

## АНАЛІЗ ВИМОГ ДО СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СИНТЕЗАТОРІВ ЧАСТОТИ ПРИЙМАЛЬНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ АПАРАТУРИ СИСТЕМ РУХОМОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ

На основі проведеного аналізу існуючих стандартів систем рухомого радіозв'язку та їх технічних характеристик визначені вимоги до спектральних характеристик синтезатора частоти вимірювального приймача апаратури радіомоніторингу.

**Based on the analysis of the existing mobile radio systems, standards and identified the requirements for the spectral characteristics of the measuring receiver frequency synthesizer radio monitoring equipment.**

Ключові слова: синтезатор частоти, апаратура рухомого радіозв'язку.

**Вступ.** Останні декілька років ознаменувалися впровадженням в Україні таких нових технологій, систем і стандартів рухомого радіозв'язку, як системи бездротового зв'язку стандарту DECT (у діапазоні 1900 МГц), системи цифрового транкінгового зв'язку стандарту TETRA, цифрового стільникового зв'язку стандарту IMT-MS-450 (CDMA2000) у діапазоні 450 МГц, IMT-2000 CDMA (UMTS) у діапазоні 2 ГГц. При цьому впровадження нових технологій і систем зв'язку відбувається за рахунок як освоєння нових діапазонів частот, так і проникнення в давно освоєні смуги частот витисненням з них традиційних видів зв'язку. Усе це приводить до збільшення навантаження на одні смуги частот, їх перевантаженню й недостатньо ефективному використанню інших смуг частот.

Процес раціонального керування радіочастотним спектром (РЧС) є завданням першорядної важливості, особливо враховуючи активний розвиток сучасних цифрових радіосистем різного призначення й, у першу чергу, систем мобільного зв'язку. Найважливіше місце у даному питанні належить радіомоніторингу, як єдиному засобу одержання реальної інформації про стан радіоефіру [1].

Завданням радіомоніторингу є [2]:

1. Вимір і контроль за радіоелектронними засобами, призначеними для передачі (випромінювання) електромагнітних хвиль, з метою забезпечення електромагнітної сумісності (ЕМС) різних засобів зв'язку, виконання санітарних норм і законодавчих обмежень.

2. Одержання інформації про працюючі передавачі в певній місцевості (або в межах об'єкта), визначення їх типу, основних характеристик, кількості, а також демодуляція/декодування переданої інформації з метою їх виявлення або контролю.

3. Виявлення, спостереження, перехоплення й обробка даних, отриманих за допомогою засобів радіомоніторингу, як засіб оперативного одержання інформації (радіорозвідка – різновид радіомоніторингу).

Устаткування для радіомоніторингу може бути розрахованим як на певний діапазон частот і тип сигналів, так і бути широкосмуговим, універсальним. Головним засобом для радіомоніторингу є – вимірювальний радіоприймальний пристрій (ВРПП), призначений для роботи в певному діапазоні частот.

Різноманіття сучасних типів сигналів, вимоги до широкої смуги огляду і високої точності виміру, підвищенні вимоги до лінійності, рівня фазових шумів, швидкості перебудови по частоті, обумовлюють необхідність створення нових прийомних пристроїв, які дозволяють забезпечити роботу в широкому частотному діапазоні. При проектуванні подібних пристроїв істотною труднощі викликає розробка гетеродинного тракту, основою якого є синтезатор частот (СЧ) від якісних характеристик якого залежить чутливість, вибірність, завадозахищеність, наявність спотворених каналів і технічні характеристики якого повинні відповідати рекомендаціям МСЕ [3,4].

**Метою даної роботи** є проведення аналізу існуючих стандартів систем рухомого радіозв'язку і їх технічних характеристик та визначення вимог до спектральних характеристик синтезатора частоти вимірювального приймача апаратури радіомоніторингу.

**Вирішення проблеми.** Для визначення вимог до спектральних характеристик синтезатора частоти ВРПП проаналізуємо існуючі стандарти систем рухомого радіозв'язку. В Україні під різноманітні типи служб цифрового мобільного зв'язку виділено частотний діапазон від 100 до 3000 МГц. Так під радіотехнологію TETRA виділено смугу частот 413-420/423-430 МГц, під технологію TETRAPOL виділено дві смуги – VHF (для радіочастот від 70 до 150 МГц) та UHF (для діапазону від 150 до 520 МГц), для систем GSM, EDGE (2G) і UMTS (3G) зв'язок надається в частотах 900, 1800 та 2100 МГц, відповідно [5-8]. Отже, діапазон робочих частот для мобільного приймача радіомоніторингу, а отже і синтезатора частоти повинен бути від 100 до 3000 МГц. Отримані дані з [5-8], щодо рівнів блокування систем мобільного зв'язку другого (2G) та третього (3G) покоління зведемо до таблиці 1, а деякі їх технічні характеристики до таблиці 2. Відзначимо, що дані таблиць 1 та 2 для різних технічних параметрів вибиралися на основі самого жорсткого показника того або іншого стандарту.

На основі отриманих технічних даних стандартів (таблиці 1,2) можна зробити висновки, що до мобільних систем третього покоління UMTS (діапазон частот до 3 ГГц) пред'являються найбільш суворі вимоги до приймальної апаратури по зрівнянню з іншими існуючими в даний час стандартів мобільного

радіозв'язку. Наприклад, вимоги до приймачів за рівнем чутливості становлять: мінус 117 дБм для абонентського обладнання і мінус 121 дБм для обладнання базових станцій; рівень придушення продуктів інтермодуляції: мінус 46 дБм, рівні блокування при відстроюванні від номінальної частоти на 10 МГц: мінус 46 дБм з урахуванням інтермодуляційних спотворень (таблиця 2). Таким чином, для формулювання вимог до технічних характеристик синтезатора частоти доцільно брати за основу дані системи UMTS.

На рисунку 1 представлені рівні блокування ВРПП різноманітних систем рухомого зв'язку та отриманий результуючий рівень (чисельні значення приведені в таблиці 3), який необхідний для формулювання вимог до спектральної щільності потужності (СЩП) фазових шумів гетеродинного тракту, де для розрахунків обрані найбільш жорсткі вимоги стандартів 2G та 3G і транкінгового зв'язку [7,8].

Таблиця 1

Рівні блокування приймача для різноманітних систем рухомого зв'язку

Розстроювання частоти $\Delta f$ , кГц	Рівні блокування приймача					
	Системи 2G		Системи 3G		Транкінгові системи	
	Абонентська станція, дБм	Базова станція, дБм	Відстроювання від носійної частоти		Рівень перешкод, дБ	
			$\pm 10$ МГц	$\pm 15$ МГц		
$600 \leq \Delta f < 800$	-38	-26	-46 (з урахуванням інтермодуляційних спотворень)	-44	$< 50$ кГц	-45
$800 \leq \Delta f < 1600$	-33	-16			50 кГц-100 кГц	-40
$1600 \leq \Delta f < 3000$	-23	-16			100 кГц-200 кГц	-35
$3000 \leq \Delta f$	-23	-13			200 кГц-500 кГц	-30
					$> 500$ кГц	-25

Таблиця 2. Технічні характеристики стандартів різноманітних систем рухомого зв'язку

Технічні характеристики	Транкінгові системи		Системи 2G та 3G	
	Абонентська станція	Базова станція	Абонентська станція	Базова станція
Базова чутливість приймача	-112 дБм	-115 дБм	-117 дБм	-121 дБм
Мінімальний рівень чутливості в умовах замирань	-103 дБм	-106 дБм	-114 дБм	-
Придушення продуктів інтермодуляції	-43 дБм		-45 дБм (системи 2G, 2,5 G) -46 дБм (системи 3G)	
Придушення побічних випромінювань	-45 дБм		-48 дБм	
Рівні інтерференції в каналі	9 дБ		9 дБ	

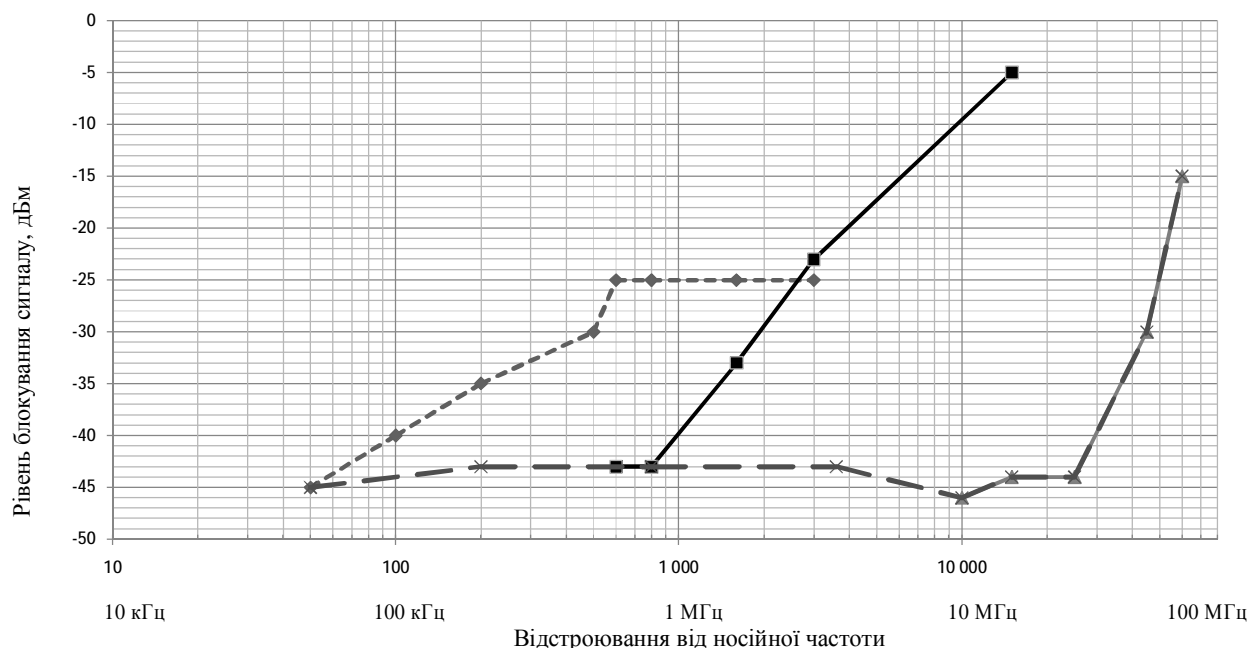


Рис. 1. Рівні блокування сигналу ВРПП різноманітних систем рухомого зв'язку та отриманий результуючий рівень

З рисунку 1 видно, що спектральні характеристики синтезатора частоти у ближній та середній зонах (до 10 МГц) визначаються рівнями блокування стандартів транкінгових систем та мобільних систем 2G і 3G

зв'язку, а в дальній зоні (від 10 МГц) рівнями блокування стандарту UMTS.

Для визначення СЩП фазових шумів синтезатора частоти скористаємося підходом [9], згідно з яким потужність корисного сигналу в заданій смузі частот порівнюється з потужністю всіх сигналів, що заважають і які потрапляють в цю ж смугу. Частина потужності перешкоди блокування, потрапляє у смугу пропускання приймача за рахунок перетворення з шумами гетеродину. Для розрахунків використовуємо випадки, коли їх потужність становить 90%, 50% і 5% від загальної потужності шумів і перешкод в смузі пропускання [9]. Загальна методика розрахунку СЩП фазових шумів приведена на прикладі використання даних стандарту UMTS для гіршого випадку розповсюдження.

Таблиця 3

## Значення результуючого рівня блокування ВРПП різних систем рухомого зв'язку

Зміщення від носійної частоти	Рівень блокування сигналу	Використовуваний стандарт системи зв'язку
50 кГц	-45 дБм	TETRA
200 кГц	-38 дБм	GSM
800 кГц	-33 дБм	GSM
3,6 МГц	-43 дБм	EDGE
10 МГц	-46 дБм	UMTS
15 МГц	-44 дБм	UMTS
25 МГц	-44 дБм	UMTS
45 МГц	-30 дБм	UMTS
>60 МГц	-15 дБм	UMTS

Для випадку, коли потужність, що обумовлена шумами гетеродину, складає 5%, мінімальний рівень вхідного сигналу повинен бути на 13 дБ нижче значення рівня сигналу при дії шумів та інтерференції  $P_{\min}$  [9,10]. При потужності шумів гетеродину 50% та 90%, рівень вхідного сигналу повинен бути менше  $P_{\min}$  на 3 дБ і 0,5 дБ, відповідно.

Відповідно до [9,10]  $P_{\min}$  визначається як:

$$P_{\min} = P_R - \left( \frac{E_b}{N_t} \right)_{\text{eff}} + G_p, \quad (1)$$

де  $P_R$  – мінімальний рівень вхідного сигналу з урахуванням інтерференції, що дорівнює мінус 114 дБм;  $G_p = 10 \ln \left( \frac{3,84 \text{ МГц}}{12,2 \text{ кбіт/с}} \right) = 25 \text{ дБ}$  – база сигналу;  $\left( \frac{E_b}{N_t} \right)_{\text{eff}}$  – відношення енергії біта до спектральної щільності шуму з урахуванням впливу каналу розповсюдження.

У відповідності до стандарту, в загальному випадку для забезпечення ймовірності бітової помилки  $BER = 10^{-3}$  значення  $\frac{E_b}{N_0} = 5,2 \text{ дБ}$ . З урахуванням інтерференції, присутньої в каналі, значення

$\left( \frac{E_b}{N_t} \right)_{\text{eff}}$  приблизно дорівнює 7 дБ. Таким чином, з урахуванням вищесказаного, мінімальний рівень

вхідного сигналу з урахуванням фазових шумів  $P_{\min}$  дорівнює мінус 109 дБм.

Відомо, що існує кількісний зв'язок між енергетичним спектром та спектром фазових шумів. В загальному вигляді вхідний сигнал можна записати наступним чином:

$$S(t) = (V_0 + V(t)) \cdot \sin(2\pi f_0 t + f(t)), \quad (2)$$

де  $V(t)$  і  $f(t)$  – флуктуації амплітуди і фази відповідно.

Знехтуємо флуктуаціями амплітуди (припустимо, що вони будуть зведені до мінімуму за рахунок роботи приймача), будемо вважати, що на СЧ будуть впливати тільки флуктуації фази  $f(t)$ , які можна записати у вигляді:

$$f(t) = \Delta f \sin(2\pi t(f - f_0)) + j(t). \quad (3)$$

Перший доданок представляє собою періодичну зміну фази, що породжує побічні спектральні складові при зсуві частоти  $f$  від носійної частоти  $f_0$ , які знаходяться на рівні  $20 \log \left( \frac{\Delta f}{2} \right)$  нижче носійної.

Другий доданок  $j(t)$  являє собою випадкову зміну фази, що породжує фазовий шум. Спектральна щільність змін фази буде мати вигляд:

$$S_j(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R_j(t) e^{-j2\pi ft} dt, \quad (4)$$

де  $R_j(t)$  – автокореляційна функція випадкових змін фази  $j(t)$ .

У випадку, коли середнє квадратичне значення  $j(t)$  набагато менше 1 радіан, спектральна щільність потужності  $V(f)$  може бути апроксимована як:

$$S_V(f) = \frac{S_j(f - f_0)}{2} \quad (5)$$

Таким чином, потужність фазових шумів, визначається як:

$$P_{ф.ш.} = 10 \log \frac{P_{ш}}{P_n} = 10 \log \frac{S_j(f - f_0)}{2} = (10 \log [S_j(f - f_0)] - 3) [\text{дБн} / \text{Гц}], \quad (6)$$

де  $P_{ш}$  – потужність фазового шуму в смузі 1 Гц при заданому відстроюванні від носійної частоти;  $P_n$  – потужність носійної.

Згідно [11], вимоги до спектральної щільності потужності фазових шумів, виражені в [дБн/Гц], можна знайти, виходячи з виразу:  $P_{ф.ш.} = P_{min} - P_{блок.}$  – інтервал допустимих значень потужності фазового шуму [дБн/Гц].

Отже, при мінімальному рівні вхідного сигналу  $P_{min} = -109 \text{ дБм}$ , рівень побічних спектральних складових в смузі 3,84 МГц становитиме мінус 63 дБн, що відповідає спектральній щільності потужності фазових шумів, яка дорівнює мінус 129 дБн/Гц. Отримане значення справедливо при частотному розстроюванні приймача більш ніж на 8 МГц.

Подібним чином були розраховані значення СЦП фазових шумів СЧ для рівнів блокування, визначених у таблиці 3 та відповідних ним частотним відстроюванням від носійної частоти (50 кГц, 200 кГц,

800 кГц, 10 МГц, 15 МГц, 25 МГц, 45 МГц і 65 МГц), при цьому для визначення значень  $P_R$  та  $\left(\frac{E_b}{N_t}\right)_{eff}$  –

використовувалися дані стандартів систем транкінгового зв'язку (частотне розстроювання 50 кГц) і систем 2G і 2,5G (частотне розстроювання 200 кГц і 800 кГц). Отриманий шаблон допустимого рівня СЦП фазових шумів гетеродинного тракту і СЧ, що входить до його складу, показаний на рисунку 2.

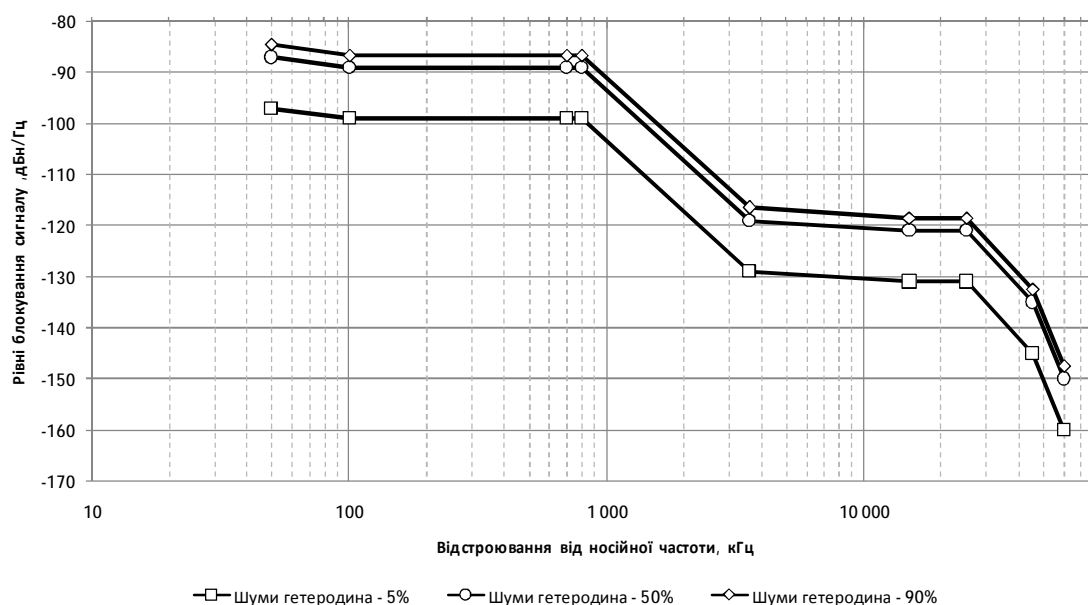


Рис. 2. Допустимий рівень спектральної щільності потужності фазових шумів синтезатора частот

**Висновки.** На підставі даних стандартів цифрових транкінгових систем (TETRA; TERAPOL) і систем стільникового зв'язку другого (GSM, EDGE) і третього покоління (UMTS) про рівні блокування був отриманий шаблон припустимого рівня спектральної щільності потужності фазових шумів гетеродинного тракту й, відповідно, синтезатора частоти, що входить до його складу, який можна використовувати в дальній зоні.

#### Література

1. Корсак В.Ф. Стан та перспективи розвитку радіочастотного моніторингу в Україні / В. Ф. Корсак,

В.Г. Благодарний // Зв'язок. – 2004. – № 6. – С. 27-28.

2. Рембовский А.М. Радиомониторинг: задачи, методы, средства / А. М. Рембовский, А. В. Ашихмин, В.А. Козьмин / [Под ред. А.М. Рембовского]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2006.

3. Рыжков А.В. Синтезаторы частот в технике радиосвязи / А. В. Рыжков, В. Н. Попов - М. : Радио и связь, 1991. – 264 с.

4. Справочник по радиоконтролю. – Женева : МСЭ-Р, 1995.

5. Иванкович М. В. Комплекс мониторинга систем профессиональной мобильной радиосвязи / М. В. Иванкович, Виноградов А.Н. [и др.]. – Электросвязь, 2005. – № 6.

6. 3GPP TS 25.104 V7.0.0 3rd Generation Partnership Project. Base Station (BS) radio transmission and reception (FDD) / Technical Specification Group Radio Access Network (Release 7), 2005-06.

7. ETSI EN 300 392-2 V2.1.1 Terrestrial Trunked Radio (TETRA); Voice plus Data (V+D); Air Interface (AI). –Part 2, 2000-12.

8. Афонин С. В. Проблемы электромагнитной совместимости систем сотовой связи / С. В. Афонин, В. Ф. Корсак // Зв'язок. – 2004. – № 4. – С. 26-29.

9. Jensen, O.K. RF receiver requirements for 3G W-CDMA mobile equipment / O. K. Jensen, T. E. Kolding, C.R. Iversen [and others.] // Microwave Journal. – Vol.1. – February, 2000.

10. Technical Specification 25.101. UE Radio Transmission and Reception (FDD). – Vol. 3.0.0, October, 1999.

11. Lo C. A 1,5-V 900-MHz Monolithic CMOS fast-switching frequency synthesizer for wireless applications / C. Lo // Master thesis, The Hong Kong University of Science and Technology (HKUST). – China, Jan. 2000.

Надійшла до редакції  
27.2.2012 р.

**УДК 621.396.96**

**J.A. BABIY, J.A. ROMANJUK**

Khmelnytsky national university

**V.M. PUSTOVETOV, E.V. PROCOPENKO**

National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bogdan Khmelnytsky

## **THE ASSESSMENT OF PROBING RADAR SIGNALS FLUCTUATION MODULATION INGREDIENTS INFLUENCE ON THE DEGREE OF THEIR RECOGNITION**

The article deals with the investigation of the effect of non-deterministic modulation amplitude on angular components of probing radar signals correlation properties. The results of the study demonstrate that the potential properties of the modulated signals with respect to recognition are much higher than the baseband. It can be explained by the presence of modulated fluctuation components, which in a certain form can be perceived as useful.

Статья посвящена исследованию влияния недетерминированных амплитудной модуляции на угловой компоненты зондирующего радиолокационных сигналов свойства корреляции. Результаты исследования показывают, что потенциальные свойства модулированных сигналов в отношении признания намного выше, чем в основной полосе частот. Это можно объяснить наличием модулированных колебаний компонентов, которые в определенной форме может быть воспринято как полезно.

**Keywords:** radio-location, sounding a radio-location signal, recognition, filter, impulsive radio signal, correlating, component of amplitude modulation, component of angular modulation, density distribution of the amplitude fluctuation component, density distribution of the angular fluctuation component, correlation function of complex circumflex.

### **Introduction**

The development of radiolocation as a separate science is constantly accompanied by a search of the ideal (optimal) methods and means of information obtaining about the object of observation. The key role in this process, first of all, played the development of improved models of probing signals, since it is their properties determined the potential of systems in general. Together with theories development methods of their treatment were created, but almost always in practice, they did not allow to realize the potential that was found in the signals. A significant breakthrough in this area was the development and implementation of digital signal processing techniques. They almost lifted restrictions on potential adoptive resources both in terms of detection and in respect of recognition. As a result of potential restrictions radar signals characteristics were superimposed on the radar signals possibilities.

### **Main part**

Today, a large number of effective models of signals [1,2] were developed, which differ in modulation and energy properties, have different capabilities and require different means for their synthesis. It is because of the complexity of complicated signals in the UHF band, most of the radars today are built with the help of simple probing signals.

Theoretically, the possibility of recognition of the finite in time and frequency axis signals are not infinite, and therefore the potential of radar means, to detect targets and completeness of the information about them in the