

آنتن‌های رزونانس دی‌الکتریک: مرور روابط و شبیه‌سازی در فرکانس ۹ گیگاهرتز

جمال کزازی *

دانشجوی دکتری مهندسی برق دانشگاه تهران
jamal.kazazi@ut.ac.ir

سید علی علیزاده

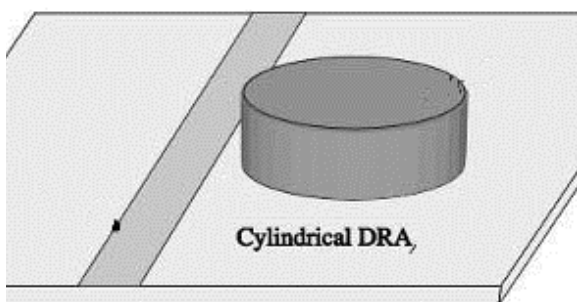
دانشجوی دکتری مهندسی برق دانشگاه تهران
s.ali.alizadeh@ut.ac.ir

چکیده - آنتن‌های مختلفی برای کاربرد در باند‌های میکروویو و موج میلیمتری وجود دارند. از جمله پارامترهای مهم برای طراحی آنتن‌ها می‌تواند هزینه ساخت، ابعاد، تلفات و موارد مشابه باشد. آنتن رزونانس دی‌الکتریک (DRA) از جمله آنتن‌های با ویژگی‌های مورد نظر مناسب می‌باشد. در این مقاله ابتدا چند نوع آنتن رزونانس دی‌الکتریک معرفی شده است. سپس یک آنتن DRA مستطیلی به طور دقیق تر بررسی شده است. در آخر نیز شبیه‌سازی یک نمونه از این نوع آنتن فرکانس ۹ گیگاهرتز انجام شده است.

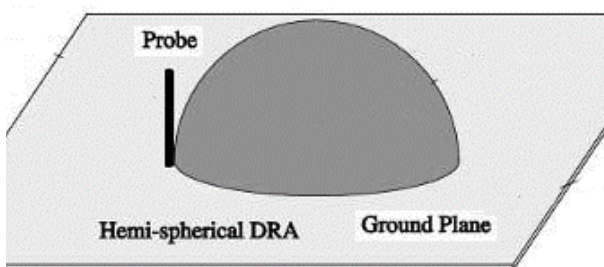
کلیدواژه- آنتن رزونانس دی‌الکتریک، الگو تشعشی، رزوناتور، فرکانس رزونانس.

نسبی ۱۰)، نبود امواج سطحی، هزینه ساخت کم، وزن و سایز کم، بازده تشعشی بالا

سه شکل معمول تر از این نوع آنتن‌ها عبارتند از: استوانه ای، نیم کره، مستطیلی. شکل ۱ تا ۳ این نوع آنتن‌ها را نشان می‌دهد [۱].



شکل ۱: DRA استوانه ای



شکل ۲: DRA نیم کره

۱- مقدمه

استفاده از آنتن‌ها برای کاربرد‌های مختلف موضوعی در حال گسترش است. لذا طراحی آنتن‌هایی که بتواند نیازهای کاربرد‌های مختلف را برآورده سازد می‌تواند قابل توجه باشد.

آنتن رزونانس دی‌الکتریک (DRA)، با توجه به ساختار خاص و استفاده از دی‌الکتریک دارای ویژگی‌هایی مانند نداشتن تلفات مربوط به رسانا، کوچک و سبک بودن، هزینه ساخت کم، قابل پیاده سازی روی برد، پهنای باند نسبتاً مناسب و ... می‌باشد.

در ادامه سعی بر معرفی این آنتن‌ها و تحلیل و شبیه سازی ساختار مستطیلی شده است.

۲- معرفی انواع DRA ها

عملکرد DR به صورت کلی مانند محفظه‌های تشدید می‌باشد و میدان‌ها در آن متمرکز می‌شوند. استفاده از DR ها ابتدا در اسلاتورهای الکتریکی برای کنترل فرکانس موج تولیدی و نیز در فیلترها بوده است. پس از مدتی توجه به ویژگی تشعشی این قطعه معطوف شد [۱و۲].

مزیت این آنتن نسبت به آنتن‌های دارای رسانا، نداشتن تلفات رسانشی مخصوصاً در فرکانس‌های موج میلیمتری می‌باشد. از جمله دیگر ویژگی‌های این آنتن: پهنای باند بیشتر نسبت به آنتن میکرو استریپ (حدود ۱۰٪ برای گذر دهی

$$k_y = \frac{n\pi}{b} \left(1 + \frac{2}{bk_0\sqrt{\epsilon_r - 1}} \right)^{-1} \quad (2)$$

$$k_z = \sqrt{\epsilon_r k_0^2 - k_x^2 - k_y^2} \quad (3)$$

در این روابط اگر ϵ_r مقدار نسبتاً زیادی باشد:

$$k_x \cong \frac{m\pi}{a}, \quad k_y \cong \frac{n\pi}{b} \quad (4)$$

این روابط معادل آن در نظر گرفته شده که دیواره های کناری موجبر PMC فرض شوند. اکنون اگر موجبر در جهت انتشار محدود شود می توان به یک تشدید کننده دست پیدا کرد. پس از نوشتن میدان ها و بررسی شرایط مرزی در راستای کوتاه شده:

$$k_z \tan\left(\frac{k_z d}{2}\right) = \sqrt{(\epsilon_r - 1)k_0^2 - k_z^2} \quad (5)$$

همچنین:

$$k_z + k_x^2 + k_y^2 = \epsilon_r k_0^2 \quad (6)$$

با استفاده از این روابط و روابط قبل می توان k_z را یافت.

همچنین پارامتر δ به این صورت تعریف می شود:

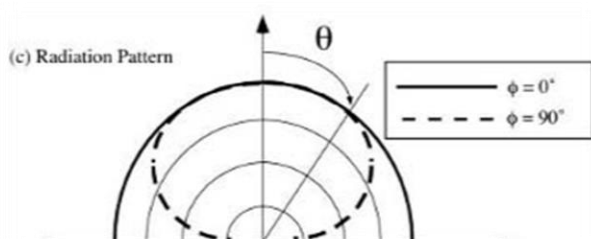
$$\delta = \frac{k_z}{\pi/d} \quad (7)$$

به عنوان مثال می توان مودی به صورت $TE_{11\delta}^z$ داشت.

همچنین برای مود اصلی $TE_{11\delta}^z$ می توان میدان های درون رزوناتور را به صورت یک دایپل مغناطیسی تقریب زد. مقدار این دایپل برابر است با:

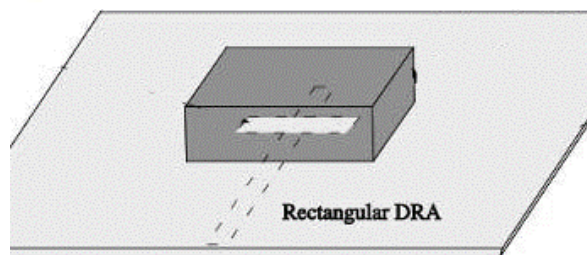
$$p_m = -\frac{j\omega 8\epsilon_0(\epsilon_r - 1)}{k_x k_y k_z} \sin\left(\frac{k_z d}{2}\right) \hat{z} \quad (8)$$

در این صورت الگو تشعشی مانند شکل ۵ خواهد بود:



شکل ۵: الگو تشعشی دایپل مغناطیسی

برای یافتن فرکانس رزونانس می توان ابتدا ثابت انتشار در سه جهت را یافت سپس با توجه به رابطه k_0 با این متغیر ها، فرکانس رزونانس را به دست آورد.



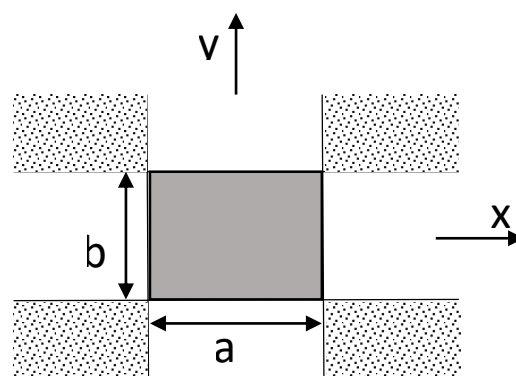
شکل ۳: DRA مستطیلی

در تمام این نوع ساختار ها مستقل از شکل می توان تشعشع از ساختار را شبیه تشعشع از یک دایپل مغناطیسی در نظر گرفت.

۳- DRA های مستطیلی

از جمله مزیت های این ساختار وجود سه پارامتر برای تعیین ابعاد آن می باشد. در حالی که برای ساختار استوانه ای دو پارامتر و برای نیم کره یک پارامتر وجود داشت. تحلیل دقیق این ساختار کار دشوار، شاید غیر ممکن، می باشد، از این رو از مدل موجبر دی الکتریک برای تحلیل تقریبی این ساختار استفاده شده است.

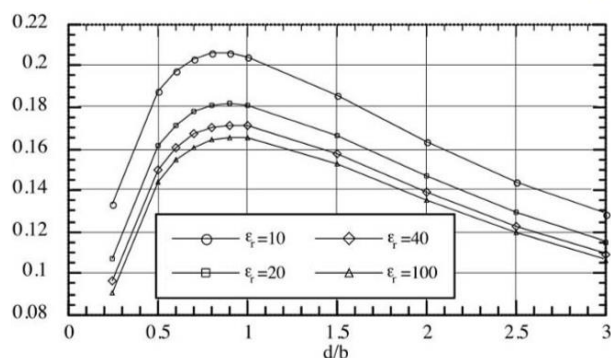
مدل موجبر دی الکتریک برای یک موجبر به صورت شکل ۴ است.



شکل ۴: DRA مدل موجبر دی الکتریک

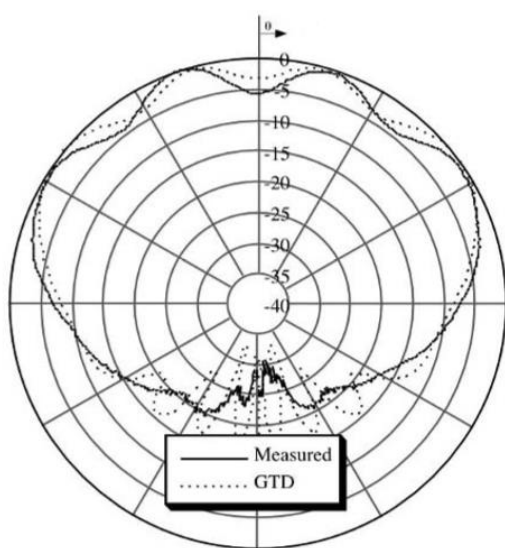
در این مدل فرض می شود میدان در گوشه صفر باشد. همچنین میدان ها را می توان به صورت TE و TM و به صورت سینوسی در راستای x و y درون دی الکتریک در نظر گرفت. سپس شرایط مرزی نوشته می شود. نتایج به این صورت می باشد:

$$k_x = \frac{m\pi}{a} \left(1 + \frac{2}{ak_0\sqrt{\epsilon_r - 1}} \right)^{-1} \quad (1)$$



شکل ۸: ضریب کیفیت نرمالیزه به ازای ابعاد مختلف

در عمل علاوه بر اثر رزوناتور باید اثر محدود بودن صفحه زمین را نیز در نظر گرفت. در نظر گرفتن این اثر می تواند توسط روش GTD (Geometric Theory of Diffraction) صورت پذیرد که همانند روش GO می باشد اما در آن اثر میدان لبه ها نیز در نظر گرفته می شود. پس از در نظر گرفتن محدود بودن اثر زمین الگو تشعشعی به صورت شکل ۹ رسم شده :

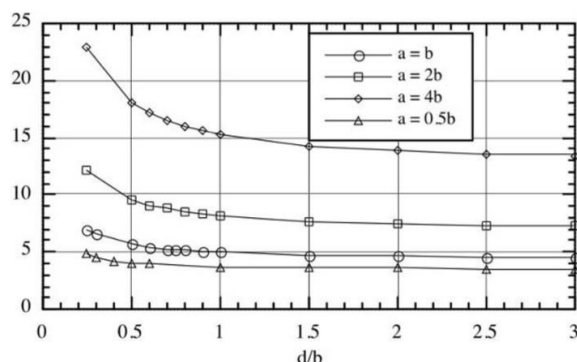


شکل ۹: الگوی تشعشعی با در نظر گرفتن اثر زمین با ابعاد ۳۰ سانتیمتری و فرکانس مرکزی ۳/۷ گیگاهرتز [۲]

تغذیه این نوع آنتن ها می تواند به صورت های مختلف مانند روزنه، پروب و خط میکرو استریپ انجام شود. شکل های ۱۰ الی ۱۲ این موضوع را نمایش می دهند.

به ازای مقادیر مختلف ابعاد رزوناتور، فرکانس تشدید نرمالیزه

$$F \text{ در شکل ۶ رسم شده است. } F = \frac{2\pi a f_0 \sqrt{\epsilon_r}}{c}$$



شکل ۶: فرکانس رزونانس نرمالیزه به ازای ابعاد مختلف

برای به دست آوردن پهنای باند می توان ابتدا ضریب کیفیت را به دست آورد و سپس پهنای باند را یافت. روابط مربوطه :

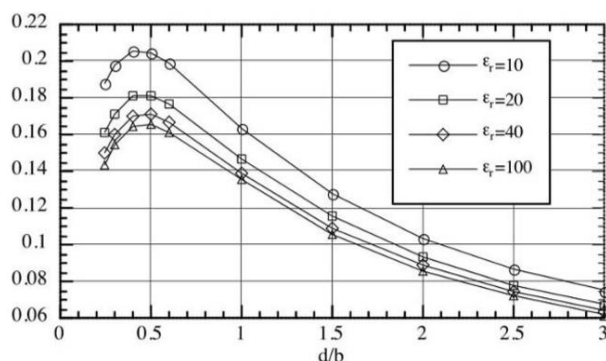
$$Q = \frac{2\omega W_e}{P_{rad}} \quad BW = \frac{s-1}{Q\sqrt{s}}$$

$$W_e = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r a b d}{32} \left(1 + \frac{\sin(k_z d)}{k_z d} \right) (k_x^2 + k_y^2)$$

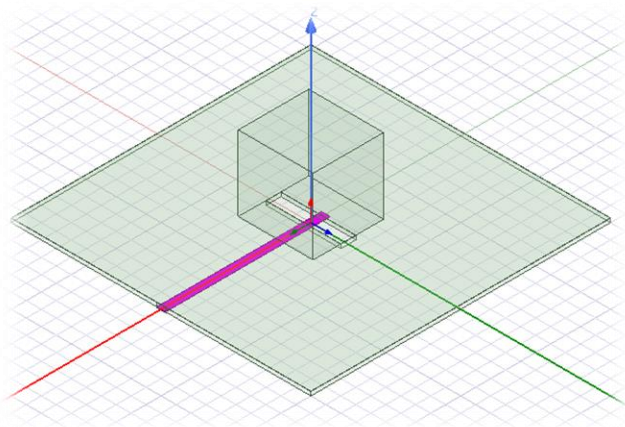
$$P_{rad} = 10 k_0^4 |p_m|^2 \quad (9)$$

به ازای مقادیر مختلف ابعاد رزوناتور و ثابت دی الکتریک، ضریب کیفیت نرمالیزه Q_e در شکل ۷ و ۸ رسم شده است.

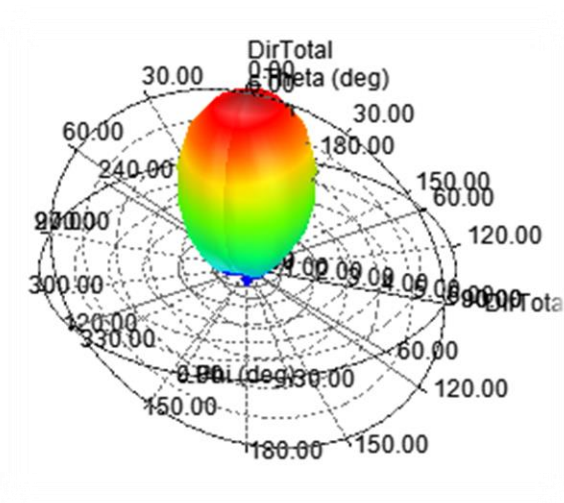
$$Q_e = Q / \epsilon_r^{3/2}$$



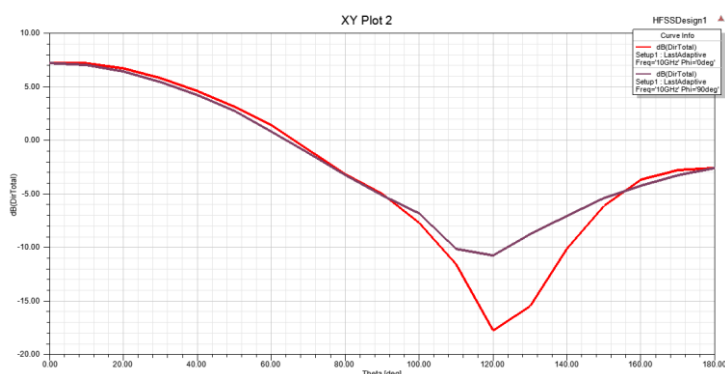
شکل ۷ - ضریب کیفیت نرمالیزه به ازای ابعاد مختلف در این نمودار a دو برابر b است.



شکل ۱۳: ساختار شبیه سازی در نرم افزار HFSS



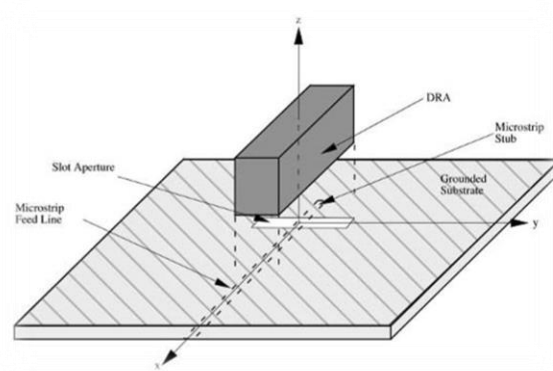
شکل ۱۴: الگوی سه بعدی تشعشع



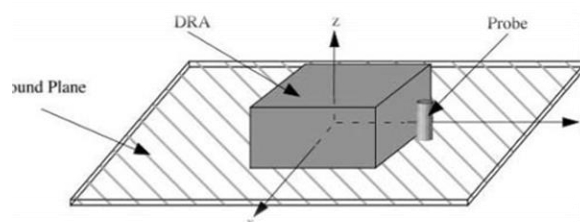
شکل ۱۵: الگوی تشعشعی در زاویه ϕ برابر صفر و 90° درجه

۵- نتیجه گیری

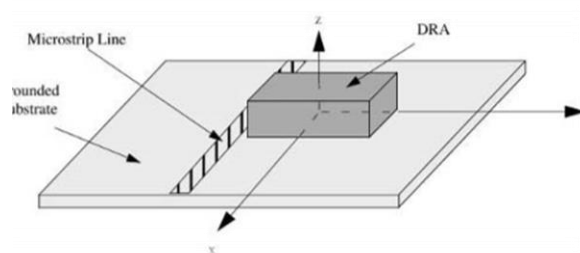
در این مقاله ابتدا ساختارهای مختلف آنتنهای رزونانس دی الکتریک معرفی شد و سپس ساختار مستطیلی مورد بررسی دقیق تر قرار گرفت. در آخر نیز ساختاری به عنوان نمونه شبیه سازی شد.



شکل ۱۰: تحریک از طریق روزنه



شکل ۱۱: تحریک از طریق پروب



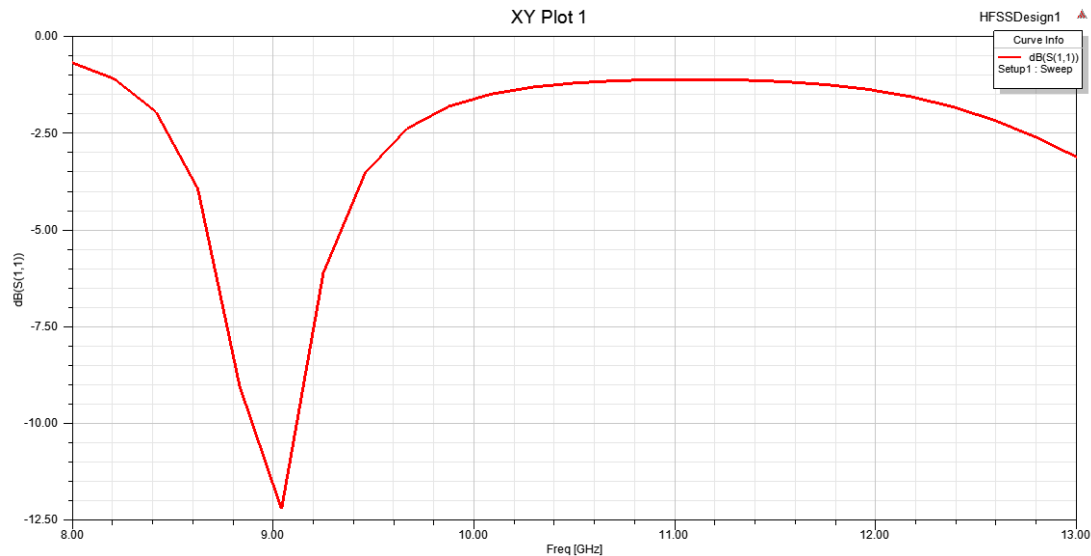
شکل ۱۲: تحریک از طریق خط میکرواستریپ

۴- شبیه سازی

به عنوان نمونه یک آنتن با فرض فرکانس مرکزی 9 GHz طراحی شده است. ($\epsilon_r = 10.2$)

$$a = 5 \text{ mm}, b = 5 \text{ mm} \Rightarrow d \cong 4.7 \text{ mm}$$

در شکل های ۱۳ الی ۱۶ شکل ساختار و نتایج شبیه سازی نشان داده شده است. این شبیه ساز به کمک نرم افزار HFSS که نسخه های اخیر آن با نام تجاری Ansys Electronics Suite منتشر شده است. نمونه اولیه آن از منابع به اشتراک گذاشته شده در [۳] قابل ایجاد است.



شکل ۱۶ : نمودار S_{11}

تحلیل انجام شده برای ساختار مستطیلی به صورت تقریبی بوده است. پیدا کردن روشی که علاوه بر سادگی دقت بالایی نیز داشته باشد، می تواند حائز اهمیت باشد.

همچنین در این تحلیل مود اصلی رزوناتور در نظر گرفته شده است. بررسی مود های بالاتر ممکن است ویژگی های منحصر به فردی را آشکار نماید.

مراجع

- [1] SKK. Dash, T. Khan, A. De, "Dielectric resonator antennas: An application-oriented survey," *Int J RF Microw Comput. Aided Engineering*, 2017. <https://doi.org/10.1002/mmce.21069>.
- [2] C. Sahoo, "Antennas For WLAN Applications.", 2013.
- [3] J. Kazazi and M. Kamarei, "Developing 3D CAD Models and Low-Cost Hardware for Learning New Topics in Telecommunication Laboratories," *2024 11th International Symposium on Telecommunications (IST)*, Tehran, Iran, Islamic Republic of, 2024, pp. 572-577, doi: 10.1109/IST64061.2024.10843639