

УДК 621.396.6

Н.С. Калашник, І.Г. Леонов, Н.М. Мироничева, А.І. Нос

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ АНАЛІЗУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ В СУЧАСНИХ ЗАСОБАХ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

В даний час зважаючи на масове зростання числа користувачів радіочастотним спектром, проблема ЕМС РЕЗ набуває вельми важливого значення не лише в рамках окремих служб радіозв'язку але і між різними службами. Успішне вирішення цієї проблеми необхідно пов'язувати перш за все з розвитком нових спектрально ефективних радіотехнологій, що дозволяють при обмеженому частотному ресурсі істотно підвищувати потенційну ємність мереж радіозв'язку загального користування. Ця комплексна проблема об'єднує всі елементи радіоінтерфейсу сучасних мереж зв'язку, включаючи радіосигнали як носії інформації, засоби їх генерації, обробки і випромінювання (прийому) і способи організації радіозв'язку – все що в сукупності визначає множинний (багатостанційний) доступ в мережі на основі методів частотного, тимчасового, кодового і просторового (або їх сукупності) розділення каналів користувачів. Проведено вибір методики оцінки ЕМС в цих умовах. Запропоновані основні параметри стільникової мережі, які оцінюються.

Ключові слова: *стільникова мережа зв'язку, електромагнітна сумісність, методика розрахунку.*

Вступ

Під електромагнітною сумісністю РЕС звичайно розуміють здатність одночасно функціонувати в реальних умовах експлуатації з необхідною якістю при дії на них неумисних радіоперешкод, не створюючи недопустимих радіоперешкод іншим радіо-

засобам. Іншими словами, ЕМС РЕС – це властивість РЕС функціонувати без погіршення якісних показників нижче допустимого в заданій електромагнітній обстановці. Під електромагнітною обстановкою розумітимемо сукупність електромагнітних полів РЕС різних служб радіозв'язку в даній області простору.

Модель взаємодії РЕЗ різного призначення є дуже складною. Тому оцінка EMC PEC є загальним завданням і невід'ємною частиною процесу узгодження умов роботи PEC. В ході оцінки EMC PEC виробляються умови що задовольняють критерію EMC в даній електромагнітній обстановці. Ці умови можуть включати: територіальні обмеження на розміщення станції – джерела перешкод; обмеження EMC станції – джерела сигналів, що заважають, в напрямі на станцію, схильну до перешкоди; захисні смуги і частотні обмеження PEC; значення необхідного придушення бічних пелюсток діаграм спрямованості передавальної і приймальної антен; оптимізацію параметрів розташування PEC і орієнтації антен і ін.

За критерій забезпечення EMC зазвичай приймають захисне відношення радіоприймача – мінімальне допустиме відношення сигнал/радіоперешкода на вході приймача, що забезпечує необхідну якість функціонування в умовах дії неумисних радіоперешкод. Чисельне значення захисного відношення, як правило, залежить від типу помехового сигналу. Інколи значення захисного відношення радіоприймача приводять до смуги пропускання його лінійної частини (поєднаний канал), тобто не враховують ослаблення перешкоди за рахунок виборчих властивостей приймача.

EMC в сучасних засобах мобільного зв'язку

Для вирішення проблеми EMC PEC використовуються організаційні і технічні заходи. Технічні заходи забезпечення EMC обумовлені зміною технічних параметрів PEC (наприклад, зниження рівнів позасмугових і побічних випромінювань передавачів, підвищення виборчих властивостей приймачів, зниження рівнів бічних пелюсток діаграм спрямованості антен і ін.). Вони досить ефективні, але можуть бути застосовні в основному при розробці нових типів устаткування. Для PEC, що знаходяться в експлуатації, найбільш прийнятними і дієвими заходами забезпечення EMC є організаційні заходи. Вони включають раціональне призначення робочих частот, що поєднується з введенням частотних, територіальних, тимчасових і просторових обмежень, що накладаються на PEC, які всі разом є основою частотно-територіального планування (ЧТП) мереж сухопутного рухливого зв'язку, відповідає вимогам ефективного використання спектру.

Розрахунок EMC полягає у рішенні рівняння розповсюдження радіохвиль у відповідному середовищі. Рівняння EMC PEC встановлює взаємозв'язок енергетичних, частотних і просторових параметрів PEC корисного сигналу (рецептора радіоперешкод) і сигналів (джерел неумисних радіоперешкод), що заважають, при яких забезпечується необхідна

якість функціонування PEC. Звичайне рівняння EMC складають для "дуельної" ситуації, коли оцінка EMC виробляється для двох PEC, одне з яких розглядається як приймач корисного сигналу, а друге PEC є джерелом неумисних радіоперешкод. У загальному випадку, можливо, врахувати декілька джерел неумисних радіоперешкод.

Найважливішими чинниками, які необхідно враховувати при аналізі EMC PEC, є втрати при поширенні радіохвиль на трасі і флуктуації рівнів сигналів, що приймаються, і радіоперешкод.

Вважають, що якісна передача інформації по радіоканалу забезпечується в тому випадку, якщо виконуються наступні дві умови:

- флуктуації рівня корисного сигналу, обумовлені його завмираннями як унаслідок многулучовості, так і унаслідок перешкод радіохвиль, що виникають на дорозі поширення, приводять до зменшення інтенсивності корисного сигналу нижче за чутливість РПМ (визначуваною необхідною вірогідністю помилкового прийому цифрових сигналів на виході вирішального пристрою радіоприймача) не більш ніж в заданому відсотку часу;

- флуктуації рівня корисного сигналу і неумисної радіоперешкоди призводять до зниження відношення сигнал/перешкода нижче за захисний на вході радіоприймач не більше ніж в заданому відсотку часу.

Флуктуації інтенсивності корисних сигналів, що заважають, в діапазонах хвиль, виділених для рухливого зв'язку, підкоряються логнормальному закону, тобто потужність корисного P_s і P_I сигналів, що заважає, в місці прийому (на вході приймача) може бути записана таким чином:

$$P_s = P_{os} + X_s, \quad P_I = P_{oi} + X_I, \quad (1)$$

де P_{os} , P_{oi} – медіанні значення потужності сигналу і радіоперешкоди; X_s , X_I – випадкові величини гаусів з нульовим середнім значенням і з дисперсією σ^2 , визначальній глибину флуктуації цих рівнів (зазвичай приймають, що для міст з малою і середньою поверховістю забудови стандартне відхилення $\sigma = 6$ дБ, а для передмість і сільської місцевості $\sigma = 4$ дБ).

Тоді η_S і η_I виражені у відсотках, визначаються інтегралами вірогідності:

$$\eta_S = 100 \cdot F(P_S > P_{\min}) = 100 \int_{k_s}^{\infty} \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right) \frac{dt}{\sqrt{2\pi}}; \quad (2)$$

$$\eta_I = 100 \cdot F(P_S - P_I < A_{BX}) = 100 \int_{k_I}^{\infty} \exp\left(\frac{-t^2}{2}\right) \frac{dt}{\sqrt{2\pi}},$$

де P_{\min} – чутливість радіоприймача; A_{BX} – захисне відношення на вході радіоприймача; k_s , k_I – коефіцієнти, що враховують допустимий відсоток часу погіршення якості радіозв'язку нижче заданого рівня.

Відзначимо, що якщо $\eta_S = \eta_I = 5\%$ (що зазвичай приймається як імовірнісний критерій оцінки

кордону зони покриття стільникової мережі), то $k_s = k_t = k = 1.65$, яке характеризує порогові рівні сигналів і стосунки сигнал/перешкода. Зниження порогових рівнів може привести до збільшення часу неякісного обслуговування абонентів.

Умови, вказані у формулах (2), виконуються у відсотках часу η_s і η_t в тому випадку, якщо мають місце наступні співвідношення:

$$P_{OS} = P_{\text{мин}} + k\sigma; \tag{3}$$

$$P_{OS} - P_{OI} = A_{\text{ВХ}} + k \cdot \sqrt{2} \cdot \sigma, \tag{4}$$

де $k\sigma$ – запас на завмирання корисного сигналу, забезпечуваний в системі радіотелефонного зв'язку на вході РПМ.

Баланс потужності в мережах рухливого зв'язку має бути вибраний так, щоб на кордоні зони обслуговування мережі завжди виконувалося необхідне співвідношення, а територіальне і частотне рознесення між поєднуваними мережами має бути таким, щоб виконувалося співвідношення (4). Прийнятий вище запас на завмирання корисного сигналу відповідає вимогам забезпечення мінімальної напруженості поля сигналу для захисту мобільних станцій цифрових і аналогових систем стільникового зв'язку, вказаним в Рекомендації СЕРТ.

Необхідно враховувати, що енергетичні параметри РЕС стільникових мереж зв'язку повинні вибиратися з умови забезпечення необхідного радіусу зони покриття базової станції (БС) кожної мережі. Радіуси зон покриття БС мають бути враховані при розрахунку величини територіального рознесення між РЕС.

Таким чином на підставі (3) і (4) рівняння ЕМС РЕС може бути записане в наступному вигляді:

$$P_{\text{мин}} - P_{OI} \geq A + k \cdot (\sqrt{2} - 1) \cdot \sigma \tag{5}$$

де $P_{\text{мин}}$ – чутливість РПМ (рецептора радіоперешкод), дБВт;

A – захисне відношення РПМ в поєднаному каналі, дБ;

$k \cdot (\sqrt{2} - 1) \cdot \sigma$ – запас на завмирання сигналу і радіоперешкоди, дБ;

P_{OI} – потужність радіоперешкоди на вході РПМ, дБВт.

$$P_{OI} = P_{\text{РПД}} + G_{\text{РПД}}(\varphi_{\text{РПМ}}) + G_{\text{РПМ}}(\varphi_{\text{РПД}}) + U_{\text{РПД}} + U_{\text{РПМ}} + N(\delta f) - L(R), \tag{6}$$

де $P_{\text{РПД}}$ – потужність радіопередавача джерела радіоперешкод, дБВт;

$G_{\text{РПД}}$ (РПМ) – коефіцієнт посилення антени РПД в напрямі на РПМ, дБ;

$G_{\text{РПМ}}$ (РПД) – коефіцієнт посилення антени РПМ в напрямі на РПД, дБ;

$U_{\text{РПД}}, U_{\text{РПМ}}$ – загасання в тракці антенного фідера РПД і РПМ, дБ;

$N(\delta f)$ – ослаблення радіоперешкоди в лінійному тракці РПМ, дБ;

$\delta f = f_{\text{РПД}} - f_{\text{РПМ}}$ – частотний розлад, МГц;

$L(R)$ – втрати на трасі поширення сигналів від РПД (в даному випадку джерела радіоперешкод) до РПМ (рецептору радіоперешкод), дБ.

Ці втрати прийнято називати основними втратами передачі, які розраховуються від входу передавальної ізотропної антени до виходу приймальної ізотропної антени.

На рис. 1 показана структура лінії радіозв'язку і основні терміни, використовувані для уявлення про втрати передачі.



Рис. 1. Структура лінії радіозв'язку

Залежність ослаблення перешкоди від розладу f обчислюється за формулою

$$N(\delta f) = 10 \cdot \lg \left(C \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} S(f) \cdot K^2 \cdot (f - \delta f) dtf \right). \quad (7)$$

Тут C – коефіцієнт нормування; $S(f)$ – спектр сигналу радіопередавачі; $K(f)$ – нормована функція вибіркості радіоприймача (амплітудно-частотна характеристика).

Спектр сигналу і функція вибіркості є найважливішими технічними характеристиками РЕС, що істотно впливають на умови їх ЕМС.

Тому до рівнів позасмугових і побічних випромінювань радіопередавачів пред'являються особливі вимоги.

При оцінці ЕМС РЕС з метою перевірки відповідності параметрів сигналів РЕС встановленим вимогам необхідно керуватися єдиними нормами на позасмугові і побічні випромінювання радіопередавальних пристроїв цивільного призначення.

На думку ЕРС рекомендації СЕРТ/ЕРС 74-01Е для рівнів побічних випромінювань РЕС сухопутної рухливої служби повинні передивлятися кожні три роки відповідно до змін технологій і регулюючих вимог і мають бути використані адміністраціями як керівництво для розробки відповідних стандартів.

Висновки

У статті проаналізована методика розрахунку ЕМС стільникових мереж зв'язку. Показано, що для цього можна використовувати спрощену модель радіолінії. Для перевірки адекватності зроблених розрахунків даються рекомендації по інтервалам часу між експериментальними вимірюваннями рівнів електромагнітного поля.

Список літератури

1. Стороженко В.В. Методика розрахунку ЕМС рухливих систем зв'язку в діапазонах ОВЧ і УВЧ / В.В. Стороженко, А.Г. Малицький // Зв'язок. – 2001. – С. 29-30.
2. Виноградов Е.М. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів / Е.М. Виноградов, В.И. Винокуров, И.П. Харченко. – Л.: Суднобудування, 1986. – 264 с.
3. Князев А.Д. Елементи теорії й практики забезпечення електромагнітної сумісності радіоелектронних засобів / А.Д. Князев. – М.: Радіо й зв'язок, 1984. – 336 с.
4. Петровский В.И. Електромагнітна сумісність радіоелектронних засобів / В.И. Петровский, Ю.Е. Сидельников. – М.: Радіо й зв'язок, 1986. – 216 с.

Надійшла до редколегії 27.08.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. завідувачий кафедри радіоелектроніки В.Д. Карлов, Харківський університет Повітряних Сил, Харків.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВАХ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ

Н.С. Калашник, И.Г. Леонов, Н.Н. Мироничева, А.И. Нос

В настоящее время принимая во внимание массовый рост числа пользователей радиочастотным спектром проблема ЕМС РЕЗ приобретает весьма важное значение не только в рамках отдельных служб радиосвязи но и между разными службами. Успешное решение этой проблемы необходимо связывать прежде всего с развитием новых спектрально эффективных радиотехнологий что позволяют при ограниченном частотном ресурсе существенно повышать потенциальную емкость сетей радиосвязи общего пользования. Эта комплексная проблема объединяет все элементы радиointерфейса современных сетей связи, включая радиосигналы как носители информации, средства их генерации, обработки и излучения (приему) и способы организации радиосвязи - все что в совокупности определяет множественный (многостанционный) доступ в сети на основе методов частотного, временного, кодового и пространственного (или их совокупность) разделения каналов пользователей. Проведен выбор методики оценки ЕМС в этих условиях. Предложенные основные параметры сотовой сети, которые оцениваются.

Ключевые слова: сотовая сеть связи, электромагнитная совместимость, методика расчета.

SOME FEATURES OF ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY ARE IN MODERN MOBILE COMMUNICATION MEANS

N.S. Kalashnik, I.G. Leonov, N.N. Mironisheva, A.I. Nos

Presently having regard to the mass increase of number of users by a radio frequency spectrum the problem of EMS RES acquires an essential value not only within the framework of separate services of radio contact but also between different services. The successful decision of this problem must be bound foremost to development of new spectral effective radiotechnologies what is allowed at the limited frequency resource substantially to promote the potential capacity of networks of radio contact of the general use. This complex problem unites all elements of radiointerface of modern communication networks, including radio signals as carriers of data, facilities of their generation, treatment and radiation (to the reception) and methods of organization of radio contact - all that in an aggregate determines plural access in a network on the basis of methods of frequency, code and spatial (or their aggregates) TDM of users. A choice is conducted to the methods of estimation of EMC in these terms. Offered basic parameters of cellular network, which are estimated.

Keywords: cellular communication network, electromagnetic compatibility, methods of calculation.