

М.В. Коваленко, д.т.н., проф.
М.Ф. Хоменко, ст. викл.
В.В. Ципоренко, аспір.
В.В. Бура, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

**МОДЕЛЮВАННЯ ІНВАРІАНТНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК ДЛЯ УМОВ
 ЗМІШАНОГО СИНТЕЗУ**

Виконано моделювання інваріантних антенних решіток (ІАР) для умов змішаного синтезу. Досліджено параметри заглушення завад ІАР. Проведено порівняльний аналіз ІАР променевого та змішаного типу.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями. Захист радіотехнічних систем від завад є актуальним завданням. При наявності завад його можливо вирішувати шляхом використання ІАР.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В статті [1] розглянуто променевий синтез ІАР, але нема детальних досліджень ІАР змішаного типу шляхом моделювання.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Таким чином, детальний розгляд формування нулів у діаграмі спрямованості (ДС) у напрямках джерел завад при змішаному синтезі ІАР на сьогодні не досліджено.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета даної статті – дослідження особливостей заглушення завад ІАР змішаного типу.

Викладення основного матеріалу дослідження. У відповідності до [1] для випадку змішаного синтезу ДС ІАР можна представити як визначник.

Розглянемо варіант побудови ІАР, яка реалізує два широкосмугові нулі та має один основний промінь. Така схема повинна реалізовуватись визначником 3-го порядку з двома нулями в довільних заданих напрямках τ_{02} та τ_{03} :

$$F(\tau, \tau_{02}, \tau_{03}, \tau_{m1}, \tau_{m2}, \tau_{m3}, \omega) = \begin{bmatrix} f_{11}(\tau - \tau_{m1}) & d_{12}(\tau - \tau_{m2}) & d_{13}(\tau - \tau_{m3}) \\ \Phi_{21}(\tau_{02} - \tau_{m1}) & D_{22}(\tau_{02} - \tau_{m2}) & D_{23}(\tau_{02} - \tau_{m3}) \\ \Phi_{31}(\tau_{03} - \tau_{m1}) & D_{32}(\tau_{03} - \tau_{m2}) & D_{33}(\tau_{03} - \tau_{m3}) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де $\tau = \frac{d}{c} \sin(\theta)$ – час затримки випромінювання між сусідніми елементами АР, яке залежить від відстані d між сусідніми елементами АР і кута падіння θ плоскої хвилі на АР;
 c – швидкість світла;

$\tau_{0h} = \frac{d}{c} \sin \theta_{0h}$ – узагальнені кутові координати напрямку на завади (h – номер завади);

ω – колова частота;

$\tau_{mk} = \frac{d}{c} \sin(\theta_{mk})$ – запізнення сигналу між сусідніми елементами АР при приходу хвилі з

напрямку головного максимуму θ_{mk} ДН k -тої АР;

$f_{1k}(\theta, \omega), d_{1k}$ – антенні решітки, що формують головні промені та елементи ІАР відповідно;

Φ_{hk}, D_{hk} – базові фільтри (БФ);

$k = 1, 2, \dots, K$ – номер стовпчика; $h = 1, 2, \dots, H$ – номер рядка.

Для випадку рівномірного розподілу амплітуд по n -них елементах k -тої АР, при $A_{nk} = 1$ ДС антенних решіток $f_{1k}(\theta, \omega)$, що формують головні промені, можна записати у вигляді такої функції:

$$f_{1k}(\tau, \tau_{mk}, \omega) = \exp(j(N-1)\omega(\tau - \tau_{mk})/2) \cdot \left(\frac{\sin(N(\omega(\tau - \tau_{mk}))/2)}{\sin((\omega(\tau - \tau_{mk}))/2)} \right). \quad (2)$$

Аналітично ДС елементів ІАР $d_{1k}(\theta, \omega)$ можна записати у вигляді функції:

$$d_{1k}(\tau, \tau_{mk}, \omega) = A_{nk} \cdot \exp(jn_k \omega(\tau - \tau_{mk})), \tag{3}$$

де A_{nk} – ваговий коефіцієнт перед n -тим елементом в k -тій ІАР;

$n_k \in [1, N]$ – число, що дорівнює певному номеру елемента ІАР.

Для мінімізації апаратних витрат елементи ІАР доцільно реалізувати шляхом використання елементів АР.

Зафіксуємо змінну τ в формулах (2) та (3):

$$\tau = \tau_{0h} = \frac{d}{c} \sin(\theta_{0h}), \tag{4}$$

де τ_{0h} – час затримки випромінювання між сусідніми елементами АР, який залежить від напрямку θ_{0h} на h -тий нуль в ДС ІАР.

Тоді ці функції будуть залежати тільки від частоти ω і набудуть змісту частотної характеристики фільтра.

Тоді БФ Φ_{hk} , які входять до складу визначника (1) для випадку рівномірного розподілу амплітуд, мають такий вигляд:

$$\Phi_{hk}(\tau_{0h}, \tau_{mk}, \omega) = \exp(j(N-1)\omega(\tau_{0h} - \tau_{mk})/2) \cdot \left(\frac{\sin(N(\omega(\tau_{0h} - \tau_{mk}))/2)}{\sin(\omega(\tau_{0h} - \tau_{mk}))/2} \right). \tag{5}$$

Аналітично комплексні частотні характеристики БФ, D_{hk} які входять до складу визначника (1), мають вигляд:

$$D_{hk}(\tau_{0h}, \tau_{mk}, \omega) = A_{nk} \cdot \exp(jn_k \omega(\tau_{0h} - \tau_{mk})). \tag{6}$$

Аналіз визначника (1) показує, що при $\tau = \tau_{0h}$ визначник перетворюється у нуль в цій точці, тому що перший рядок буде дорівнювати h -тому при довільному значенні колової частоти ω . З (1) видно, що кількість нулів в ДС ІАР дорівнює на одиницю менше кількості рядків h у визначнику. Оскільки $d_k(\tau, \omega)$ – елементарні випромінювачі з коловою ДС, то дана ІАР змішаного типу має один головний промінь.

Згідно з [1] структурна схема АР послідовного виду зображена на рис. 1.

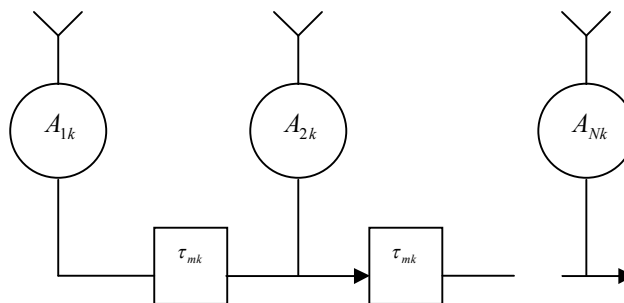
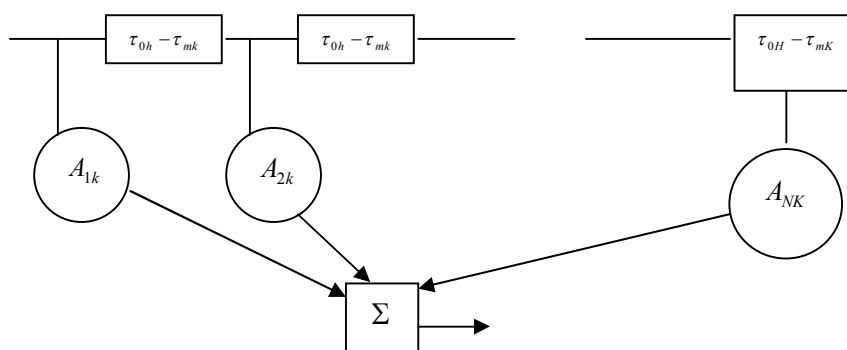


Рис. 1

З формул (5) та (6) визначимо структурні схеми БФ Φ_{hk} та D_{hk} на основі структурної схеми АР. Для прикладу на рис. 2, а та рис. 2, б показано схеми послідовного типу БФ Φ_{hk} та D_{hk} відповідно.



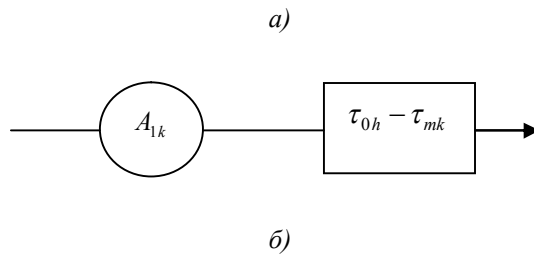
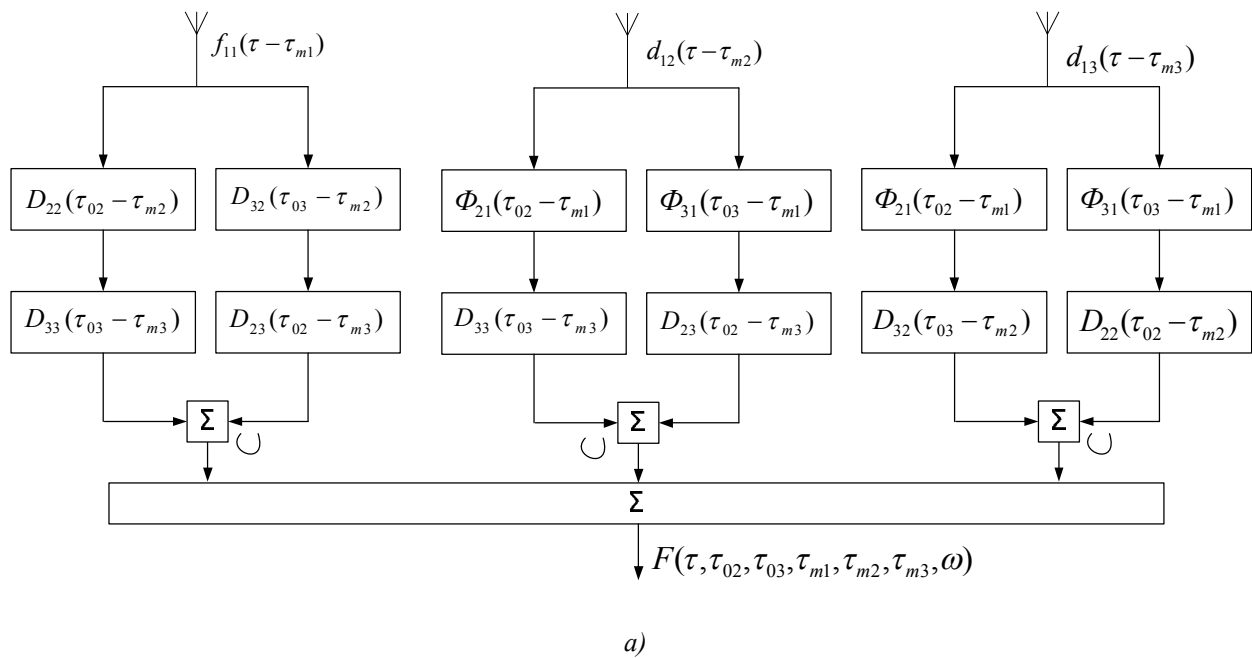
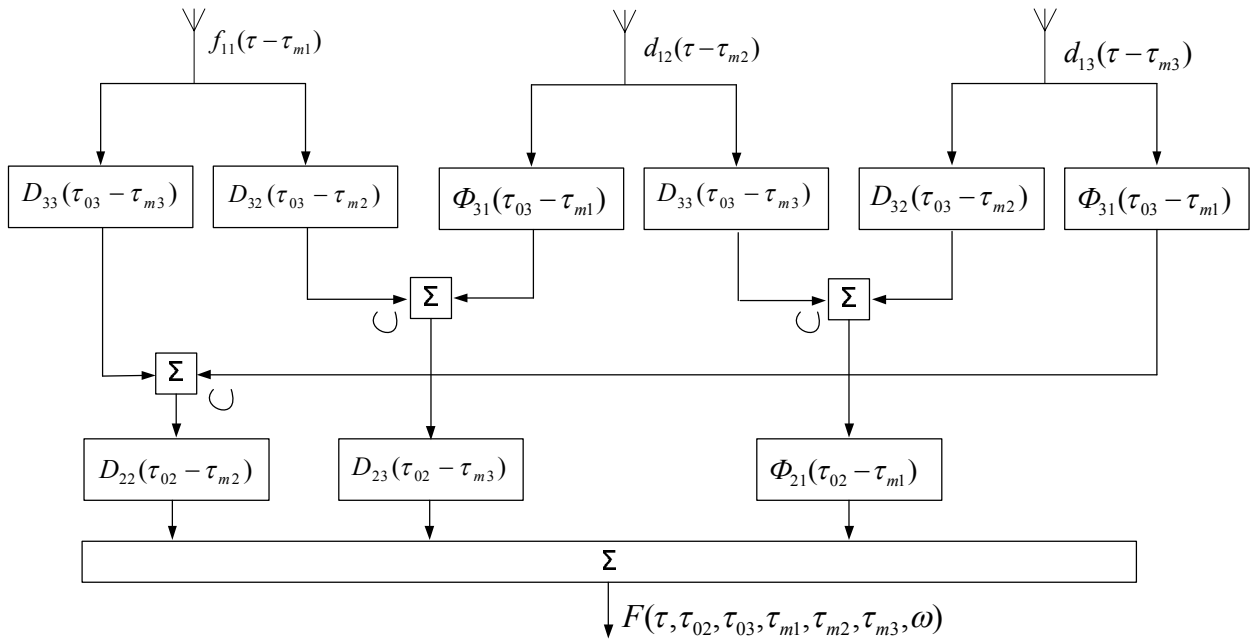


Рис. 2

Реалізація елементів d_{1k} ІАР повинна бути різними елементами АР.

Якщо визначник (1) розкласти за першим рядком, отримаємо повну структурну схему ІАР змішаного типу. На схемі використане позначення \ominus – інвертор сигналу.





б)

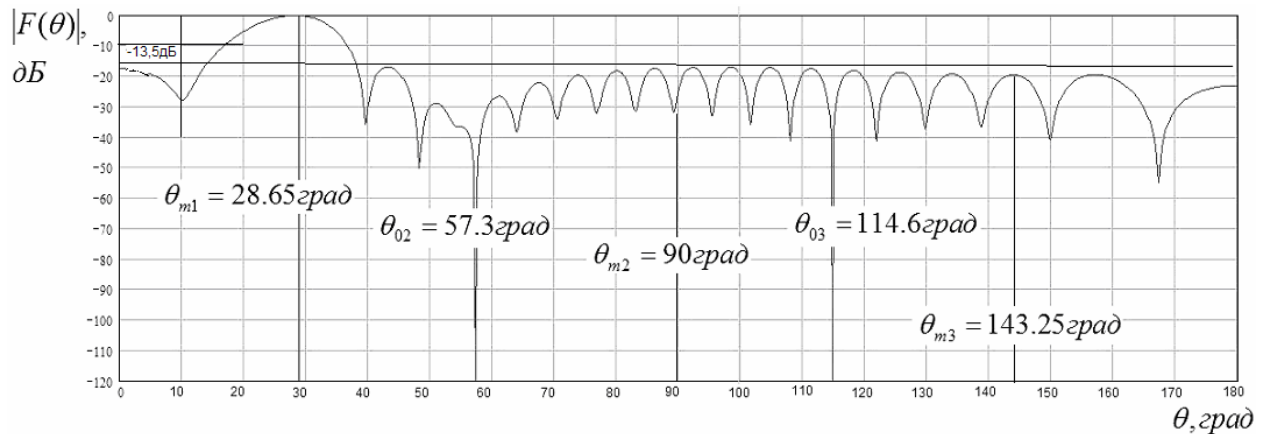
Рис. 3

Різновид схеми, зображений на рис. 3, а, називається паралельним. Розкладемо визначник (1) за другим рядком для того, щоб отримати інший різновид схеми – схрещеного типу.

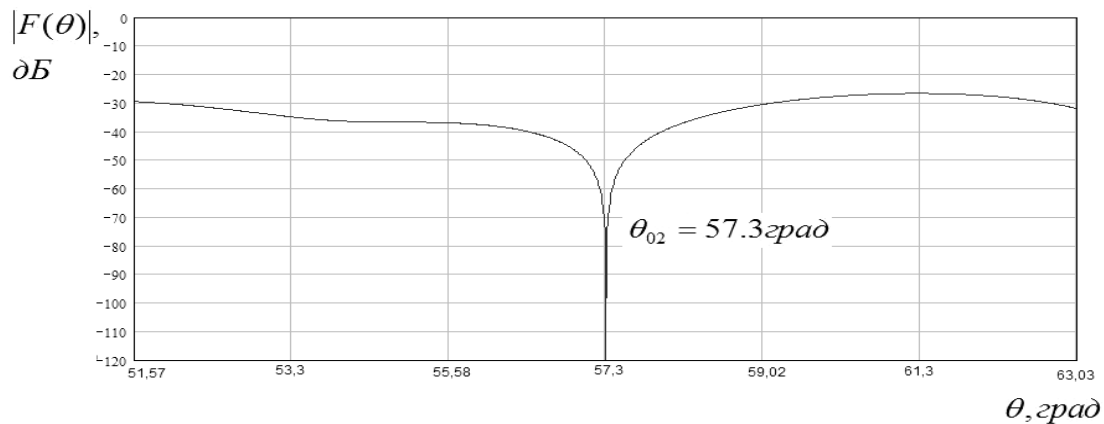
Таким чином, якщо порівняти паралельну і схрещену схему (рис. 3, а та рис. 3, б відповідно) можна побачити, що складні базові фільтри Φ_{hk} , які присутні у схемі, побудовані за принципом променевого синтезу ([1], рис. 3 та рис. 4 відповідно) замінюються на прості базові фільтри D_{hk} , при цьому складних фільтрів у паралельній схемі залишається лише чотири, а у схрещеній – 3. Така побудова схеми призводить до явного спрощення побудови ІАР.

Проведено комплекс програмного моделювання з метою дослідження характеристик ДС ІАР змішаного типу. Для порівняння проведено аналогічні дослідження для ІАР, побудованих на основі променевого синтезу [1].

На рис. 4, а наведено результати програмного моделювання нормованої ДС ІАР змішаного типу, що має два інваріантних відносно частоти нулі. На рис. 4, б наведено ДС в околі нуля $\theta_{02} = 57,3$ град.



а)



б)

Рис. 4

На рис. 5 наведено результати програмного моделювання нормованої ДС ІАР, що побудована на променевій основі та має два інваріантних відносно частоти нулі.

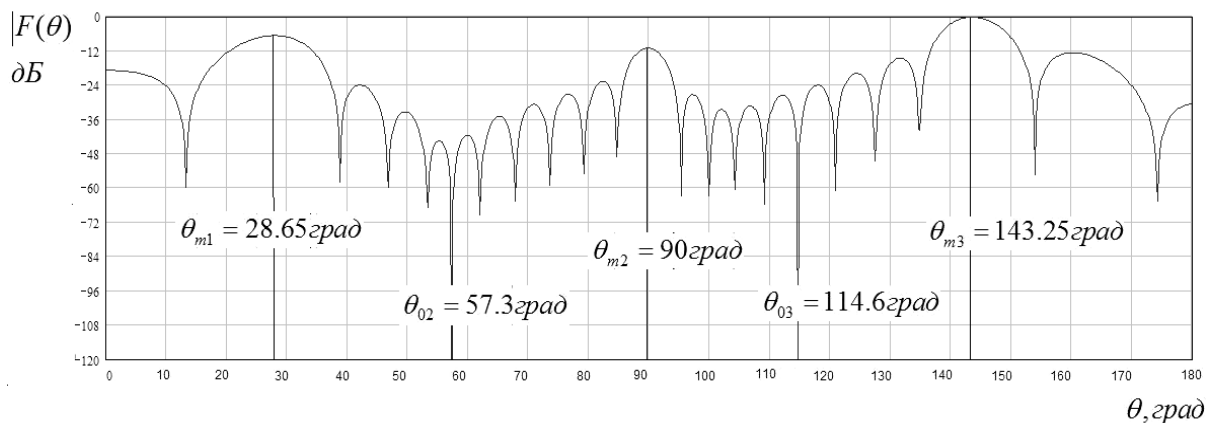


Рис. 5

Результати моделювання (рис. 4–5) отримані для таких початкових умов: напрямки головних променів ДС дорівнюють: $\theta_{m1} = 28,65$ град., $\theta_{m2} = 90$ град., $\theta_{m3} = 143,25$ град.; напрямки нулів ДС дорівнюють: $\theta_{02} = 57,3$ град., $\theta_{03} = 114,6$ град.; кількість елементів ІАР $N = 33$; $\omega = 6,28 \cdot 10^9$ рад./с; крок АР $d = 0,09$ м; закон розподілу амплітуд поля по елементах A_{pk} ІАР – рівномірний, точність встановлення нулів – 6 десяткових розрядів, що відповідає глибині нулів ДС, $-120\text{дБ} = 20\lg 10^{-6}$.

Порівняльний аналіз графіків на рис. 4 та рис. 5 показує, що ІАР змішаного типу ефективно подавляють завади, забезпечують формування нулів високої якості з глибиною до -120 дБ в напрямках джерел завад при рівні бічних пелюсток, що не перевищує $-13,5$ дБ. На противагу цього у випадку побудови ІАР на основі променевого синтезу рівень бічних пелюсток не перевищує -12 дБ, а глибина нулів також досягає -120 дБ. При цьому зменшується рівень максимуму ДС.

На рис. 6 наведено результати програмного моделювання нормованої ДС ІАР змішаного типу, що має два інваріантних відносно частоти нулі.

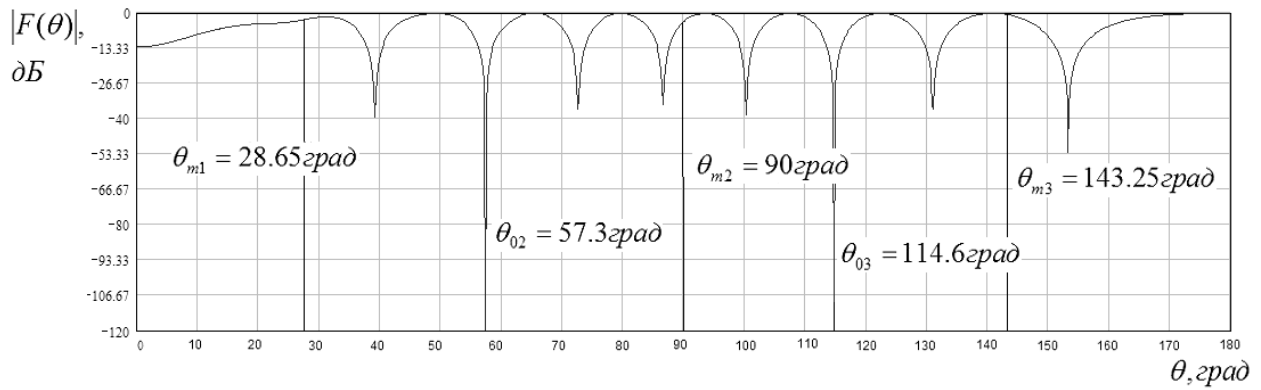


Рис. 6

Проведено дослідження частотних характеристик ІАР змішаного та променевого типу при зміні частоти на величину $\Delta f = 0,5 \cdot 10^9$ Гц.

Результати досліджень при $\omega = 3,02 \cdot 10^9$ рад/с для ІАР променевого типу наведено на рис. 7, змішаного типу – на рис. 8.

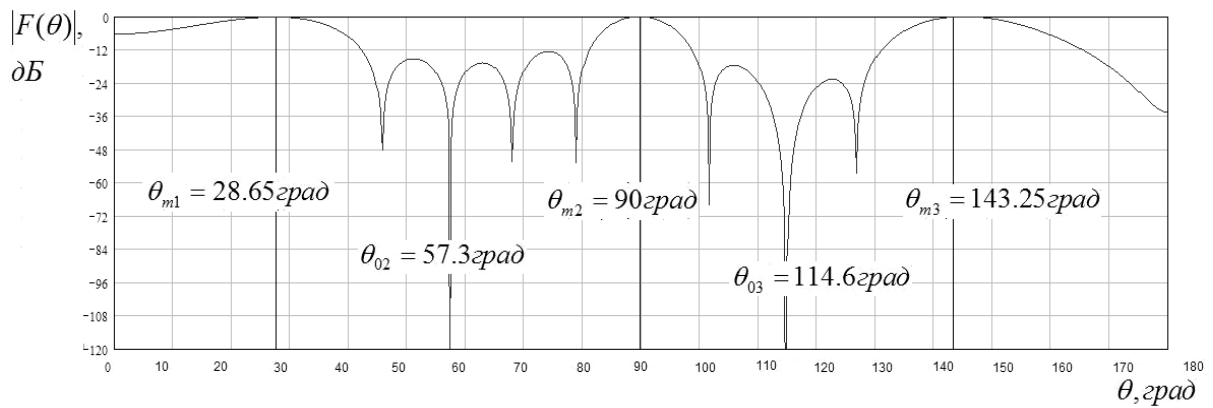


Рис. 7

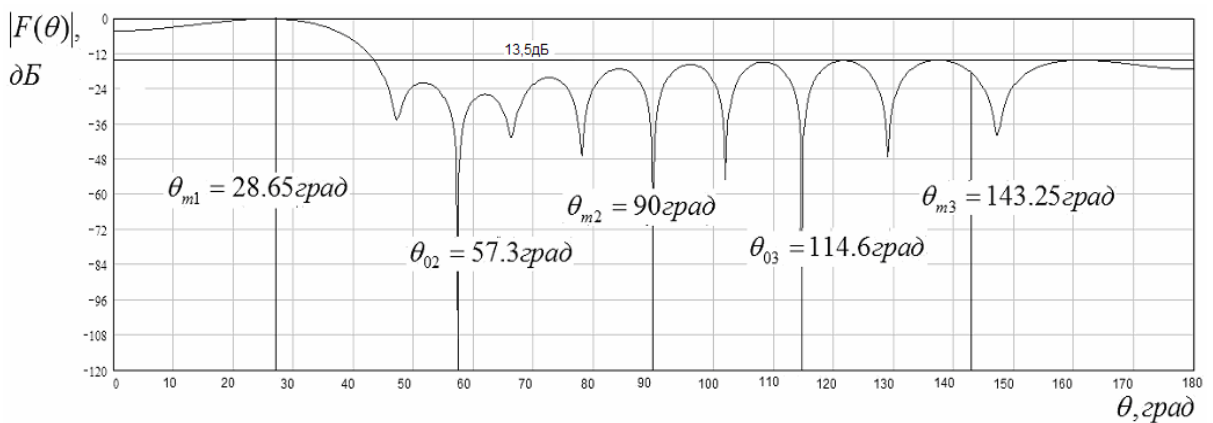


Рис. 8

Порівняльний аналіз результатів рис. 7 та рис. 8 показує, що ІАР змішаного типу забезпечує однакову з променевою ІАР частотну інваріантність напрямку нулів ДС та їх глибину, що становить -120 дБ, при рівні бічних пелюсток, що не перевищує $-13,5$ дБ.

Також проведено дослідження можливості формування нулів у секторі головної пелюстки ДС.

На рис. 9 та на рис. 10 наведено результати програмного моделювання для ІАР, побудованої на променевої основі та на основі змішаного синтезу відповідно для випадку суміщення двох нулів з максимумами ДС.

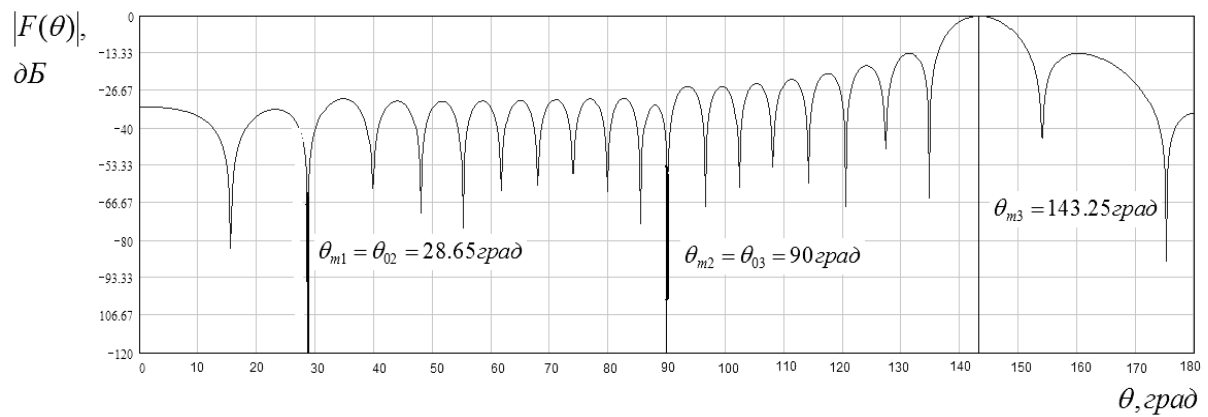


Рис. 9

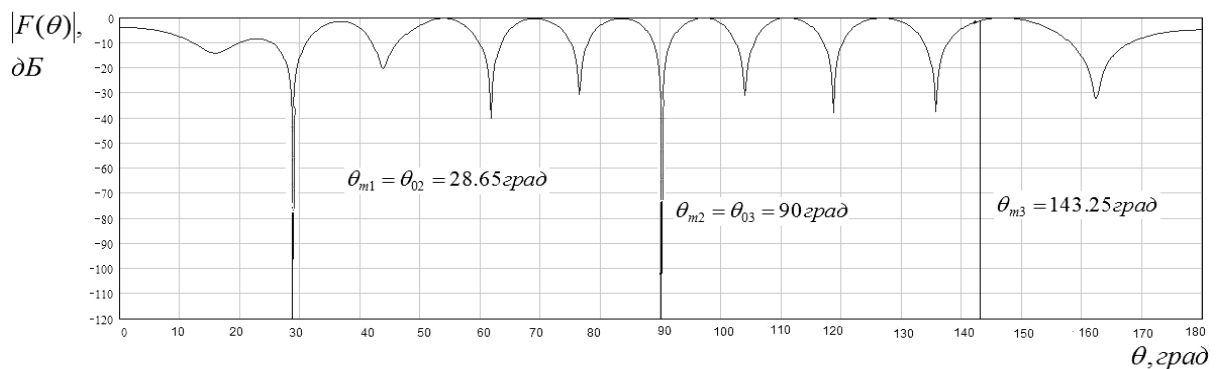


Рис. 10

Результати моделювання рис. 9 та рис. 10 отримані для початкових умов: напрямки головних променів ДС дорівнюють: $\theta_{m1} = 28,65$ град., $\theta_{m2} = 90$ град., $\theta_{m3} = 143,25$ град.; напрямки нулів ДС ІАР променевого та змішаного синтезу дорівнюють: $\theta_{02} = 28,65$ град., $\theta_{03} = 90$ град.

Аналіз графіків на рис. 9 та рис. 10 показує, що при суміщенні нулів з максимумами ДС для ІАР побудованої на основі змішаного синтезу, отримуємо нуль з глибиною -120 дБ на місці максимуму, для променевої ІАР також -120 дБ.

Висновки. Таким чином, результати проведеного аналізу показали, що використання ІАР, побудованої на основі змішаного синтезу, забезпечує високу завадозахищеність радіотехнічних систем для широкого діапазону частот при менших апаратних витратах порівняно з ІАР променевого типу.

Отримані результати можуть бути використані при синтезі та аналізі ІАР змішаного типу. Застосування результатів досліджень забезпечить підвищення завадозахищеності широкопasmових радіоелектронних систем добування та передачі інформації при незмінній точності та зменшених апаратних витратах.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Коваленко М.В. Синтез інваріантних антенних решіток // Вісник ЖДТУ. – № 9. – 1999. – С. 178–184.

КОВАЛЕНКО Микола Вікторович – доктор технічних наук, завідувач кафедри радіотехніки Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- теорія радіотехнічних систем;
- антенні решітки.

ЦИПОРЕНКО Віталій Валентинович – аспірант кафедри біомедичних приладів та систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- інваріантні антенні системи;
- радіопеленгування з використанням цифрової обробки сигналів.

БУРА Вадим Вікторович – аспірант кафедри біомедичних приладів та систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- інваріантні антенні системи.

Подано 20.07.2008

М.В. Коваленко, Хоменко М.Ф., В.В. Ципоренко, В.В. Бура. Моделирование инвариантных антенных решеток для условий смешанного синтеза.

Н.В. Коваленко, Хоменко Н.Ф., В.В. Ципоренко, В.В. Бура. Моделирование инвариантных антенных решеток для условий смешанного синтеза.

N.V. Kovalenko, N.F. Homenko, V.V. Tsiporenko, V.V. Bura. Modeling of the invariant antenna lattices for conditions of the mixed syntheses.

УДК 621.37:621.391

Моделирование инвариантных антенных решеток для условий смешанного синтеза / М.В. Коваленко, В.В., Хоменко М.Ф., Ципоренко, В.В. Бура

Виконано моделювання інваріантних антенних решіток для умов змішаного синтезу. Досліджено параметри подавлення завад ІАР. Проведено порівняльний аналіз ІАР променевого та змішаного типу.

УДК 621.37:621.391

Моделирование инвариантных антенных решеток для условий смешанного синтеза / Н.В. Коваленко, Хоменко Н.Ф., В.В. Ципоренко, В.В. Бура

Проведено моделирование инвариантных антенных решеток для условий смешанного синтеза. Исследовано параметры подавления помех ИАР. Проведено сравнительный анализ ИАР лучевого и смешанного типа.

УДК 621.37:621.391

Modeling of the invariant antenna lattices for conditions of the mixed syntheses / N.V. Kovalenko, V.V., N.F. Homenko, Tsiporenko, V.V. Bura.

Modeling of the invariant antenna lattices is made for conditions of the mixed syntheses. The Explored parameters of the suppression hindrance of IAR. Benchmark analysis IAR beam and mixed type is made.