

УДК 621.391.8:621.396.96

А.Ю. Денисюк, к.т.н., доц.  
Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова

### ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МЕТОДІВ НАБЛИЖЕННЯ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАГЛУШЕННЯ АКТИВНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ ПЕРЕШКОД

*Розглядається можливість коригування частотної характеристики допоміжного каналу прийому автокомпенсатора за допомогою поліноміальної апроксимації. Пропонуються кола коригування, які дозволяють здійснити коригування даного виду.*

Одним з найбільш ефективних засобів, які створюють суттєві перешкоди роботі РЛС, є закидані передавачі перешкод одноразової дії (ЗПП). З приводу високої чутливості приймальної апаратури РЛС використання навіть одного ЗПП може призвести до різкого зниження інформаційних можливостей засобів, і, як наслідок, до невиконання задач, які покладаються на них. Внаслідок того, що перешкода, яку створює ЗПП, широкосмугова ефективність такого виду протидії, як перебудова несучої частоти, зводиться до нуля [1], [4], [7].

Використання в РЛС таких типових схем перешкодозахисту, як ШАРП, МАРП і диференціюючі кола, як показали експериментальні дослідження, не знижують ефективності дії перешкод, які створюють ЗПП.

Використання такого способу протидії перешкодам, як пошук і знешкодження для крупнопертурних і високочутливих РЛС, малоприйнятний. Це особливо важливо тоді, коли висуваються жорсткі вимоги до термінів на компенсацію цього впливу, тому що площі, на яких потрібно вести пошук, досить значні.

Одним із способів захисту від активних перешкод є просторова фільтрація, яка полягає у формуванні провалів в діаграмі направленості в напрямку на джерело перешкод шляхом зміни АФР на антенному полотні [4], [6]. Підбір його здійснюється дослідним шляхом, що не завжди дозволяє до максимального ступеня ослабити перешкоду.

Досить перспективним представляється сумісна оцінка цілей і передавачів активних перешкод з послідуочим розділом сигналів [1], [4]. Вона дає добрі результати у випадку, якщо з достатньою точністю відома діаграма направленості приймальної РЛС. Це можливо лише для головного і першого – другого бокових пелюстків, тому що на формування послідуочих бокових пелюстків суттєвий вплив здійснює характер підстилаючої поверхні та місцеві предмети. Таким чином, цей спосіб буде неефективним у випадку приходу сигналу активної перешкоди по дальніх бокових пелюстках, що може мати місце при використанні ЗПП.

Найбільш природним способом захисту від активних широкосмугових перешкод є їх когерентна компенсація за допомогою кореляційного автокомпенсатора [4], [6]. Відомо, що кореляційні автокомпенсатори, які входять до складу РЛС, ефективно працюють лише у тому випадку, якщо частотні спектри перешкод в основному (ОК) та допоміжному каналі (ДК) прийому однакові, що забезпечує високу кореляцію перешкодових коливань. Така ситуація звичайно спостерігається, якщо джерело активних перешкод вузькосмугове і знаходиться в дальній зоні антени.

Якщо ж джерело активних перешкод широкосмугове, то спектри перешкодових коливань в основному та допоміжному каналах прийому істотно відрізняються.

Таким чином, виникає задача усунення розбіжностей між частотними спектрами перешкоди в основному і допоміжному каналах прийому.

Усунення перевертень частотного спектру перешкоди в основному каналі прийому не представляється можливим, тому що в основному каналі присутній неперевертений корисний сигнал, інформативність якого у випадку перетворення спектру суміші корисного сигналу і перешкоди значно знизиться. Тому представляється розумним, управляючи частотною характеристикою допоміжного каналу, ввести до спектру допоміжного каналу ті ж перевертень, що і в основному каналі.

Для підвищення ефективності роботи кореляційних автокомпенсаторів пропонується ввести кола корекції частотних спектрів перешкоди в допоміжному каналі прийому.

Пропонується побудова таких кіл корекції на основі поліноміальної апроксимації необхідної частотної характеристики допоміжного каналу прийому. Згідно з цим способом частотна характеристика ДК приводиться у відповідність до частотної характеристики ОК шляхом подання її у вигляді полінома. Геометрично це означає подання необхідної частотної характеристики у вигляді суми постійного, лінійного, квадратичного, кубічного і т.п. членів.

Частотна характеристика ДК перетворюється до вигляду:

$$F_{BK}(j\omega) = \sum_{i=1}^n \dot{K}_i (\omega - \omega_0)^{i-1} F_{BK_0}(j\omega), \quad (1)$$

де  $\omega_0$  – середня несуча кругова частота РЛС;

$F_{BK_0}(j\omega)$  – початкова частотна характеристика ДК прийому;

$\dot{K}_i$  – комплексний коефіцієнт передачі  $i$ -го підканалу;

$\omega$  – поточне значення кругової частоти.

Фізична реалізація способу базується на розбитті ДК на декілька підканалів, у кожен з яких включений частотно-залежний фільтр, який вносить у спектр перешкоди у всій смузі перепустки викривлення лінійного, квадратичного, кубічного і т.п. характеру. Для цього фільтри мають лінійну, квадратичну, кубічну і т.д. амплітудно-частотну характеристику.

Структурна схема кореляційного автокомпенсатора з колом коригування частотного спектру перешкоди на базі частотно-залежних фільтрів з різними АЧХ показана на рис. 1.

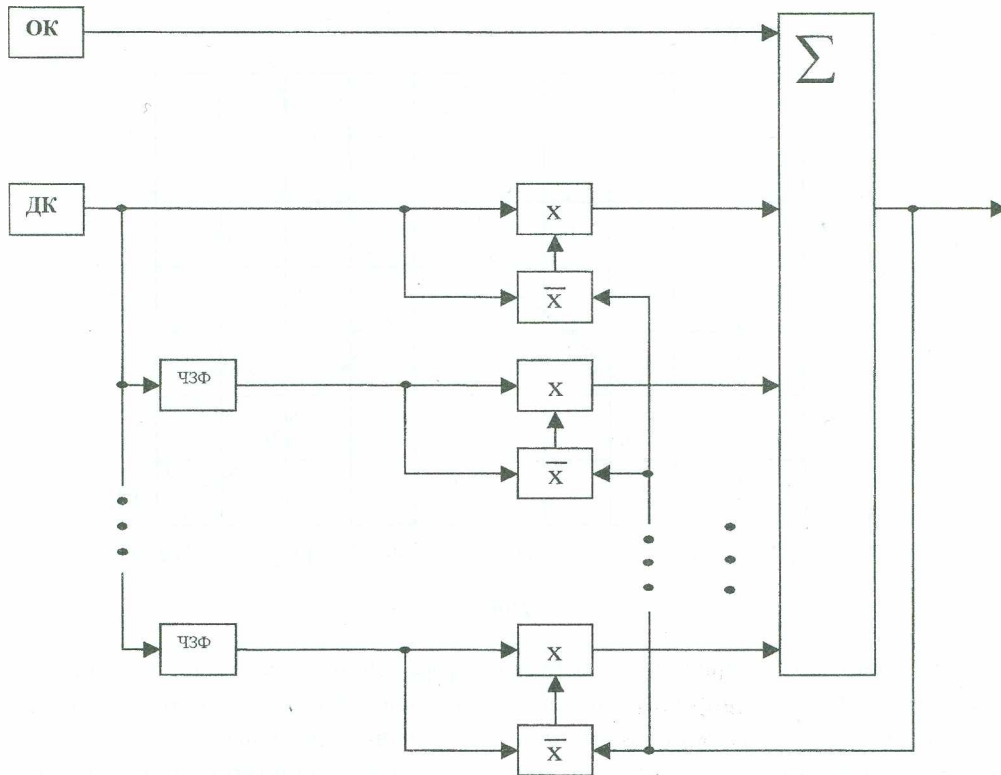


Рис. 1

Кожен з частотно-залежних фільтрів виконаний на базі двохідного суматора та лінії затримки (рис. 2). Необхідна частотна характеристика фільтра формується шляхом підбору лінії затримки.

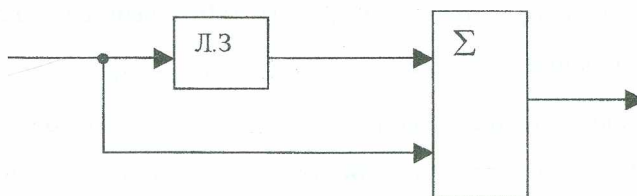


Рис. 2

Результати моделювання роботи автокомпенсатора з колами коригування, описаними вище, подані на рис. 3, рис. 4.

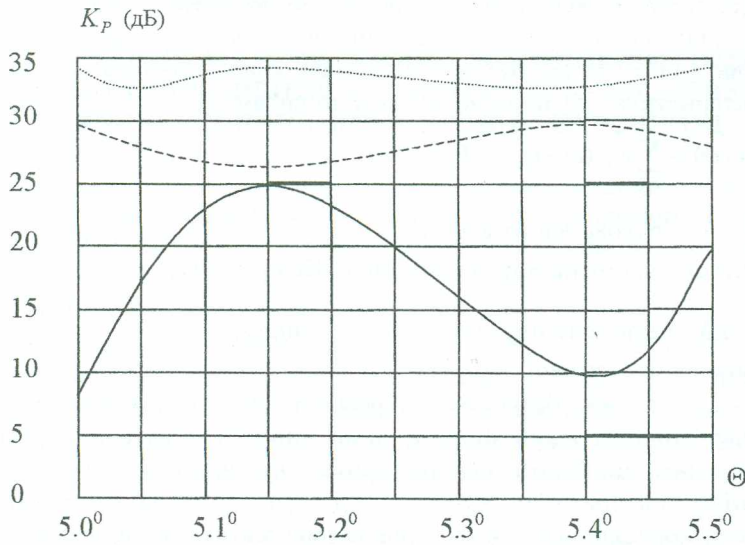


Рис. 3

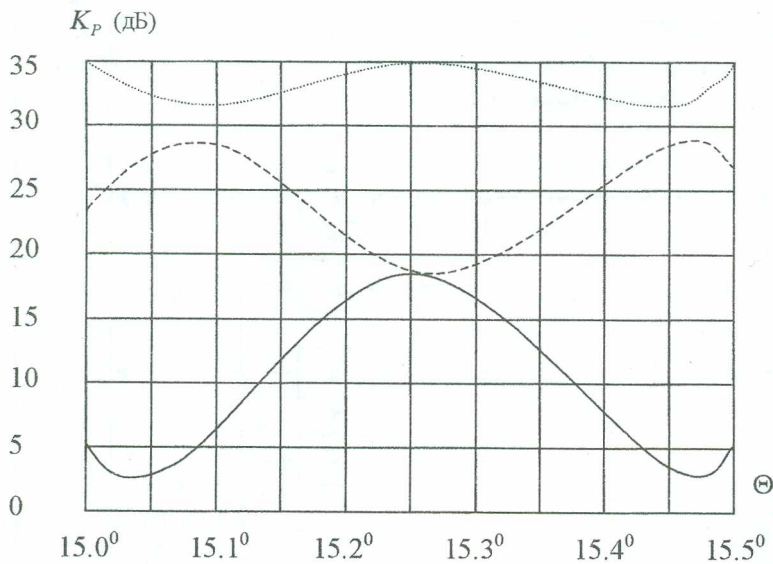


Рис. 4

На даних рисунках наведені залежності коефіцієнтів заглушення від напрямку на перешкодоносій для кореляційного автокомпенсатора без і з колом корегування. Тут штриховою лінією показана характеристика заглушення компенсатора, який використовує апроксимацію необхідної частотної характеристики ВК поліномом, що має постійний та лінійний члени. Пунктирною лінією показана аналогічна характеристика, але для автокомпенсатора, який використовує постійний, лінійний та квадратичний члени полінома. Лінією без розривів показана характеристика заглушення звичайного одноканального кореляційного автокомпенсатора. Розрахунки здійснювались при наступних даних. Відносний розмір приймальної антени  $l_{отн}$  прийнятий рівним 150. Рівень внутрішніх шумів приймального тракту в ОК і ДК вибраний таким чином, що  $\xi_0 = \xi_1 = 1/5000$ . Відносна відстань до джерела перешкод  $r_0 = r/\lambda = 2000$ . Кутівий напрям на джерело перешкод змінюється у діапазонах  $5^\circ$ – $5,5^\circ$  та  $15^\circ$ – $15,5^\circ$ . Смуга перепустки приймального пристрою складає 2 % від несучої частоти радіолокатора, тобто 0,99–1,01.

Аналіз результатів моделювання показав, що звичайні одноканальні автокомпенсатори мають дуже низьку ефективність при дії широкосмугових перешкод. Значення коефіцієнта заглушення при різних умовах змінюється від 0 до 30 дБ, середнє значення лежить у межах 10–17 дБ при нерівномірності характеристик заглушення  $\pm 10$ –15 дБ.

Кількість підканалів блока корегування розумно взяти не більше трьох, оскільки подальше збільшення кількості підканалів не дає істотного зростання коефіцієнта заглушення. Такий автокомпенсатор забезпечує середнє значення коефіцієнта заглушення 32–34 дБ, при цьому нерівномірність характеристики придушення не перевищує  $\pm 2$  дБ.

Врахування додаткових факторів вочевидь приведе до деякого зниження середнього значення коефіцієнта заглушення перешкоди, проте суттєво не вплине на характер і взаємне розташування кривих на діаграмах.

### Висновки

1. З існуючих способів захисту РЛС від перешкод, які створюють закидані передавачі перешкод, найбільш прийнятним є використання кореляційних автокомпенсаторів.
2. Для підвищення ефективності роботи кореляційного автокомпенсатора слід ввести кола корекції частотних спектрів перешкоди до допоміжного каналу прийому.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Радіотехніка: Енциклопедичний навчальний довідник: Навч. посібник / За ред. Ю.Л. Мазора, Є.А. Мачуського, В.І. Правди. – К.: Вища шк., 1999. – 838 с.
2. Васильєва А.Б., Тихонов Н.А. Интегральные уравнения. – М.: МГУ, 1989. – 156 с.
3. Основы научных исследований: Учебное пособие. – К.: Изд-во Европ. ун-та, 2002. – 110 с.
4. Ширман Я.Д. Теоретические основы радиолокации. – М.: Сов. радио, 1970. – 320 с.
5. Кинг Р., Тай-Цзунь У. Рассеяние и дифракция электромагнитных волн: Пер. с англ. / Под ред. Э.Л. Бурштейна. – М.: Изд-во ин. литературы, 1962. – 193 с.
6. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 268 с.
7. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. В 3-х т. – Т. 2 – М.: Сов. радио, 1968.
8. Васильєва А.Б., Тихонов Н.А. Интегральные уравнения. – М.: МГУ, 1989. – 156 с.

ДЕНИСЮК Анатолій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри радіоелектроніки Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання складних систем;
- обробка радіолокаційної інформації на фоні перешкод;
- підвищення точності виміру координат на фоні перешкод.

Подано 17.06.2004