

## МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ HQPSK СИГНАЛІВ

© Бондарєв А. П., Максимів І. П., Максимюк Т. А., 2016

Показано можливість зростання енергетичної ефективності систем коміркового зв'язку за рахунок зменшення порогового відношення сигнал/шум за заданої частоти появи бітової помилки, з використанням особливого типу квадратурної фазової модуляції (HQPSK) і модифікованого фазового детектора. Обидва методи мають і переваги, і недоліки. Комбінація цих двох методів теоретично може зменшити їх недоліки, роблячи їх вигіднішими, ніж наявні методи.

Ключові слова: HQPSK, енергетична ефективність, спектральна ефективність, фазовий детектор, відношення сигнал/шум, Matlab Simulink.

A. Bondariev, I. Maksymiv, T. Maksymyuk  
Lviv Polytechnic National University

## METHOD FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF HQPSK SIGNALS

© Bondariev A., Maksymiv I., Maksymyuk T., 2016

With the development of cellular communications, the different problems of effective spectrum utilization to provide a high quality of service for large number of mobile users have been emerged. For the last years the development of wireless communications became a large scale, inducing developers of radiotechnic devices to find new solutions to the problem of effective utilization of the allocated spectrum and effective power maintenance. Many types of spectral-efficient modulation of radio signals and new protocols that enable efficient distribution of network traffic have been proposed so far. One of the key parameters that are used for channel efficiency estimation is signal-to-noise ratio (SNR): the higher SNR results in lower bit-error rate and vice versa. Dependence between bit-error rate and signal-to-noise ratio is the key characteristic of the communication channel and optimization of this characteristic is an important task for communication networks.

This paper shows the possibility of reducing the signal-to-noise ratio while maintaining the required bit-error rate by using specific type of quadrature phase shift keying (HQPSK) complemented by modified phase detector. Both methods have their advantages and disadvantages. The combination of these two methods can theoretically reduce their cons while effectively exploiting their advantages.

The feature of the first method lies in power saving approach, providing the use of only one quadrature component during signal modulation, while the second quadrature component is coded using additional frequency subcarriers.

The second method allows detection of quadrature signals at high noise power condition. This benefit is achieved by implementation of specific narrowband filters into phase detector.

Key words: HQPSK, power efficiency, spectrum efficient, phase detector, signal-to-noise ratio, Matlab Simulink.

### Вступ

В умовах зростання вимог до якості сучасного безпроводного зв'язку виникає потреба у вдосконаленні програмно-апаратних засобів передавання інформації. З'являються нові архітектури мереж радіодоступу, нові види модуляції сигналів та нові методи передавання цих сигналів, які

дають змогу підвищити енергетичну та спектральну ефективність систем зв'язку [1–4]. Нерідко ці методи комбінуються, у результаті чого виникають нові способи підвищення ефективності коміркових мереж. Один з таких способів розглянуто у цій роботі. Зокрема, розглянуто оптимізацію квадратурної фазової модуляції за допомогою використання допоміжних піднесучих частот [5] та поєднання цього методу з модифікованим фазовим детектором на приймальній стороні [6].

### Особливості HQPSK – модуляції

Для підвищення енергетичної ефективності процесу передавання даних у мережах коміркового зв'язку пропонується метод напівквадратурно-амплітудної модуляції (Half QPSK, або HQPSK), який надає можливість підвищити енергетичну ефективність безпровідного каналу зв'язку. На відміну від звичайної квадратурно-амплітудної модуляції, у запропонованому методі модулюється лише одна компонента сигналу на передавальній стороні. Проте приймач відтворює вхідний сигнал як двокомпонентний, використовуючи таблицю асоціативності складових, що вдвічі збільшує ефективну енергію прийнятого сигналу. Це досягається передаванням окремих символів сигнального сузір'я на різних піднесучих частотах. У цьому випадку чотири піднесучі сигналу передають символи, які логічно належать до одного сузір'я модуляції, проте фізично передаються окремо. Кожна піднесуча пов'язана з унікальною для неї таблицею асоціативності [5].

Під час застосування цього методу передавач базової станції передає тільки один символ з амплітудою, що дорівнює  $1/\sqrt{2}$  на одній із чотирьох піднесучих. Вибір однієї піднесучої із заданого набору з чотирьох піднесучих залежить від I-Q комбінації символу. Кожна точка сузір'я HQPSK представлена своєю піднесучою, а саме:

- перша піднесуча:  $A_I=1/\sqrt{2}$ ,  $A_Q=1/\sqrt{2}$ ;
- друга піднесуча:  $A_I=1/\sqrt{2}$ ,  $A_Q=-1/\sqrt{2}$ ;
- третя піднесуча:  $A_I=-1/\sqrt{2}$ ,  $A_Q=1/\sqrt{2}$ ;
- четверта піднесуча:  $A_I=-1/\sqrt{2}$ ,  $A_Q=-1/\sqrt{2}$ .

Кожна піднесуча дає можливість представляти отриманий символ як символ I-Q звичайної QPSK модуляції. Отже, швидкість передавання бітів запропонованого методу така сама, як і для QPSK, однак потужність передавання символу становить половину від потужності передавання за звичайної QPSK-модуляції. Сигнальне сузір'я для HQPSK-модуляції представлено на рис. 1.

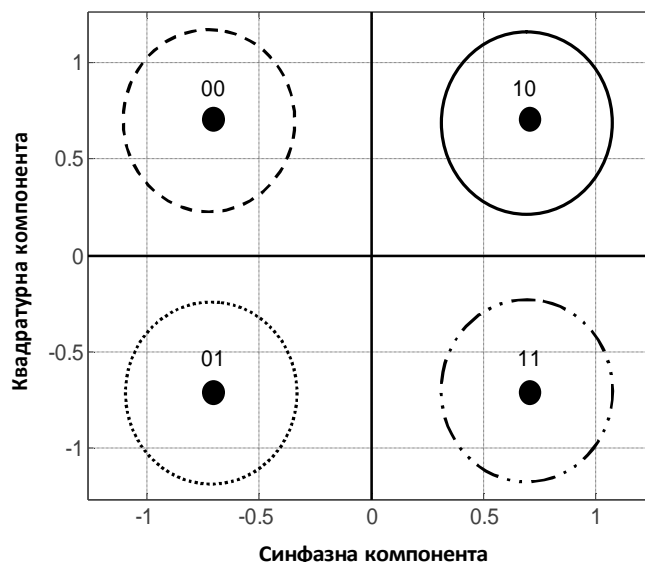


Рис. 1. Сигнальне сузір'я напівквадратурно-фазової модуляції

Кругові області на рис. 1 показують відповідні точки кожної піднесучої. Суцільна лінія обмежує точку першої піднесучої, штрихова – другої піднесучої, пунктирна – третьої піднесучої, і штрихпунктирна лінія – четвертої піднесучої, відповідно.

Використання певної піднесучої залежить від необхідної комбінації бітів з множини {00, 01, 10, 11}. Знаючи індекс піднесучої, на якій отримано сигнал, термінал користувача порівнює амплітуду  $Q$  з амплітудою  $I$  згідно з таблицею асоціативності. Цей метод є менш складним на передавальній стороні, енергоефективнішим, проте складнішим для детектування, порівняно зі звичайною QPSK модуляцією.

### Принцип роботи модифікованого фазового детектора

Підвищення стійкості детектування сигналів з квадратурною модуляцією (QPSK) до шуму та детермінованих завад без зміни динамічних властивостей детектора можна реалізувати за допомогою модифікації цього пристрою [7]. Суть модифікації полягає у тому, що вузькосмуговий фільтр (ВСФ) зменшує різницю фаз коливань на входах фазового детектора (ФД). Після проходження сигналу через ФД у межах робочої ділянки детекторної характеристики його рівень відтворюється за допомогою активного фільтра верхніх частот (ФВЧ). Запропонована схема модифікованого детектора відрізняється від класичного аналогу тим, що перед фазовим детектором у ньому розташовано вузькосмуговий фільтр, а після ФД – фільтр верхніх частот.

ВСФ має задовольняти такі умови: резонансна частота збігається із частотою опорного генератора (ОГ); смуга пропускання значно вужча від смуги вхідних пристроїв (зокрема вужча від спектральної смуги вхідного сигналу); коефіцієнт передавання на частотах, далеких від резонансної, не дорівнює нулеві.

За виконання цих умов у моменти комутації фази вхідного сигналу на виході ВСФ спостерігається зменшений стрибок фази із повільним наростанням надалі. Зменшений вузькою смугою ВСФ, шум не виводить фазу сигналу за межі одного октанту. За аналогічним законом змінюється напруження на виході ФД [8].

### Імітаційне моделювання

Реалізація одночасно двох вищеописаних методів можлива, оскільки в обох випадках йдеться про передавання та детектування складних сигналів з квадратурною та синфазною складовими. Перший метод збільшує енергетичну ефективність, а другий – завадостійкість системи зв'язку, що усуває можливі конфлікти в одночасному їх застосуванні.

Для того, щоб переконатися у цьому та перевірити ефективність такого поєднання, створено імітаційну модель каналу зв'язку в програмному комплексі Matlab Simulink.

Спочатку було реалізовано формування HQPSK-сигналу. Враховуючи його особливості, на вхід імітаційної моделі було подано випадкову бітову послідовність з рівнями +1 В та -1 В. Ця послідовність імітує квадратурні інформаційні символи, які надалі модулюються однією з чотирьох піднесучих частот, формуючи синфазні компоненти QPSK-сигналу. Після проходження через каналні фільтри було сформовано остаточний вхідний сигнал (рис. 2).

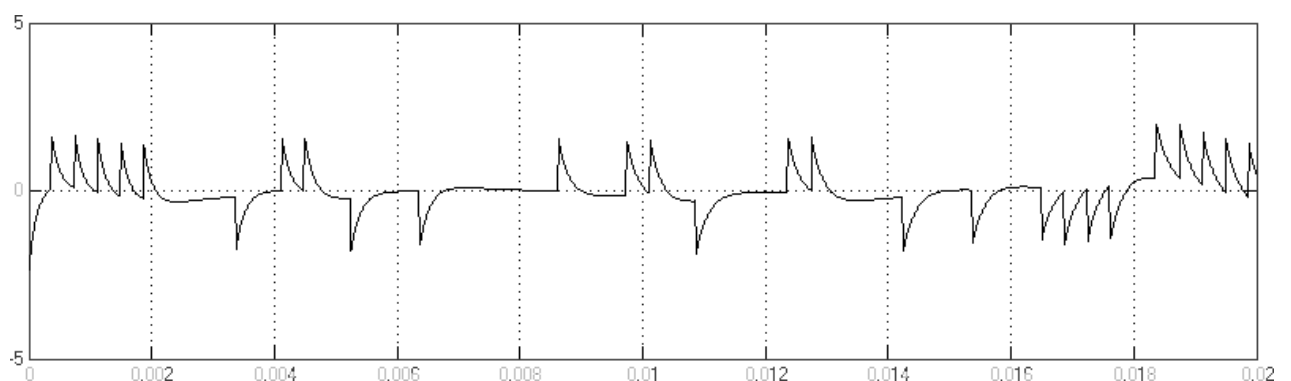
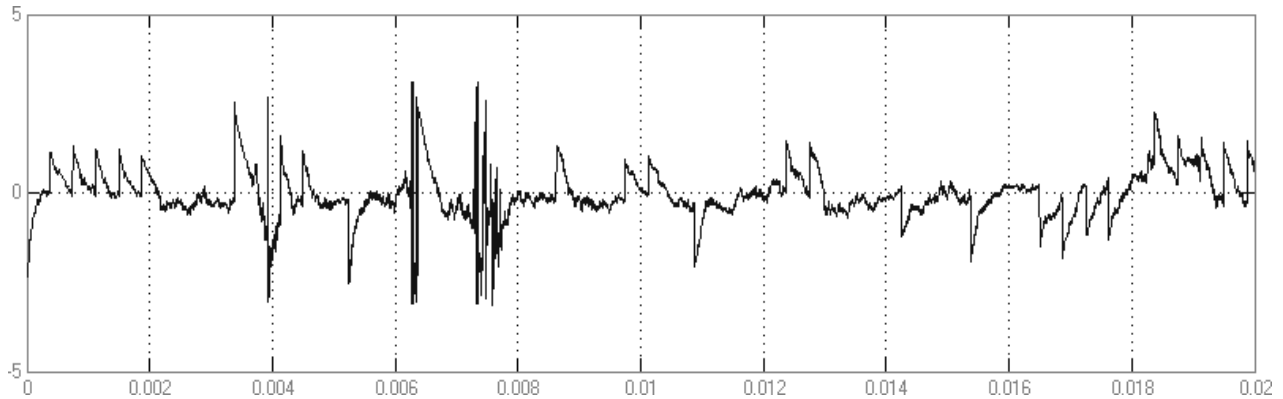


Рис. 2. Часова діаграма вхідної квадратурної послідовності HQPSK-сигналу

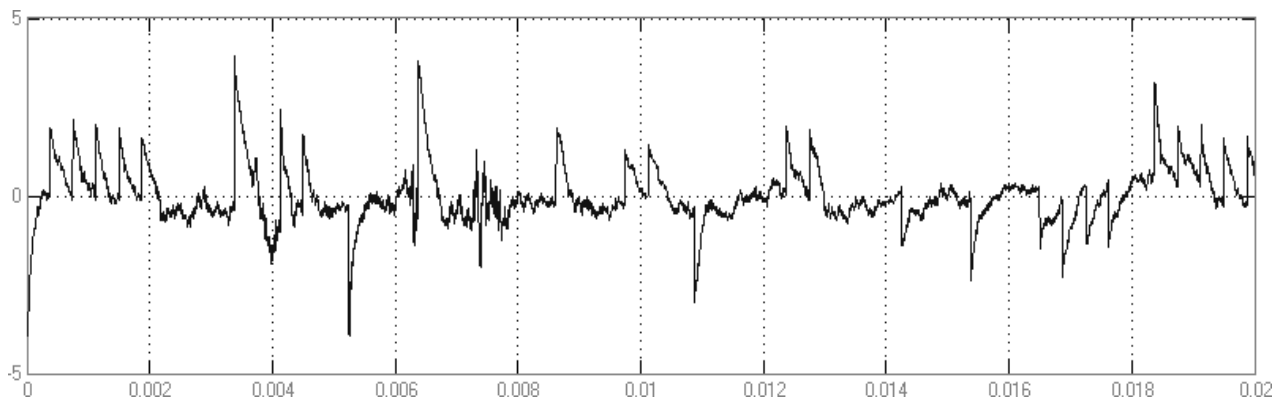
Після проходження через канал зв'язку, за умови відношення сигнал/шум (SNR) 10 дБ, сигнал на виході фазового детектора отримано практично без спотворень. Це пояснюється тим, що сам сигнал є, по суті, біполярним, а отже, доволі стійкий до завад.

Подальше поступове збільшення потужності шуму в каналі зв'язку призвело до появи так званого “порогового ефекту”, коли у отриманому сигналі з'являються аномальні стрибки амплітуди у ділянці 0,006–0,008 (с), які неможливо усунути звичайним фільтруванням після фазового детектора (рис. 3). Ці аномальні стрибки призводять до помилки детектування, адже технічно неможливо виявити, яке з двох значень амплітуди квадратурної складової сигналу (+1 В чи –1 В) було отримано.



*Рис. 3. Часова діаграма квадратурної послідовності HQPSK-сигналу на виході детектора за наявності високого рівня завад у каналі зв'язку*

Застосувавши схмотехнічну модифікацію детектора, описану у попередньому розділі, вдалося практично повністю усунути ці аномальні викиди амплітуди за рахунок ВСФ, встановлених перед фазовим детектором (рис. 4).



*Рис. 4. Часова діаграма квадратурної послідовності HQPSK-сигналу на виході модифікованого детектора за наявності високого рівня завад у каналі зв'язку*

На отриманій діаграмі чітко видно напрями зміни імпульсів, що є достатньою умовою відтворення потрібного чотирьохпозиційного сигналу за допомогою відомих піднесучих частот.

Отримані результати свідчать про зростання ефективності передавання HQPSK-сигналів за рахунок використання модифікованого детектора. Такий підхід надає можливість передавати та правильно детектувати ці сигнали за значно вищих рівнів завади у каналі зв'язку, що, своєю чергою, може призвести до зменшення енергетичних затрат на їх формування або до збільшення кількості абонентів, що одночасно працюють у виділеному каналі зв'язку.

Подальшу апробацію цього методу буде проведено у напрямку створення імітаційної моделі, у якій враховано піднесучі частоти та досліджено їх вплив на якість детектування. Адже швидкі переходи між різними частотами можуть негативно вплинути на синхронізацію під час обробки сигналів, що може призвести до появи помилок.

## Висновок

У роботі проаналізовано можливості поєднання двох методів підвищення ефективності передавання сигналів з квадратурною фазовою модуляцією (QPSK), а саме: заміна звичайної квадратурної фазової модуляції напівквадратурною фазовою модуляцією (HQPSK) та застосування модифікованого фазового детектора на приймальній стороні. У результаті було побудовано імітаційну модель каналу зв'язку, у якій реалізовано ці два методи. Результати моделювання показали, що HQPSK модуляція є доволі завадозахищеною, проте зі зростанням рівня шуму в каналі зв'язку настає пороговий ефект, за якого детектування таких сигналів стає неможливим. Проте, після застосування модифікованого детектора, цей ефект було усунуто і тим самим збільшено поріг завадостійкості. Отримані результати свідчать про зростання енергетичної ефективності передавання HQPSK сигналів за рахунок використання модифікованого детектора.

Проведений аналіз продемонстрував потенціал у поєднанні вищеописаних методів та показав доцільність їх подальшого дослідження.

1. Maksymyuk T. and Pelishok V. *The LTE channel transmission rate increasing // IEEE International Conference TCSET'2012. Lviv. Ukraine. P. 251–252. Feb. 2012.* 2. Yaremko O. et al. *The optimal power control method in multiuser cellular networks. ECONTechMOD: an International Quarterly Journal. 2013. Vol. 2. no.1. P. 63–67.* 3. Jo M. et al. *Cognitive Radio Approach for LTE Deployment // In Proc. IEEE International Conference MEMSTECH'2013, Lviv, Ukraine. 2013. P. 63–64.* 4. Klymash M. et al. *Spectral Efficiency Increasing of Cognitive Radio Networks // In Proc. of IEEE International Conference CADSM'2013. Lviv. Ukraine. Feb. 2013. P. 169–171.* 5. Maksymyuk T., Han L., Ge X., Chen H., Jo M. *Quasi-quadrature Modulation Method for Power Efficient Video Transmission over LTE Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology. Jun. 2014. Vol. 63. no. 5. P. 2083–2092.* 6. Бондарев А. П., Мартинів М. С. *Пристрій фазового автонідстроювання частоти. Патент України на винахід 2004. № 66435. Бюлетень № 5.* 7. Bondariev A., Maksymiv I. *Comparative Analysis and Ways of Improvement of Noise Immunity of Demodulation of OQPSK Signals. Electronics and electrical engineering, Kaunas. 2010. No.9 (105). P. 81–84.* 8. Bondariev A., Maksymiv I. *Method of improvement of quality indexes of detecting in cellular communication systems // Electronics and electrical engineering, Kaunas. 2012. No.10. P. 85–88.*

## References

1. Maksymyuk, T., and Pelishok, V. (2012), "The LTE channel transmission rate increasing", *Proceedings of the IEEE International Conference TCSET'2012, Lviv, Ukraine, Feb. 2012*, pp. 251–252. 2. Yaremko, O., Stryhalyuk, B., Maksymyuk, T., Lavriv, O., and Kozhurov, D. (2013), "The optimal power control method in multiuser cellular networks," *ECONTechMOD: an International Quarterly Journal*, vol.2, no.1, pp. 63–67. 3. Jo, M., Maksymyuk, T., Kyryk, M., and Han, L. (2013), "Cognitive Radio Approach for LTE Deployment", *Proceedings of the IEEE International Conference MEMSTECH'2013, Lviv, Ukraine, April, 2013*, pp. 63–64. 4. Klymash, M., Jo, M., Maksymyuk, T., and Beliaiev, I. (2013), "Spectral Efficiency Increasing of Cognitive Radio Networks", *Proceedings of the IEEE International Conference CADSM'2013, Lviv, Ukraine, Feb. 2013*, pp. 169–171. 5. Maksymyuk, T., Han, L., Ge, X., Chen, H., and Jo, M. (2014), "Quasi-quadrature Modulation Method for Power Efficient Video Transmission over LTE Networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 63, no. 5, pp. 2083–2092. 6. Bondariev, A., Martyniv, M. (2004), "Phase Auto Adjustment Frequency Device," *Patent of Ukraine for Invention № 66435, Bulletin № 5, 2004*. 7. Bondariev, A., Maksymiv, I. (2010), "Comparative Analysis and Ways of Improvement of Noise Immunity of Demodulation of OQPSK Signals", *Electronics and electrical engineering*, vol. 105, no. 9, pp. 81–84. 8. Bondariev, A., Maksymiv, I. (2012), "Method of improvement of quality indexes of detecting in cellular communication systems," *Electronics and electrical engineering, Kaunas*, no.10, pp. 85–88.