

ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ АПРОКСИМАЦІЇ ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОПОМІЖНОГО КАНАЛУ ПРИЙОМУ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАГЛУШЕННЯ АКТИВНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ ПЕРЕШКОД

Розглядається можливість коригування частотної характеристики допоміжного каналу прийому автокомпенсатора за допомогою ступінчастої, Фур'є та поліноміальної апроксимації. Пропонуються кола коригування, які дозволяють здійснити коригування різних видів, і проводиться порівняльна оцінка їх ефективності.

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], [8].

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

Використання такого способу протидії перешкодам, як пошук і знешкодження для крупноапертурних 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 зі способів захисту від активних перешкод є просторова фільтрація, яка полягає в формуванні провалів у діаграмі направленості в напрямку на джерело перешкод шляхом зміни АФР на антенному полотні [4], [6], [7]. Підбір його здійснюється дослідним шляхом, що не завжди дозволяє до максимального ступеню ослабити перешкоду.

Досить перспективним є сумісна оцінка цілей і передавачів активних перешкод з наступним 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 наступних бокових пелюстків суттєвий вплив здійснює характер підстилаючої поверхні та місцеві предмети. Таким чином, цей спосіб буде неефективним у випадку приходу сигналу активної перешкоди по дальнім боковим пелюсткам, 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], [7]. Відомо, що кореляційні автокомпенсатори, які входять до складу РЛС, ефективно працюють лише в 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 завдання усунення розбіжностей між частотними спектрами перешкоди в основному і допоміжному каналах прийому.

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

Можливо запропонувати декілька варіантів таких кіл, що відрізняються способом формування необхідного спектра перешкоди в допоміжному каналі.

1. Частково-постійна апроксимація частотної характеристики допоміжного каналу

Суть її полягає в тому, що необхідна частотна характеристика допоміжного каналу прийому подається частково-постійною апроксимацією частотної характеристики основного каналу (плавна крива апроксимується ступінчастою).

Наочно дана процедура пояснюється на рис. 1.

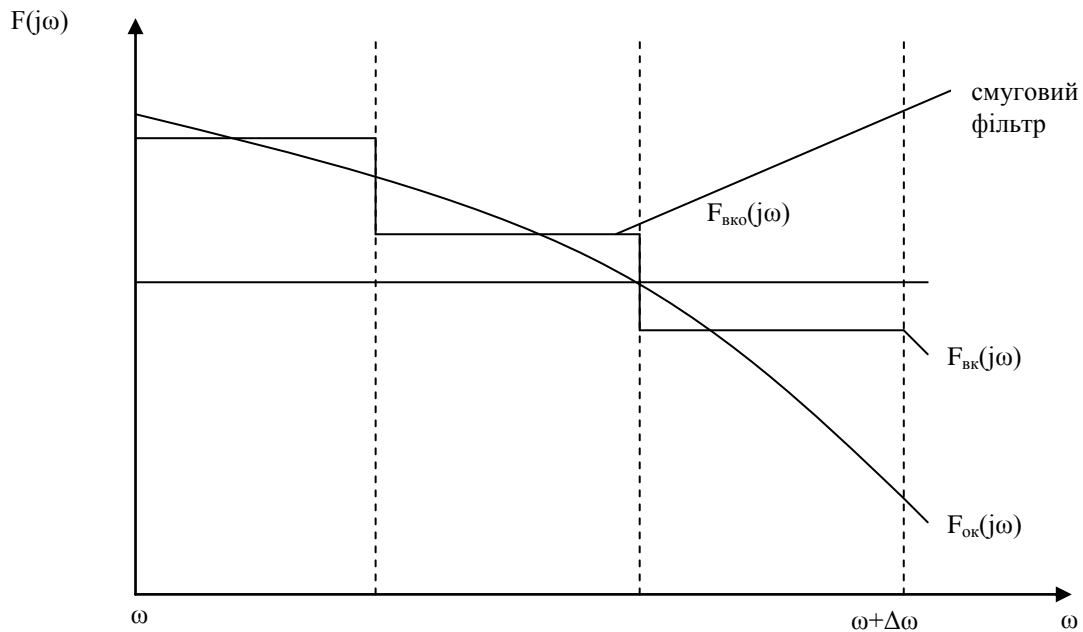


Рис. 1

Математично синтезовану частотну характеристику допоміжного каналу прийому можна представити у вигляді:

$$F_{вк}(j\omega) = \sum_{i=1}^n \dot{K}_i \cdot f(i) \cdot F_{вк_0}(j\omega),$$

де $F_{вк_0}(j\omega)$ – вихідна частотна характеристика допоміжного каналу прийому;

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

$f(i)$ – функція, рівна одиниці на i -тому інтервалі частот (відповідно до підканалу) і нулю поза ним;

i – номер підканалу;

n – кількість підканалів;

ω – поточні значення кругової частоти РЛС.

Цей спосіб еквівалентний використанню відповідної кількості (залежно від числа підканалів) одноканальних кореляційних компенсаторів, кожен з яких працює в своєму діапазоні частот, що забезпечується смуговими фільтрами.

Структурна схема кореляційного компенсатора з колом корекції частотного спектра перешкоди на основі смугових фільтрів показана на рис. 2.

Склад схеми на рис. 2.

1 – основний канал прийому;

2 – допоміжний канал прийому;

3 – смуговий фільтр;

4 – керований канальний підсилювач;

5 – корелятор;

6 – суматор.

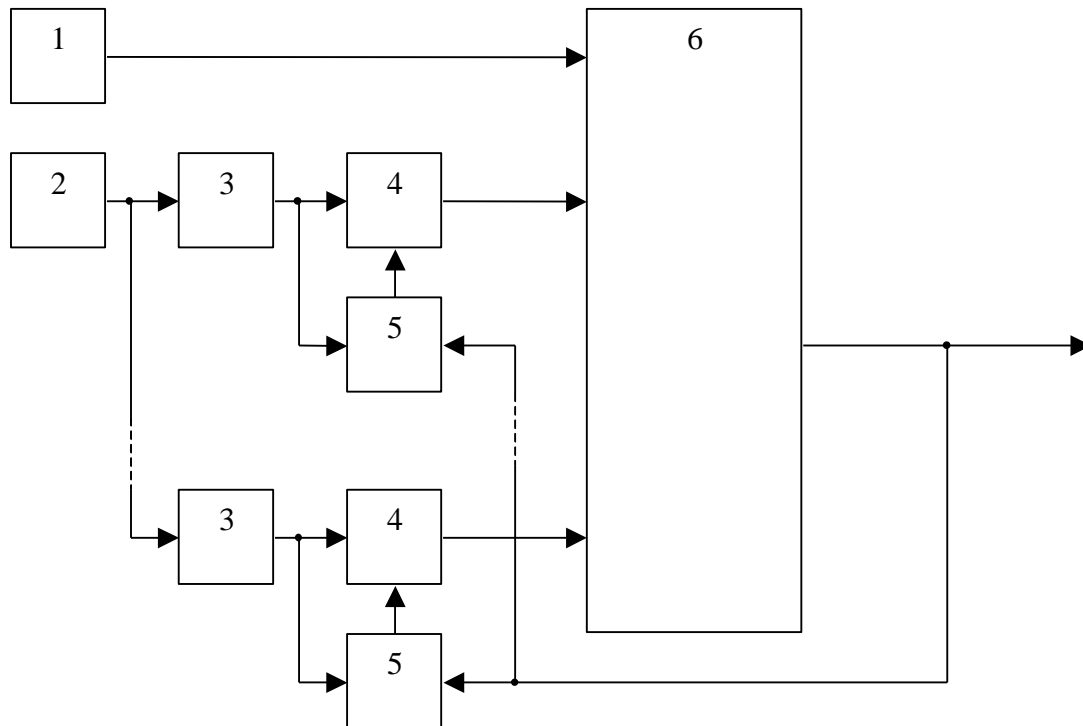


Рис. 2

Коефіцієнт підсилення керованого каналного підсилювача для кожного піддіапазону встановлюється автоматично за допомогою кореляторів (рис. 2) залежно від характеру викривлень спектра перешкоди в основному каналі прийому. Компенсація коливань перешкоди здійснюється окремо в кожному частотному діапазоні.

Якість придушення перешкоди залежить від кількості підканалів і від ступеню близькості амплітудно-частотних характеристик смугових фільтрів до прямокутних.

2. Апроксимація частотної характеристики допоміжного каналу рядом Фур'є

Цей спосіб заснований на поданні частотної характеристики допоміжного каналу прийому рядом Фур'є.

Геометрична інтерпретація: крива (ЧХ основного каналу) подається сумою гармонік, число яких визначається кількістю членів ряду.

Частотна характеристика допоміжного каналу подається у вигляді:

$$F_{вк}(j\omega) = \sum_{i=1}^{n-1} \dot{K}_i \cdot e^{-j\omega\Delta\tau} \cdot F_{BK_0}(j\omega),$$

де $\Delta\tau = 1/\Delta\omega$;

$\Delta\omega$ – смуга пропускання основного каналу;

$F_{BK_0}(j\omega)$ – вихідна частотна характеристика допоміжного каналу прийому;

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

i – номер підканалу;

n – кількість підканалів;

ω – поточні значення кругової частоти РЛС.

Фізична реалізація даного пристрою здійснюється на основі багатоконтактної лінії затримки. Лінія затримки повинна бути з тимчасовими затримками, кратними $1/\Delta\omega$.

Комплексний коефіцієнт передачі (\dot{K}_i) каналного підсилювача вибирається таким чином, щоб забезпечити мінімум дисперсії залишку некомпенсованої перешкоди на виході суматора.

Вочевидь, що точність апроксимації залежить від кількості членів ряду Фур'є та від числа контактів лінії затримки.

Схема даного пристрою показана на рис. 3.

Склад схеми:

- 1 – основний канал прийому;
- 2 – допоміжний канал прийому;
- 3 – багатоконтактна лінія затримки;
- 4 – керований каналний підсилювач;
- 5 – корелятор;
- 6 – суматор.

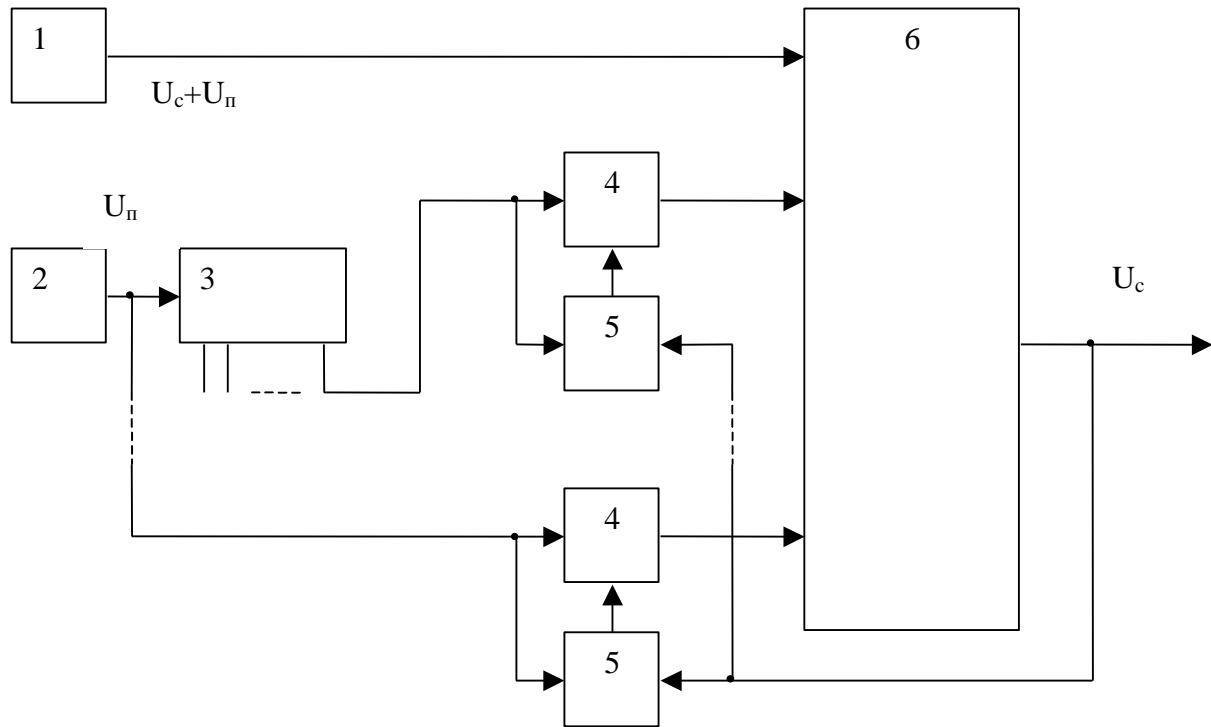


Рис. 3

3. Поліноміальна апроксимація частотної характеристики допоміжного каналу

Згідно з цим способом частотна характеристика допоміжного каналу приводиться у відповідність до частотної характеристики основного каналу шляхом подання її у вигляді полінома. Геометрично це означає представлення необхідної частотної характеристики у вигляді суми постійного, лінійного, квадратичного, кубічного членів і т.ін.

Частотно характеристика допоміжного каналу перетворюється до вигляду:

$$F_{\text{БК}}(j\omega) = \sum_{i=1}^n \dot{K}_i \cdot (\omega - \omega_0)^{i-1} \cdot F_{\text{БК}_0}(j\omega),$$

де ω_0 – середня несуча кругова частота РЛС;

$F_{\text{БК}_0}(j\omega)$ – вихідна частотна характеристика допоміжного каналу прийому;

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

i – номер підканалу;

n – кількість підканалів;

ω – поточні значення кругової частоти РЛС.

Фізична реалізація цього способу базується на розбитті допоміжного каналу на декілька підканалів, в кожен з яких включений частотно-залежний фільтр, що вносить у спектр перешкоди в усій смузі пропускання викривлення лінійного, квадратичного, кубічного характеру. Для цього фільтри мають лінійну, квадратичну, кубічну амплітудно-частотну характеристики.

Структурна схема кореляційного автокомпенсатора з колом корекції частотного спектра перешкод на основі частотно-залежних фільтрів з різними амплітудно-частотними характеристиками показана на рис. 4.

Склад пристрою:

- 1 – основний канал прийому;

- 2 – допоміжний канал прийому;
- 3 – перша лінія затримки;
- 4 – частотно-залежний фільтр;
- 5 – керований каналний підсилювач;
- 6 – корелятор;
- 7 – суматор.

Коефіцієнти підсилення підканалів, як і в попередніх випадках, автоматично встановлюються за рахунок кореляційного зворотного зв'язку таким чином, щоб забезпечити мінімум дисперсії залишку некомпенсованої перешкоди на виході суматора. В результаті такої настройки забезпечується наближення форми спектра сигналу перешкоди в допоміжному каналі до форми спектра коливань перешкоди в основному каналі.

Очевидно, що для пристрою, який використовує спосіб представлення потрібної частотної характеристики допоміжного каналу поліномом з обмеженим числом членів (рис. 4), так само як і для пристроїв, що описані в пунктах 1 і 2, якість придушення перешкоди визначається кількістю трактів видачі вагових коефіцієнтів.

Таким чином, доцільно порівняти ефективність роботи автокомпенсатора з різними колами корекції, що мають однакову кількість підканалів формування потрібної частотної характеристики допоміжного каналу прийому.

Поставлена вище задача розв'язується одним із методів математичного моделювання – методом імітаційного моделювання на ЕОМ. Досліджуваний об'єкт – приймальний тракт радіолокатора, що включає в себе кореляційні автокомпенсатори з ланцюгами корекції частотного спектра перешкоди в допоміжному каналі, подається у вигляді програми. З її допомогою визначаються характеристики якості роботи схем автокомпенсації залежно від геометричних параметрів (лінійних розмірів приймальної апертури, дальності до постановника активних перешкод і напряму на нього), смуги пропускання основного каналу прийому, довжини хвилі радіолокатора, рівня внутрішніх шумів прийомного тракту, від способів побудови ланцюгів корекції частотного спектра перешкоди в допоміжному каналі прийому. До цих характеристик належить:

- коефіцієнт взаємної кореляції напруг в основному та допоміжному каналах прийому;
- коефіцієнт заглушення перешкод.

Коефіцієнт заглушення перешкод, з урахуванням внутрішніх шумів, визначається наступним чином:

$$K_3 = \frac{1}{1 - \left(\frac{1}{1 + \xi_1}\right) \cdot \left(\frac{1}{1 + \xi_0}\right) \cdot \sum_{i=1}^N |\rho_i|^2}, \quad (1)$$

де ρ_i – коефіцієнт взаємної кореляції напруги перешкоди в основному і допоміжному каналах;

N – кількість допоміжних підканалів;

$\xi_0 = P_{шок}/P_{нок}$; $\xi_1 = P_{шдк}/P_{ндк}$ – відношення потужності шуму до потужності перешкоди в основному та допоміжному каналах відповідно.

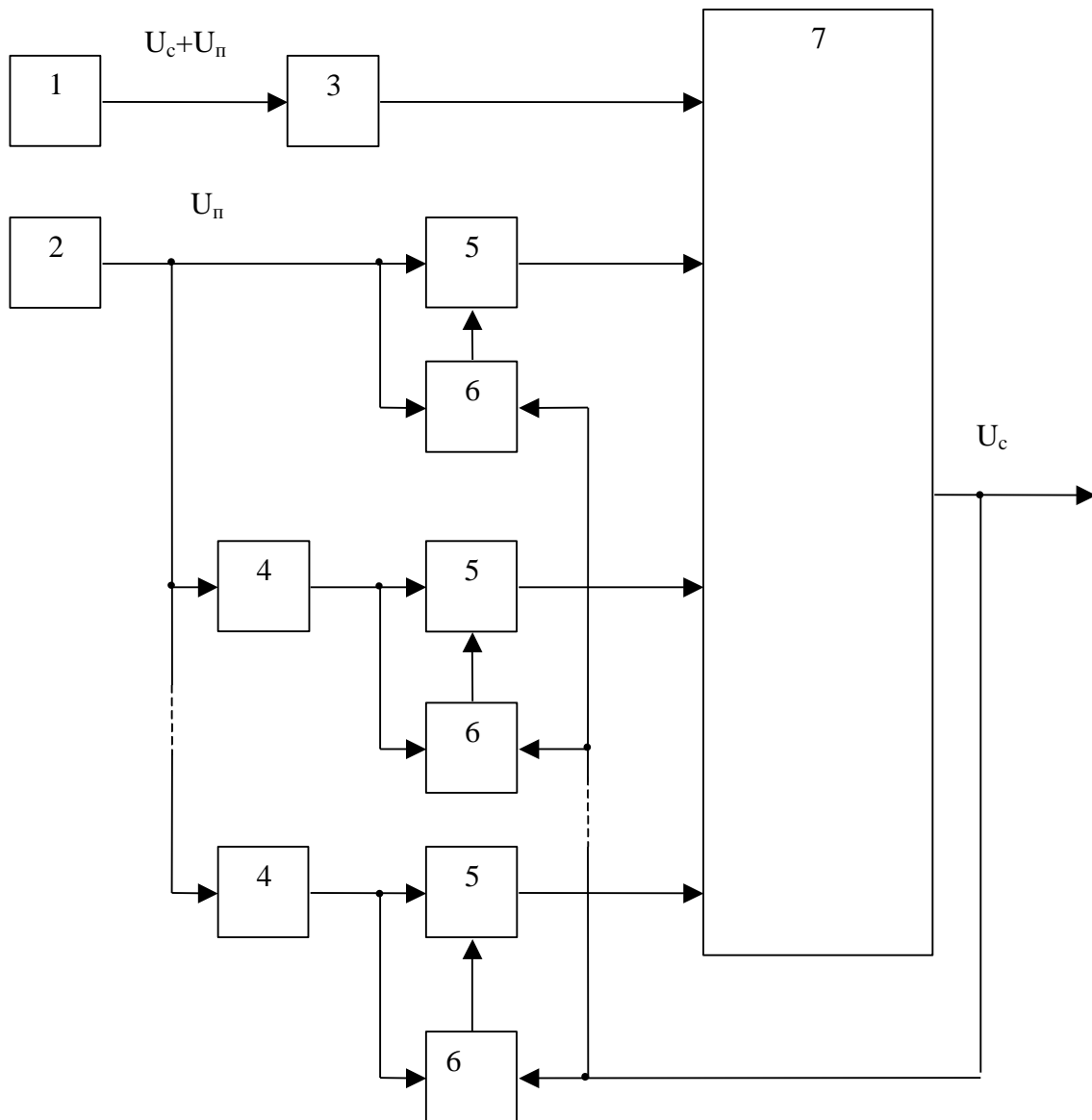


Рис. 4

Коефіцієнт взаємної кореляції напруг прямошумової перешкоди в основному каналі та i -тому допоміжному підканалі визначається за формулою:

$$\rho_i = \frac{\int_{1-\Delta\nu}^{1+\Delta\nu} \dot{\Phi}_i(j\nu) \cdot \dot{K}_0(j\nu) d\nu}{\sqrt{\int_{1-\Delta\nu}^{1+\Delta\nu} |\dot{K}_0(j\nu)|^2 d\nu \cdot \int_{1-\Delta\nu}^{1+\Delta\nu} |\dot{\Phi}_i(j\nu)|^2 d\nu}} \quad (2)$$

де $\Phi(j\nu)$ – частотна характеристика фільтра i -го допоміжного каналу;

$\nu = f/f_0$ – відносне значення частоти;

$\Delta\nu = \Delta f/f_0$ – прирощення відносної частоти;

f_0 – несуча частота;

Δf – приріст несучої частоти;

$\dot{K}_0(j\nu)$ – частотна характеристика основного каналу прийому (від виходу антени передавача перешкод до виходу приймача РЛС).

Результати моделювання роботи автокомпенсатора з різними ланцюгами корекції частотного спектра перешкоди в допоміжному каналі прийому показали, що широко розповсюджені одноканальні кореляційні автокомпенсатори мають дуже низьку ефективність, при дії широкосмугових перешкод, що

підтверджується і натурними випробуваннями. Значення коефіцієнта заглушення при різних умовах змінюються від 0 до 33 дБ, середнє значення лежить в межах 10...17 дБ, при нерівномірності характеристики подавлення – $\pm 10...15$ дБ. Серед пристроїв компенсації з корекцією частотних характеристик допоміжного каналу найкращі характеристики мають автокомпенсатори з ланцюгом корекції, побудовані на основі частотно-залежних фільтрів, частотні характеристики яких можуть бути представлені першими трьома членами полінома. Подальше збільшення кількості членів полінома, як показало моделювання, не призведе до суттєвого збільшення коефіцієнта заглушення перешкод. Такий автокомпенсатор забезпечує середнє значення коефіцієнта заглушення (K_p) 32...34 дБ, при цьому нерівномірність характеристики подавлення не перевищує ± 2 дБ. У випадках використання кіл корекції, побудованих на основі частотно-постійної та апроксимації рядом Фур'є існує суттєва залежність коефіцієнта заглушення перешкод від кутового напрямку на джерело перешкод. Це пояснюється тим, що ці кола корегування не в змозі точно синтезувати необхідну частотну характеристику допоміжного каналу прийому.

Врахування додаткових факторів мабуть призведе до деякого зниження середнього K_p перешкоди, але суттєво не вплине на характер і взаємне розташування кривих на діаграмах.

Висновки

1. Ширококутовість перешкоди призведе до декореляції перешкодових коливань в основному та допоміжному каналах прийому, і це призведе до значного зниження ефективності роботи одноканального кореляційного автокомпенсатора.

2. Серед автокомпенсаторів, що мають ланцюги корекції частотного спектра перешкоди в допоміжному каналі прийому, найкращими характеристиками володіють автокомпенсатор з ланцюгом корекції на основі трьох частотно-залежних фільтрів. Середнє значення його коефіцієнта подавлення складає 32...34 дБ при нерівномірності характеристики подавлення не вище ± 2 дБ.

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. Ширман Я.Д., Манжос В.Н., Лебедев Б.П. Устройство компенсации активных помех в РЛС с частотным сканированием. – М.: Радио и связь, 1986.
8. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – Т. 2 – М.: Сов. Радио, 1968.
9. 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 вимірювання координат на фоні перешкод.

Подано 14.09.04

Денисюк А.Ю. Використання різних видів апроксимації частотної характеристики допоміжного каналу прийому з метою підвищення ефективності заглушення активних широкосмугових завад.

Денисюк А.Ю. Использование различных видов аппроксимации частотной характеристики вспомогательного канала приема с целью повышения эффективности подавления активных широкополосных помех.

Denisyuk A. U. Approximation difference methods use for the purpose of the effectiveness suppression increase of the active wide interference

УДК 621.391.8:621.396.96

Використання різних видів апроксимації частотної характеристики допоміжного каналу прийому з метою підвищення ефективності заглушення активних широкосмугових завад / А.Ю. Денисюк.

В статті розглядається можливість коригування частотної характеристики допоміжного каналу прийому автокомпенсатора за допомогою ступінчатої, Фур'є та поліноміальної апроксимації. Пропонуються кола коригування, які дозволяють здійснити коригування даних видів і проводиться порівняльна оцінка їх ефективності.

УДК 621.391.8:621.396.96

Использование различных видов аппроксимации частотной характеристики вспомогательного канала приема с целью повышения эффективности подавления активных широкополосных помех / А.Ю. Денисюк.

В статье рассматривается возможность коррекции частотной характеристики вспомогательного канала приема автокомпенсатора с помощью ступенчатой, Фурье и полиномиальной аппроксимации. Предлагаются цепи коррекции, позволяющие осуществить коррекцию данных видов и производится сравнительная оценка их эффективности.

УДК 621.391.8:621.396.96

Approximation technique subsidiary channel frequency characteristic difference methods use for the purpose of the effectiveness suppression increase of the active wide interference / A.U. Denisyuk.

The possibility of auto compensator technique subsidiary channel frequency characteristic correction with the help of the polynomial, Furie and step approximation are viewed in the article. The correction circuits permitting to fulfill the given condition correction are suggested.