв'язку є забезпечення високої інформаційної та економічної ефективності. Це може бути досягнуто, зокрема, вибором оптимальних видів модуляції та завадостійкого кодування сигналу.

Дослідження різновидів модуляції та порівняння їх ефективності, а також впровадження сучасних та нових видів модуляції у компоненти каналів зв'язку залишаються актуальним завданням. Проте властивості та особливості застосування різновидів модуляції, особливо сучасних, у різноманітних системах зв'язку висвітлені недостатньо в сучасній літературі [1–4] та потребують подальшого дослідження. До перспективних необхідно віднести неортогональні різновиди модуляції [5]. До видів модуляції, що потребують подальшого дослідження, потрібно віднести деякі неортогональні різновиди амплітудно-фазової модуляції.

Мета роботи – запропонувати метод та пристрій для здійснення одного з перспективних неортогональних різновидів амплітудно-фазової модуляції – амплітудної модуляції багатьох складових.

Широковживані різновиди амплітудно-фазової модуляції

У сучасних системах зв'язку для забезпечення ефективного використання смуги пропускання каналу зв'язку застосовують різновиди модуляції, під час здійснення яких модульований сигнал утворюється шляхом одночасної зміни амплітуди та фази несучого коливання. До таких належать амплітудно-фазова маніпуляція (АФМн, amplitude shift keying / phase shift keying – ASK/PSK or amplitude phase keying – APK), що здійснюється амплітудно-фазовим модулятором, та квадратурна амплітудна модуляція (КАМ, quadrature amplitude modulation – QAM or quadrature amplitude shift

keying – QASK), що реалізується за допомогою квадратурного модулятора. Модуляцію АРК переважно використовують у разі, коли кількість сигнальних точок на сигнальній площині невелика, інакше під час реалізації таких модульованих сигналів виникають труднощі при забезпеченні великої кількості некратних значень амплітуди й фази. Легше реалізувати сигнали з великою кількістю сигнальних точок за допомогою квадратурного модулятора. Перевагою такого модулятора є відносна простота реалізації, однак недоліком є те, що сигнальні сузір'я мають вигляд квадрата. Така форма сузір'я не є найоптимальнішою, оскільки багатокутники з кількістю кутів, більшою за чотири, краще вписуються в коло одиничної потужності. Використання модульованих сигналів із квадратними сузір'ями спричиняє певне збільшення середньої потужності модульованого сигналу для забезпечення заданої завадостійкості порівняно з модуляціями, що мають сигнальні сузір'я у вигляді багатокутників або кола. Приклади сигнальних сузір'їв АРК та QAM сигналів показано на рис. 1.

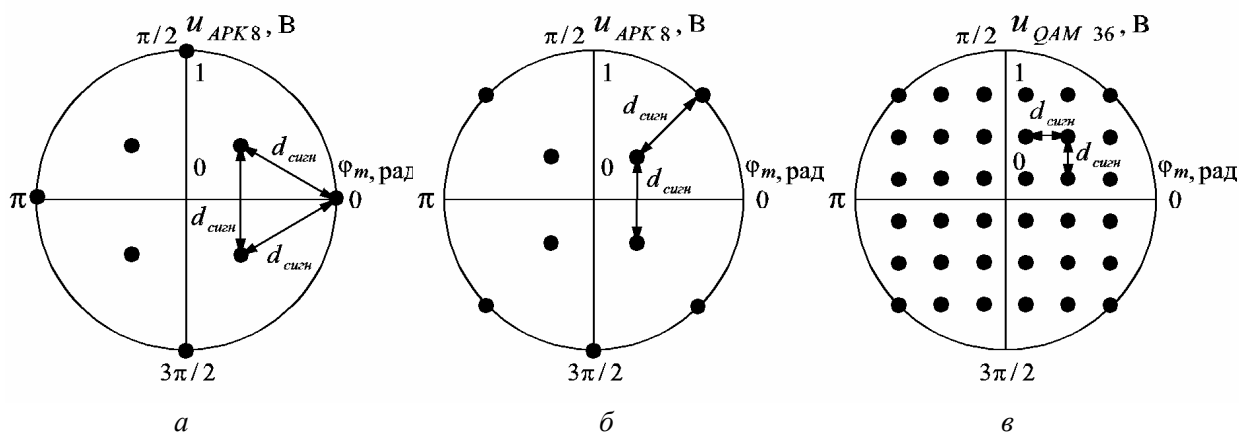


Рис. 1. Сигнальні сузір'я:
а, б – різні варіанти АРК8; в – QAM36

Амплітудна модуляція багатьох складових

Для підвищення ефективності телекомунікаційних каналів автор запропонував метод для здійснення нового різновиду модуляції – амплітудної модуляції багатьох складових (АМБС, амплітудні модуляції – АММС, amplitude modulation of many components – АММС), згідно з яким модульований сигнал формується у вигляді суми N гармонічних складових, що відрізняються початковими фазами φ_n , та має вигляд:

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

де U_0 , ω_0 , φ_0 – амплітуда, кругова частота та початкова фаза несучого коливання; a_n – коефіцієнти пропорційності для n -их каналів модулятора, що є параметрами модулятора; $u_{m_n}(t)$ – модулюючі сигнали на n -х входах модулятора.

Запропонована автором модуляція загалом (за винятком випадку, коли $N = 2$ і $\varphi_1 - \varphi_2 = \pi/2$) належить до класу неортогональних амплітудно-фазових модуляцій. Її частковим випадком є запропонована амплітудна маніпуляція багатьох складових (АМнБС, амплітудна маніпуляція многих составляющих – АМнМС, amplitude shift keying of many components – АСКМС), за якої модулюючі сигнали є дискретними.

Заслуговує на увагу сигнал АММС, під час формування якого використовують складові, зсунуті між собою на фазові кути

$$\varphi = \pi/N. \quad (2)$$

Наприклад, використовуючи модулюючі сигнали, що є послідовностями прямокутних імпульсів із трьома (АММС18), чотирма (АММС36) та п'ятьма (АММС60) можливими значеннями амплітуд за кількості складових $N = 3$, одержимо модульовані сигнали, сигнальні сузір'я яких зображені на рис. 2 відповідно. Цікавими із практичної точки зору є також сигнальні сузір'я, одержані при використанні кількості складових $N > 3$.

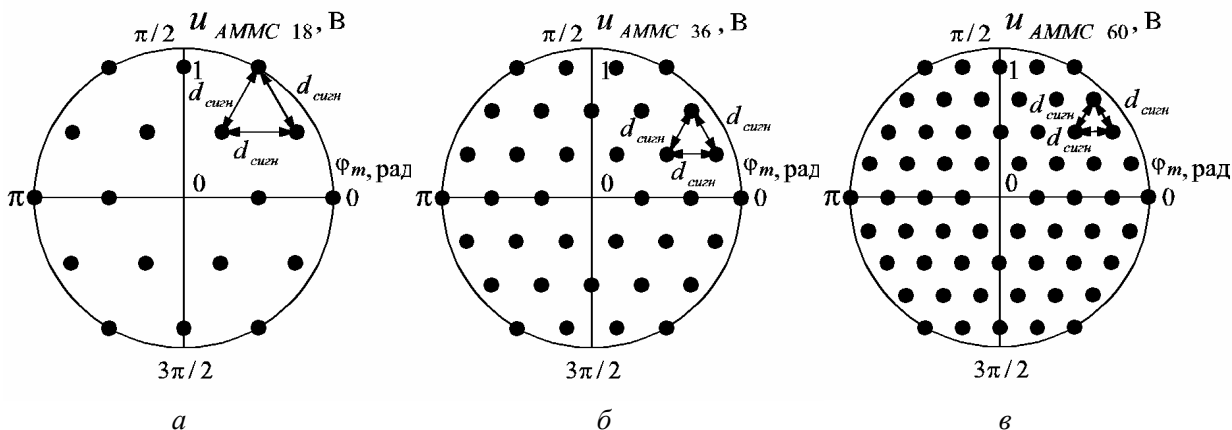


Рис. 2. Сигнальні сузір'я:
а – АММС18; б – АММС36; в – АММС60

Порівняємо властивості модуляції QAM36 (рис. 1, в) та АММС36 (рис. 2, б) з однаковою кількістю 36 сигнальних точок. При використанні обох різновидів модуляції можна передати однакову кількість інформації $\log_2 36 = 5,17$ біт протягом одного інформаційного такту.

З [1–3] відомо, що відстань $d_{\text{сигн}}$ між сигнальними точками на сигнальній площині для QAM за максимально можливої амплітуди модульованого сигналу $U_{c_{\text{макс}}}$ за модуляції кожної ортогональної складової модулюючими сигналами з кількістю рівномірно віддалених рівнів L дорівнює

$$d_{\text{сигн}} = \frac{\sqrt{2}U_{c_{\text{макс}}}}{L-1}. \quad (3)$$

Отримано співвідношення для обчислення відстані $d_{\text{сигн}}$ між сигнальними точками на сигнальній площині для АММС за $N = 3$, початкових фаз складових, що задовольняють (2), та максимально можливої амплітуди модульованого сигналу $U_{c_{\text{макс}}}$ за модуляції кожної складової модулюючими сигналами з кількістю рівномірно віддалених рівнів L :

$$d_{\text{сигн}} = \frac{U_{c_{\text{макс}}}}{L-1}. \quad (4)$$

Одержана за допомогою формули (3) відстань для QAM36 за $U_{c_{\text{макс}}} = 1$ В та $L = 6$ становить 0,28 В. Для модуляції АММС36 згідно із співвідношенням (4) за $U_{c_{\text{макс}}} = 1$ В та $L = 4$ мінімальна відстань між сигнальними точками дорівнює 0,33 В, тобто для забезпечення тієї ж завадостійкості при передаванні даних із використанням АММС36 необхідно на 1,43 дБ менше відношення потужності сигналу до потужності шуму в каналі порівняно з QAM36.

Обчислимо середню потужність для обох різновидів модуляції. Для модуляції, сигнальне сузір'я якої містить M сигнальних точок, середня потужність

$$P_{\text{сеп}} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M P_i = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (U_{x_m}^2 + U_{y_m}^2) = \frac{U_{\text{смакс}}^2}{M} \sum_{m=1}^M (U_{xu_m}^2 + U_{yu_m}^2) = \frac{d_{\text{сигн}}^2}{M} \sum_{m=1}^M (U_{xd_m}^2 + U_{yd_m}^2), \quad (5)$$

де U_{x_m} , U_{y_m} – абсциса та ордината m -ї сигнальної точки в Декартовій системі координат; U_{xu_m} , U_{yu_m} – абсциса та ордината m -ї сигнальної точки в Декартовій системі координат, нормовані по $U_{\text{смакс}}$; U_{xd_m} , U_{yd_m} – абсциса та ордината m -ї сигнальної точки в Декартовій системі координат, нормовані по $d_{\text{сигн}}$.

За однакових мінімальних відстаней між сигнальними точками на сигнальній площині $d_{\text{сигн}} = 1$ В з врахуванням симетричності решітки стосовно осей координат для QAM36 $P_{QAM36_{\text{сеп}}} = 5,83$ Вт, а для АММС36 $P_{AMMC36_{\text{сеп}}} = 5,17$ Вт, тобто середня потужність АММС36 на 0,53 дБ менша за забезпечення тієї самої завадостійкості, що й QAM36.

Часто для передавання даних використовують модуляцію QAM32, яку одержують з QAM36 шляхом невикористання чотирьох сигнальних точок із максимальною потужністю. У такому випадку $P_{QAM32_{\text{сеп}}} = 4,44$ Вт. Якщо використати лише 32 сигнальні точки АММС (не використовувати чотири із шести точок із максимальною потужністю), тоді $P_{AMMC32_{\text{сеп}}} = 4,17$ Вт, що на 0,27 дБ менше. Отже, у такому випадку АММС також є більш економічна порівняно з QAM.

Слід зауважити, що за однакової максимальної потужності середня потужність АММС36 на 0,9 дБ більша порівняно з QAM36, що свідчить про меншу різницю між можливими мінімальною та максимальною потужностями АММС.

Отже, АММС36 характеризується кращою завадостійкістю порівняно з QAM36 за однакової максимальної потужності модульованого сигналу або вимагає меншої середньої потужності модульованого сигналу за тієї самої завадостійкості.

Пристрої для здійснення модуляції та демодуляції АММС

Пристрій (модулятор) для здійснення АММС (рис. 3) складається з формувача модулюючих сигналів 1, опорного високостабільного генератора синусоїдальних коливань 2, N фазоповертачів 3–5 на кути φ_n , N перемножувачів 6–8 та суматора 9. Кількість фазоповертачів та перемножувачів дорівнює кількості складових N , які потрібно використати для формування заданої АММС згідно з (1). Двійкові дані, що мають бути передані через канал зв'язку, подають на формувач модулюючих сигналів для формування N модулюючих сигналів із необхідними амплітудами й тривалостями на кожному інформаційному такті. На виході фазоповертачів одержують гармонічні коливання із частотою несучого коливання ω_0 та фазами $\varphi_0 + \varphi_n$. Перемножувачі використовують для здійснення амплітудної модуляції гармонічних коливань із виходів фазоповертачів модулюючими сигналами. Сигнал АММС одержують шляхом додавання сигналів на виходах усіх перемножувачів.

Пристрій (демодулятор) для здійснення демодуляції АММС (рис. 4) складається з опорного високостабільного генератора синусоїдальних коливань 1 із фазовим автопідстроюванням частоти стосовно частоти несучого коливання вхідного АММС сигналу, N фазоповертачів 2–4 на кути φ_n , N перемножувачів 5–7, фільтрів нижніх частот 8–10 та формувача двійкових даних 11. Кількість фазоповертачів та перемножувачів дорівнює кількості складових N , що були використані для формування заданої АММС згідно з (1). На виході кожного фазоповертача одержують гармонічні коливання із частотою ω_0 та фазою несучого коливання φ_0 , використаного в модуляторі АММС, зсунутою на φ_n . Сигнал АММС подають одночасно на N перемножувачів, що разом із фільтрами

нижніх частот використовують для виділення низькочастотних сигналів, що застосовуються для формування прийнятих двійкових даних за допомогою формувача двійкових даних. Цей формувач забезпечує необхідну амплітуду та тривалість двійкових даних.

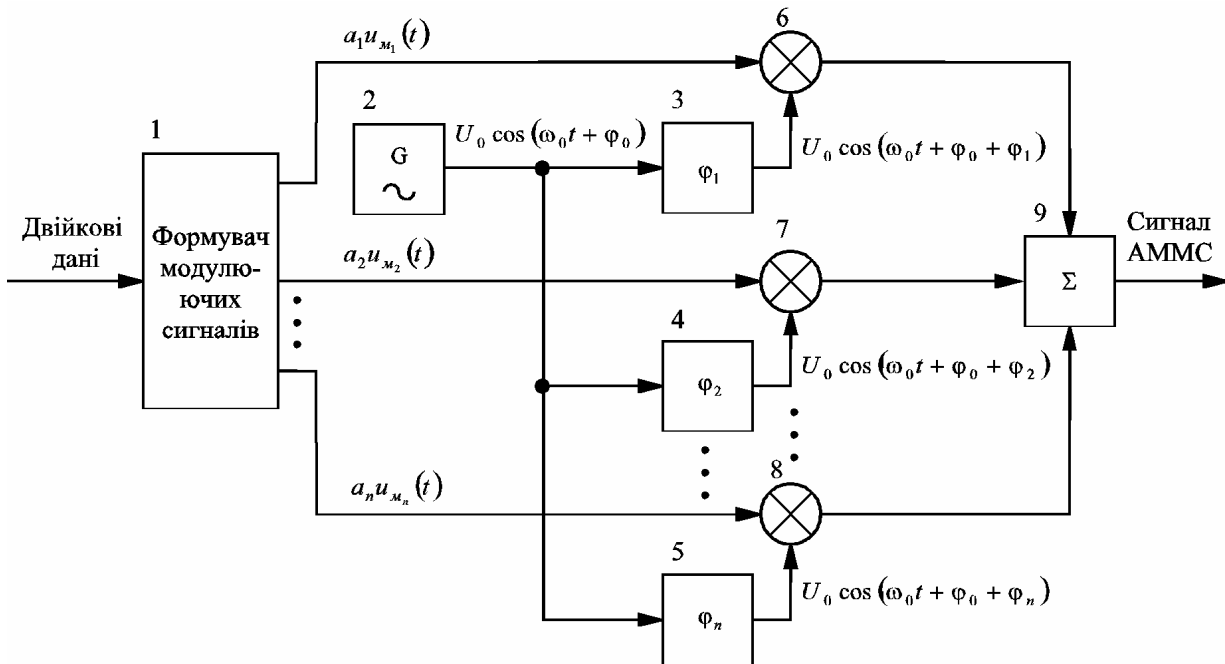


Рис. 3. Модулятор АММС

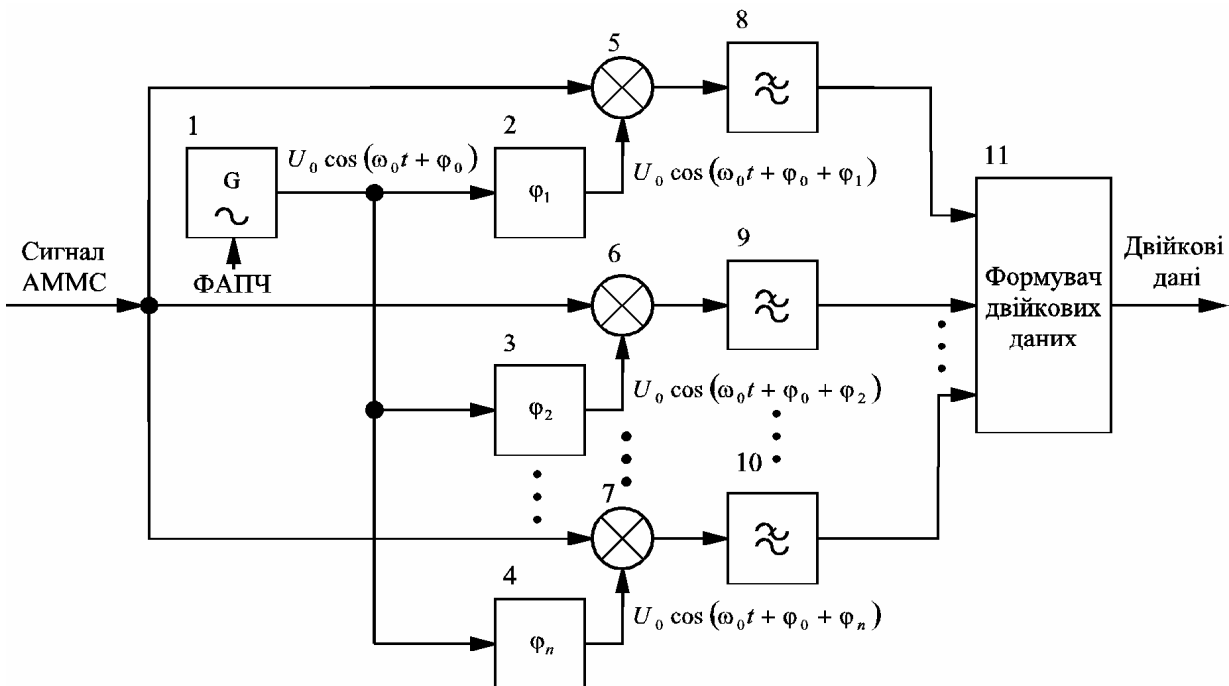


Рис. 4. Демодулятор АММС

Перевагою цього пристрою є відносна простота формування сигналів АММС. Так, за здійснення АММС36 модульовані сигнали на кожному інформаційному такті можуть мати одну з п'яти можливих амплітуд та одну з 24 можливих початкових фаз, а для здійснення таких сигналів запропонованим методом та пристроєм необхідно лише модулюючі сигнали із чотирма можливими амплітудами та три фазовертачі.

Для забезпечення простоти реалізації цього методу доцільно реалізувати модулятор та демодулятор АММС в інтегральному виконанні шляхом розроблення відповідних спеціалізованих інтегральних схем.

Висновки:

1. Запропоновано метод здійснення нового різновиду амплітудно-фазової модуляції – АММС.
2. Розроблено структурні схеми пристроїв для здійснення модуляції та демодуляції сигналів АММС.
3. АММС36 характеризується кращою завадостійкістю порівняно з QAM36, оскільки забезпечує краще на 1,43 дБ відношення потужності сигналу до потужності шуму на вході демодулятора за однакових максимальних потужностей модульованих сигналів, або ж вимагає меншої на 0,53 дБ середньої потужності модульованого сигналу за тієї самої завадостійкості, що й QAM36.
4. Запропоновану модуляцію доцільно використовувати в сучасних телекомунікаційних каналах та системах передавання даних для підвищення їх ефективності.
У подальшому доцільно дослідити інформаційну ефективність запропонованої модуляції.

1. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь: Учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 432 с. 2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – 2-е изд., испр. / Пер. с англ. – М.: Изд. дом “Вильямс”, 2004. – 1104 с. – Парал. тит. англ. 3. Proakis J.G. Digital Communications, 4th ed., New York, McGraw-Hill, 2001. 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. Slyusar V.I., Smolyar V.G. The method of nonorthogonal frequency-discrete modulation of signals for narrow-band communication channels // Radio Electronics and Communications Systems C/C of Izvestiia – Vysshie Uchebnye Zavedeniia Radioelektronika. – 2004, VOL 47; PART 4, P. 40–44. – Allerton Press Inc. (USA).