

МЕТОД ПРОСТОРОВОГО ФОКУСУВАННЯ ЯК СПОСІБ ФОРМУВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ ЗІ СФЕРИЧНИМИ ФАЗОВИМИ ФРОНТАМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РАДІОРЕЛЕЙНИХ ЛІНІЙ

Авдєєнко Г.Л., Якорнов Є.А.

*Институт телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського
E-mail: django2006@ukr.net*

Spatial focusing method as a way for electromagnetic waves formation with spherical wavefronts for the bandwidth increase of microwave links

A mathematical model is developed and some simulation results for finding the electromagnetic energy focusing points which emitted by the elements of a linear sparse antenna array with spherical wavefronts in the space between corresponding microwave stations are obtained.

В роботі авторів [1] сформульовані ряд завдань по дослідженню можливостей використання відмінностей у формах фазових фронтів (ФФФ) електромагнітних хвиль (ЕМХ) для підвищення продуктивності радіорелейної лінії зв'язку (РРЛЗ) прямої видимості при знаходженні їх антенних систем в зоні Френеля і, зокрема, задача теоретичного аналізу можливості синтезу тієї чи іншої ФФФ ЕМХ шляхом суперпозиції випромінюваних антенами ЕМХ в певних точках простору (фокусах).

Розглянемо варіант вирішення цієї задачі для спрощеної схеми РРЛЗ з розрідженої антенної решітки (РАР), зображеної на рис.1, де РРС - радіорелейна станція, а ДУС - діаграмоутворююча схема, ПФ - просторовий фільтр.

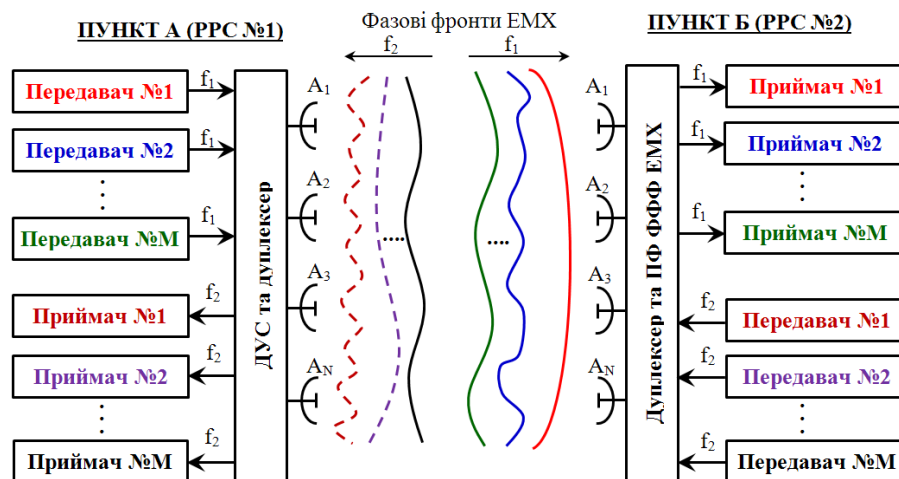


Рис.1. Спрощена схема РРЛЗ з на основі використання РАР.

За відсутності кривизни (сферичності) фронту ЕМХ кожен з N каналів передачі і прийому РРС може працювати автономно на парі частот (f_{1i} , f_{2i} , $i = \overline{1, N}$) як один дуплексний ствол або як два симплексні ствола.

При наявності кривизни фазового фронту ЕМХ, яка визначається довжиною інтервалу d між границями ближньої та далекої зони РАР РРС

$D_{БЗ} \ll d \ll D_{ДЗ}$ можливо здійснювати [1] просторову обробку сигналів по ФФФ на передачу і прийом на одній й тій самій несучій частоті f .

Оскільки в реальних РРЛЗ порядок величин d не перевищує декількох сотень метрів, то для збільшення інтервалу між РРС пропонується ввести процедуру вибору фокусів електромагнітної енергії (ЕМЕ), в яких хвили від РАР інтерферують синфазно і є вторинними джерелами випромінювання.

Для фокусування енергії від РАР в будь-яку точку ближньої або Френелівської зони випромінювання необхідно в кожному з k каналів передавальної РАР за допомогою керованих фазообертачів змінити фазу струму або за допомогою керованих ліній затримки внести часову затримку.

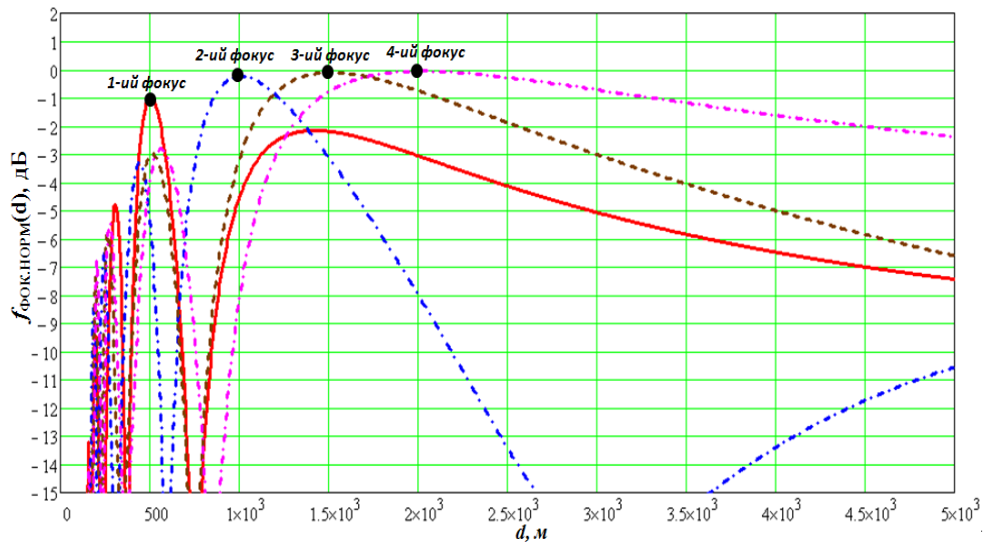


Рис.2. Просторовий розподіл положення фокусів.

Після фокусування ЕМЕ в деяку точку (рис. 2) вираз для сумарної напруженості поля в довільній точці простору (θ, d) може бути представлено у вигляді

$$\dot{E}_{\Sigma}(\theta, d) = \frac{A \dot{I}_m \exp(-j\beta d)}{d} \dot{f}_{БЗ.ФО}(\theta, d), \quad (1)$$

де A - множник, що залежить від типу антени (наприклад, для електричного вібратора $A = l\sqrt{\mu_a/\epsilon_a}/2\lambda$, де l - його довжина), I_m - максимальна амплітуда гармонійного струму в каналах РАР; $\beta = 2\pi/\lambda$;

$$\dot{f}_{БЗ.ФО}(\theta, d) = \sum_{k=1}^M F_{0пер}(\theta_k) \exp(-j\beta(d_k(\theta, d) - d)) \exp(j\Delta\varphi_{k0}(\theta_0, d_0)) = \mathbf{k}_{Фок}^{*T} \mathbf{S}_{\alpha}(\theta, d)$$

– характеристика спрямованості (ХС) сфокусованої в точку (θ_0, d_0) РАР;

$\mathbf{k}_{Фок}^T = [\exp(j\Delta\varphi_{10}), \exp(j\Delta\varphi_{20}), \dots, \exp(j\Delta\varphi_{M0})]$ – вектор-стовпець вагових коефіцієнтів РАР, що описує встановлений з використанням фазообертаючих пристроїв фазовий розподіл поля в каналах передавальної РАР для фокусування поля в точку (θ_0, d_0) ;

$$\mathbf{S}(\theta, d) = \begin{bmatrix} F_{0пер}(\theta_1) \exp(-j\beta(d_1(\theta, d) - d)), F_{0пер}(\theta_2) \exp(-j\beta(d_2(\theta, d) - d)), \dots \\ \dots, F_{0пер}(\theta_M) \exp(-j\beta(d_M(\theta, d) - d)) \end{bmatrix}^T$$

– матриця розмірності $[M \times 1]$, так званий керуючий вектор РАР, що описує

амплітудно-фазовий розподіл струмів на розкриві передавальної РАР, які формують ЕМП в довільній точці простору з координатами (θ, d) .

Нормоване значення ХС РАР в фокусі ближньої зони

$$\dot{f}_{БЗ.ФОК.НОРМ}(\theta, d) = \frac{\mathbf{k}_{ФОК}^{*T} \mathbf{S}_\alpha(\theta, d)}{M} = \frac{f_{БЗ.ФОК}(\theta, d)}{M}, \quad (2)$$

Якщо $d = d_0$, а $\theta = \theta_0$ то з (1) отримуємо, що в точці фокусування

$$\dot{f}_{М.ФОК.НОРМ}(\theta_0, d_0) = \frac{(1+1+1+\dots+1)}{M} F_{0пер}(\theta_0) = F_{0пер}(\theta_0), \quad (3)$$

Отриманий результат говорить про те, що установка фазових співвідношень в каналах РАР, описувана вектором фокусування $\mathbf{k}_{ФОК}$, призводить до вирівнювання фази (часових затримок) гармонійних радіосигналів від різних антенних елементів в точці фокусування $F(\theta_0, d_0)$, яка обумовлена різними відстанями до неї, внаслідок чого напруженості ЕМП від різних антенних елементів складаються в точці фокусування $F(\theta_0, d_0)$ синфазно.

Умова фокусування сигналів, що приходять в точку F від антен A_1, A_2, A_3 при $\theta = 0^\circ$ і $d_2 = D$ може бути записана як

$$d_1 - D = d_3 - D = n\lambda, \quad n = 0 \dots \infty, \quad n \in Z \quad (4)$$

чи

$$\Delta\varphi_{12} = \Delta\varphi_{32} = \beta(d_1 - D) = \beta(d_3 - D) = 2\pi n. \quad (5)$$

Враховуючи, що $d_1 = d_3 = \sqrt{L_1^2 + D^2}$, отримуємо, що координати точок фокусування

$$D(n) = \frac{(K^2 - n^2)\lambda}{2n}, \quad (6)$$

де $K = L_1/\lambda$ – відношення розмірів бази РАР до довжини хвилі.

Таким чином, згідно з (6) 3-х елементна РАР має K фокусів, з яких два фокуси, для яких $n = K$ и $n = 0$ відповідають точці розташування антени A_2 і нескінченності (дальній зоні).

Таким чином, виходячи з аналізу умов поширення хвиль, відстаней між прольотами РРС і потоку інформації, що передається, оператор(и) може відповідно до співвідношення (6) шляхом зміни фазового зсуву $\Delta\varphi_{10}$ підбирати точки фокусування ЕМЕ від декількох елементів РАР на лінії, для налаштування на необхідну дальність між РРС і регулювання кривизни того чи іншого фазового фронту ЕМХ. Схемна реалізація даного методу показана в [2].

Література

1. Авдеенко Г.Л., Якорнов Е.А. Задачи практической реализации радиорелейной линии связи на основе использования различий в формах фазовых фронтов их электромагнитных волн //XI Міжнародна науково-технічна конференція "Проблеми телекомунікацій" ПТ-2017: Збірник матеріалів конференції. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – с.235-237.
2. Декларацийний патент на корисну модель № 140040 (Україна). Система забезпечення зв'язку між двома радіорелейними станціями, кл. Н04В7/14 //Авдеенко Г.Л., Ільченко М.Ю., Якорнов Є. А. та інш. - Промисл. власність, 2020, № 3.