АДАПТАЦІЯ БЕЗПРОВОДОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ В УМОВАХ СКЛАДНОЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ СУМІСНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ПОЛІГОНУ

Куля Ю.Е., Шостко І.С.

Кафедра «Інфокомунікаційної інженерії імені В.В. Поповського», Харківский національний університет радіоелектроніки, Україна.

E-mail: d_ts@nure.ua

Abstract

In the case of simultaneous operation of the wireless sensor network and other wireless telecommunication systems (TCS) or electronic means (REMs) focused on the territory of the polygon and using the same frequency resource of 2.4 GHz, it is necessary to solve the problem of electromagnetic compatibility (EMC) taking into account the limits of the range Radio communication for individual nodes of the c (IMS).

Вступ

Просторові параметри електромагнітної перешкоди характеризуються утворенням «зони заважання». Під «зоною заважання» мають на увазі область простору, в межах якої рівень енергії і частотний спектр випромінювання технічного засобу (ТЗ) не дозволяє одночасно використовувати інші ТЗ без зниження якості їх функціонування. Розміри «зони заважання» залежать від смуги частот, в якій генерується поле, його енергетичного рівня, а також способу його випромінювання і навколишніх умов поширення. Відповідно, об'єкти треба розмістити на полігоні таким чином, щоб їх «зони заважання» не перетиналися. З цією метою потрібно визначитися з принципами адаптивного управління АРПr в радіоприймачах і АРПt в радіопередавачах вузлів єдиної інформаційно-вимірювальної системи (ІВС).

Варіанти адаптації по енергетичним параметрам

Розглянемо роботу безпроводової сенсорної мережі ІВС де функціонує безліч сенсорів, з'єднаних між собою радіолініями двостороннього зв'язку. Для всіх пристроїв сенсорної мережі порогова потужність прийому P_{por} радіоприймальних пристроїв (РПрП) і максимальна потужність випромінювання P_t радіопередавальних пристроїв (РПдП) однакові. Розглянемо поки одну радіолінію, яка утворена: кінцевим пристроєм (КП) і маршрутизатором (МП). У кожному пристрої використовуються відповідно радіопередавач і радіоприймач РПдП (КП), РПрП (КП), та РПрП (МП), РПдП (МП).

На рис. 1 зображена структурна схема радіолінії двостороннього зв'язку, що складається з двох модулів мережі: РПдП (МП) – РПрП (КП) і РПдП (КП) – РПрП (МП).

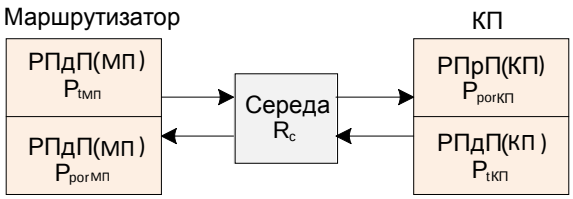

Рис. 1. Схема радіолінії двостороннього зв'язку

На схемі позначені параметри: $P_{tМП}$ – потужність випромінювання передавача МП; $P_{porМП}$ – порогова чутливість приймача МП; параметр R_c – дальність радіозв'язку; $P_{tКП}$ та $P_{porКП}$ – відповідні параметри КП.Параметр R_c приймає значення від $R_{\min}$ – найменшої допустимої дальності зближення приймача і передавача пристроїв КП і МП до $R_{\max}$ – максимальної дальності дії: $R_{\min} \le R_c \le R_{\max}$.

У радіолінії двостороннього зв'язку потрібно дотримуватися енергетичного балансу

$$P_{tMM}P_{porMo} = P_{tOO}P_{porOo} \ . \qquad (1)$$

Таким чином, існує енергетичний резерв, який може використовуватися при адаптації в інтересах кращого забезпечення ЕМС. При дальності, меншій за максимальну, допустимо загрублення приймача, тобто збільшення $P_{porКП}$ або $P_{porМП,}$ або зниження потужності випромінювання $P_{tКП}$ або $P_{tМП}$. Це повинно робитися так, щоб виконувалося співвідношення (1). Таким чином, при адаптації потрібно змінювати як мінімум два параметри.

Детермінована модель радіоприймача.

Припустимо, що в РПрП реалізована ідеальна амплітудна характеристика, тобто $P_{вих} = P_{ових} =$ const у всьому динамічному діапазоні вхідних сигналів $P_{\text{por}} \le P_r \le P_{\max}$. Таким чином, РПрП уявляємо як пристрій з потужністю порогового сигналу P_{por}, розрахований на прийом сигналів, що не перевищують $P_{\max}$.

Статистична оцінка порогової потужності радіоприймача.

Для оцінки ефективності АРПг в РПрП (КП) скористаємося моделлю мережі з топологією зірка.

У центрі мережі знаходиться МП, а КП може встановлюватись стаціонарно або на рухомому об'єкті. Відстань від КП до центру МП – величина випадкова. Отже, на вході РПрП (КП) буде діяти сигнал випадкової потужності:

$$P_r = P_t A R_c^{-2} K_{посл}, \qquad (2)$$

де P_t – потужність передавача МП; $A = G_t \cdot A_r / 4\pi$; $K_{посл}$- коефіцієнт ослаблення сигналу між приймачем і передавачем.

Випадковими параметрами в (2) є відстань R_c ($R_{\min} \le R_c \le R_{\max}$) та коефіцієнт $K_{посл}$. Нехай в БСМ працює один канал: РПдП(МП) – РПрП(КП). На вході РПрП (КП) потужність P_r буде приймати випадкові значення в діапазоні від $P_{por} = P_t A R_{\max}^{-2} K_{посл}$ до $P_{\max} = P_t A R_{\min}^{-2} K_{посл}$. Завдяки ідеальній АРПt на всьому діапазоні відстаней забезпечується постійне значення потужності $P_{0вви}$.

Місцезнаходження КП всередині БСМ вважаємо рівноймовірним на всій її площі. Тоді щільність ймовірності випадкової величини R_c [1]:

$$\rho(R_c) = 2R_c / \left(R_{\max}^2 - R_{\min}^2\right), \ R_{\min} \le R_c \le R_{\max}. \qquad (3)$$

В умовах пересіченій місцевості полігону випадковою величиною є також коефіцієнт послаблення сигналу $K_{посл}$ в (2). До теперішнього часу, спираючись на ґрунтовну наукову розвідку [1], можна дати лише приблизну оцінку $\rho(K_{посл})$ або експериментально оцінити $K_{посл}$ для конкретних умов.

Формула (2) пов'язує потужність P_r сигналу на вході приймача і випадкові параметри R_c та $K_{посл}$. Це дозволяє шляхом функціонального перетворення розподілу (3) з урахуванням (2) і при наявності імовірнісного розподілу $\rho(K_{посл})$ отримати розподіл $\rho(P_r)$ за допомогою якого відомим способом [1] розраховується середнє значення потужності сигналу $P_{rср}$. При ідеальної, за рахунок АРПt, амплітудної характеристиці РПрП (КП) (рис. 13) значення $P_{rср}$ може бути прийнято в якості середньої порогової потужності прийому.

Оскільки в нашому розпорядженні немає імовірнісного розподілу $\rho(K_{посл})$, то можна розраховувати $\rho(P_r)$ при постійних значеннях $K_{посл}$, що змінюються від 0 до 1 залежно від висоти роз-

ташування елементів БСМ, рельєфу місцевості або забудови. Зокрема, для відкритого простору візьмемо $K_{посл} = 1$. Тоді згідно [1] при великому динамічному діапазоні сигналів, коли $P_{\max} >> P_{por}$ маємо

$$\rho(P_r) = P_{por} / P_r^2, \quad P_{por} \le P_r \le P_{\max}.$$

Відповідно середнє значення порогу потужності прийому при роботі АРПt визначається з виразу:

$$P_{rср} = P_{poo} \ln(P_{\max} / P_{por}). \tag{4}$$

Визначимо для умов відкритого простору ($K_{посл} = 1$) відносне збільшення при ідеальній АРПt порогу потужності прийому $P_{rср} / P_{poo}$ радіоприймача, якщо дальність R_c змінюється в діапазоні від R_{min}=10 м до R_{max}=1 км. Динамічний діапазон вхідних сигналів

$$\frac{P_{\max}}{P_{por}} = \frac{P_t A R_{\min}^{-2}}{P_t A R_{\max}^{-2}} = \frac{R_{\max}^2}{R_{\min}^2} = 10^4 .$$

За допомогою (4) отримаємо $\frac{P_{rср}}{P_{poo}} = \ln 10^4 \approx 9{,}2$.

Радіоперешкоди.

Сукупність перешкод на вході РПрП розділимо на дві групи: перешкоди, що залежать від топології і просторового розташування елементів БСМ, і перешкоди, що від цього не залежать. На вході РПрП діятимуть перешкоди, внутрішні і зовнішні, сумарна потужність яких дорівнює $P_ш$. Крім того, у разі одночасної роботи БСМ і інших РЕЗ, зосереджених на одній території, додатково утворюється специфічна перешкода в результаті багаторазового використання співпадаючих за налаштування радіоканалів. Назвемо її мережевою радіоперешкодою, потужність якої $P_{мрп}$. Таким чином, на вході РПрП (КП) буде діяти перешкода потужністю

$$P_п = P_ш + P_{мрп} . \tag{5}$$

Як було показано вище, для кожного елемента БСМ здійснюється селекція за дальністю. Встановлюємо мінімальну відстань D між вузлами БСМ і іншими РЕЗ:

$$D = R_{\max}\sqrt{2} .$$

При збільшенні дальності між КП та іншими РЕЗ умови поширення радіохвиль різко погіршуються і якщо дальність R перевищить граничне значення $D_{гр}$ [2], впливом перешкоди можна знехтувати.

Потужність перешкоди можна розрахувати за формулою (4). Потужність $P_{мрп}(\mathrm{D_{гр}})$, що прийнята антеною РПрП в моделі вільного простору визначається виразом:

$$P_{мрп}(\mathrm{D_{гр}}) = \mathrm{P_t} A D_{гр}^{-2} \mathrm{K_{посл}} .$$

Перепишемо це рівняння у вигляді

$$P_{мрп}(\mathrm{D_{гр}}) = \mathrm{P_t} A D^{-2} \mathrm{K_{посл}} \left(\frac{\mathrm{D}}{\mathrm{D_{гр}}}\right)^2 .$$

Втрати в радіоканалі, $\overline{PL(D_{гр})}$ – це ослаблення сигналу між приймальною антеною модуля БСМ і передавальною антеною джерела, що створює перешкоду, визначається як

$$\overline{PL(D_{гр})} = \frac{P_t}{P_{мрп}(D_{гр})} = \frac{D^2}{AK_{посл}} \left(\frac{D_{гр}}{D}\right)^2 .$$

У децибелах наведений вище вираз може бути записано

$$\overline{\mathrm{PL}(\mathrm{D_{гр}})} = \mathrm{PL}(\mathrm{D})_{dB} + 20\log_{10}\left(\frac{\mathrm{D_{гр}}}{\mathrm{D}}\right).$$

Зміна рівня P_n на великих відстанях через пересічену місцевість і наявність великих об'єктів в навколишньому середовищі є причиною того, що два різних приймача, рівновіддалені від передавача, приймають переданий сигнал з різною потужністю. Затінення може бути представлено як додатковий випадковий компонент, доданий до втрат на трасі, і таким чином ефективні втрати на трасі на заданій відстані від передавача є випадковими і підкоряються логарифмічно-нормальному закону розподілу з математичним очікуванням $\mathrm{PL}(\mathrm{D_{гр}})$:

$$\mathrm{PL}(\mathrm{D_{гр}})_{\mathrm{dB}} = \overline{\mathrm{PL}(\mathrm{D_{гр}})}_{dB} + X_\sigma, \tag{6}$$

де $X_\sigma \sim N(0,\sigma^2)$ – Гаусові випадкові зміни.

Порогова фільтрація в БСМ.

За задумом, в БСМ для поліпшення ЕМС на додаток до всіх інших видів селекції здійснюється поділ сигналів за дальністю поширення радіохвиль. Основним радіотехнічним ланцюгом такого поділу є граничний пристрій. Його дію можна характеризувати як пороговий ефект, який зводиться до того, що приймаються лише сигнали (перешкоди) з потужністю на вході РПрП $P_r > P_{por}$, де P_{por} – поріг потужності прийому.

Певне уявлення про співвідношення потужностей у БСМ на вході РПрП дає рис. 2. Поріг потужності P_{por} прийому

$$P_{por} = \gamma(P_ш + P_{МРП}) = \gamma P_n, \tag{7}$$

де γ – коефіцієнт необхідного перевищення порогового сигналу над перешкодами.

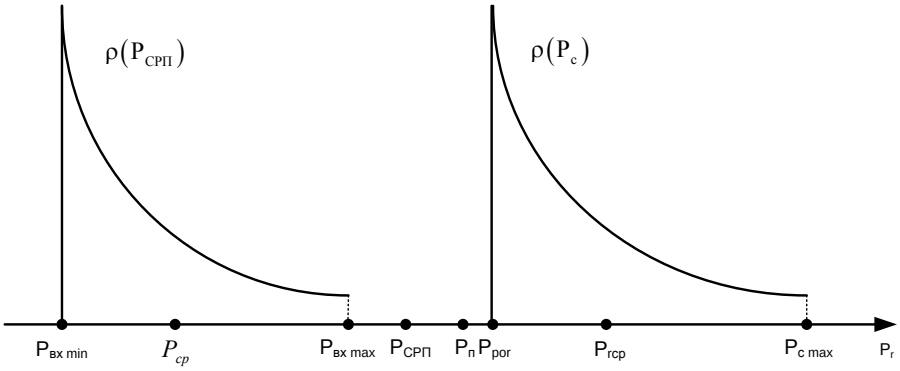

Рис. 2. Співвідношення потужностей сигналу і перешкод у БСМ на вході РПрП

За допомогою порогу забезпечується поділ сигналів і перешкод, як по амплітуді, так і по дальності поширення радіохвиль.

Висновки

В роботі пропонується використовувати методи адаптивного управління автоматичним регулюванням посилення (АРПr) в радіоприймачах і автоматичного регулювання потужності (АРПt) в радіопередавачах. При дальності, меншою максимальною, допустимо загрубіння приймача, або зниження потужності випромінювання передавача.

В результаті дії АРПr в АРПt зростає ймовірність ЕМС завдяки зменшенню середнього числа проникаючих на вихід радіоприймача сигналів, що заважають. Якщо АРПr призводить лише до з загрубіння радіоприймача, а електромагнітна обстановка при цьому істотно не змінюється, то застосування АРПt в радіопередавачах має привести до зменшення інтенсивності електромагнітних полів. І те, і інше сприяє кращому використанню ЕМС.

Література:

1. Апорович А. Ф. Статистическая теория электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств / А. Ф. Апорович. – Минск : Наука и техника, 1984. – 215 с.

2. Широкополосные беспроводные сети передачи информации / В. М. Вишневский, А. И. Ляхов, С. Л. Портной, И. В. Шахнович. – Москва : Техносфера, 2005. – 592 с.