УДК 621.391

Р.Ю. Макарчук[1], В.П. Лисечко[1], Є.П. Яценко[2]

[1]*Українська державна академія залізничного транспорту, Харків*
[2]*Національний технічний університет «ХПІ», Харків*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИСХІДНОГО КАНАЛУ В ТЕХНОЛОГІЇ ШИРОКОСМУГОВОГО РАДІОДОСТУПУ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ LTE

У статті досліджуються властивості висхідного каналу та формування SC-FDMA-сигналу. Принциповою різницею є те, що в OFDMA на кожній піднесучій одночасно передається свій модуляційний символ, а у SC-FDMA піднесучі модулюються одночасно і однаково.

Ключові слова: *BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM,OFDM, SC-FDMA.*

Вступ

Постановка проблеми. У висхідному (uplink) каналі, де випромінювана потужність значно нижча, ніж в низхідному(downlink), дуже важливо задіяти енергоефективний метод передачі інформації з метою збільшення зони покриття, зниження вартості термінального обладнання і споживаної ним потужності. В результаті проведених досліджень для висхідного каналу LTE була вибрана одночастотна технологія передачі інформації у вигляді OFDM з дисперсією за законом дискретного перетворення Фур'є (інша назва – SC-FDMA).

Аналіз літератури. Квадратурно-амплітудно-фазова модуляція QAM застосовується практично повсюдно, в тому числі в LTE системах з чипсетом стандарту IEEE 802.20(802.22).Здатність підтримки тієї чи іншої модуляції залежить від багатьох параметрів зв'язку, і в першу чергу, від енергетичних параметрів системи.

Мета статті. Метою статті є дослідження властивостей висхідного каналу з багатопозиційними видами модуляції для каналу з білим Гаусовим шумом, та Релеєвським завмиранням.

Основний матеріал

OFDM є безліччю вузько смугових рознесених по частоті сигналів-піднесущих (subcarrier) (рис. 1).

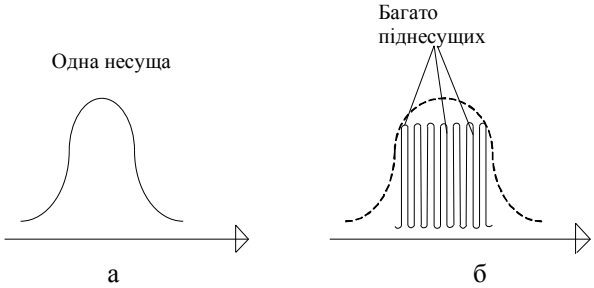

Рис. 1. Спектр радіосигналу з однією несущою – а і OFDM – б

Основний недолік технології OFDMA – високе співвідношення пікової і середньої потужності сигналу (PAR). Це пов'язано з тим, що в часовій області спектр OFDM-сигналу стає аналогічним Гаусовому шуму, що характеризується високим PAR. Крім того, сама по собі технологія OFDMA, з врахуванням необхідності мінімізувати крок між піднесучими і скорочувати відносну тривалість CP, пред'являє досить високі вимоги до формування композитного сигналу. У зв'язку з цим для висхідного каналу LTE була запропонована нова технологія – SC-FDMA (Single-Carrier Frequency-Division Multiple Access).

Сама процедура формування SC-FDMA-сигналу відрізняється від схеми OFDMA. Після канального кодування, скремблювання і формування модуляційних символів вони групуються в блоки по M символів – субсимволів SC-FDMA (рис. 2).

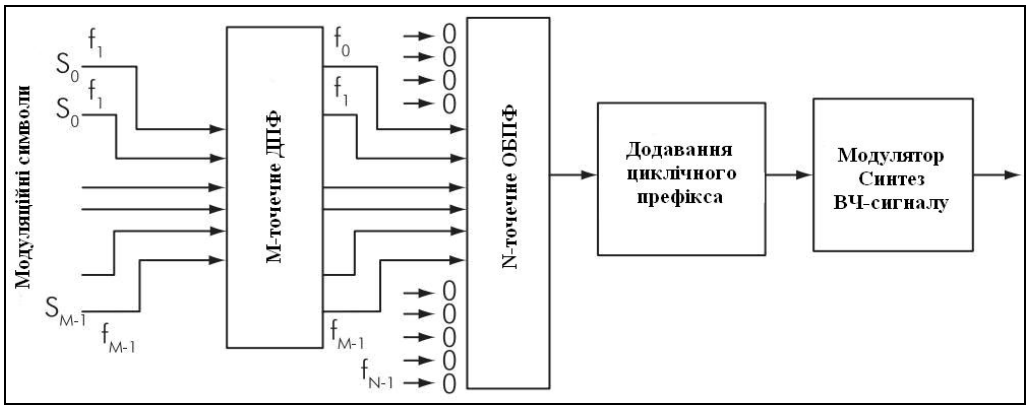

Рис. 2. Формування SC-FDMA сигналу

© Р.Ю. Макарчук, В.П. Лисечко, Є.П. Яценко

Очевидно, що безпосередньо віднести їх на піднесучих з кроком 15 кГц неможливо – потрібна в N разів вища частота, де N – це число доступних для передачі піднесучих. Тому, сформувавши групи по M модуляційних символів (M<N), їх піддають M-точечному дискретному Фур'є-перетворенню (ДПФ), тобто формують аналоговий сигнал. А вже потім за допомогою стандартної процедури зворотного N-точечного Фур'є-перетворення синтезують сигнал, відповідний незалежній модуляції кожної піднесучої, додають циклічний префікс і генерують вихідний ВЧ-СИГНАЛ.

Операція ортогонального частотного мультиплексування з математичної точки зору є операцією FFT – дискретного зворотного швидкого перетворення Фур'є.

Загальний сигнал вираховується під дією зворотного швидкого перетворення Фур'є як

$$s(t) = \mathrm{Re}\left\{ e^{i2\pi f_c t} \sum_{k=-N/2}^{N/2} C_k e^{i2\pi k\Delta f(t-T_g)} \right\} \quad (1)$$

$$(0 < t < T_g),$$

де C_k – комплексне представлення символу квадратурної модуляції. Комплексне представлення зручне, оскільки генерація радіосигналу проходить відповідно до виразу

$$Sk(t) = Ik \cdot \cos(2\pi fc) - Qk\sin(2\pi fc), \quad (2),$$

де Ik і Qk – синфазна і квадратурна складова комплексного символу.

У технології LTE застосовується квадратурна амплітудно-фазова модуляції QAM, а також фазова модуляція QPSK і BPSK. На сьогоднішній день QAM є одним з найефективніших методів модуляції, що дозволяє досягати максимально можливі швидкості передачі даних.

авадостійкість систем зв'язку характеризується ймовірністю появи бітової помилки в залежності від відношення сигнал/шум.

Кожен тип модуляції характеризується необхідним рівнем відношення сигналу до шуму SNR, необхідного для передачі біт інформації з помилками не вище за деякий допустимий рівень. Ймовірність помилки на біт або BER (англ. BER – Bit Error Rate) при BPSK та QPSK в каналі з білим шумом може бути обчислена за формулою:

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right), \quad (3)$$

де $Q(x)$ – табличний інтеграл, представлений формулою

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (4)$$

Ймовірність появи бітової помилки для модуляції M-QAM, де $M = 2^k$ та k – парні, обчислюється за формулою [3]:

$$P_B \approx \frac{2\left(1 - L^{-1}\right)}{\log_2 L} Q\left[\left(\sqrt{\frac{3\log_2 L}{L^2 - 1}}\right)\frac{2E_b}{N_0}\right], \quad (5)$$

де $Q(x)$ – табличний інтеграл за формулою (4).

Дані формули були використані при моделюванні.

Результати моделювання ймовірності бітової помилки у каналі з адитивним білим Гаусовим шумом для BPSK/QPSK, 16-QAM, 64-QAM наведено на рис. 3.

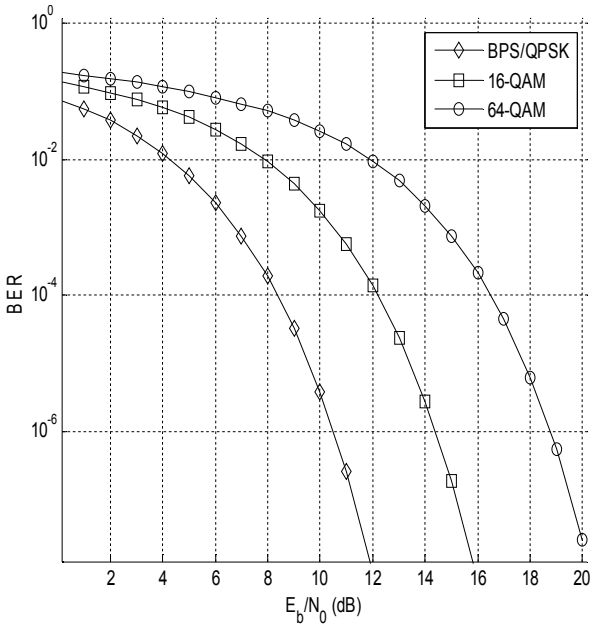

Рис. 3. Ймовірність бітової помилки для BPSK/QPSK, 16-QAM, 64-QAM в каналі з АБГШ

З рисунку видно, що використання BPSK та QPSK-сигналів дає можливість забезпечити заданий рівень завадостійкості при меншому рівні відношення сигнал/шум. При використанні модуляцій 16-QAM та 64-QAM завадостійкість системи знижується.

Одним з найбільш перспективних способів збільшення максимальної швидкості передачі даних і підвищення завадостійкості висхідного каналу є використання багатоелементних антенних решіток. Використання MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) систем зв'язку з Nt передавальними та Nr приймальними антенами дозволяє одночасно підвищити швидкість передачі і надійність прийому даних без додаткового збільшення ширини каналу.

На рис. 4, 5 представлено залежність появи бітової помилки BER від відношення сигнал/шум SNR для модуляцій BPSK, QPSK, 16-QAM і 64-QAM в каналі з Релеєвськими завмираннями у 2x1 та 2x2 системах MIMO.

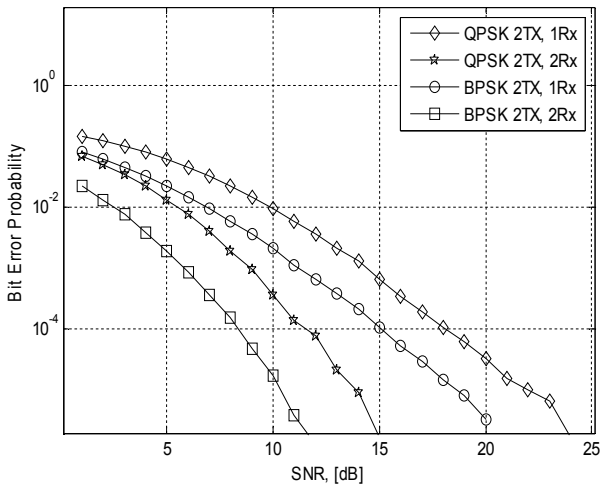

Рис. 4. Ймовірність BER у 2x1 та 2x2 MIMO-системах для модуляцій BPSK та QPSK

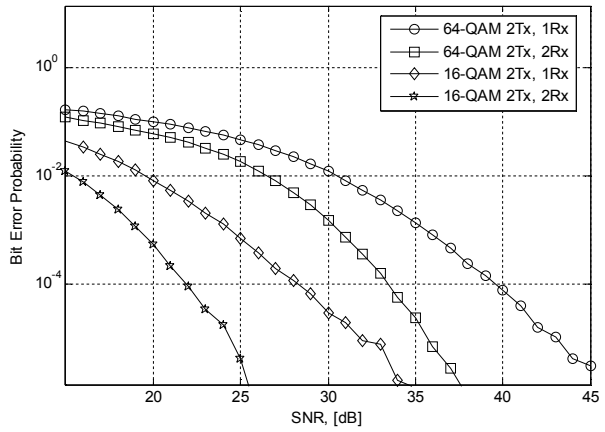

Рис. 5. Ймовірність BER у 2x1 та 2x2 MIMO-системах для модуляцій 16-QAM та 64-QAM

З наведених на рис. 4, 5 результатів видно, що з використанням модуляцій 16-QAM та 64-QAM завадостійкість системи знижується. Це пояснюється тим, що з ростом порядку модуляції зростає щільність заповнення сигнальними точками сигнального простору.

Висновки

Таким чином, в результаті дослідження можна зробити висновок про те, що застосування SC-FDMA сигналу дозволяє в LTE мережах забезпечити більш високу швидкість передачі даних у порівнянні системами з однією несучою, що досягається за рахунок розподілу передачі інформації по великій кількості паралельних частотних каналів. Крім того, в системах безпроводового доступу з високими порядками модуляції, що функціонують в складних завадових умовах, доцільним є використання багатоелементних антенних решіток, які забезпечують підвищення відношення рівня сигналу до рівня шуму, що є необхідною умовою застосування розглянутих видів модуляції.

Список літератури

1. *Van Zelst A., van Nee R., Awater G.A. // Proc. of Vehicular Tech. Conf., 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st. May 2000. – V. 2. Đ. 1070 – 1074.*
2. *Van Zelst A. // Electrotechnical Conf., 2000. MELECON 2000, 10th Mediterranean. May 2000. – V.3.*
3. *Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. 2-е узд.: пер. с англ. / Б. Скляр.– М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 1104 с.*
4. *Столингс В. Беспроводные линии связи и сети: пер. с англ. / В. Столингс. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. – 640 с.*
5. *Тихвинский В.О. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура / В.О. Тихвинский, С.В. Терентьев, А.Б. Юрчук. – М.: Эко – Трендз, 2010. –284 с.: ил.*
6. *B. Sklar/ Rayleigh fading Channels in mobile digital communication systems. Part-1: characterization," IEEE Commun. Magazine, vol. 35, no. 9, pp. 136{146, Sept. 1997.*
7. *L. Zheng, D. Tse, \Diversity and multiplexing: A fundamental tradeoff in multiple antenna channels," vol. 49, pp. 1073{1096, May 2003.*

Надійшла до редколегії 22.12.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.О. Кузнецов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВОСХОДЯЩЕГО КАНАЛА В ТЕХНОЛОГИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИИ LTE

Р.Ю. Макарчук, В.П. Лысечко, Е. П. Яценко

В статье исследуются свойства восходящего канала и формирования SC-FDMA - сигнала. Принципиальная разница в том, что в OFDMA на каждой поднесущей одновременно передается свой модуляционный символ, а в SC-FDMA поднесущие модулируются одновременно и одинаково.

Ключевые слова: *BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, OFDM, SC-FDMA.*

RESEARCH OF PROPERTIES OF ASCENDING CHANNEL IN TECHNOLOGY OF BROADBAND RADIOACCESS ON BASIS OF TECHNOLOGY OF LTE

R.Y. Makarchuk, V.P. Lysechko, Ye.P. Yatsenko

Properties of ascending channel and forming of SC-FDMA are probed in the article - signal. An of principle difference is in that in OFDMA on every subbearing the modulation character is simultaneously passed, and in SC-FDMA subbearings are modulated simultaneously and identically.

Keywords: *BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM, OFDM, SC-FDMA.*