

В. М. Кичак, д-р. техн. наук, проф.;

Є. С. Ленков;

П. О. Гаврасієнко

ПРИСТРІЙ ПЕЛЕНГАЦІЇ З ВИСОКОЮ ІНФОРМАЦІЙНОЮ ЗДАТНІСТЮ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АЛГОРИТМУ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ З ВИХОДУ ДВОХ АПЕРТУРНОЇ АНТЕНИ

Запропоновано пристрій пеленгації джерел квазінеперервних радіовипромінювань, що ґрунтується на кореляційній обробці сигналів, прийнятих двома спрямованими антенами зі зміщеними фазовими центрами. Проведено теоретичний аналіз процесу обробки й отримано співвідношення для розрахунку просторових характеристик каналу пеленгації. Наведено результати розрахунку відносного рівня бічних пелюсток і показника інформаційної здатності системи пеленгації.

Вступ

Пристрої пеленгації (ПП), які реалізовані в існуючих тріангуляційних системах пеленгації, ґрунтуються на застосуванні «енергетичних» приймачів в основному та компенсаційному каналах, мають неприпустимо низьку інформаційну здатність (ІЗ) у реальній, досить складній, електромагнітній обстановці (до 3—4 цілей). Причиною низької ІЗ є високий рівень сигналу компенсації (граничного рівня), що встановлюється для надійного усунення хибних пеленгів на кілька (3...5) дБ вище максимального рівня — бічної пелюстки (БП) діаграми спрямованості (ДС) основної антени [1].

Шляхи підвищення ІЗ пов'язані із придушенням БП основної антени та, насамперед, найбільших регулярних бічних пелюсток.

Запропоновані в окремих публікаціях алгоритми кореляційної обробки, зокрема в [2], забезпечують зниження БП до певного рівня, що дозволяє підвищити ІЗ ПП в обмежених розмірах. Так, кореляційний пеленгатор, запропонований в [2], ґрунтується на обробці сигналів з виходу основної та слабо спрямованої допоміжної антен, забезпечує придушення регулярних БП у середньому до 20...23 дБ, проте придушення перших БП за максимумом не перевищує 4...6 дБ, при цьому підвищення показника ІЗ є незначним.

Постановка задачі

Метою цієї праці є підвищення інформаційної здатності пристроїв пеленгації в складній електромагнітній обстановці. Для досягнення цієї мети необхідно розробити алгоритм роботи пристрою, який би дав можливість підвищити інформаційну здатність системи пеленгації та побудувати структурну схему пристрою пеленгації.

Метод підвищення інформаційної здатності пристрою пеленгації

Для підвищення інформаційної здатності пристроїв пеленгації пропонується метод, основою якого є алгоритм на базі кореляційної обробки сигналів з виходу двох спрямованих антен зі зміщеними фазовими центрами. Алгоритм використовує принцип мультиплікативної антенної системи (АС), що складається з двох спрямованих антен з однаковим розміром апертури, який передбачає реалізацію двох технічних рішень:

- зсув фазових центрів антен;
- кореляційну систему обробки вихідних сигналів.

У простій електромагнітній обстановці перемноження сигналів з виходу гостроспрямованих антен еквівалентно перемноженню діаграм спрямованості, що звичайно дозволяє зменшити відносний рівень бічних пелюсток. В обстановці, що характеризується наявністю в зоні багатьох джерел випромінювань (ДВ) виникає значний додатковий фон перешкод за рахунок перехресного пере-

множення сигналів, а також шумів. У результаті просте перемноження вихідних сигналів не приводить до підвищення якості пеленгації.

Позначимо вхідні сигнали антен так:

$$u_{\text{вх}1,2} = \sum_{i=1}^n B_i F_{1,2}(\theta_i) u_i,$$

де B — коефіцієнт потужності; $F_{1,2}$ — нормовані ДС першої і другої антен; u_i — напруга сигналу i -го джерела випромінювання; θ — його кутова координата.

Після перемноження отримаємо

$$u_{1,2} = \sum_{i=1}^n B_i^2 F_1(\theta_i) F_2(\theta_i) u_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n B_i B_j F_1(\theta_i) F_2(\theta_j) u_i u_j = u'_{12} + u''_{12},$$

де u'_{12} — корисна складова; u''_{12} — перешкодова складова.

Застосування кореляційної обробки дозволяє практично усунути вплив сигналів перехресного множення за рахунок використання інтегрувального фільтра зі спеціально підбраною ваговою функцією. Вагова обробка може бути реалізована як в аналоговому варіанті ПП, так і під час цифрової обробки. В останньому випадку значно розширюється клас реалізованих вагових функцій.

Зсув фазових центрів антен забезпечує перемноження БП із різною формою обвідної. Підбір величини зсуву дозволяє найефективніше придушити бічний прийом.

Структурна схема ПП, якій реалізує запропонований алгоритм, показана на рис. 1.

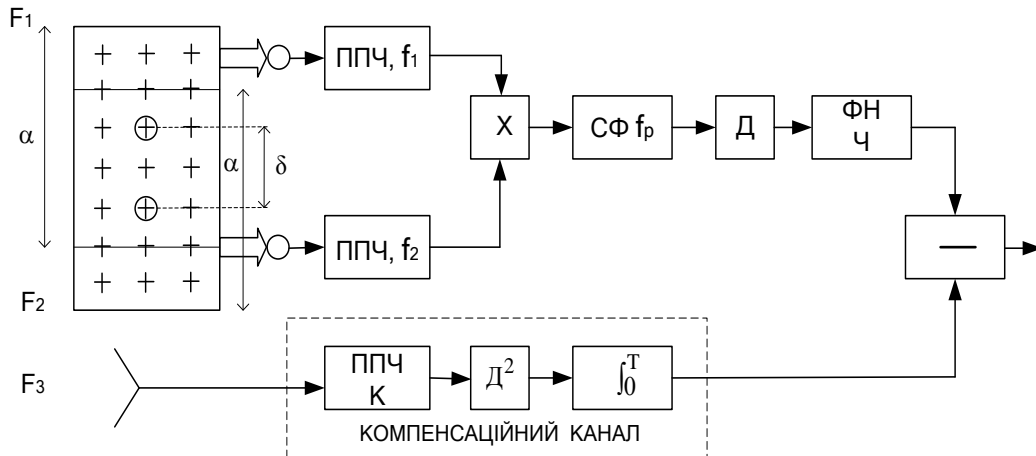


Рис. 1. Структурна схема ПП

Двохпертурна АС у найпростішому випадку являє собою дві дзеркальні антени, що зміщені в горизонтальній площині й утворюють дворівневу антену. Однак такий варіант побудови АС викликає певні економічні й технічні труднощі. Пропонується використовувати антенну решітку (АР), яка забезпечує прийом сигналів роздільно з горизонтальною та вертикальною поляризаціями (сигнали більшості зовнішніх ДВ мають еліптичну поляризацію, близькою до кругової). Для реалізації зсуву фазових центрів АР доцільно виконати у вигляді двох підрешіток. Полотно дзеркала АР являє собою сітку з ортогональними вібраторами. Незалежність сигналів ортогональної поляризації забезпечує еквівалентність такого варіанту АС з двома дзеркальними антенами. Для виключення квадратурних каналів запропоновано використовувати тракти ППЧ з різними частотами, а також смуговий фільтр (СФ) на виході перемножувача, налаштованого на різницеву частоту. Призначення інших елементів схеми відповідає їх позначенням.

Еквівалентна результуюча діаграми спрямованості (РДС) основного каналу ПП є згортокою вихідних ДС антен з ваговою функцією інтегрувального фільтра:

$$H(\theta) = \int_{-\infty}^{+\infty} F_1(\Omega t) F_2(\Omega t) h(t\tau) d\tau, \quad (1)$$

де $F_1(\theta)$, $F_2(\theta)$ — вихідні ДС першої та другої антен; Ω — кутова швидкість обертання антени ($\Omega t = \theta$); $h(t)$ — імпульсна характеристика інтегрувального фільтра.

У пристрої пеленгації практично застосовується рівномірне розподілення поля в розкриві, при цьому:

$$F_1(z) = \frac{\sin(z)}{z}; \quad F_2(z) = \frac{\sin[a(z + \delta)]}{a(z + \delta)}, \quad (2)$$

де a — параметр перекриття головного пелюстка, що визначається відношенням лінійного розміру другої й першої антен ($0 < a < 1$); δ — величина зсуву фазового центра антен; z — відносна кутова координата:

$$z = \frac{\pi L}{\lambda} \sin\theta. \quad (3)$$

Задаючись конкретним видом залежностей $F_1(\theta)$, $F_2(\theta)$, можна отримати будь-яку задану РДС, розв'язуючи рівняння (1) відносно $h(t)$, однак такий шлях, зазвичай, приводить до важкореалізованих інтеграторів. Тому надалі розглядається випадок ідеального інтегратора з характеристикою:

$$h(t) = 1, \quad t \in [0, T],$$

де T — час інтегрування.

При цьому розрахунковий вираз для РДС з урахуванням (3) має вигляд:

$$H(z) = \int_z^{z+z_0} \frac{\sin(\pi x)}{\pi x} \frac{\sin[\pi a(x + \delta)]}{\sin[\pi a(x + \delta)]} dx, \quad (4)$$

де $z = \Omega t$; $z_0 = \Omega T$; Ω — кутова швидкість обертання антени.

Результати досліджень

Обчислення інтеграла (4) здійснювалося за рекурсивним алгоритмом, який ґрунтується на квадратурній формулі Сімпсона з автоматичним підбором кроку й точністю 10^{-6} у середовищі математичного пакету MATLAB 7 [3].

На рис. 2. показані вихідні ДС (для $\delta = 0,4$; $0,5$ і $0,6$ — криві 1, 2, 3 на рис. 2а), отримані в результаті розрахунку РДС для $\delta = 0,4$ і $0,6$ (криві 1 і 2 на рис. 2б).

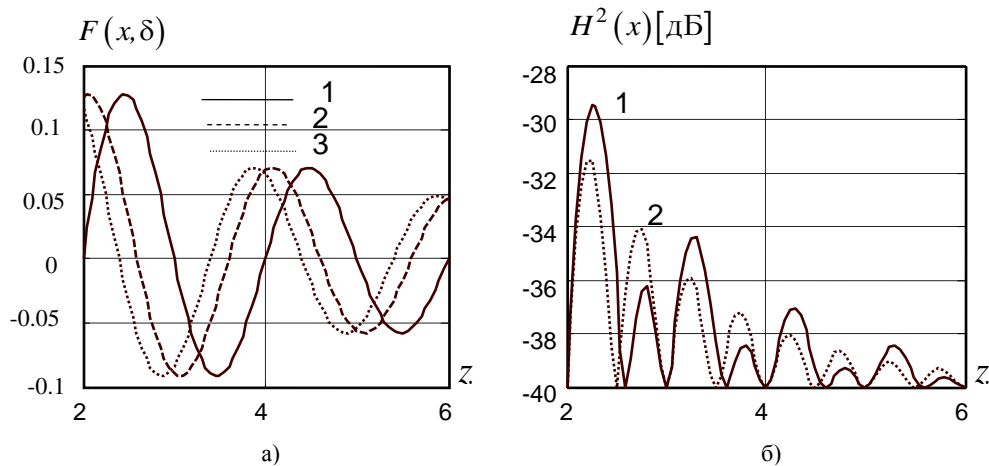


Рис. 2. Діаграми спрямованості

З аналізу результатів оцінки РДС випливає, що максимальна (перший) бічний пелюсток РДС за потужністю має відносний рівень від 29 дБ до 32,5 дБ за рівних вихідних ДС — 13,2 дБ. Таким чином ефект придушення рівня БП є значно вищим, ніж отриманий у кореляційному пеленгаторі [3] (до 17...20 дБ). З таким рівнем забезпечується істотне зниження рівня прийому компенсаційного каналу й, отже, забезпечується висока інформаційна здатність системи пеленгації.

Аналітична оцінка інформаційної здатності ПП проведена на базі розв'язання рівняння, яке визначає умовну ймовірність правильного виявлення в умовах багатьох джерел радіовипромінювань у зоні. Як вихідне рівняння використано відомий з теорії радіолокації вираз [4]

$$D_{\text{сшш}} = 0,5 \left\{ 1 + \Phi \left[\frac{M[v_o] M[v_k]}{\sigma_{\eta}^2} \right] \right\}, \quad (5)$$

де σ_{η}^2 — дисперсія флуктуацій вихідного процесу, що визначається згідно з [5]

$$\sigma_{\eta}^2 \geq \frac{M^2[v_o]}{\Delta f T}, \quad (6)$$

де у знаменнику — добуток ширини смуги прийому на час усереднення; $\Phi(\cdot)$ — табличний інтеграл імовірності вигляду

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt;$$

$M[\cdot]$ — знак математичного очікування; v_o, v_k — вихідні сигнали основного та компенсаційного каналів.

Розрахунок проведено для моделі ДВ з рівними потужностями на вході (σ^2) і еквівалентним числом — n^* .

Підставляючи параметри моделі у вихідний вираз (5) і виконуючи деякі перетворення із позначенням $q^2 = \sigma^2/\sigma_{\text{ш}}^2$, отримаємо:

$$D_{\text{сшш}} = 0,5 \left\{ 1 + \Phi \left[\frac{q^2 [1 - (n^* - 1)\gamma]}{(\Delta f T)^{-1/2} [q^2 + (n^* - 1)q^2 \alpha^2 + 1]} \right] \right\}. \quad (7)$$

Параметр $\gamma = (\beta^2 - \alpha^2)$, де β^2 і α^2 — відносні середні рівні прийому компенсаційного каналу та БП основного каналу.

За відсутності поля перешкод ($n^* = 1$) вираз (7) визначає $D_{\text{сшш}}$ — ймовірність виявлення джерела, яке пеленгується, на фоні шумів приймача. Отримаємо його розв'язок щодо аргументу інтеграла ймовірності, який визначено $x_{\text{сшш}}$:

$$x_{\text{сшш}} = \frac{q^2}{\sigma_{\eta}} = \arg \Phi(2D_{\text{сшш}} - 1). \quad (8)$$

З урахуванням (8) розрахунковий вираз для $D_{\text{сшш}}$ набуде вигляду:

$$D_{\text{сшш}} \cong 0,5 \left\{ 1 + \Phi \left[x_{\text{сшш}} [1 - (n^* - 1)\gamma] \gamma \right] \right\}. \quad (9)$$

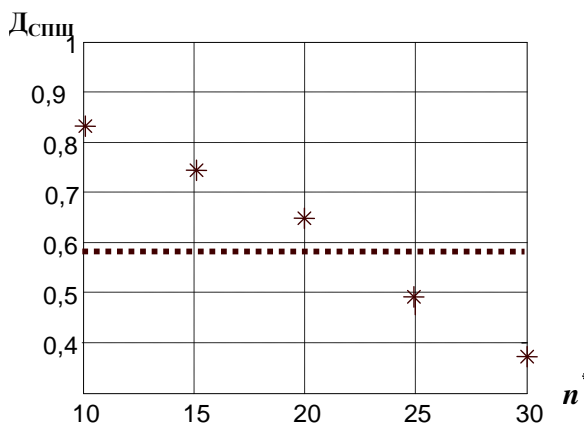


Рис. 3. Залежність ймовірності виявлення від кількості джерел випромінювання

На рис. 3 показані результати розрахунку ймовірності виявлення $D_{\text{сшш}}$ в залежності від еквівалентного числа ДВ в зоні для таких параметрів: $D_{\text{сш}} = 0,95$, $\alpha^2 = -35$ дБ. Величина β^2 визначена з рис. 2 з урахуванням необхідного для надійного усунення хибних пеленгів «запасу», що дорівнює 4...5 дБ.

Аналіз показує, що запропонований пристрій забезпечує пеленгацію до 20 джерел радіовипромінювання з допустимою ймовірністю виявлення $\geq 0,5$...0,6. Таким чином, можна вважати, що знімається обмеження на інформаційну (тобто пропускну) здатність триангуляційної системи пасивної локації.

Висновки

1. Запропоновано алгоритм роботи і структурну схему пристрою пеленгації, дослідження якої показали, що придушення бокових пелюсток зростає на 8...12 дБ, за рахунок чого зростає інформаційна здатність системи пеленгації.

2. Використання запропонованого пристрою пеленгації дає можливість забезпечити високу інформаційну здатність системи пеленгації за наявності 20 джерел випромінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основы построения РТВ ПВО : учебник / под ред. Б. Ф. Бондаренко. — К. : КВИРТУ ПВО, 1987. — 368 с.
2. Ленков Є. С. Оцінка інформаційної здатності каналу пеленгації з кореляційною обробкою сигналів у системах пасивної радіолокації й радіонавігації джерел випромінювань / Є. С. Ленков // Науково-практичний журнал «Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони». — 2010. — № 4. — С. 74—79.
3. Ануфриев И. Е. MATLAB 7 / И. Е. Ануфриев, А. Б. Смирнов, Е. Н. Смирнов. — СПб : Петербург, 2005. — 1104 с.
4. Ван Трис Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции / Г. Ван Трис; пер. с англ. — М. : Сов. радио, 1972. — Т. 1. — 214 с.
5. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных / Дж Бендат, А. Пирсол ; пер. с англ. — М. : Мир, 1989. — 540 с.

Рекомендована кафедрою телекомунікаційних систем та телебачення

Стаття надійшла до редакції 5.09.11
Рекомендована до друку 10.10.11

Кичак Василь Мартинович — завідувач кафедри, **Ленков Євген Сергійович** — асистент, **Гаврасінко Павло Олександрович** — аспірант.

Кафедра телекомунікаційних систем та телебачення, Вінницький національний технічний університет, Вінниця