

УДК 621.396

Корнієнко Л.Г.¹, Лукашук О.В.², Струцінський О.В.²

¹ проф. ХНУПС імені Івана Кожедуба, м. Харків

² доц. ХНУПС імені Івана Кожедуба, м. Харків

ФОРМУВАННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ БАГАТОЧАСТОТНИМИ ФАЗОВАНИМИ АНТЕННИМИ РЕШІТКАМИ

Розглянуті можливості синтезу багаточастотних просторово-часових сигналів (БЧПЧС) багаточастотними фазованими антенними решітками (БЧФАР) з довільним розташуванням випромінювачів шляхом узгодження збудження ФАР з частотним спектром сигналів. Проаналізовані властивості поля і способи покращення форми синтезованих імпульсів.

Ключові слова: багаточастотна ФАР, багаточастотний просторово-часовий сигнал, частотний спектр, періодична послідовність імпульсів, амплітудно-фазовий (АФР) і частотний (ЧР) розподіли.

Вступ. У БЧФАР випромінювачі збуджуються когерентними гармонічними коливаннями з різними частотами, розподіленими в роєві за певним законом. Це дозволяє за допомогою таких антен розширити коло вирішуваних інформаційних та енергетичних задач, що сприяє підвищенню бойових спроможностей радіотехнічного озброєння [1-4]. Розглядаються, зазвичай, лінійні та плоскі ФАР. Актуальним стає питання визначення можливостей випромінювання БЧФАР з будь-яким розташуванням випромінювачів імпульсних полів заданої форми. Мета роботи полягає у визначенні методики синтезу поля БЧФАР у вигляді періодичної послідовності радіоімпульсів заданої форми, можливостей керування їх параметрами та способів корекції їх форми.

Поле БЧФАР. Поле антенної решітки з довільним розташуванням N однотипних випромінювачів (рис.1) в точці спостереження P (r_0 , θ , φ) в дальній зоні визначається в момент часу t за узагальненим правилом множення [5]

$$\dot{\vec{E}}(P, t) = \dot{\vec{E}}_0(P, t) \dot{f}_d(P, t),$$

де $\dot{\vec{E}}_0(P, t) = \frac{\dot{\vec{E}}_0(\vec{i}_p)}{r_0} \sqrt{60 P_{\Sigma 0} D_0} \exp[j(\omega_0 t - k_0 r_0 + \varphi_0)]$ - поле центрального випромінювача з діаграмою спрямованості (ДС) $\dot{\vec{E}}_0(\vec{i}_p)$, коефіцієнтом спрямованої дії $P_{\Sigma 0}$, потужністю випромінювання $P_{\Sigma 0}$,

$$\dot{f}_d(P, t) = \sum_{n=0}^{N-1} A_n \exp\{j[(\omega_n - \omega_0)t - (k_n - k_0)r_0 + k_n \vec{\rho}_n \vec{i}_p + \Phi_n]\} \quad - \quad \text{динамічний}$$

множник решітки з АФР $A_n \exp(j\Phi_n)$, ЧР ω_n , хвильовими числами k_n . Зміст інших позначень зрозумілий з рис. 1.

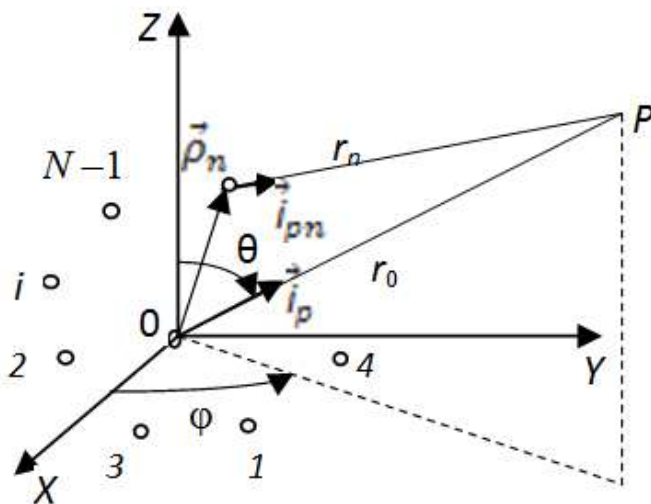


Рисунок 1 - Антенна решітка з системою координат

Нехай різниця кутових частот коливань $\omega_n - \omega_0 = n\omega$, $\omega = 2\pi f$. Тоді

$k_n - k_0 = nk$, $k = 2\pi/\lambda$. Якщо $\Phi_n = -k_n \vec{\rho}_n \vec{i}_{pm}$, то динамічний множник

$$\dot{f}_d(P, t) = \sum_{n=0}^{N-1} A_n \exp\{j[n\omega t - nkr_0 + k_n \vec{\rho}_n (\vec{i}_p - \vec{i}_{pm})]\},$$

який описує огинаючу БЧПЧС антенної решітки ізотропних випромінювачів, при $\omega t_i - kr_i = i2\pi, i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, в напрямку $\vec{i}_{pm}$ досягає абсолютного максимуму. Отже, на дальностях r_i в мить часу t_i гармонічні коливання на всіх частотах підсумовуються синфазно, виникає ефект просторово-часового стиснення сигналу. При $t_i = iT$ (відліковий час, $T=1/f$) максимуми динамічного множника формуються на відстанях r_i , кратних довжині хвилі $\lambda=c/f$. БЧПЧС являє собою періодичне по дальності і часу імпульсне поле, просторовим розподілом якого можна керувати шляхом управління фазовим і частотним розподілами в розкритті решітки.

Синтез періодичної послідовності прямокутних імпульсів. В радіолокації часто використовуються радіоімпульси прямокутної форми.

Відомо [6], що сигнал $s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \exp(jn\omega t)$ при спектрі

$C_n = (\sin(n\pi/q)/n\pi) \exp(-jn\omega t_0)$ являє собою періодичну послідовність відеоімпульсів прямокутної форми з шпаруватістю q і часом запізнення t_0 .

Для формування в напрямку $\vec{i}_{pm}$ поля у вигляді послідовності радіоімпульсів з огинаючою прямокутної форми достатньо в динамічному множнику (2) прийняти $A_n = C_n$ і, оскільки спектр має від'ємні частоти, вибрати нумерацію випромінювачів у вигляді $-0,5(N-1) \leq n \leq 0,5(N-1)$ при їх непарній кількості.

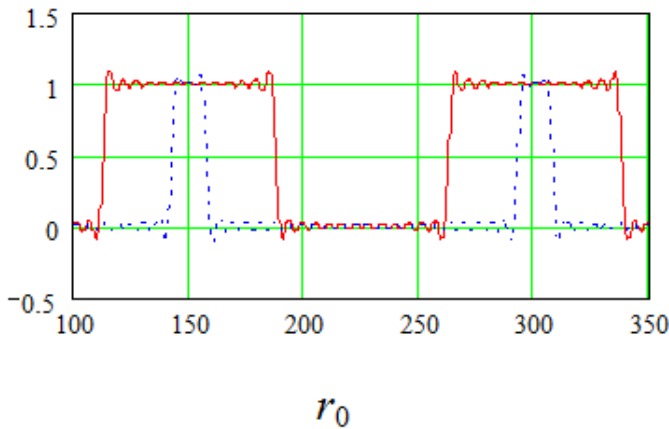


Рисунок 2 - Огинаючі БЧПЧС

На рис. 2 наведені графіки модулю динамічного множника для відлікового часу, значень $q=2$ (меандр, суцільна крива) і $q=10$ при $N=51$, $f=2\text{МГц}$ ($\lambda=150\text{м}$), $t_0=0$. Імпульси розташовані на відстанях, кратних λ , їх дальнісна ширина на рівні 0,5 складає відповідно 75м і 15м (що відповідає тривалості $2,5\cdot 10^{-7}\text{с}$ і $0,5\cdot 10^{-7}\text{с}$). Зміна шпаруватості при фіксованому періоді приводить до зміни ширини імпульсів, внаслідок зміни амплітудного розподілу. Ширина імпульсів обернено пропорційна ширині спектру Nf і не залежить від способу розташування випромінювачів, відстані між ними та розміру розкриття. Наявність відхилень від ідеальної форми обумовлена врахуванням обмеженої кількості складових спектру, яка визначається кількістю випромінювачів. При заданій кількості випромінювачів покращити форму імпульсів можна шляхом випромінювання кожним елементом решітки декілька спектральних складових. Такий підхід дозволяє також зменшити кількість елементів решітки при допустимих відхиленнях від ідеальної форми. Проведені розрахунки свідчать, що форму імпульсів, показаних на рис.2, можна отримати решіткою з $N=5$ елементів при випромінюванні центральним $n=0$ елементом 11 спектральних складових ($-5 \leq m \leq 5$), елементами $n=1, 2, 3, 4$ по 10 складових відповідно з номерами $-15 \leq m \leq -6$, $-25 \leq m \leq -16$, $6 \leq m \leq 15$, $16 \leq m \leq 25$. Загальна кількість складових спектру сигналу, що випромінюється, складає 51, як і у випадку, розглянутому на рис.2.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Antonik P., Wicks M. & Baker C. 2006 'Frequency diverse array radars' & 'Multi-Mission Multi-Mode waveform diversity' Proc. IEEE Radar Conf.'06, pp. 215-217; pp. 580-582.
2. Baizert P., Hale T. etc. 2006 'Forward-looking radar GMTI benefits using a linear FDA' Electr. Lett., vol. 42, No.22, oct.
3. Sedyshev Yu., Sedyshev P., Shevchenko A. & Tyutyunnik V 2010 'Peculiarities of using space-time MF signals for fast electronic scanning in radars with APAA' Radioelectr. and Comm. Sys. Vol. 53, No.4, pp. 173–184.
4. Корнієнко Л.Г. Параметры узкополосных пространственно-временных сигналов сфокусированных многочастотных фазированных антенных решеток со сверхбыстрым сканированием в зоне Френеля / Л.Г. Корнієнко // Системи обробки інформації.–Х.: ХУПС, 2014. – Вип.4 (120).– С.18-24.
5. Корнієнко Л.Г. Антени. Частина 1. Загальна теорія антен / Л.Г. Корнієнко, Я.С. Шифрін. – Х. : ХНУПС, 2022.–300с.
6. Баскаков С.И. радиотехнические цепи и сигналы. – М. : Высш. шк., 1988 –448с.