

МОДЕЛЮВАННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ РЕЗОНАТОРНОЇ АНТЕНИ ДІАПАЗОНУ 4 ГГц

Авдєєнко Г. Л., Наритник Т. М., Шевцов К. О.
 Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна
 E-mail: djang02006@ukr.net

SIMULATION OF THE 4 GHz BAND DIELECTRIC RESONATOR ANTENNA

The results of modeling a dielectric resonator antenna which consists of a section of a microarray line and a disk dielectric resonator using the CST Studio Suite software in the 4 GHz range are presented. This thesis will be useful for manufacturers of antennas and antenna devices in the microwave range.

З використанням програмного забезпечення CST Studio Suite представлено результати моделювання діелектричної резонаторної антени діапазону 4 ГГц, яка складається з відрізка мікросмужкової лінії та дискового діелектричного резонатора. Цей тезис буде корисним для розробників антен та антенних пристроїв надвисокочастотного діапазону.

Діелектрична резонаторна антена (ДРА) складається з мікросмужкової лінії та діелектричного резонатора, який виготовляється з матеріалу з низькими втратами та високою відносною діелектричною проникністю (ϵ_{DRA}) різної геометричної форми – циліндричної, прямокутної, сферичної, напівсферичної напіврозрізної циліндричної тощо (рис.1). Резонансні частоти такої ДРА залежать від розміру, форми та діелектричної проникності матеріалу ДР. За останні 40-50 років діелектричні резонатори знайшли широке застосування при створенні широкого класу пристроїв мікрохвильового діапазону, таких як: смугопропускні та режекторні фільтри, дуплексери, гетеродини тощо [1].

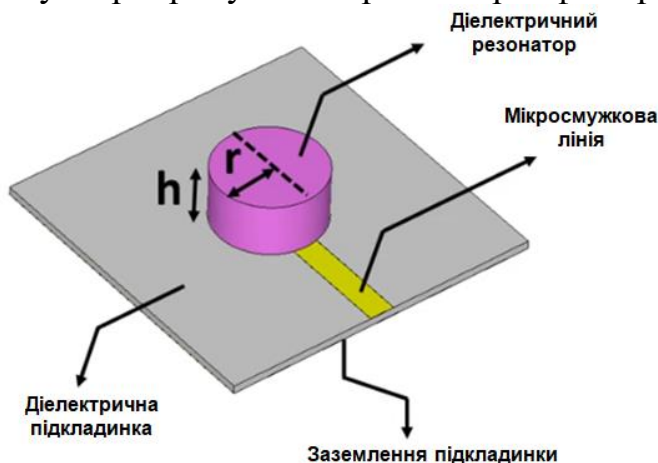


Рис.1. Конструкція діелектричної резонаторної антени: h – висота резонатора, r – радіус резонатора.

- Висока діелектрична проникність матеріалу ДР: $\epsilon_{DRA} = (20 \dots 100) \pm (1..5)\%$;
- Висока ефективність випромінювання ДР ($\approx 95\%$) за рахунок відсутності втрат у провідниках або поверхневій хвилі ;
- Висока добротність Q ДР: до 10000 ($f = 10$ ГГц);

ДРА характеризуються малими габаритними розмірами, просторою конструкції, високою ефективністю випромінювання електромагнітних хвиль (ЕМХ) і низькою вартістю виробництва, що робить їх дуже перспективними для застосування в системах бездротового зв'язку. ДРА можуть бути розроблені для прийому/передавання ЕМХ як з лінійною, так й з коловою поляризацією [2].

Типові параметри ДРА мають наступні значення [3]:

- Широкий діапазон температурного коефіцієнта резонансу частота: $\tau_f = (-12...+30)$ ppm/°C та його допуск $\tau_f = \pm 0,5; \pm 1,0; \pm 2,0$ ppm/°C.

Методика моделювання ДРА за допомогою програмного пакету CST Studio Suite передбачає виконання наступних кроків:

1. Вибір форми ДР, його розмірів та розрахунок його резонансної частоти.
2. Вибір матеріалу підкладки та її габаритних розмірів.
3. Розрахунок параметрів мікросмужкової лінії (довжина, ширина, товщина).
4. Створення топології ДРА, підключення вимірювального порту.
5. Налаштування параметра симулятора та здійснення моделювання та розрахунків параметрів ДРА: частотної характеристики коефіцієнту відбиття S_{11} , діаграм спрямованості (ДС) в далекій хвильовій зоні, ширини.

Резонансна частота ДРА може бути приблизно (з точністю 5-10%) може бути оцінена за наступною формулою (в режимі збудження електромагнітної хвилі TEM_{11δ}):

$$f_r = \frac{c}{2\pi r \sqrt{\varepsilon_{DRA}}} \left[1.71 + \frac{r}{h} + 0.1578 \left(\frac{r}{h} \right)^2 \right], \quad (1)$$

де f_r визначається в ГГц, r та h в мм, ε_{DRA} – діелектрична проникність матеріала діелектричного резонатора, c – швидкість поширення ЕМХ у вільному просторі.

Прийmemo параметри r та h рівними : $r = 10$ мм, $h = 10$ мм. Тоді, при використанні діелектрика типу Alumina Ceramic, що має $\varepsilon_{DRA} = 9,9$, $\text{tg}\delta_{DRA} = 0,0001$, згідно (1) отримаемо розрахункову частоту:

$$f_r = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot \sqrt{9,9}} [1.71 + 1 + 0.1578] \approx 4.349 \text{ ГГц}. \quad (2)$$

У якості матеріалу підкладки обрано Rogers RT Duroid 5800, який має відносну діелектричну проникність $\varepsilon = 2,2$, $\text{tg}\delta = 0,001$, товщину діелектрика $H = 1,52$ мм та товщину металізації однієї (нижньої) сторони $t = 0,035$ мм. Ширина та довжина підкладки обрані рівними відповідно $S_L = S_W = 60$ мм та товщину металізації.

Користуючись онлайн калькулятором параметрів мікросмужкової лінії з урахуванням параметрів підкладки, для розрахункової частоти 4,3 ГГц та хвильового опору лінії $Z = 50$ Ом отримано ширину цієї лінії, що збуджує ДР, яка дорівнює $W = 4,65$ мм. Довжину цієї лінії обрано рівною $L = 40$ мм, що забезпечує перекриття нижньої поверхні ДР.

Після створення відповідно до рис.1 топології ДРА, налаштування вимірювального порту та симулятора, було отримано для діапазону робочих частот 3,8...4,6 ГГц частотну характеристику модуля коефіцієнту відбиття, що зображена на рис.2, а на рис.3 – ДС ДРА. Мінімум коефіцієнта $S_{11} = -42$ дБ припадає на частоту 4,156 ГГц, що на 3,7% менше за розрахункове значення, отримане за формулою (2). Ширини смуги пропускання ДРА за рівнем – 3 дБ складає приблизно $\Delta f = 12,1$ МГц.

Аналіз ДС ДРА на рис.3 показує, що антена має спрямоване випромінювання у напрямку, перпендикулярному площині антени.

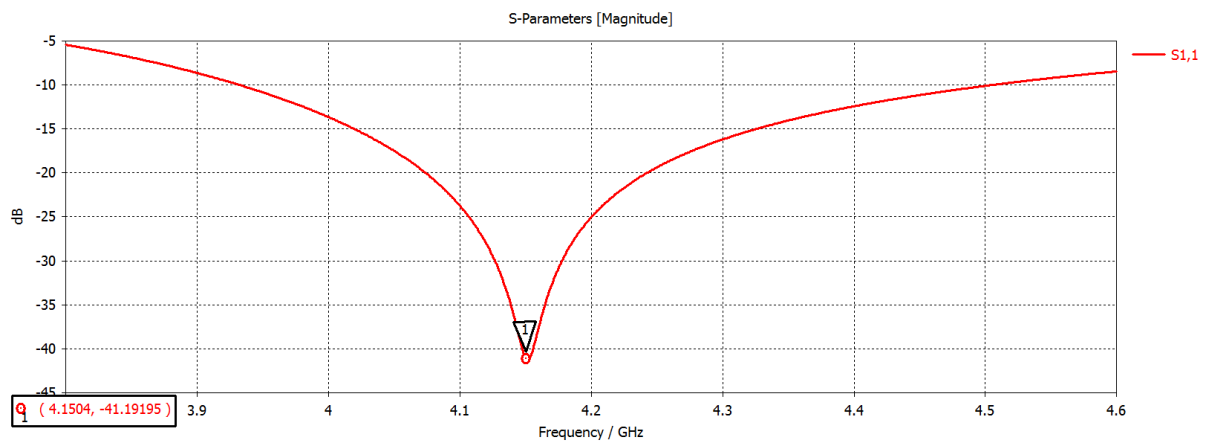


Рис.2. Частотна характеристика коефіцієнта відбиття S_{11} .

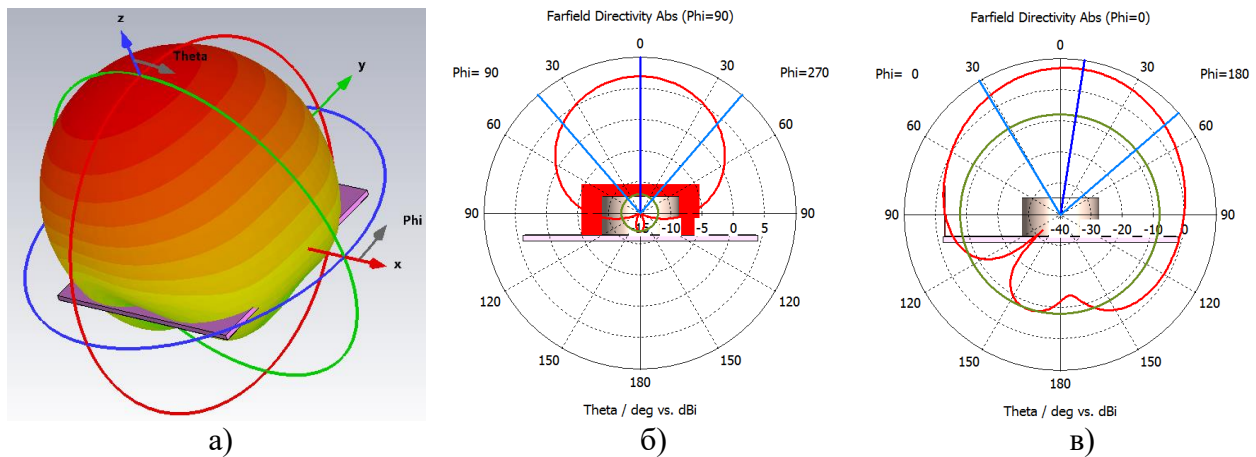


Рис.3. Діаграми спрямованості антени для частоти $f = 4,15$ ГГц.

Розрахункове значення коефіцієнту підсилення антени складає $G = 6,9$ дБі, ширина ДС у взаємно перпендикулярних площинах $2\varphi_{0,5} = 82^\circ$, $2\theta_{0,5} = 80^\circ$, найбільший рівень бічного випромінювання -15 дБ.

Таким чином, у даній роботі розкрито методику моделювання ДРА у програмному пакеті CST Studio Suite. Дана робота була підтримана Національним фондом досліджень України в рамках виконання грантового проєкту «Мікрохвильові пристрої на основі резонансних структур з метаматеріальними властивостями для захисту життєдіяльності та інформаційної безпеки України» (Реєстраційний номер проєкту 2021.01/0030) та НАТО в рамках виконання грантового проєкту NATO SPS G6002 “3D Metamaterials for Energy Harvesting and Electromagnetic Sensing”.

Література

1. *Ильченко М.Е.* Электродинамика диэлектрических резонаторов / М.Е. Ильченко, А.А. Трубин. - К.: Наук. думка, 2004. — 264 с.
2. Aldo Petosa, Dielectric Resonator Antenna Handbook, Artech, 2007.
3. M. S. M. Aras, M. K. A. Rahim, A. Asrokin and M. Z. A. Abdul Aziz, "Dielectric resonator antenna (DRA) for wireless application," 2008 IEEE International RF and Microwave Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008, pp. 454-458, doi: 10.1109/RFM.2008.4897461.