

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ОК6-2023
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 37</i>

## Лабораторна робота №4

### Моделювання безпошукових кореляційно-інтерферометричних радіопеленгаторів з 64-елементною АР

**Мета.** Навчитись проводити дослідження характеристик пристроїв пасивної радіолокації шляхом моделювання.

#### Короткі теоретичні відомості

Сучасні кореляційно-інтерферометричні радіопеленгатори зазвичай використовують нерухомі антени.

Для стаціонарних і мобільних станцій радіомоніторингу найбільшого поширення в даний час набула схема з двома каналами прийому. Структурна схема такого кореляційного інтерферометра представлена на рис. 4.1 [7].

Основними його елементами є: антенна решітка, антенний комутатор, двоканальний когерентний радіоприймач, блок аналого-цифрової обробки, що складається з двох АЦП та блоку цифрового оброблення сигналів (ЦОС). Двоканальний приймач має два входи: перший називатимемо сигнальним, другий – опорним. Антенний комутатор послідовно підключає до входів двоканального приймача пари елементів АР, вибрані згідно алгоритму пеленгування. Для забезпечення когерентного прийому сигналів на змішувачі обох каналів прийому подається одна і та ж високочастотна напруга, що формується синтезатором частот.

Інтерферометр з цифровим приймачем, число когерентних каналів якого рівне числу антенних елементів (АЕ), реалізує моноімпульсний метод пеленгування. Такий пеленгатор забезпечує найбільшу швидкість обчислення пеленгів, але складний, дорогий у виготовленні і налаштуванні. Важливим завданням, яке необхідно вирішити в моноімпульсному пеленгаторі, є виконання вимоги ідентичності амплітудно-частотних і фазочастотних характеристик приймальних каналів. Звичайно це завдання вирішується шляхом

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ОК6-2023
	Екземпляр № 1	Арк 44 / 38

періодичного калібрування за допомогою тестового зондуєчого сигналу невеликої потужності, що подається в приймальні канали.



Рис. 4.1 – Структурна схема багатоканального кореляційно-інтерферометричного радіопеленгатора

Основні функції двоканального приймача: перетворення частоти радіосигналу, що приймається, і первинна фільтрація по побічних каналах прийому, тобто функція підготовки прийнятого радіосигналу до перетворення в цифровий вигляд.

У блоці аналого-цифрової обробки виконуються основні обчислювальні операції по алгоритму цифрової обробки. Персональна ЕОМ, що входить до складу інтерферометра, виконує функції керування, обчислення, а також здійснює відображення результатів.

Принцип роботи інтерферометра оснований на порівнянні фаз поля в просторово рознесених точках з метою визначення орієнтації поверхні рівних фаз, однозначно пов'язаної з напрямом поширення від ДРВ. Збільшення кількості просторово рознесених пар точок, що відрізняються між собою відстанню «рознесення» або базою і кутовою орієнтацією в просторі, дозволяє збільшити інформацію про

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ОК6-2023
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 39</i>

структуру хвилі, що приймається, і відповідно підвищити якість формування кутового просторового спектра радіосигналу. АЕ, що є датчиками поля, розташовуються, як правило, в площині пеленгування (азимутної площини), що пов'язано з можливостями технічної реалізації ідентичних фазових центрів кожного АЕ. Для забезпечення однозначності пеленгування в круговій зоні необхідно мати принаймні три АЕ, розташованих в площині пеленгування. Враховуючи необхідність сканування в межах  $360^\circ$  з однаковою якістю вимірювань, АР повинна бути симетричною щодо її фазового центру. До симетричних плоских АР відносяться еквідистантні одното багатокільцеві АР з центральним антенним елементом або без нього [7].

Радіопеленгування проводиться за максимумом взаємної кореляційної функції, що буде коли різниця  $\Delta t$  часу поширення сигналів від ДРВ до обох антен компенсується часом  $\tau_{ЛЗ}$  регульованої лінії затримки.

За оціненим числовим значенням часу  $\hat{\tau}_{ЛЗ}$ , яке можна визначити за максимальним рівнем напруги на виході корелятора шляхом регулювання вручну або автоматично часу лінії затримки, можна визначити кут  $\alpha$  між напрямком на ДРВ і напрямком антенної бази  $d$  із виразу:

$$\cos \alpha = \frac{c \cdot \hat{\tau}_{ЛЗ}}{d}.$$

В цілому кореляційні інтерферометри на сьогодні є найперспективніші серед радіопеленгаторних систем, що зумовлено їхніми наступними суттєвими перевагами [6–8]:

– якісне радіопеленгування практично будь-яких видів радіосигналів, у тому числі, ширококутових зі складними видами модуляції;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ОК6-2023
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 40</i>

– можливість оброблення та розрізнення одночасно двох або декількох сигналів в одному частотному каналі, причому як когерентних (у процесі приймання багатопроменевого випромінювання одного й того ж ДРВ), так і некогерентних (у процесі приймання радіосигналів від декількох ДРВ, спектри яких перекриваються);

– наявність ефективних методів зменшення інструментальних похибок, зумовлених взаємним впливом антенних елементів і місцевих умов, які можуть враховуватися для будь-яких типів антенних решіток;

– відсутність обмежень на конфігурацію АР радіопеленгатора, що дозволяє застосовувати складні решітки з широкою зоною однозначного радіопеленгування і високою розрізнювальною здатністю як у горизонтальній, так і у вертикальній площинах;

– більша, ніж у фазових радіопеленгаторів, стійкість до впливу когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі.

Крім перерахованих переваг, кореляційні інтерферометри допускають поширене застосування методів цифрового оброблення сигналів на всіх стадіях визначення пеленгу.

Основні недоліки кореляційних інтерферометрів:

– складність реалізації, що викликана двоканальним прийманням сигналів, внаслідок чого виникає необхідність конструювання спеціальних ширококутових двоканальних радіоприймачів або дороблення існуючих;

– необхідність забезпечення в радіоприймальних каналах радіоприймачів якомога більшої ідентичності комплексних коефіцієнтів передачі;

– неповний, порівняно з амплітудними радіопеленгаторами з вузькою ДС, захист від когерентних радіозавад і завад у сумісному каналі;

– висока обчислювальна складність і в результаті низька швидкодія або великі апаратурні витрати, тобто необхідність для

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ОК6-2023
	Екземпляр № 1	Арк 44 / 41

точної оцінки затримки в реальному масштабі часу використання багатоканальної кореляційної системи обробки інформації.

### Хід виконання роботи

1. Відкрити MathCad модель безпошукового кореляційно-інтерферометричного пеленгатора з багатоеlementною лінійною антенною решіткою та двосигнальним прийомом (другий сигнал виступає в ролі завади), рис. 4.2.

**1. Задаємо початкові умови**

Задаємо кут приходу радіосигналу в межах від 0 до 180°

$$\theta_{grad} = 60$$

Переводимо градуси в радіани

$$\theta_{rad} = \frac{(\theta_{grad} \cdot \pi)}{180} \quad \theta_{rad} = 1.0472$$

Задаємо антенну базу, м:

$$b_a = 0.05$$

Задаємо коефіцієнт швидкості світла, м/с:

$$c = 299792458$$

Отримуємо значення в затримці, що відповідає цим початковим даним, с:

$$r = \frac{b_a \cdot \cos(\theta_{rad})}{c} \quad r = 8.3391 \times 10^{-11}$$

$$r^2 = \frac{b_a^2 \cdot \cos^2(\theta_{rad})}{c^2} \quad r^2 = 9.8032 \times 10^{-21}$$

Additional calculations shown in the image:

$$\theta_{2grad} = 34$$

$$\theta_{2rad} = \frac{(\theta_{2grad} \cdot \pi)}{180} \quad \theta_{2rad} = 0.94248$$

Рис. 4.2 – Початкові умови пеленгування пеленгатора з багатоеlementною лінійною антенною

2. Задати початкові дані дослідження – напрямок (кут) приходу радіосигналу  $\theta$ , величину антенної бази  $b_a$ .

3. Задаємо параметри сигналів 1 та 2 радіоканалів  $S(t)$ .

4. Задаємо параметри цифрового оброблення (дискретизації) – частоту дискретизації  $Fd$ , кількість набраних відліків  $N$ , віконні

функції  $Wk$ , на які множаться масиви відліків прийнятих радіовипромінювань для подальшого спектрального аналізу за допомогою Швидкого перетворення Фур'є (ШПФ) (FFT).

5. Задаємо параметри нормального адитивного шуму радіоканалів.

6. Задаємо параметри ШПФ.

7. Виконуємо кореляційне оброблення сигналів радіоканалів.

8. Виконуємо оцінку пеленга  $\theta_{vimir}$ , та похибки пеленгування як різницю між заданим та отриманим значенням:  $\theta_{grad} - \theta_{vimir}$ .

Повторити дослід 30 разів за допомогою перерахування аркуша маткад, комбінація клавіш (Ctrl+F9) та визначити СКВ оцінки пеленгу, рис 4.3.

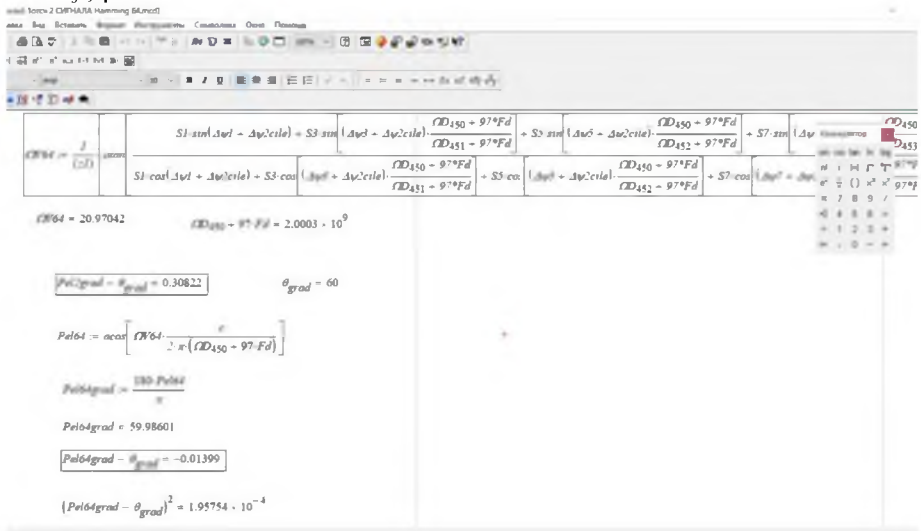


Рис. 4.3 – Кореляційна безпошукова оцінка пеленга з використанням 64-елементної лінійної антенної решітки

9. Дослідити залежність СКВ оцінки пеленгу для другої моделі від наступних параметрів:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ОК6-2023
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 43</i>

- 9.1. Напрямку  $\theta$  ;
- 9.2. Частоти сигналу (100-3000МГц з кроком 100);
- 9.3. Вхідного відношення сигнал / шум, дБ;
- 9.4. Просторове рознесення за напрямком між сигналом і завадою;
- 9.5. Тип вікна часового спектрального аналізу;
- 9.6. Тип вікна просторового спектрального аналізу.

**Зміст звіту.** Звіт повинен містити:

1. Результати досліджень.
2. Результати розрахунків та відповідні графіки, їх аналіз.
3. Зробити висновки: про об'єм виконаної роботи, чи досягнена мета роботи, чи практичні результати співпали з теоретичними.

#### **Контрольні питання**

1. Як перевести коефіцієнт підсилення з децибел дБ в рази за напругою та потужністю?
2. Задачі ведення радіотехнічної розвідки
3. Методи ведення радіотехнічної розвідки.
4. Що таке виявлення радіоелектронних засобів
5. Як роблять пошук за напрямком та частотою
6. Які основні параметри статистичної оцінки
7. Що таке математичне очікування?
8. Що таке СКВ?
9. Як оцінити дисперсію оцінки для масиву випадкових даних?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-22.06- 05.02/2/172.00.1/М /ОК6-2023
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 44 / 44</i>

### Список літератури

1. Комп'ютерне моделювання систем та процесів. Методи обчислень. Частина 1 : навчальний посібник / Кветний Р. Н., Богач І. В., Бойко О. Р., Софіна О. Ю., Шушура О.М.; за заг. ред. Р.Н. Кветного. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 193с.
2. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 308 с.
3. Волощук Ю.Т. Сигнали та процеси у радіотехніці: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Том 1–3. – Харків: «Компанія СМІТ». – 2003. – 444с.
4. Стеценко, І.В. Моделювання систем: навч. посіб. [Електронний ресурс, текст] / І.В. Стеценко ; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
5. Основи математичного моделювання систем і процесів: навч. посіб. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2013. – 201 с.
6. Тютюнник А.І. Оптимальні і адаптивні системи автоматичного управління. - Житомир, ЖДТУ, 2002. – 547 с. іл.
7. Слободянюк П.В, Благодарний В.Г., Ступак В.С. Довідник з радіомоніторингу / Під заг. ред. П.В. Слободянюка. – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2008. – 588 с.: іл.
8. Ципоренко В.В. Алгоритмічно-програмні методи обробки сигналів та відеозображень для мобільного комплексу радіомоніторингу. Монографія / В.В.Ципоренко, Ю.О. Подчашинський, В.Г. Ципоренко, О.О. Лугових. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – 300 с.