

ПРИДУШЕННЯ ЗАВАД З ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТИВНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК

Холодило Олександр

Науковий керівник – к.т.н., Іванова О. О.

Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ІРТЗІ
м. Харків, Україна

Adaptive antenna arrays are widely used to solve various problems in such industries as telecommunications, radio and sonar equipment, as well as electronic warfare. There are a number of fairly simple and at the same time quite effective algorithms for tuning such arrays. The report describes the main types of antenna arrays.

Широке використання антенних решіток (АР) у різних радіоелектронних засобах (РЕЗ) спочатку було пов'язане з їх здатністю здійснювати електронне керування променем (головною пелюсткою діаграми спрямованості (ДС)) та формувати кілька незалежно керованих променів, наприклад, для супроводу радіолокаційними системами (РЛС) кількох цілей або для обслуговування декількох зон на земній поверхні космічним апаратом-ретранслятором у системах супутникового зв'язку.

Однак, крім цього, властива АР просторово-мультिकанальна структура дає змогу суттєво підвищити показники якості РЕЗ, у яких застосовуються антенні решітки. Це реалізується шляхом формування нулів у ДС АР у напрямках джерел завад.

Відомо, що для такої решітки ДС визначається виразом

$$F = \sum_{n=1}^N \dot{a}_n \exp(-jnk d \sin(\theta)), \quad (1)$$

де $\dot{a}_n = a_n e^{i\phi_n}$ – комплексний коефіцієнт зважування (a_n – амплітудний, ϕ_n – фазовий множник), $k = 2\pi/\lambda$ – хвильове число, λ – довжина хвилі, d – відстань між елементами решітки, N – кількість елементів АР. Змінюючи значення цих коефіцієнтів \dot{a}_{0n} , можна отримати нову ДС $F(\theta)$, яка матиме нулі $F(\theta_m) = 0$ у напрямках θ_m на джерела завад.

Виділяють три основні типи АР, що відрізняються методом обчислення наборів вагових коефіцієнтів:

- АР із синтезом ДС;
- АР, що самостійно налаштовуються;
- адаптивні АР (ААР).

Перший тип АР використовує для формування нулів у ДС відомі або визначені напрямки на джерела завад. Другий тип формує нулі в ДС у напрямках на джерела завад без використання інформації про їх точне розташування, тобто адаптивно, але за умови відсутності корисного сигналу. Для третього типу АР характерна значна невизначеність щодо параметрів

як завад, так і корисного сигналу (не відомі напрямки ані на джерела завад, ані на джерело сигналу). У результаті адаптації в напрямку на джерело сигналу АР повинна формувати максимум ДС, а в напрямках на завади – нулі ДС.

Відмінність першого та другого типів від третього полягає лише в тому, що в першому випадку застосовується двоетапна адаптація «вимірювання – синтез ДС», а в другому приймання сигналу та адаптація до завад рознесені в часі.

Останніми роками успіхи в галузі цифрових обчислювальних засобів призвели до появи так званих «інтелектуальних» («смарт») АР. Їх головною особливістю є наявність підсистеми штучного інтелекту в контурі керування АР. Це дає змогу гнучко та оперативно реагувати на зміни сигнально-завадової обстановки, враховуючи великий обсяг інформації про навколишнє середовище та внутрішні стани АР.

Антенні решітки із синтезом діаграми спрямованості. Перевагами такої АР є її простота, висока швидкодія (вагові коефіцієнти, що відповідають різним θ_m , можуть або швидко обчислюватися спеціальним процесором, або розраховуються заздалегідь і зберігаються в пам'яті), відсутність залежності коефіцієнта ослаблення завади від її рівня і структури (стаціонарності, корельованості із сигналом і завадами тощо).

Недоліками є необхідність апріорного знання напрямків на джерела завад, або використання процедури адаптації (перший крок – вимірювання θ_m , другий – формування нуля ДС) в умовах зміни сигнально-завадової обстановки.

Складність і висока вартість АР досі обмежують використання багатоелементних АР у бортових РЕЗ космічних апаратів. Тому широко застосовуються дзеркальні антени з опромінювачами у вигляді малоелементних АР з мінімальною кількістю керованих елементів.

Із теорії антен відомо, що рівень і структура бокових пелюсток визначаються крайніми елементами апертури. На цій ідеї побудована АР з комплексним керуванням сигналами на виходах лише крайніх (1-го та N -го) елементів АР. Оскільки форма ДС решітки з двох крайніх елементів близька до форми бокових пелюсток ДС усієї АР, то доборою коефіцієнтів \dot{a}_1 та \dot{a}_n вдається повністю компенсувати цілу бокову пелюстку ДС.

Для малоелементних АР ширина пелюстки може становити десятки градусів, що дозволяє формувати широкі провали в ДС і боротися, таким чином, із широкосмуговими або розподіленими за напрямком завадами (рис. 1, 2). Однак, оскільки елементів АР мало, коефіцієнт ослаблення завад не перевищує 20–30 дБ.

Недоліки АР з синтезом ДС, що полягають у необхідності знання напрямків на джерела завад і обмеженні коефіцієнта ослаблення завад через відмінність АР від її математичної моделі, вдається усунути при переході до АР, заснованих на методах адаптивного формування нулів у ДС.

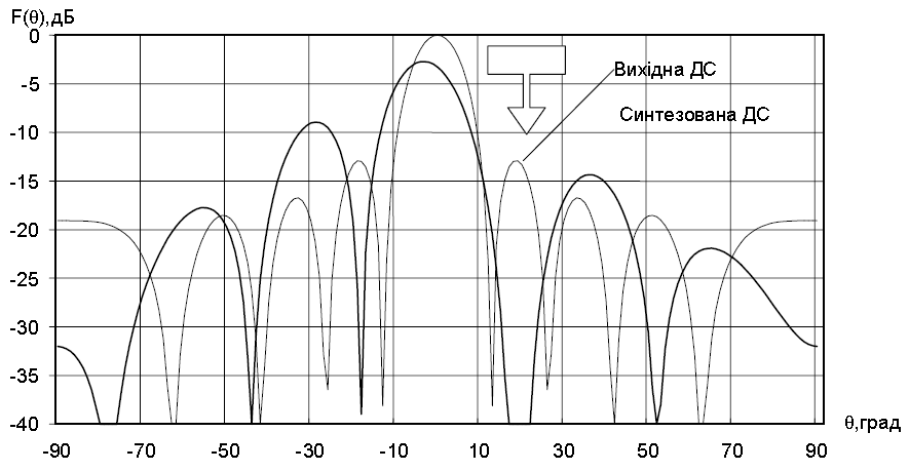


Рисунок 1 – Форма ДС АР з компенсованою першою боковою пелюсткою

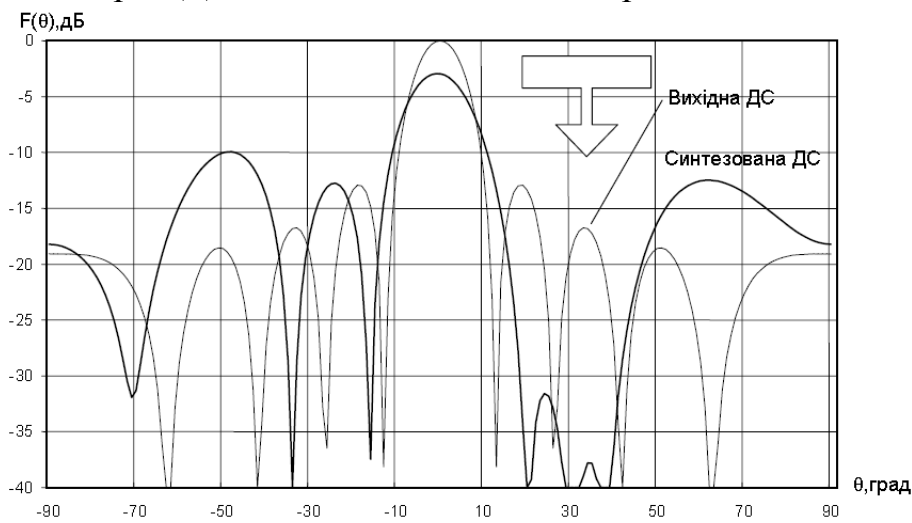


Рисунок 2 – Форма ДС АР при компенсації другій боковій пелюстці ДС

Самонастроювані антенні решітки. На відміну від АР попереднього типу, самонастроювані АР мають петлю зворотного зв'язку, але не є повністю адаптивними, оскільки, по-перше, вимагають знання напрямку на джерело сигналу, а по-друге, адаптація (самоналаштування) здійснюється на інтервалі часу, коли корисний сигнал відсутній.

Принцип функціонування такої АР базується на наступному. Потужність сигналу на виході лінійної еквідистантної АР з фазовим керуванням в умовах відсутності корисного сигналу дорівнює сумарній потужності від M джерел завад і визначається наступним виразом:

$$P_M = P_M(\Phi_0) = \left| \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N U_{mn} e^{j\varphi_{0n}} e^{jnkdsin\theta m} \right|^2, \quad (2)$$

де U_{mn} – амплітуда завади у n -му елементі АР від m -го джерела завади, $\Phi_0 = [\varphi_{01}, \varphi_{02}, \dots, \varphi_{0n}, \dots, \varphi_{0N}]$ – набір переналаштовуваних коефіцієнтів фазового зважування.

Очевидно, що підбором значень вектора Φ можна мінімізувати P_M . При цьому при $N = 2M$ існує тільки одне рішення, а при $N > 2M$ – множина

рішень системи рівнянь:

$$P_M(\Phi_{\text{опт}}) \rightarrow \min, \quad (3)$$

Розроблено велику кількість алгоритмів визначення вектора $\Phi_{\text{опт}}$. Найбільш поширеним є градієнтний алгоритм пошуку, широко застосований у математиці для розв'язання нелінійних задач.

Адаптивні АР (ААР) дозволяють формувати нулі ДС у напрямку джерел завад за наявності корисного сигналу. Це досягається, проте, значним ускладненням схеми АР. На відміну від раніше схем АР, дана схема потребує наявності N додаткових приймачів, що ускладнюють і здорожують АР.

Необхідно зазначити, що за наявності опорного сигналу ААР не лише формує нулі ДС у напрямку джерел завад, а й спрямовується головною пелюсткою на джерело сигналу. Однак існують схеми ААР і без опорного сигналу, так звані АР «з інверсією потужності». Їхнє функціонування базується на тому, що за відсутності опорного сигналу у схемі ААР найбільшому ослабленню підлягає сигнал із більшою потужністю.

Основною перевагою ААР є можливість формування глибоких нулів ДС (до 70...80 дБ) у напрямку джерел завад при мінімумі або повній відсутності інформації про сигнально-завадову обстановку.

Недоліки: складність і висока вартість, низька швидкість адаптації та, пов'язана з цим, низька ефективність роботи в умовах нестабільної завадової обстановки (у разі змінних у часі та просторі завад).

Різноманітність підходів побудови ААР обумовлена тим, що адаптивні решітки дозволяють змінювати спрямовані характеристики антени в реальному часі, посилюючи сигнал потрібного джерела та ослаблюючи завади, що підвищує ефективність роботи радіоелектронних систем у складних умовах електромагнітного середовища.

Список використаних джерел:

1. Якобінчук О. В. Методика оцінки завадозахищеності системи зв'язку, радіотехнічного забезпечення та автоматизації управління // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – № 1(17). – С. 144–146.
2. Масєсов М. О., Бондаренко І. О., Садиков О. І., Макаруч В. І. Методика оцінки стійкості системи військового зв'язку // Збірник наукових праць ВІТІ. – 2016. – № 1. – С. 94–102.
3. Юхновський С. А., Кулик О. П., Костенко І. Л. Часткова методика оцінки відповідності системи зв'язку потребам визначеної системи управління протиповітряною обороною // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2017. – № 2(27). – С. 124–126.
4. Якобінчук О. В. Методика оцінки розвідзахищеності системи зв'язку // Труды академії. – Київ: НАОУ, 2009. – № 1(88). – С. 284–293.