

## РОЗРОБКА МОДУЛЯТОРА ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ АМПЛІТУДНОЇ МОДУЛЯЦІЇ БАГАТЬОХ СКЛАДОВИХ

Д. т. н. І. В. Горбатий, Ю. С. Карп, І. Р. Цимбалюк

Національний університет «Львівська політехніка»

Україна, м. Львів

giv@polynet.lviv.ua, uskarp@gmail.com, zymbaliuk@gmail.com

*Розглянуто відомі види модуляції, що використовують при проектуванні сучасних цифрових телекомунікаційних систем. Обґрунтовано доцільність побудови таких систем з використанням амплітудної модуляції багатьох складових (АМБС). Запропоновано та розглянуто структурну схему та конструктивну реалізацію АМБС-модулятора.*

*Ключові слова:* цифрова телекомунікаційна система, амплітудна модуляція багатьох складових, модулятор.

На підставі аналізу особливостей роботи телекомунікаційних систем, що зараз знаходяться у широкому вжитку, можна стверджувати, що в сучасному світі переважають цифрові види модуляції — як стандарт 5G, так і Wi-Fi 6, в яких використовується квадратурна амплітудна модуляція (КАМ) високих порядків (1024+) і ортогональне частотне мультиплексування. Втім підвищення порядків цифрових модуляцій робить задачу забезпечення задовільних значень відношення сигнал/шум все складнішою у зв'язку зі збільшенням впливу адитивних та фазових шумів [1]. Для боротьби з такими явищами були запропоновані різні методи — алгоритми фазочастотних детекторів, які виключають недиагональні символи [2], урізання сузір'їв, поєднане з прямим методом фазового автопідлаштування частоти [3 – 4] та більш нові методи відновлення носійної, розраховані на використання новітніх мікропроцесорних систем у приймально-передавальних системах [5].

Для підвищення завадостійкості телекомунікаційних систем запропоновано використовувати амплітудну модуляцію багатьох складових (АМБС), що є новим різновидом амплітудно-фазової модуляції та характеризується наявністю кількох гармонічних складових. Це дає змогу розглядати процес демодуляції сигналів з АМБС у  $N$ -вимірному просторі (наприклад, 37-АМБС з трьома складовими буде зображено у тривимірному просторі) [6]. Можливість зсунути точку сузір'я по новій координаті полегшує задачу збільшення евклідових відстаней між точками і боротьби з адитивними й фазовими шумами. При розробці телекомунікаційних систем доцільно застосувати АМБС завдяки її високій завадостійкості.

Метою цієї роботи є розробка модулятора для здійснення амплітудної модуляції багатьох складових та інших широкоживаних різновидів амплітудної, фазової чи амплітудно-фазової маніпуляції.

Структурну схему розробленого модулятора АМБС наведено на рис. 1.

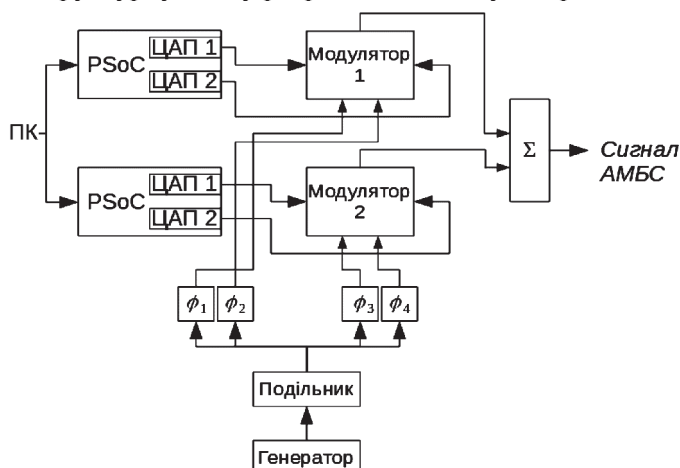


Рис 1. Структурна схема АМБС-модулятора

Кількість фазовертачів та перемножувачів, що містить АМБС-модулятор, дорівнює кількості гармонічних складових АМБС-сигналу. На перемножувачі подають модульовальні сигнали, утворені з вхідних двійкових даних (з виходів ЦАП у PSoC), та модульовані сигнали з виходів фазовертачів. Сигнали з виходів перемножувачів надходять до входів суматора, на виході якого формується АМБС-сигнал. Такий модулятор дозволяє доволі просто формувати АМБС-сигнали, а також сигнали інших видів амплітудно-фазової модуляції. Також такий модулятор характеризується меншою кількістю рівнів амплітуди сигналів у порівнянні з квадратурним модулятором такого ж порядку, що своєю чергою зменшує вплив внутрішніх заводів у модуляторі на вихідний модульований сигнал та вимоги до розрядності цифро-аналогових перетворювачів, що застосовані для формування модульовальних сигналів.

В готовій реалізації АМБС-модулятора (рис. 2), окрім раніше згаданих PSoC як джерел вхідних двійкових даних, були застосовані однокристалні квадратурні модулятори як фазовертачі із цифровими потенціометрами в ролі керуючих елементів, що дає змогу переналаштувати модулятор програмним способом — через інтерфейс ІС з ПК.

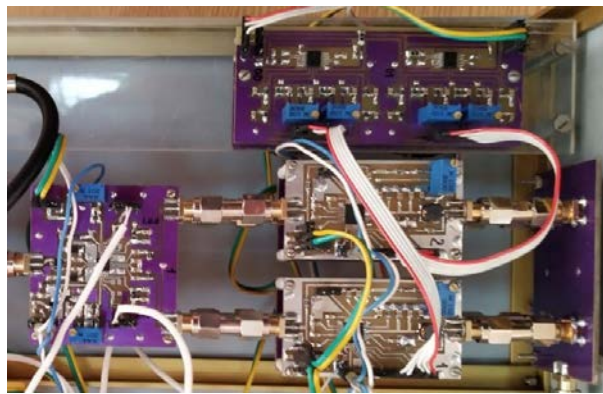


Рис. 2. АМБС-модулятор

Розглянутий варіант конструктивної реалізації АМБС-модулятора повністю відповідає всім принципам досліджуваного виду модуляції. Модулятор виготовлено в основному на базі однокристалних елементів, що дає змогу реалізовувати його в компактніших форматах і використовувати в сучасних системах цифрового зв'язку, зокрема мобільного.

#### ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Meyr H., Moeneclaey M., Fechtel S. *Digital Communication Receivers: Synchronization, Channel Estimation, and Signal Processing*. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 1997.
2. Sari H., Moridi S. Improved carrier acquisition in 64qam systems”, ICC’88, 1998, vol. 2, p.1026–1030.
3. Benani A. M., Gagnon F. Comparison of Carrier Recovery Techniques in M-QAM Digital Communication Systems. *IEEE Electrical and Computer Engineering*, Canadian Conference on, 2000, vol.1, p.73–77.
4. Yamanaka K., Takeuchi S., Murakami S, et al. A multilevel QAM demodulator VLSI with wideband carrier recovery and dual equalizing mode, *IEEE J. Solid-state Circuits*, 1997, vol. 32, p. 1101 — 1107.
5. Yan, X., Wang, Q., Hao, X. Implementation of carrier recovery for high-order QAM in real-time multi-domain analysis. *2013 International Conference on Computational Problem-Solving*.
6. Gorbatyy I. V. Investigation of the technical efficiency of state-of-the-art telecommunication systems and networks with limited bandwidth and signal power. *Automatic Control and Computer Sciences*, 2014, №1, p. 63–75.

I. V. Horbatiy, U. S. Karp, I. R. Tsybaliuk

#### **Development of a modulator for amplitude modulation of many components**

*The paper considers the known types of modulation used in the design of modern digital telecommunications systems substantiating the rationale for designing such systems using amplitude modulation of many components (AMMC). The authors offer and consider a block diagram and a structural design of the AMMC modulator.*

*Keywords: wireless communication, amplitude modulation of many components, modulator.*