

В.Т. Ковальчук, пошукувач

П.М. Повідайко, к.т.н., доц.

Житомирський інженерно-технологічний інститут

УСУНЕННЯ ПЕЛЕНГАЦІЙНИХ ПОХИБОК РАДІОПЕЛЕНГУВАННЯ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЦИФРОВОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ФУР'Є-АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ

Розглядається питання застосування цифрового спектрального Фур'є аналізу сигналів для усунення пеленгаційних похибок визначення пеленга і кута місця радіохвиль неvertикальної поляризації амплітудними радіопеленгаторами

Радіопеленгування застосовується в радіонавігації, радіолокації і радіоелектронній боротьбі. Задача радіопеленгування полягає в визначенні кутових координат радіохвилі: кута приходу в горизонтальній площині (азимут або пеленг) і кута приходу в вертикальній площині (кут місця).

Прийняті пеленгатором радіохвилі можуть мати або лінійну (у тому числі вертикальну і горизонтальну) або еліптичну (у тому числі кругову) поляризацію. До лінійно-поляризованих радіохвиль відносяться ті, у яких різниця між фазами вертикальної і горизонтальної складових дорівнює 0° (або 180°), а до еліптично-поляризованих – всі інші. При цьому під вертикально-поляризованими розуміють радіохвилі, горизонтальна складова електричної напруженості в яких або відсутня, або мізерно мала у порівнянні з вертикальною складовою, а під горизонтально-поляризованими – навпаки. У радіохвиль із круговою поляризацією вертикальна і горизонтальна складові однакові, а різниця між їхніми фазами складає 90° (або 270°).

Відомі пристрої радіопеленгування в залежності від використовуваних параметрів прийнятих хвиль можна розділити на амплітудні, фазові, амплітудно-фазові і стробові (по поточних значеннях) [1-9]. В багатьох випадках геометричні розміри площадки для встановлення пеленгаційної системи є обмеженими, внаслідок чого в НДХ-КХ діапазоні найбільш часто застосовуються радіопеленгатори, які використовують систему елементарних антен із суміщеними фазовими центрами. Найбільш розповсюдженою антенною системою вказаного типу є система, яка складається із сполучених в одному фазовому центрі двох направлених вертикальних взаємо-перпендикулярних магнітних диполів (рамок) і одного ненаправленого вертикального електричного диполя (штиря) [10]. Орієнтація направленої першої рамки "Північ-Південь", другої – "Схід-Захід". Геометричні розміри диполів d по зрівнянню з довжиною радіохвиль λ такі, що $\pi d \ll \lambda$

На виходах вказаних рамок і штиря під дією вертикально-поляризованих радіохвиль від ДРВ, що пеленгується, виникають сигнали, які описуються системою рівнянь:

$$\begin{cases} U_{p\text{ПП}}\{\omega t\} = K_p E_e \cos \alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi_e), \\ U_{p\text{СЗ}}\{\omega t\} = K_p E_e \sin \alpha \cdot \sin(\omega t + \varphi_e), \\ U_{ш}\{\omega t\} = K_u E_e \cos \beta \cdot \cos(\omega t + \varphi_e), \end{cases} \quad (1)$$

де $U_{p\text{ПП}}\{\omega t\}, U_{p\text{СЗ}}\{\omega t\}$ – поточні значення сигналів з круговою частотою ω в момент часу t на виходах направлених вертикальних рамок "Північ – Південь" та "Схід-Захід" відповідно;

$U_{ш}\{\omega t\}$ – поточні значення сигналів з круговою частотою ω в момент часу t на виході ненаправленого вертикального штиря;

K_p, K_u – коефіцієнти передачі сигналів, що приймаються рамками і штирем відповідно;

E_e, φ_e – відповідно амплітудне значення і початкова фаза напруженості електричного поля вертикально-поляризованої радіохвилі, що приймається;

α, β – кути приходу радіохвилі в горизонтальній і вертикальній площинах відповідно.

Розв'язок системи (1) відносно α і β дає результат:

$$\begin{aligned} \alpha &= \arctg((A_{p\text{СЗ}} \text{sign}(\varphi_{p\text{СЗ}} - \varphi_u)) / (A_{p\text{ПП}} \text{sign}(\varphi_{p\text{ПП}} - \varphi_u))), \\ \beta &= \arccos\left(A_u / \left((A_{p\text{ПП}})^2 + (A_{p\text{СЗ}})^2\right)^{1/2}\right), \end{aligned} \quad (2)$$

де A_{pIII}, A_{pC3} – амплітудні значення сигналів на виходах направлених вертикальних рамок “Північ–Південь” і “Схід–Захід” відповідно;

A_u – амплітудне значення сигналу на виході ненаправленого вертикального штиря,

$(\varphi_{pC3} - \varphi_u), (\varphi_{pIII} - \varphi_u)$ – різниці фаз сигналів на виході ненаправленого вертикального штиря і на виходах направлених вертикальних рамок “Схід–Захід” і “Північ–Південь” відповідно.

Під дією неперпендикулярно-поляризованих радіохвиль на виходах вказаних рамок і штиря від ДРВ, що пеленгується, виникають сигнали, які описуються системою рівнянь

$$\begin{cases} U_{pIII}\{\omega t\} = K_p(E_e \cos \alpha \sin(\omega t + \varphi_e) - E_z \sin \beta \sin \alpha \sin(\omega t + \varphi_z)), \\ U_{pC3}\{\omega t\} = K_p(E_e \sin \alpha \sin(\omega t + \varphi_e) + E_z \sin \beta \cos \alpha \sin(\omega t + \varphi_z)), \\ U_u\{\omega t\} = K_u E_e \cos \beta \cos(\omega t + \varphi_e), \end{cases} \quad (3)$$

де $U_{pIII}\{\omega t\}, U_{pC3}\{\omega t\}$ – поточні значення сигналів з круговою частотою ω в момент часу t на виходах направлених вертикальних рамок “Північ – Південь” та “Схід – Захід” відповідно, $U_u\{\omega t\}$ – поточні значення сигналів з круговою частотою ω в момент часу t на виході ненаправленого вертикального штиря;

K_p, K_u – коефіцієнти передачі сигналів, що приймаються рамками і штирем відповідно;

E_e, φ_e – відповідно амплітудне значення і початкова фаза напруженості електричного поля вертикальної складової неперпендикулярно-поляризованої радіохвилі, що приймається;

E_z, φ_z – відповідно амплітудне значення і початкова фаза напруженості електричного поля горизонтальної складової неперпендикулярно-поляризованої радіохвилі, що приймається;

α, β – кути приходу радіохвиль, що приймаються, в горизонтальній і вертикальній площинах відповідно.

З урахуванням (3) можна визначити методичну похибку амплітудного методу пеленгування радіохвиль неперпендикулярної поляризації в створених напрямках ($\alpha = 0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$):

$$\begin{cases} \Delta_\alpha = \arctg(tg Y_E \cdot \sin \beta) \cdot \text{sign}(\cos \Psi) \\ \Delta_\beta = \arctg(tg \beta \cdot \sin Y_E) - \beta, \end{cases} \quad (4)$$

де $Y_E = \arctg\left(\frac{E_z}{E_e}\right)$;

$\Psi = \varphi_z - \varphi_e$.

Результати розрахунку похибок згідно (4) наведені в [11, 12, 13].

Для часткового або повного виключення поляризаційних похибок в радіопеленгаторах з суміщеними в одному фазовому центрі антенами застосовують такі методи:

1. Використання пеленгаційних поправок [14].
2. Формування спеціальних діаграм направленості [15].
3. Збільшення числа елементарних антен з трьох до чотирьох-шести [16–23].
4. Пеленгування за алгоритмічно виділеною одною із складових радіохвиль [24, 25].

Використання пеленгаційних поправок передбачає необхідність наявності відомостей про умови розповсюдження радіохвиль, вимагає громіздких обчислень і не вирішує задачу повністю.

Формування спеціальних діаграм направленості вимагає наявності спеціальних складних пристроїв, при чому процес пеленгування виконується за декілька етапів, а поляризаційні похибки компенсуються не повністю.

При збільшенні числа елементарних антен зростає і число вхідних радіоканалів, що приводить до ускладнення і збільшення об'єму апаратури. Але цей метод дозволяє майже повністю усунути поляризаційні похибки.

Пеленгування за алгоритмічно виділеною одною із складових радіохвиль дозволяє уникнути поляризаційних похибок при прийомі вертикальних і еліптично-поляризованих радіохвиль без збільшення числа каналів. До недоліків методу необхідно віднести ускладнення алгоритму обчислення пеленга еліптично-поляризованих радіохвиль і наявність поляризаційних похибок при пеленгуванні радіохвиль з лінійно-нахиленою поляризацією. Слід зауважити, що лінійно-нахилена поляризація у чистому вигляді в радіо ефірі практично відсутня.

Порівняльний аналіз показує, що останній метод є компромісом між точністю і апаратними затратами. Він і є предметом розгляду даної роботи.

Мета роботи – вирішення проблеми зменшення (майже до повного виключення) поляризаційних похибок, які виникають при визначенні пеленга і кута місця радіохвиль невертикальної поляризації амплітудними радіопеленгаторами на основі використання цифрового спектрального Фур'є аналізу сигналів

Розв'язок системи рівнянь (3) відносно α і β дає такий результат:

$$\begin{cases} \alpha = \arctg(Z_{uCS}/Z_{uПП}) & \text{при } Z_{pp} = 0, \\ \alpha = \arctg(-Z_{uПП} \text{sign}Z_{pp}/Z_{uCS} \text{sign}Z_{pp}) & \text{при } Z_{pp} < 0 \text{ або } Z_{pp} > 0. \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} \beta = \arccos\left((k_p/k_u)Z_u/\left((Z_{uCS})^2 + (Z_{uПП})^2\right)^{1/2}\right) & \text{при } Z_{pp} = 0, \\ \beta = \arccos\left((k_p/k_u)\left((Z_{ППu})^2 + (Z_{CSu})^2\right)^{1/2}/Z_{pp}\right) & \text{при } Z_{pp} < 0 \text{ або } Z_{pp} > 0. \end{cases} \quad (6)$$

де $Z_{uCS} = \text{Re}_u \text{Re}_{pCS} + \text{Im}_u \text{Im}_{pCS}$,

$Z_{uПП} = \text{Re}_u \text{Re}_{pПП} + \text{Im}_u \text{Im}_{pПП}$,

$Z_{pp} = \text{Re}_{pПП} \text{Im}_{pCS} - \text{Re}_{pCS} \text{Im}_{pПП}$,

$Z_u = \text{Re}_u^2 + \text{Im}_u^2$,

$Z_{ППu} = \text{Re}_u \text{Im}_{pПП} - \text{Re}_{pПП} \text{Im}_u$,

$Z_{CSu} = \text{Re}_u \text{Im}_{pCS} - \text{Re}_{pCS} \text{Im}_u$,

Re_u, Im_u – дійсна і уявна частини сигналу, що пеленгується, на виході ненаправленого вертикального штиря,

$\text{Re}_{pПП}, \text{Im}_{pПП} (\text{Re}_{pCS}, \text{Im}_{pCS})$ – дійсна і уявна частини сигналу, що пеленгується, на виходах вертикальних рамок “Північ-Південь” (“Схід-Захід”) відповідно,

k_p/k_u – відношення коефіцієнтів передачі направленої вертикальної рамки і ненаправленого вертикального штиря.

Структурна схема радіопеленгатора, яка реалізує алгоритми (5) і (6), представлена на рисунку.

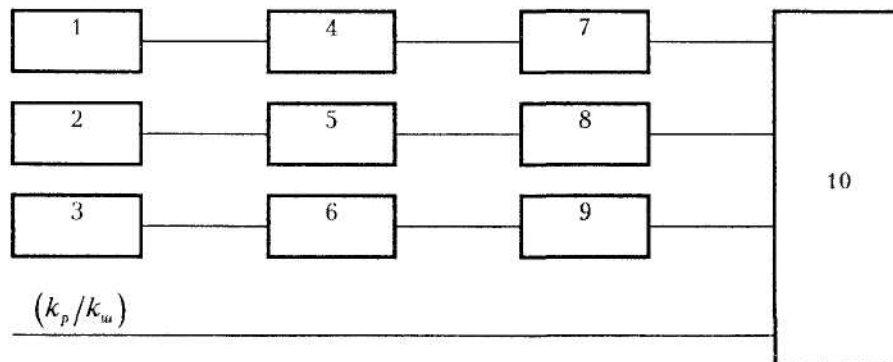


Рис. 1. Структурна схема радіопеленгатора

1, 2 – направлені вертикальні взаємно-перпендикулярні магнітні диполі (рамки) “Північ-Південь” і “Схід-Захід” відповідно,

3 – ненаправлений вертикальний електричний диполь (штир),

4, 5, 6 – приймально-підсилюючі тракти,

7, 8, 9 – вимірювачі поточних значень,

10 – обчислювальний пристрій (ПЕОМ).

Вихідними даними для реалізації запропонованого алгоритму пеленгування є результати цифрового спектрального Фур'є аналізу сигналів.

Для реалізації алгоритму пеленгування потрібно враховувати:

1. пеленгаційні канали повинні мати ідентичні комплексні (амплітудно-фазові) коефіцієнти передачі (неідентичність каналів необхідно усунути або компенсувати);

2. відношення k_p/k_u є функцією частоти сигналів, що пеленгуються;

3. при наявності шумів в каналах рамок величина Z_{pp} повинна порівнюватись не з нулем, а зі значенням, яке визначається сумарною інструментальною і спадковою похибкою обчислення Z_{pp} .

ЛІТЕРАТУРА:

1. Белоцерковский Г.Б. Основы радиотехники и антенн. Часть 2: Антенны. – М.: Радио и связь, 1983. – 294 с., ил.
2. Вартапесян В.А., Гойхман Э.Ш., Рогаткин М.И. Радиопеленгация. – М.: Воениздат, 1966. – 248 с., ил.
3. Долуханов М.П. Распространение радиоволн. Учебник для вузов. – М.: Связь, 1972. – 336 с., ил.
4. Дулевич В.Е. и др. Теоретические основы радиолокации. – М.: Сов.радио, 1964.
5. Кукес И.С., Старик М.Е. Основы радиопеленгации. – М.: Сов.радио, 1964. – 640 с., ил.
6. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 528 с., ил.
7. Мезин В.К. Радиопеленгация. – Изд.-во ВАС, 1975.
8. Палий А.И. Радиоэлектронная борьба. – Изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Воениздат, 1989. – 350 с., ил.
9. Пестряков В.В., Кузенков В.Д. Радиотехнические системы: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1985. – 376 с., ил.
10. Царьков Н.М. Многоканальные радиолокационные измерители. – М.: Сов.радио, 1980.
11. Ковальчук В.Т., Повідайко П.М. Методична похибка амплітудного методу пеленгування радіохвиль непертикальної поляризації. Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту, 2000 р., вип.15, С. 138–140.
12. Ковальчук В.Т., Повідайко П.М. Методична похибка виміру кута падіння радіохвиль непертикальної поляризації амплітудними радіопеленгаторами. Збірник наукових праць за результатами VIII наук.-техн.конфер. "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах" в м.Хмельницькому 31 травня – 3 червня 2001 р., Хмельницький, 2001, Вип.№ 8 (2001), С. 159–161.
13. Ковальчук В.Т., Повідайко П.М. Методична похибка амплітудного методу визначення кутових параметрів радіохвиль непертикальної поляризації. Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту, 2001р., вип.19, стор.94–97.
14. Патент ФРГ № 1250894, 21a⁴ 48/63, 1965.
15. А.с. СССР № 572131, G01S 3/10, заявл.1976.
16. А.с. СССР № 244848, G01S 3/08, заявл.1985.
17. А.с. СССР № 258837, G01S 3/00, заявл.1986.
18. А.с. СССР № 258665, G01S 3/08, заявл.1986.
19. А.с. СССР № 282512, G01S 3/00, заявл.1986.
20. Патент США № 4121216, 343/113R, заявл.1972 № 227544.
21. Заявка Японії № 55-28514, G01S 3/02, 3/80, заявл.1980.
22. Патент ФРГ № 1798346, G01S 3/04, заявл.1968.
23. Патент Великобританії.
24. А.с. СССР № 254700, G01S 3/00, заявл.1986.
25. А.с. СССР № 254701, G01S 3/00, заявл.1986.

КОВАЛЬЧУК Валерій Тадеушович – пошукувач кафедри АУТС Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- радіопеленгація;
- дослідження в галузі цифрової обробки сигналів.

ПОВІДАЙКО Петро Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри АУТС Житомирського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

- дослідження в галузі цифрової обробки сигналів.

Подано 14.08.2002