

ЗАСТОСУВАННЯ ГІБРИДНОЇ МОДУЛЯЦІЇ ЛЧМ–ФКМ В АНАЛІЗІ ЕКГ-СИГНАЛІВ

Романчук В.С.

e-mail: vitalii.romanchuk@nure.ua

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПЕЕА
м. Харків, Україна

The presented theses consider hybrid signal modulation methods that combine linear frequency modulation (LFM) and phase-coded modulation (PCM). It is shown that the combination of these approaches makes it possible to unite the high resolution characteristic of LFM signals with the noise immunity and signal concealment provided by PCM. A general mathematical expression of the hybrid LFM–PCM signal is presented and the principle of its formation is described. The main advantages and limitations of hybrid modulation methods are analyzed, including an increased signal-to-noise ratio, flexibility of parameter adjustment, and synchronization complexity. The application areas of such signals in radar, telecommunication, and biomedical systems are considered.

Гібридні модуляційні схеми є методами формування сигналів, у яких поєднуються принципи різних видів модуляції. Одним із найбільш поширених підходів є комбінація лінійно-частотної модуляції (ЛЧМ) та фазо-кодової модуляції (ФКМ). Таке поєднання дозволяє об'єднати високу роздільну здатність ЛЧМ-сигналів із підвищеною завадостійкістю та можливістю маскуванню сигналу, властивими ФКМ [1]. Завдяки цьому гібридні сигнали є перспективними для застосування в радіолокаційних, телекомунікаційних і біомедичних системах (наприклад, кардіографічних).

Гібридний сигнал може формуватися як ЛЧМ-імпульс, на який накладається фазо-кодова модуляція. Загальний вираз такого сигналу має наступний вигляд [1,2]:

$$s(t) = A(t) \cdot \exp \left[j \left(2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t + \pi \cdot k \cdot t^2 + \varphi(t) \right) \right], \quad 0 \leq t \leq T \quad (1)$$

де $A(t)$ – огибающая (зазвичай прямокутна або віконна функція); f_0 – початкова частота; k – крутизна частотної зміни (характеристика ЛЧМ); $\varphi(t)$ – фазове кодування (наприклад, у вигляді стрибкоподібних зрушень фази за псевдовипадковим кодом); T – тривалість імпульсу.

У такому сигналі всередині одного ЛЧМ-імпульсу здійснюється додаткова фазова модуляція відповідно до заданої кодової послідовності. Таким чином сигнал одночасно є лінійно-частотно та фазо-кодово модульованим.

Поєднання ЛЧМ і ФКМ забезпечує підвищення відношення сигнал/шум, зменшення рівня бічних пелюсток кореляційної функції та підвищену скритність сигналу. Додатковою перевагою є гнучкість

налаштування параметрів, оскільки характеристики ЛЧМ (ширина спектра, швидкість зміни частоти) та ФКМ (структура та довжина коду) можуть змінюватися незалежно. Разом з тим використання гібридних сигналів супроводжується підвищеною обчислювальною складністю та необхідністю точної часової, частотної і фазової синхронізації.

Гібридні ЛЧМ–ФКМ сигнали широко застосовуються в сучасних радіотехнічних системах, радарів підвищеної роздільної здатності та системах прихованого спостереження. У системах зв'язку такі сигнали застосовуються для передачі інформації в умовах сильних шумів або швидкої зміни параметрів середовища.

Перспективним напрямком є використання гібридних сигналів у біомедичних системах. Зокрема, вони можуть застосовуватися для аналізу та передачі електрокардіографічних сигналів. Завдяки фазовому кодуванню можливо виділяти характерні особливості ЕКГ–сигналу, наприклад комплекси QRS, навіть за наявності значного рівня шуму.

Крім передачі даних, гібридні сигнали можуть використовуватися як інструмент діагностики. Вбудування сигналу в структуру фізіологічного ритму дозволяє виконувати одночасне виявлення, аналіз та передачу діагностичної інформації. Це особливо актуально для носимих медичних пристроїв і телеметричних систем з обмеженим енергоспоживанням.

З урахуванням виразу було виконано алгоритм формування та обробки ЕКГ–сигналу за допомогою гібридної модуляції ЛЧМ–ФКМ. В результаті виконання програми здійснюється синтез штучного ЕКГ–сигналу, побудова амплітудного спектра ЕКГ–сигналу, формування ЛЧМ-компоненти сигналу, формування ФКМ-компоненти на основі бінаризації ЕКГ–сигналу, об'єднання отриманих складових у гібридний сигнал. Отримані результати наведені на рисунку 1.

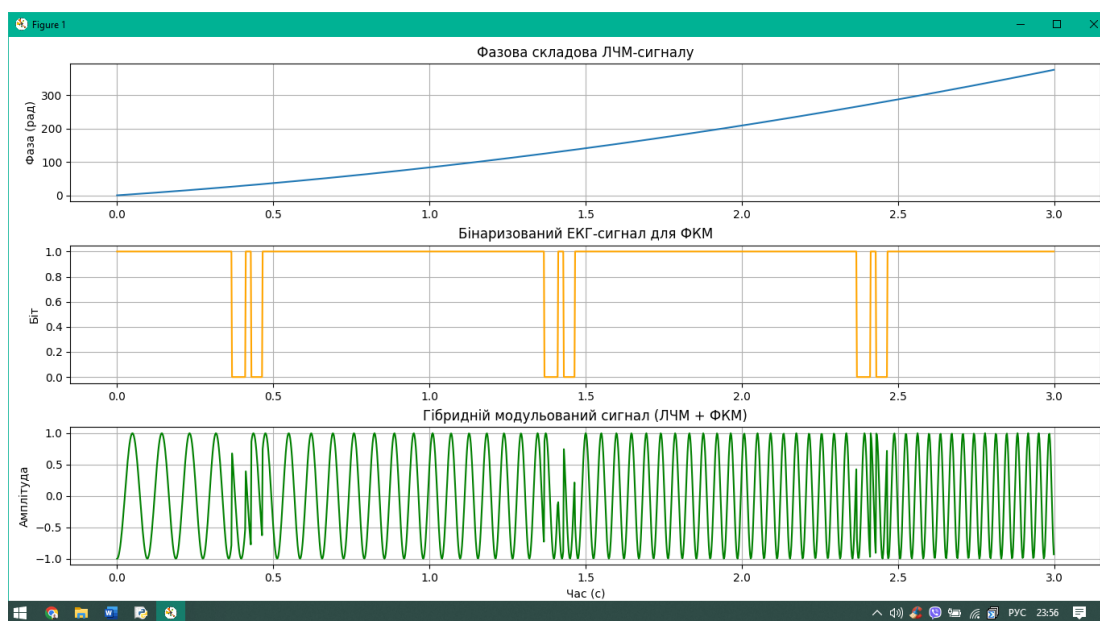


Рисунок 1 – ЛЧМ, ФКМ складові та отриманий гібридний сигнал

Для інтеграції ЕКГ-сигналу у фазову структуру без порушення лінійності частотної зміни використовується додаткова бінаризація сигналу, що дозволяє сформувати модифікований вираз фази [3,4]

$$\varphi_{\text{hybrid}}(t) = \varphi_{\text{LFM}}(t) + \varphi_{\text{PCM}}(t) = 2 \cdot \pi \cdot f_0 \cdot t + \alpha \cdot \text{cumsum}(x(t)) + \pi \cdot b(t). \quad (2)$$

Результати моделювання представлені на рисунку 2.

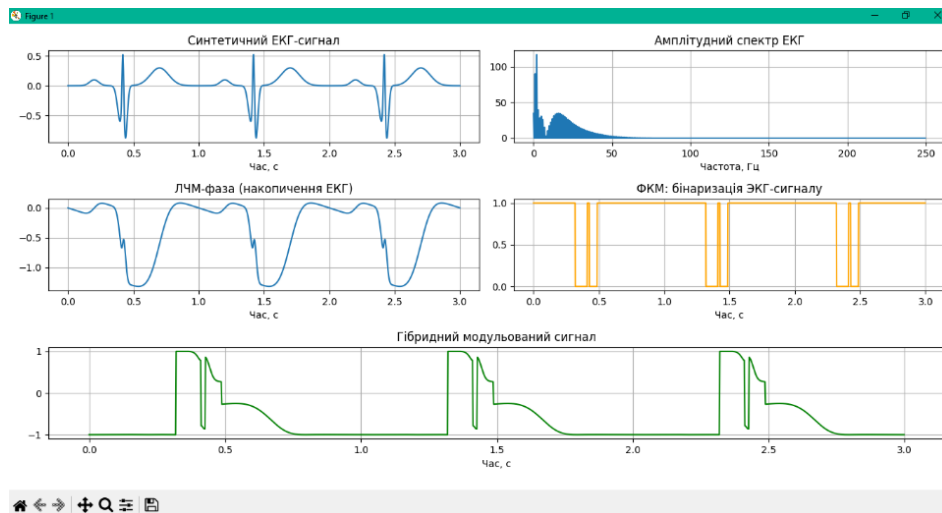


Рисунок 2 – ЕКГ, ЛЧМ, ФКМ складові та гібридний ФКМ–ЛЧМ сигнали

Аналіз отриманих сигналів показує, що синтезований ЕКГ-сигнал відтворює характерні особливості реальної кардіограми, зокрема регулярність ритму та наявність чітко виражених комплексів QRS. Спектральний аналіз підтверджує, що ЕКГ є низькочастотним сигналом, а основна енергія зосереджена в області до 40 Гц – 50 Гц.

Гібридний ЛЧМ–ФКМ сигнал має складну, але регулярну структуру, що дозволяє ефективно кодувати інформацію та підвищувати стійкість сигналу до шумів. Це робить такий підхід перспективним для передачі та обробки біомедичних сигналів у телеметричних системах.

Список використаних джерел:

1. Deng, H.; Himed, B. Interference mitigation processing for hybrid LFM and phase-coded waveforms // IEEE Trans. On Aerospace and Electronic Systems. – 2004. – Vol. 40, No. 1. – P. 108–122.
2. Yao, K.; Zhang, X. Hybrid modulation techniques for high-resolution radar systems // EURASIP Journal on Advances in Signal Processing. – 2016. – 2016. ID 138.
3. Chatterjee, S. ECG signal encoding using chirp and phase modulation for efficient wireless transmission / S. Chatterjee, A. Ghosh, S. Mitra // IEEE Transactions on Biomedical Engineering. – 2019. – Vol. 66, No. 4., P. 1085–1094.
4. Zhang, Y. A novel hybrid modulation technique for ECG signal transmission over wireless channels / Y. Zhang, L. Wang, Q. Chen // Biomedical Signal Processing and Control. – 2020. – Vol. 59. – Art. 101883.