

## Новітні рішення забезпечення електромагнітної сумісності базових станцій систем зв'язку у суміжних смугах частот

Корсун В.І., Корсак В.Ф.

Державне підприємство «Український державний центр радіочастот  
Україна, 03179, м. Київ, пр-т Перемоги, 151, e-mail:korsak@ucrf.gov.ua

Наритник Т.М., Лутчак О.В.

СП «Інститут електроніки та зв'язку УАННП»

Україна, , 03148, м. Київ, пр-т Леся Курбаса, 2-Б, e-mail:director@mitris.com

The designed frequency-selective equipment with unique parameters of frequency selection (gain slope is reached at the level of 23 dB/MHz due to the use of high-quality coaxial resonators with cross-feedbacks) allows to measure out-of-band emission of broadband access base stations, which are in the operating mode and using spectrum analyzer. This ensures the suppression of the main emission not less than by 45 dB, and for out-of-band emission – only at the level of 5 dB.

З розвитком технічного прогресу використання радіочастот значно розширило сферу їх застосування. Класифікація всіх застосувань радіочастот дана в [1, 2], де подібні за технічними параметрами і за способами використання радіоелектронні засоби (РЕЗ) розділені по радіослужбах (наприклад радіомовлення, супутниковий зв'язок, мобільний зв'язок, навігація і т.п.), кожній з яких виділені для роботи конкретні смуги частот. Розподіл смуг частот між службами зроблено з урахуванням можливості мінімізації взаємного впливу РЕЗ різних радіослужб, що працюють спільно або в сусідніх смугах частот. При цьому на технічні характеристики окремих РЕЗ накладаються певні обмеження, характерні для конкретної радіослужби, а на органи державного регулювання використання радіочастот на національному рівні покладаються функції контролю за виконанням користувачами радіочастотного ресурсу цих обмежень.

Історично склалося, що в окремих випадках українські оператори телекомунікацій отримують ліцензії на використання суміжних смуг частот різними радіотехнологіями, які потенційно можуть заважати одна одній. Так, смуга частот 1920 – 1980 МГц використовується для роботи на прийом базових станцій системи стільникового зв'язку стандарту UMTS (далі БС UMTS), а в сусідній смузі частот 1980 – 2000 МГц працюють на передачу базові станції системи широкосмугового доступу (далі – БС ШСД). Тому є ймовірність створення завад від позасмугових випромінювань передавачів БС ШСД приймачам БС UMTS. Подібна ситуація склалася і навколо частоти 890 МГц, вище якої працюють на прийом БС системи стільникового зв'язку стандарту GSM – 900, а нижче – БС системи стільникового зв'язку стандарту CDMA-800. При цьому БС таких систем, як правило, розташовуються на дахах будівель і мають антенні системи, що забезпечують передачу і прийом сигналів з усіх напрямків. В багатьох випадках базові станції різних систем розташовуються на одних і тих же об'єктах. Так як захисний частотний інтервал між такими системами відсутній (Рис.1), то для усунення (мінімізації) впливу РЕЗ один на одного в таких випадках регулятором встановлюються додаткові вимоги, зокрема, до рівнів позасмугового випромінювання передавачів БС однієї технології в смузі частот роботи приймачів БС іншої технології.



Рис.1. Частотний план діапазону 1900 МГц

Для визначення максимально допустимого рівня позасмугових випромінювань розглянемо вірогідну ситуацію, коли дві БС різних технологій розташовані на одному об'єкті на відстані 30 метрів, та їх антенні системи орієнтовані таким чином, що сумарний коефіцієнт підсилення у напрямках одна на одну складає 15 дБ. Рівень сигналу на вході приймача БС UMTS визначається рівнянням

$$P_{\text{прм}} = P_{\text{прд}} + G_{A1} + G_{A2} - L_{\phi1} - L_{\phi2} - L$$

де:  $P_{\text{прд}}$  – потужність передавача БС системи ШСД в смузі прийому БС системи стільникового зв'язку стандарту UMTS (рівень поза смугових випромінювань), дБм;

$G_{A1}, G_{A2}$  – коефіцієнти підсилення антен БС UMTS та БС ШСД у напрямку одна на одну, дБ;

$L_{\phi1}, L_{\phi2} = 1.5$  дБ – загасання у фідерних трактах антенних систем БС UMTS та БС ШСД, дБ;

$L = 32,4 + 20 \lg (f) + 20 \lg (d)$  – загасання сигналу у вільному просторі [4], дБ ;

$f$  – частота, МГц;

$d$  – відстань, км.

Приймаючи допустимий рівень позасмугових випромінювань БС ШСД в каналі з шириною смуги 5 МГц на вході приймача БС UMTS  $P_{\text{прм}} = -107$  дБм, та з урахуванням того, що для  $f = 1980$  МГц та  $d = 0.03$  км  $L \approx 68$  дБ, рівень позасмугових випромінювань передавача БС ШСД визначається як

$$P_{\text{прд}} = P_{\text{прм}} - G_{A1} - G_{A2} + L_{\phi1} + L_{\phi2} + L = -107 - 15 + 1.5 + 1.5 + 68 = -51 \text{ дБм.}$$

Саме таке обмеження встановлене органами, відповідальними за використання радіочастотного спектру в Україні для позасмугових випромінювань БС ШСД у смугах частот прийому БС UMTS.

Однак проконтролювати виконання цих вимог є непростим завданням з огляду на те, що різниця між рівнем випромінювання передавача БС ШСД (20 Вт = 43 дБм) і рівнем, що обмежує позасмугові випромінювання цього ж передавача, складає 43 дБм – (-51 дБм) = 94 дБ. У той же час, вимірювальні прилади, що використовуються контролюючими організаціями, мають обмеження за рівнем сигналу, що подається на його вхід (максимально допустима вхідна потужність не більше 100 мВт = 20 дБм), і їх динамічний діапазон не перевищує 80 – 90 дБ. Тобто підключати їх можливо до виходу передавача тільки через атенюатор з загасанням в 30 дБ, але при цьому на цю ж величину зменшується і рівень позасмугових випромінювань передавача, які надходять на вхід вимірювального приладу і стають нижче рівня реальної чутливості вимірювального приладу.

Таким чином, для проведення подібних вимірів необхідне частотно-вибіркове обладнання з унікальними параметрами частотної вибіркості, яке дозволяло би в робочому режимі передавача БС ШСД послабити основне випромінювання передавача в смузі частот вище частоти 1980 МГц на величину 30 дБ і більше, в той же час, пропускаючи позасмугові випромінювання передавача в смузі частот нижче цієї частоти з мінімальним загасанням.

Для вирішення цієї проблеми авторами пропонуються новітні рішення забезпечення електромагнітної сумісності базових станцій систем зв'язку у суміжних діапазонах частот шляхом розробки частотно-вибіркового обладнання з унікальними параметрами частотної вибіркості (крутизна амплітудно-частотної характеристики повинна досягати рівня 23дБ/МГц).

На замовлення державного підприємства «Український державний центр радіочастот» (УДЦР) виконавцем СП «Інститут електроніки та зв'язку УАННП» в 2017 році було розроблено та виготовлено 8 комплектів спеціалізованого частотно-вибіркового обладнання [5]. За їх допомогою підрозділи УДЦР мають змогу проводити вимірювання рівнів позасмугових випромінювань БС ШСД що працюють у діапазоні частот 1980 – 2000 МГц під час проведення первинного технічного контролю БС перед їх вводом в експлуатацію. Аналогічне обладнання для вимірювання рівнів позасмугових випромінювань БС CDMA-800 було виготовлено СП «Інститут електроніки та зв'язку УАННП» в 2013 – 2014 роках [6].

Структурна схема спеціалізованого частотно-вибіркового обладнання [6-7] наведена на Рис.2.

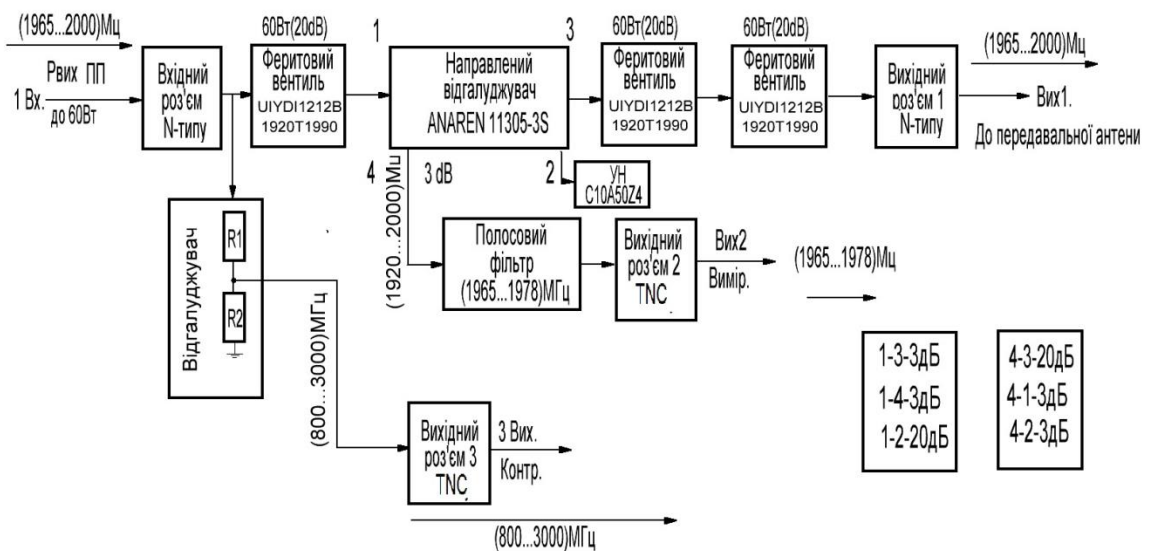


Рис. 2. Структурна схема частотно-вибіркового обладнання

Центральним елементом частотно-вибіркового обладнання є смуговий фільтр, який реалізовує максимальну крутизну скату амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) вище частоти 1980 МГц (Рис.3). Саме в ньому здійснюється ослаблення на 45 дБ основного випромінювання БС

ШСД вище частоти 1980 МГц, а позасмугове випромінювання на частотах нижче 1980 МГц з загасанням сигналу на 4-5 дБ потрапляє на «вимірювальний» вихід, до якого підключається аналізатор спектру. На «контрольний» вихід поступає ослаблений для безпечного підключення аналізатору спектра на  $\approx 40$  дБ сигнал передавача для вимірювання інших параметрів БС. Також у складі обладнання використовується направлений відгалужувач та вентиля для виключення потрапляння відбитого від смугового фільтра випромінювання на вихід передавача, а також для виключення потрапляння сигналів абонентських станцій UMTS, прийнятих антеною, на «вимірювальний» вихід, що могло би привести до викривлення результатів вимірювань позасмугових випромінювань БС ШСД.

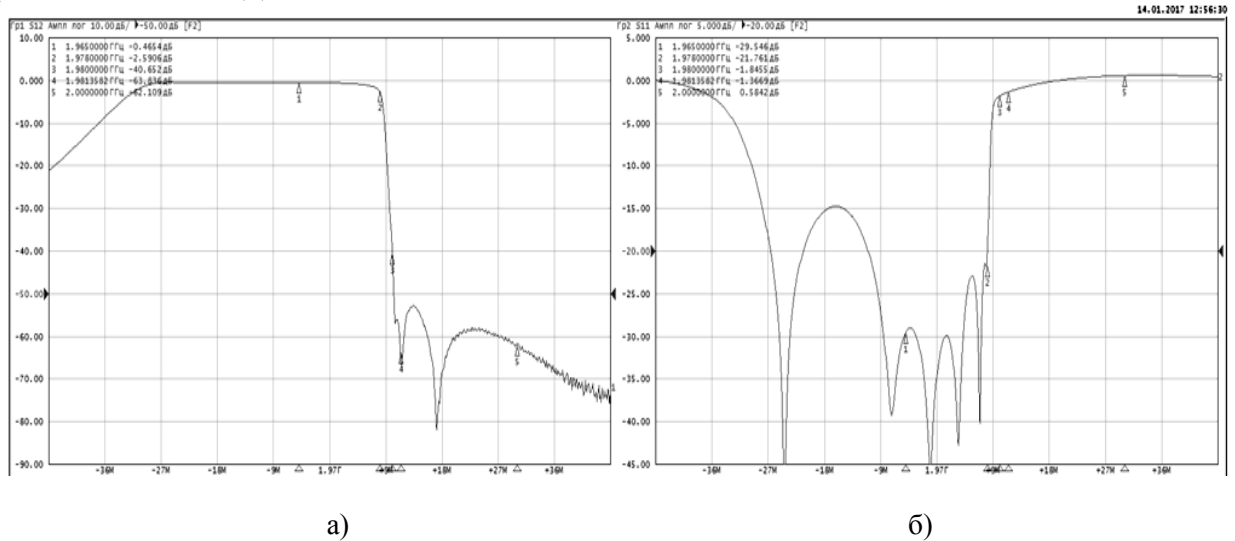


Рис.3. Виміряна: а) амплітудно-частотна характеристика і б) частотна характеристика коефіцієнта відбиття фільтра

Особливістю комплекту обладнання (рис.4) є те, що воно дозволяє проводити вимірювання всіх параметрів передавача БС безпосередньо під час функціонування БС в робочому режимі.

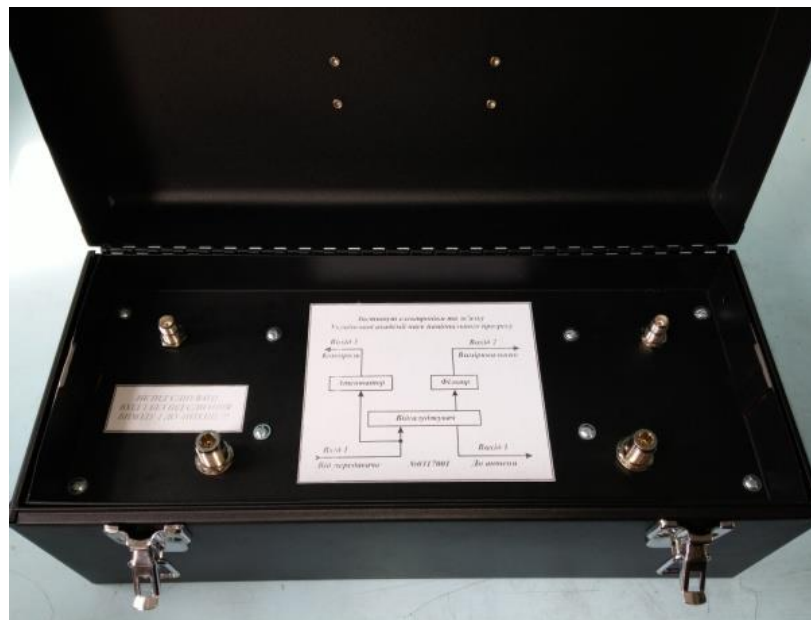


Рис.4. Зовнішній вигляд комплекту обладнання

Комплект обладнання підключається між передавачем та антеною БС (Рис.5) і за допомогою аналізатора спектру, який підключається до «вимірювального» виходу 4 здійснюється вимірювання рівнів позасмугового випромінювання БС, а при підключенні аналізатора спектру до «контрольного» виходу 3 здійснюється вимірювання всіх інших параметрів БС (потужність, робоча частота, ширина смуги випромінювання тощо).

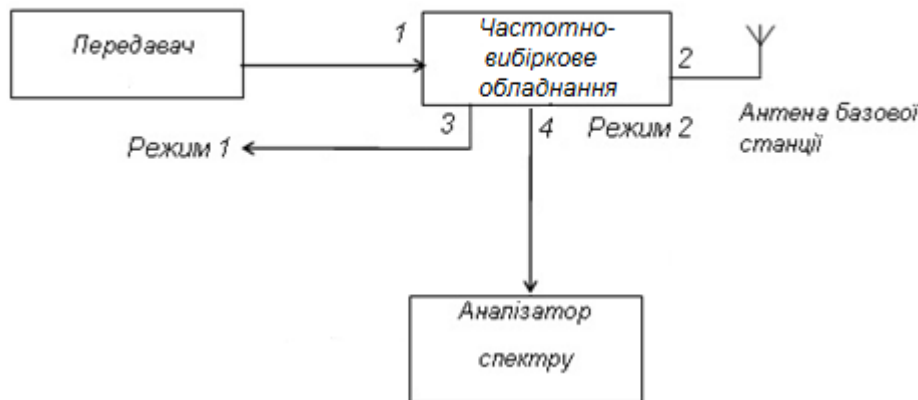


Рис.4.Схема підключення обладнання до базової станції

Авторами запропоновано і реалізовано новітнє науково обґрунтоване рішення з контролю за забезпеченням електромагнітної сумісності базових станцій систем зв'язку у суміжних діапазонах частот шляхом розробки частотно-вибіркового обладнання. Розроблене частотно-вибіркове обладнання з унікальними параметрами частотної вибіркової (крутизна амплітудно-частотної характеристики досягнута на рівні 23дБ/МГц за рахунок використання високочастотних коаксіальних резонаторів з перехресними зворотніми зв'язками) дає змогу вимірювати позасмугове випромінювання базових станцій широкопasmового доступу в робочому режимі їх роботи з використанням аналізатора спектру. При цьому забезпечується придушення основного випромінювання не менш ніж на 45 дБ, а позасмугового – лише на рівні 5 дБ.

Обладнання сертифіковане Національним науковим центром «Інститут метрології» і використовується підрозділами ДП УДЦР при проведенні первинного технічного контролю базових станцій широкопasmового доступу перед їх введенням у експлуатацію.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Регламент радіозв'язку. Женева, МСЕ: 2016.
2. Теорія і практика управління використанням радіочастотного ресурсу: Навч. посібник / За ред. д-ра техн. наук, проф. В. Г. Кривуци.— К.: ДУІКТ, 2012.— 596 с.
3. Наритник Т.Н., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи терагерцового діапазону Монографія.-Житомир.- :ФОП «Євенок О.О.».-2015.-394с.
4. Рекомендація МСЕ-Р Р.525-3 (11/2016) Розрахунок ослаблення у вільному просторі.
5. Корсун В.І., Корсак В.Ф.Наритник Т.М., Войтенко О.Г., Лутчак О.В., Поршнев В.Л. Електромагнітна сумісність базових станцій систем мобільного зв'язку стандарту UMTS та широкопasmового радіодоступу: розробка, контроль, сертифікація. Матеріали 3-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми електромагнітної сумісності перспективних бездротових мереж зв'язку EMC 2017» -С.36-42, м.Харків.
6. Корсак В.Ф. Наритник Т.М. Войтенко О.Г. Поршнев В.Л. Лутчак О.В. Частотно-вибірковий пристрій для радіомоніторингу базових станцій стільникового зв'язку стандарту CDMA-800. 4-а Міжнародна науково-практична конференція «Інфокомунікації – сучасність та майбутнє».- 2014.-м.Одеса. Збірник.-частина 1.-С..51-54.