2. Chorniy O.P. Virtualnyi kompleks «Systema elektropryvodu henerator-dvyhun – z elektromashynnym pidsyluvachem» / Chorniy O.P., Rodkin D.Y., Kravets O.M., Neborak O.I. // Elektrotekhnichni i enerhozberihauchi systemy // Kremenchuk: KDPU, 2010. – Vup. 3/2010 (11). – S.107-111.

3. Chorniy O.P. Virtualni kompleksy i trenazhery – tekhnolohiia yakisnoi pidhotovky fakhivtsiv u haluzi elektromekhaniky, avtomatyzacii ta upravlinnia / Chorniy O.P., Rodkin D.Y. Vyshcha shkola: Nauk. prakt. vudan. – 2010. – №7-8. – Osvitni tekhnolohii. – S.23-34.

4. Chorniy O.P. Virtualnyi laboratornyi kompleks z navchalnoi dystsypliny «Teoriia elektropryvodu» // Chorniy O.P., Rodkin D.Y., Kravets O.M., Yevstifieiev I.V., Neborak O.I., Rozen V.P., Velychko T.V. // Visnyk KDU imeni Mukhaila Ostrohradskoho. – Kremenchuk: KDU, 2010. – Vup. 4/2010 (63). Chast. 2. – S. 174-179.

5. Ohar V.O. Kompyuterizirovannyi navchalno-metodychnyi kompleks z dystsypliny «Osnovy avtomatyzovanoho proektuvannia elektrotekhnichnykh prystroiv i elektromakhanichnykh system» // Ohar V.O., Chorniy O.P., Zamariev H.V. // Visnyk KDU imeni Mukhaila Ostrohradskoho. – Kremenchuk: KDU, 2010. – Vup. 4/2010 (63). Chast. 3. – S. 179-182.

6. Zahirniak M.V. Kompyuterizirovannyi navchalno-metodychnyi kompleks z dystsypliny «Elektrychni mashyny» // Zahirniak M.V., Chorniy O.P., Romanenko S.S. // Elektrotekhnichni i enerhozberihauchi systemy. Shchokvartalnyi naukovo-vyrobnychyi zhurnal. – Kremenchuk: KDU, 2010. – Vup. 1/2010 (9). – S. 8-13.

7. Chorniy O.P. Virtualni laboratornyi kompleks dlia doslidzhennia system tyrystornoho elektropryvoda postiinoho strumu Chorniy O.P., Lashko Yu.V., Yevstifieiev I.V., Senchenko S.M. // Visnyk KDPU. – Vypusk 3/2006 (38). Chastyna 2. – S. 145-148.

8. Altivar 71. Preobrazovateli chastity dlia asinkhronnykh dvigatelei. Rukovodstvo po programmirovaniiu. – Schneider Electric: 2009. – 262 s.

9. Altivar 71. Communication parameters. User's manual. Specification 383. – Schneider Electric: 2009. – 138 p.

10. Modicon M258 Logic Controller. Programming Guide. – Schneider Electric: 2011. – 260 p.

11. SoMachine. Modbus and ASCII Read/Write Functions. PLCCommunication Library Guide. – Schneider Electric: 2011. – 82 p.

12. SoMachine. Programming Guide. – Schneider Electric: 2011. – 288 p.

Рецензія/Peer review : 3.2.2014 р. Надрукована/Printed : 26.3.2014 р.
Рецензент: д.т.н., проф., завідувач кафедри електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту Вінницького національного технічного університету Кутін В.М.

**УДК 621.391**

В.С. БЄЛОВ, А.С. БЄЛОВ
Вінницький національний технічний університет

# АНАЛІЗ СПЕКТРУ В ДІАПАЗОНІ НВЧ НА ОСНОВІ КВАДРАТУРНОЇ ОБРОБКИ ЕЛЕМЕНТАРНИХ СКЛАДОВИХ

*Розглянуто метод математичного опису складових комплексного каналу з квадратурним представленням інформації, проведено аналіз застосування даної моделі в діапазоні НВЧ, отримано математичну модель для корисного сигналу з GMSK, на основі даних моделей отримані результати аналізу спектру в діапазоні 900 МГц.*

*Ключові слова: GMSK, аналіз спектру, НВЧ, модуляція, 900 МГц.*

V.S. BELOV, A.S. BELOV
Vinnytsia National Technical University

## ANALYSIS OF THE SPECTRUM IN THE UHF RANGE BASED ON QUADRATURE PROCESSING OF ELEMENTARY COMPONENTS

*There had been considered the method of mathematical description of the components with complex quadrature channel. There had been analysis of the application of this model in UHF, mathematical there had been analyzed model for the desired signal with GMSK, based on the models obtained by the analysis of the spectrum in the range of 900 MHz.*

*Keywords: GMSK, spectrum analysis, UHF , modulation, 900 MHz.*

### Постановка задачі

Проведення аналізу спектру цифрових широкосмугових каналів зв'язку важлива задача при радіомоніторингу. В діапазоні НВЧ дана задача ускладнюється необхідністю багаторазового перетворення частот, що може спричинити частотну та фазову помилку в зв'язку з неідеальністю опорних генераторів та змішувачів в радіочастотному модулі. Для компенсації даної нестабільності розроблені корелюючи математичні алгоритми. Отримані результати розробки математичних моделей алгоритму декодування елементарних складових сигналу з MSK та GMSK [1]та розробка структурної схеми декодеру з квадратурним представленням інформації [2], а також схеми демодулятору комплексного каналу дають можливість провести точний аналіз спектру НВЧ діапазоні.

Математична модель алгоритму декодування елементарних складових сигналу базується на тому, що двійкова частотна маніпуляція FSK є видом модуляції з постійною амплітудою. При цьому типі модуляції корисний сигнал формується з відрізків двох синусоїд.

$$S_1(t) = \cos(\omega_1 t); \qquad S_2(t) = \cos(\omega_2 t),$$

де сигнал $S_1(t)$ використовується для передачі логічного нуля, а сигнал $S_2(t)$ - для передачі логічної одиниці.

У схемі реалізації двохпозиційної модуляції FSK застосовується двоходовий комутатор. Аналогічно

можна побудувати і модулятор багатопозиційної частотної маніпуляції. У цьому випадку буде використано більшу кількість синусоїдальних генераторів, а для керування комутатором буде потрібно багаторозрядні двійкові числа [3].

Сигнали в багатопозиційною частотної маніпуляції можуть бути описані у відповідності з наступним виразом:

$$S_1(t) = \cos(\omega_1 t),\ S_2(t) = \cos(\omega_2 t), \ldots, S_N(t) = \cos(\omega_N t),$$

де $S_1(t)$ використовується для передачі першого стану символу;

$S_2(t)$ - для передачі другого стану символу;

$S_N(t)$ - для передачі N-го стану символу.

Використання багатопозиційної частотної маніпуляції дозволяє реалізувати високочастотний сигнал з постійною амплітудою. Такий сигнал дозволяє будувати радіопередавачі з максимальним ККД, тому що при застосуванні сигналу з постійною амплітудою, підсилювач потужності радіопередавача працює в оптимальному режимі. Прийом FSK-сигналу можна здійснити кореляційним методом.

Для когерентного прийому обчислюється взаємна кореляція між прийнятим сигналом і опорними сигналами, що представляють собою гармонійні коливання з використовуваними для маніпуляції частотами. Взаємна кореляція сигналу з k-м опорним сигналом для n-го за часом символу розраховується наступним чином:

$$z_k(n) = \int_{nT}^{(n+1)T} s(t)\cos(\omega_k t + \varphi_{0k})dt,$$

де $S(t)$ - FSK-сигнал, $\omega_k$ - частота маніпуляції, відповідна символу, рівному k, $\varphi_{0k}$ - початкова фаза посилки, T - тривалість передачі символу. Використані межі інтегрування задають обробку n-го символу.

Для підвищення завадостійкості FSK бажано, щоб посилки, відповідні різним символам, були некорельовані, тобто мали нульову взаємну кореляцію. Вважаючи початкові фази посилок нульовими, FSK-сигнали для символів 0 і 1 можна записати наступним чином:

$$S_0(t) = A\cos\omega_0 t, \quad 0 \le t \le T$$

$$S_1(t) = A\cos\omega_1 t, \quad 0 \le t \le T.$$

Взаємна кореляція цих сигналів при нульовому зсуві по часу буде дорівнювати:

$$B(0) = \int_0^T S_0(t)S_1(t)dt = A^2\int_0^T \cos(\omega_0 t)\cos(\omega_1 t)dt = \frac{A^2\sin(\omega_1+\omega_0)T}{2(\omega_1+\omega_0)} + \frac{A^2\sin(\omega_1-\omega_0)T}{2(\omega_1-\omega_0)}$$

Якщо $(\omega_1+\omega_0)T >> 1$, то перший доданок значно менше другого і їм можна знехтувати, тоді:

$$B(0) \approx \frac{A^2\sin(\omega_1-\omega_0)T}{2(\omega_1-\omega_0)}$$

Це значення дорівнює нулю при $(\omega_1-\omega_0)T = \pi n$, де n - ціле число, не рівне нулю. Таким чином, мінімальне значення відстані між сусідніми частотами маніпуляції, при якому посилки, відповідні різним символам, виявляються некорельованими, становить половину символьної швидкості:

$$\Delta\omega_{\min} = \frac{\pi}{T}; \qquad \Delta f_{\min} = \frac{1}{2T} = \frac{f_t}{2},$$

де $f_t$ - символьна швидкість.

Двопозиційна FSK, частоти якої обрані згідно наведеною формулою, є мінімальною частотною маніпуляцією або MSK.

Отримані результати аналізу спектру в діапазоні НВЧ наведені на рис.1-8.

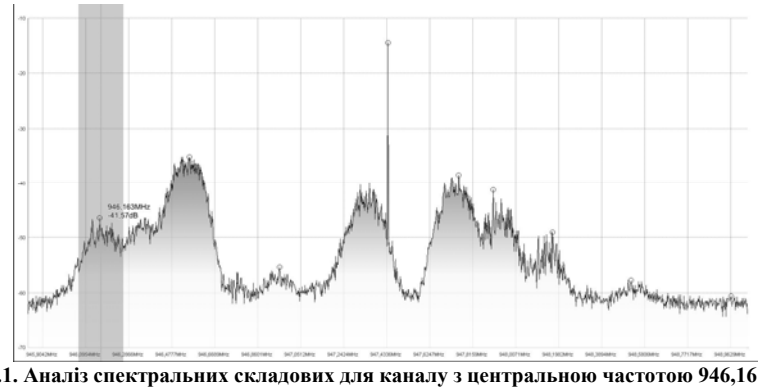

**Рис.1. Аналіз спектральних складових для каналу з центральною частотою 946,16 МГц**

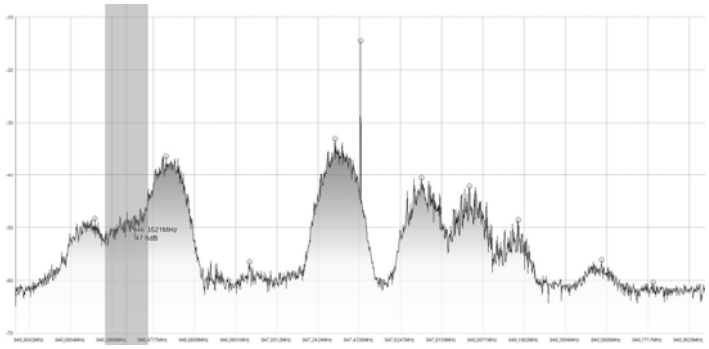

**Рис.2. Аналіз спектральних складових для каналу з центральною частотою 946,35 МГц**

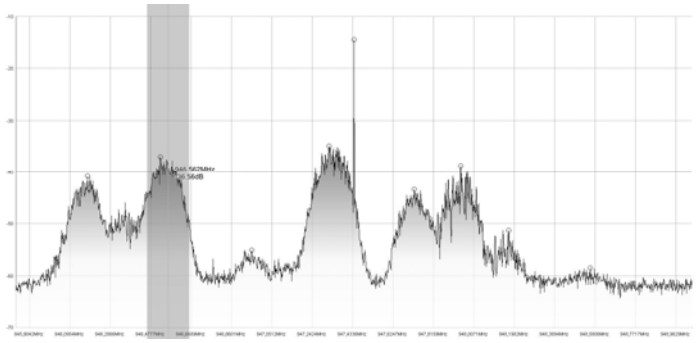

**Рис.3. Аналіз спектральних складових для каналу з центральною частотою 946,56 МГц**

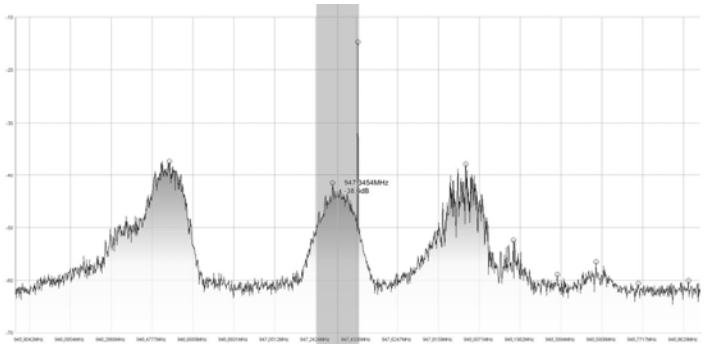

**Рис.4. Аналіз спектральних складових для каналу з центральною частотою 946,16 МГц**

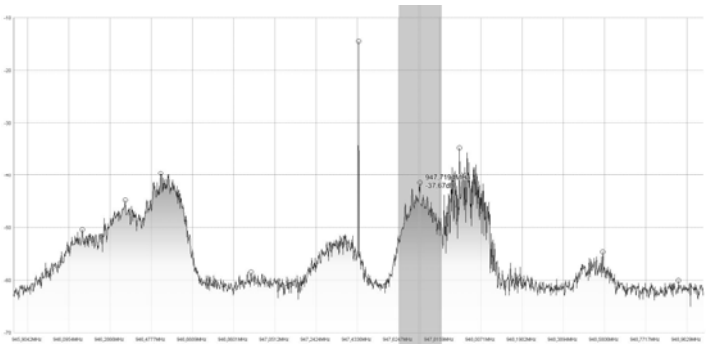

**Рис.5. Аналіз спектральних складових для каналу з центральною частотою 947,95 МГц**

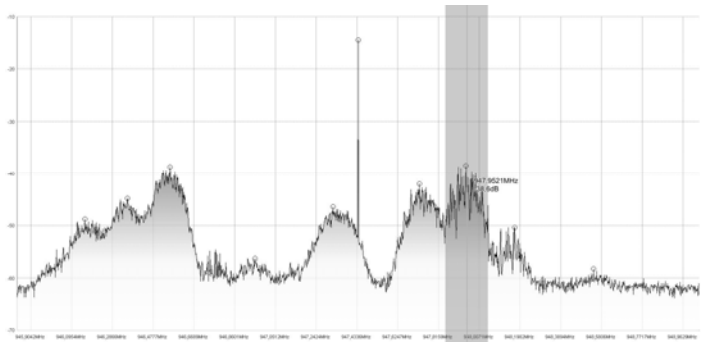

**Рис.6. Аналіз спектральних складових для каналу з центральною частотою 947,95 МГц**

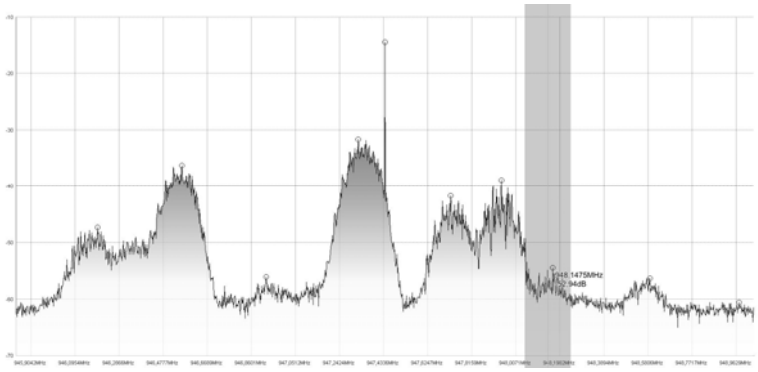

**Рис.7. Аналіз спектральних складових для каналу з центральною частотою 948,14 МГц**

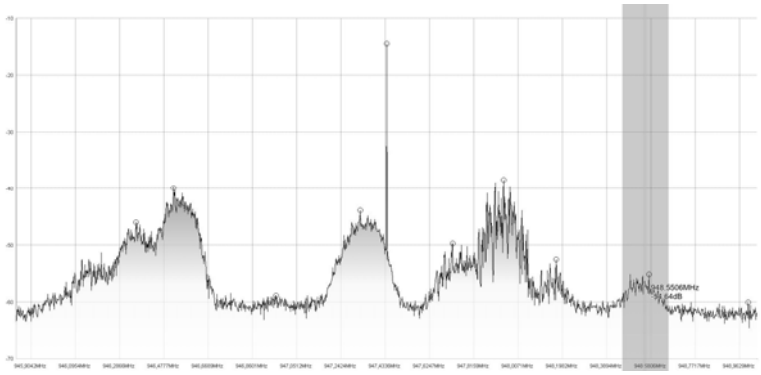

**Рис.8. Аналіз спектральних складових для каналу з центральною частотою 948,5 МГц**

## Висновки

Отримані практичні значення миттєвого спектру для НВЧ діапазону 900 МГц дають можливість проводити вимірювання характеристик для систем зв'язку з GMSK та подібними модуляціями. Отримана математична модель бути використана для проведення обробки та сигналів системах рухомого зв'язку.

## Література

1. БєловВ.С. Декодер складових комплексного каналу з ортогональним частотним розділенням несучих / В.С. Бєлов, А.С. Бєлов // Східно-європейський журнал передових технологій: фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- і мікроелектроніки – Харків – 2013 – том 6, № 12(66) (2013) – с. 11-14. ISSN: 1729-4061

2. Бєлов В.С. Обробка складових частотно-мультиплексованих сигналів з фазовою маніпуляцією / Бєлов В.С., Бєлов А.С. // Фізико-технологічні проблеми радіотехнічних пристроїв, засобів телекомунікацій, нано- та мікроелектроніки: Матеріали III-ої міжнародної науково-практичної конференції. – Чернівці., 2013. – 198 с.

3. Афонский А. А., Дьяконов В. П. Цифровые анализаторы спектра, сигналов и логики / Под ред. проф. В. П. Дьяконова. — М.: СОЛОН-Пресс, 2009. — 248 с.

### References

1. V.S. Belov. Dekoder skladovykh kompleksnoho kanalu z ortohonal'nym chastotnym rozdilennyam nesuchykh / V.S. Belov, A.S. Belov // Skhidno-yevropeys'kyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy: fizyko-tekhnolohichni problemy radiotekhnichnykh prystroyiv, zasobiv telekomunikatsiy, nano- i mikroelektroniky – Kharkiv – 2013 – tom 6, # 12(66) (2013) – c. 11-14. ISSN: 1729-4061

2. Belov V.S. Obrobka skladovykh chastotno-mul'typleksovanykh syhnaliv z fazovoyu manipulyatsiyeyu / Belov V.S., Belov A.S. // Fizyko-tekhnolohichni problemy radiotekhnichnykh prystroyiv, zasobiv telekomunikatsiy, nano- ta mikroelektroniky: Materialy III-oyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi. – Chernivtsi., 2013. – 198 s.

3. Afonskyy A. A., D'yakonov V. P. Tsyfrovye analyzatory spektra, syhnalov y lohyky / Pod red. prof. V. P. D'yakonova. — M.: SOLON-Press, 2009. — 248 s.

Рецензія/Peer review : 7.2.2014 р. Надрукована/Printed : 26.3.2014 р.