

М.В. Коваленко, д.т.н., проф.
 Житомирський державний технологічний університет
 Ю.О. Колос, к.т.н., доц.
 С.В. Петраш, к.т.н.
 І.І. Опанасюк, ад'юнкт
 С.О. Соболенко, ад'юнкт

Житомирський військовий інститут радіоелектроніки ім. С.П. Корольова

ОЦІНКА ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ЦИФРОВОГО ДІАГРАМОУТВОРЮВАЧА НА ГЛИБИНУ ТА ПОЛОЖЕННЯ НУЛІВ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНОСТІ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ІНВАРІАНТНОЇ АНТЕННОЇ РЕШІТКИ

У роботі розглянуто вплив параметрів цифрового діаграмоутворювача з урахуванням помилок дискретизації та квантування сигналу на положення та глибину нулів діаграми спрямованості передавальної інваріантної антенної решітки, що побудована на базі лінійної еквідистантної трьохелементної антенної решітки.

Сучасний етап розвитку радіотехнічних систем характеризується широким застосуванням цифрових антенних решіток, які дозволяють формувати діаграми спрямованості антен заданої форми, що дозволяє здійснювати адаптацію в складній сигнально-перешкодовій обстановці.

В [1] було розглянуто елементний синтез інваріантної антенної решітки (ІАР), що дозволяє формувати керовані частотонезалежні нулі (в межах робочої смуги частот антени) діаграми спрямованості антенної решітки. Таку антенну решітку можливо реалізувати за допомогою цифрового діаграмоутворювача (ЦД). Наприклад, ЦД DBF 1108 здатний обробляти сигнали 128 каналів, здійснюючи розрахунки в комплексній формі з темпом синтезування ДС антени 250 нс. на максимальній частоті 1.88 ГГц. [2].

Проаналізуємо вплив параметрів цифрового діаграмоутворювача на положення та глибину нулів діаграми спрямованості передавальної трьохелементної інваріантної антенної решітки з ЦД, яка синтезована елементним способом. Структурна схема такої ІАР представлена на рис.1, де ЦД – цифровий діаграмоутворювач, що реалізує алгоритм синтезу діаграми спрямованості ІАР, на виходах якого стоять цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) для перетворення сигналу в аналогову форму, та підсилювачі потужності для підсилення сигналу до необхідної потужності.

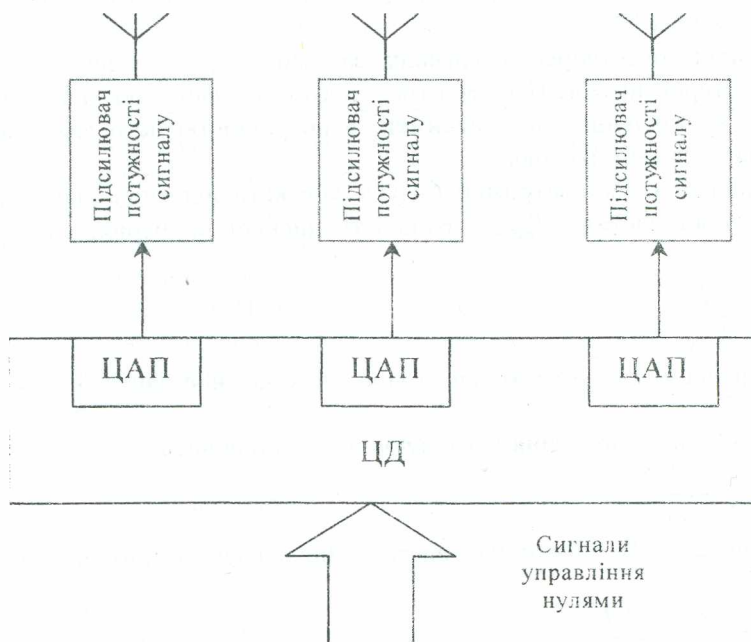


Рис. 1. Структурна схема передавальної ІАР із трьох випромінювачів

Для системи із трьох випромінювачів діаграма спрямованості, яка створюється антеною у відсутності помилок, згідно з [1] буде:

$$\dot{F}(\theta_m, \theta_0, \omega) = \dot{F}_{ei}(\theta, \omega) \begin{vmatrix} A_0 & A_1 \cdot \dot{Z} & A_2 \cdot \dot{Z}^2 \\ A_0 & A_1 \cdot \dot{Z}_{01} & A_2 \cdot \dot{Z}_{01}^2 \\ A_0 & A_1 \cdot \dot{Z}_{02} & A_2 \cdot \dot{Z}_{02}^2 \end{vmatrix}, \quad (1)$$

де A_0, A_1, A_2 – амплітудний розподіл поля за елементами інваріантної антени;

$\dot{Z} = e^{-j\omega\tau}$ – оператор затримки сигналу між сусідніми елементами;

$\tau = \frac{d}{c} \cdot \sin(\theta)$ – час затримки сигналу між сусідніми елементами;

$\dot{Z}_{01} = e^{-j\omega\tau_{01}}$ – оператор затримки сигналу, який визначає положення першого нуля діаграми спрямованості антени;

$\tau_{01} = \frac{d}{c} \cdot \sin(\theta_{01})$ – час затримки сигналу, який визначає положення першого нуля діаграми спрямованості антени;

$\dot{Z}_{02} = e^{-j\omega\tau_{02}}$ – оператор затримки сигналу, який визначає положення другого нуля діаграми спрямованості антени;

$\tau_{02} = \frac{d}{c} \cdot \sin(\theta_{02})$ – час затримки сигналу, який визначає положення другого нуля діаграми спрямованості антени;

$\dot{F}_{ei}(\theta, \omega)$ – діаграми спрямованості випромінювачів інваріантної антени, в даному випадку випромінювачі приймемо ізотропним ($F_{ei}(\theta, \omega) = 1$);

θ_{01}, θ_{02} – напрямки першого та другого нулів діаграми спрямованості ІАР;

θ – поточна кутова координата.

Розглянемо, як впливають помилки перетворення сигналу ЦД на форму діаграми спрямованості передавальної інваріантної антенної решітки (ДС ІІАР).

Для дослідження впливу помилок, які вносить ЦД, на діаграму спрямованості ІАР будемо оперувати коефіцієнтами амплітудного розподілу та виразами операторів затримок сигналу в напрямках нулів. Визначимось, що помилки перетворення сигналу ЦД будуть вноситись у виставлення часу затримок за рахунок дискретизації сигналу в оператори затримки Z та за рахунок квантування сигналу за амплітудою (яке буде вносити ЦАП), в коефіцієнти амплітудного розподілу A [3].

Величина помилок перетворення сигналу за амплітудою та виставлення часу затримок визначається характеристиками ЦД, а саме: тактовою частотою його роботи визначається величина помилки виставлення часу затримки, а розрядністю його вихідних ЦАП – помилки перетворення сигналу за амплітудою.

Помилки виставлення часу затримки будуть залежати від співвідношення періоду сигналу T_c до періоду тактової частоти $T_{такт.}$. Кількість дискрет за період сигналу визначається за формулою:

$$m = \frac{T_c}{T_{такт.}}. \quad (2)$$

Чим більше значення m , тим більш точно можемо виставити необхідне значення часу затримки сигналу.

Мінімальна дискрета відновлення сигналу за часом становить:

$$\Delta\tau_{диск} = \frac{T_c}{m}. \quad (3)$$

Враховуючи вираз (3), помилка виставлення часу затримки сигналу не повинна перевищувати

$$\Delta\tau \leq \frac{\Delta\tau_{диск.}}{2} = \frac{T_c}{2m}. \quad (4)$$

Помилка перетворення сигналу за амплітудою визначається розрядністю ЦАП – N .

Абсолютне значення роздільної здатності ЦАП дорівнює ціні молодшого розряду:

$$U_0 = \frac{U_{\text{вих.макс.}}}{2^N - 1}, \tag{5}$$

де $U_{\text{вих.макс.}}$ – максимальна вихідна напруга перетворювача.

Похибка перетворення за амплітудою не повинна перевищувати половини ціни молодшого розряду:

$$\Delta A = \frac{U_0}{2}. \tag{6}$$

Випадкові величини $\Delta\tau_{l-1}$ та ΔA_{l-1} , де l – номер елемента, передбачається розподілити за рівномірним законом розподілу із середніми значеннями $m_{\Delta\tau} = 0$, $m_{\Delta A} = 0$, середньо-

квадратичним відхиленням $\sigma_{\Delta\tau_{l-1}} = \frac{(\Delta\tau)^2}{12}$, $\sigma_{\Delta A_{l-1}} = \frac{(\Delta A)^2}{12}$, дисперсією $D_{\Delta\tau_{l-1}} = \frac{\Delta\tau}{2 \cdot \sqrt{3}}$,

$$D_{\Delta A_{l-1}} = \frac{\Delta A}{2 \cdot \sqrt{3}} \tag{4}.$$

Вираз для випадкової ДС ІАР з урахуванням помилок запишемо у вигляді:

$$\dot{F}(\theta, \theta_0, \omega) = \begin{vmatrix} A_{n0} & A_{n1} \cdot \dot{Z}_n & A_{n2} \cdot \dot{Z}_n^2 \\ A_{n0} & A_{n1} \cdot \dot{Z}_{n01} & A_{n2} \cdot \dot{Z}_{n01}^2 \\ A_{n0} & A_{n1} \cdot \dot{Z}_{n02} & A_{n2} \cdot \dot{Z}_{n02}^2 \end{vmatrix}, \tag{7}$$

де $A_{n0} = A_0 \pm \Delta A_0$, $A_{n1} = A_1 \pm \Delta A_1$, $A_{n2} = A_2 \pm \Delta A_2$, ΔA_0 , ΔA_1 , ΔA_2 – помилки перетворення амплітуди сигналу, які вносяться за рахунок розрядності ЦАП;

$$\dot{Z}_n = e^{-j\omega(\tau + \Delta\tau)}, \quad \dot{Z}_{n01} = e^{-j\omega(\tau_{01} + \Delta\tau_1)}, \quad \dot{Z}_{n02} = e^{-j\omega(\tau_{02} + \Delta\tau_2)},$$

$\Delta\tau$, $\Delta\tau_1$, $\Delta\tau_2$ – помилки виставлення часу затримки ЦД для напрямків нулів ІАР.

При наявності випадкових помилок часу затримки та амплітуди діаграма спрямованості ІАР $\dot{F}(\theta, \theta_0, \omega)$ є випадковою функцією. Середня діаграма спрямованості ІАР за потужністю буде мати вигляд [5]:

$$\overline{\dot{F}^2(\theta, \theta_0, \omega)} = \overline{\dot{F}(\theta, \theta_0, \omega)} \cdot \overline{\dot{F}^*(\theta, \theta_0, \omega)}. \tag{8}$$

Математичне моделювання ІАР, що складається із трьох елементів з урахуванням помилок, які вносять ЦД, було проведено за допомогою програмної оболонки "Mathcad 2001". Відстань між випромінювачами ІАР $d = \frac{\lambda}{2}$, λ – довжина хвилі сигналу. Усереднення ДС ІАР було проведено за статистичною вибіркою ста випадкових діаграм спрямованості ІАР.

На рис. 2 зображено графік залежності відхилення напрямків нулів від кількості дискрет m та розрядності ЦАП N . При збільшенні m відхилення зменшується. Такий факт обумовлений тим, що при меншій кількості m – помилки виставлення часу затримки в операторах затримки (7) великі, що і обумовлює зміщення положення нуля від заданого напрямку, розрядність ЦАП на зміщення положення нулів впливає слабо.

На рис. 3 представлений графік залежності глибини нулів інваріантної антенної решітки від кількості дискрет m та розрядності ЦАП – N . Суцільними лініями на графіку зображено провали в ДС ІАР в напрямках, які задавались. Штриховою лінією зображена глибина отриманого нуля у зміщеному напрямку.

Графік, зображений на рис. 3, за різницею між глибиною нуля, який формується, та провалом діаграми спрямованості в заданому напрямку можливо умовно поділити на три ділянки. Перша ділянка $5 < m < 7$, друга ділянка $8 < m < 12$, третя ділянка $13 < m < 25$. На ділянці $13 < m < 25$ різниця складає приблизно 1–2 дБ. На ділянці $8 < m < 12$ різниця складає 4–7 дБ, на ділянці $5 < m < 7$ приблизно 4–5 дБ. На другій ділянці графіка нуль виставляється з кутковими помилками 1–2 градуси (рис. 2) і за рахунок того, що нуль формується вузьким, різниця між провалом діаграми спрямованості в заданих напрямках та глибиною зміщеного нуля – максимальна. На першій ділянці нуль формується з великими кутковими помилками 2–10 градусів, але широкий. Тому різниця менша, ніж на другій ділянці. Мінімальна різниця – на третій ділянці, де формуються вузькі нулі з невеликими зміщеннями.

відхилення напрямку
нуля, в град.

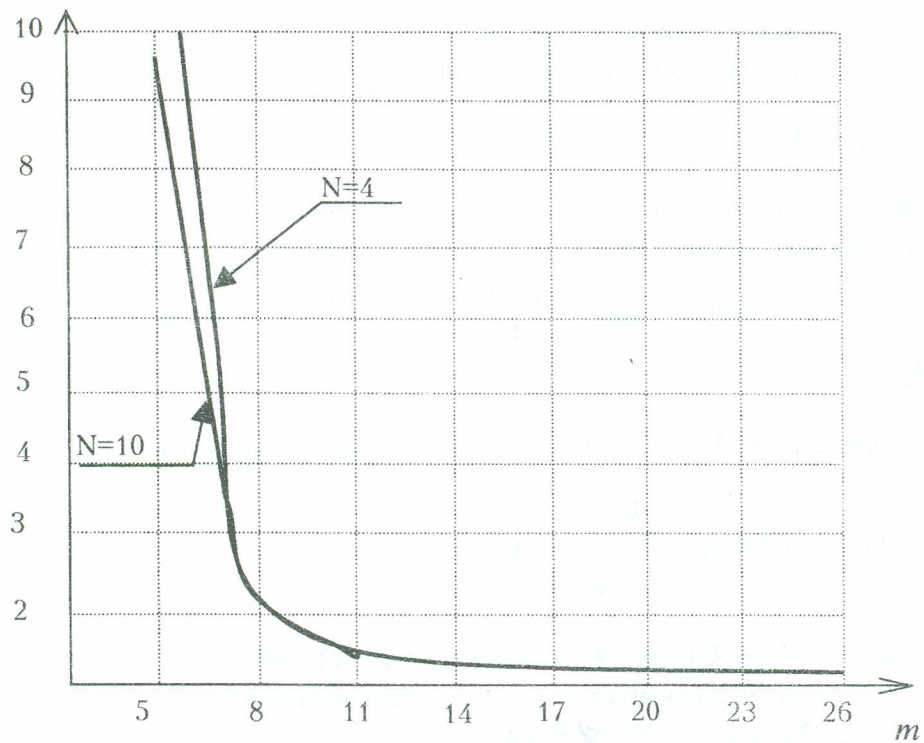


Рис. 2. Залежність відхилення напрямку нуля ДС ІАР від кількості дискрет m та розрядності N

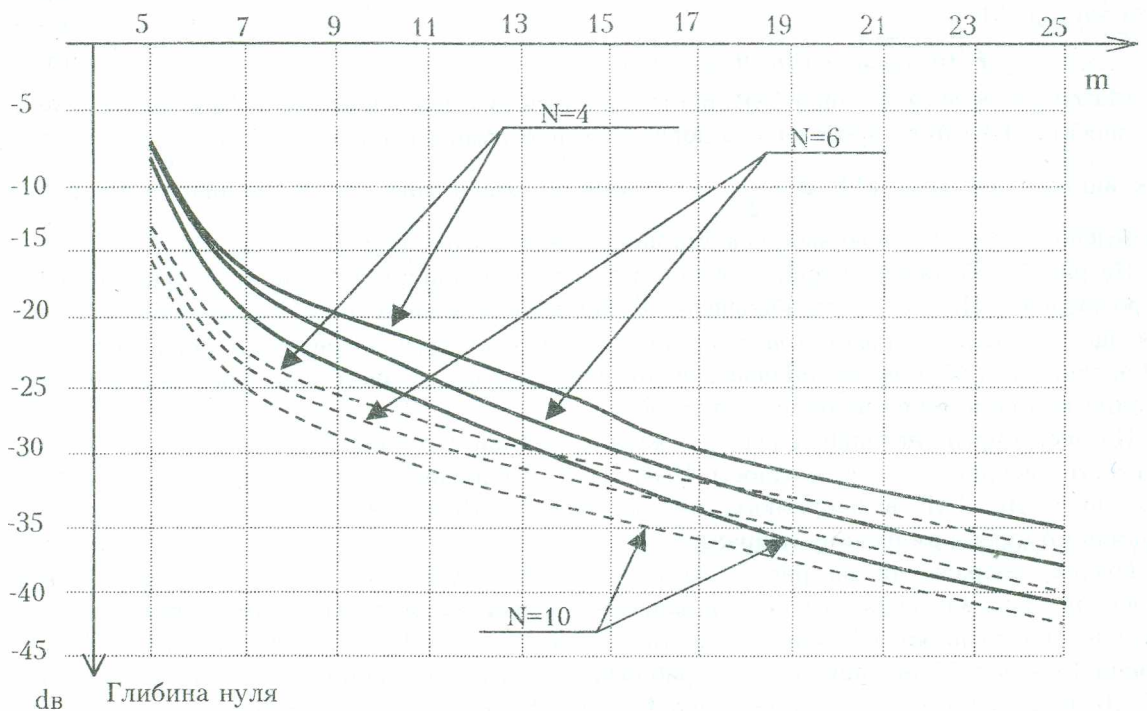


Рис. 3. Залежність глибини нулів ІАР від кількості дискрет m та розрядності ЦАП - N

Із наведених вище графіків видно, що на положення та глибину нулів ДС ІАР в більшому ступені впливає кількість дискрет квантування сигналу за частотою m . При $m \geq 9$ кутові помилки встановлення нуля ДС становлять не більше 1°. Кількість дискрет квантування за частотою m слід обирати, в першу чергу, виходячи з необхідної глибини нуля, тому що вона найбільше залежить від характеристик ЦД.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Коваленко М.В. Синтез інваріантних антенних решіток // Вісник ЖІТІ: Житомир, 1999. – № 9. – С. 178–184.
2. Слюсар В.И. Цифровое диаграммообразование – базовая технология перспективных систем связи // Радиоаматор. – Киев, 1999. – № 8 (70). – С. 58–60.
3. Бахрах Л.Д., Воскресенский Д.И. Проблемы антенной техники. – М.: Радио и связь, 1989. – 368 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
5. Шифрин Я.С. Вопросы статистической теории антенн. – М.: Сов. радио, 1970. – 382 с.

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

Наукові інтереси:

- теорія РТС;
- антенні решітки.

КОЛОС Юрій Олександрович – кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри радіотехнічних систем Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- антенні решітки.

ПЕТРАШ Сергій Віталійович – кандидат технічних наук, заступник начальника кафедри радіотехнічних систем Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- теорія РТС.

ОПАНАСЮК Ігор Іванович – ад'юнкт кафедри радіотехнічних систем Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- антенні решітки.

СОБОЛЕНКО Сергій Олександрович – ад'юнкт кафедри радіотехнічних систем Житомирського військового інституту радіоелектроніки ім. С.П. Корольова.

Наукові інтереси:

- антенні решітки.

Подано 28.09.2004