

طراحی و ساخت آنتن میکروستریپ دایروی مود TM_{02} برای شبکه های محلی بی سیم و تحلیل به روش FDTD^۱

رمضانعلی صادق زاده شیخان^۱ محمد ناصر مقدسی^۲

^۱ دانشکده برق - دانشگاه صنعتی خواجه نصیر طوسی

^۲ دانشکده فنی و مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

چکیده

امروزه آنتن های میکرو استریپ به علت ویژگی هایشان کاربردهای زیادی در شبکه های بی سیم محلی دارند. از جمله در استاندارد های جدید انستیتوی استاندارد های مخابراتی اروپا (ETSI^۲) نظیر Hiperlan Type1 یا Hiperlan Type2^۳ استفاده وسیعی از این نوع آنتن می شود. یکی از این کاربردها اتصال آنتن میکرو استریپ نظیر یک کارت کامپیوتری روی بدنه کامپیوتر جهت ایجاد ارتباط رادیویی با کامپیوتر(های) دیگر به صورت نقطه به نقطه یا نقطه به چند نقطه می باشد. در این مقاله آنتن ارائه شده از نوع میکرو استریپ دایروی با پترن تشعشی تمام جهته است که در جهت بردار عمود تشعشی ندارد. مود تشعشی آنتن TM_{02} است و سایر مشخصات به شرح زیر می باشد:

فرکانس کار در باند 5GHz ، گین بین 3dB تا 4dB و $VSWR < 2$ میباشد که منجر به 7.13% پهنای باند می شود.

کلمات کلیدی: آنتن، میکروستریپ، FDTD، Hiperlan

مقدمه

امروزه با توجه به روند سریع رشد تکنولوژی ، لزوم استفاده از شبکه های کامپیوتری بر هیچکس پوشیده نیست به طوری که اگر تنها دو کامپیوتر شخصی در منزلی باشند ، کاربر ترجیح می دهد تا بمنظور تسریع در انتقال اطلاعات (دیتا) و پیشبرد کار خود آنها را به نوعی به یکدیگر متصل نماید . حال آنکه در شرکت های بزرگ با توجه به وسعت حوزه فعالیت و افزایش کاربران و نیاز به استفاده از بانک های اطلاعاتی ، سوابق پروژه های انجام شده ، لزوم کنترل کیفیت کارهای اجرایی (QC^4) و سرعت در مدیریت و کنترل پروژه ها این امر اجتناب ناپذیر است .

لیکن با توجه به مشکلات و نارسایی های اتصالات کابلی، شبکه های کابلی به سرعت جای خود را به شبکه های بی سیم می دهند. گواه این امر جایگزینی شبکه های رادیویی نقطه به نقطه یا نقطه به چند نقطه به جای شبکه های کابلی (HDSL) در سیستم های موبایل کشور می باشد. از این رو به خصوص در دو دهه اخیر انجمن های^۱ تدوین استاندارد، فعالیت چشمگیری را در زمینه تدوین استانداردهای جدید برای شبکه های محلی بی سیم آغاز نموده اند. یکی از استانداردهایی که جدیداً سهم زیادی از تحقیقات فوق را به خود اختصاص داده، استاندارد Hiperlan می باشد. این استاندارد قابلیت اتصال اجزای شبکه را بطور مستقیم (Peer to Peer) با یکدیگر یا از طریق یک نقطه مرکزی به عنوان تکرار کننده (Repeater) و مثلاً متصل روی سقف، فراهم می نماید. یکی از عوامل مهم در ارتقا شبکه های بی سیم محلی، مشخصات فنی و نوع تجهیزات رادیویی مورد استفاده و مدل انتشار آن با توجه به خواسته های استاندارد می باشد. با توجه به آنکه انعکاس امواج ارسالی از آنتن موجب ایجاد اغتشاش در کار شبکه می شود و جهت کاهش انعکاس به خصوص از نقطه بالایی (روی سقف) عمود بر آنتن میکرو استریپ نیاز به پترن تشعشعی تمام جهت با نقطه صفر در جهت عمود می باشد که آنتن میکرو استریپ دایروی در مد TM_{0n} پترن دایروی متقارن مورد نظر را برآورد می سازد و با توجه به آنکه مد TM_{01} دارای خاصیت ایستایی (Static) می باشد مد TM_{02} به عنوان کوچکترین مد مورد استفاده قرار گرفته است.

۱ آنتن های میکرو استریپ دایروی

کارایی آنتن های میکرو استریپ دایروی مشابه آنتن های میکرو استریپ مستطیلی است [1,2,3,4]. در بعضی از کاربردهای از قبیل آرایه ها، ساختار دایروی امتیازات خاصی نسبت به اشکال دیگر دارد. نتایج آزمایشات نشان داده که المانهای میکرو استریپ دایروی را برای کار در یک رنج امپدانس، پترنهای تشعشعی و بازه فرکانس می توان به آسانی اصلاح نمود [5,6]. بدون در نظر گرفتن منبع جریان معادله موج بصورت زیر نوشته می شود:

$$(\nabla^2 + K^2) \vec{E} = 0 \quad (1-1)$$

به طوری که $K = \omega \sqrt{\mu \epsilon}$ ، ω فرکانس زاویه ای، μ نفوذپذیری مغناطیسی و ϵ نفوذپذیری الکتریکی است. میدان ها باید در معادله موج و شرایط مرزی دیوار مغناطیسی صدق کنند. از آنجایی که، $\vec{E} = E_z \hat{z}$

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial \rho} \Big|_{\rho=a} = 0 \quad (2-1)$$

1- Finite Difference Time Domain
2- European Telecommunication Standards Institutes
3- High Performance Local Area Network
4- Quality Control

به طوری که $J_n(k\rho)$ توابع بسل مرتبه n هستند. چون \vec{E} فقط دارای مولفه Z است، مولفه میدان مغناطیسی بصورت زیر است:

$$H_\rho = \frac{j}{\omega\mu\rho} \frac{\partial E_z}{\partial \phi} = -\frac{j\eta}{\omega\mu\rho} E_0 J_n(k\rho) \sin n\phi \quad (4-1)$$

$$H_\phi = -\frac{j}{\omega\mu} \frac{\partial E_z}{\partial \rho} = -\frac{jk}{\omega\mu} E_0 J'_n(k\rho) \cos n\phi \quad (5-1)$$

که علامت پریم نمایانگر مشتق نسبت به آرگومان است. همچنین مولفه های دیگر میدان صفر هستند:

$$E_\rho = E_\phi = H_z = 0 \quad (6-1)$$

میدان مغناطیسی درون محفظه از جریان الکتریکی القایی ناشی می شود و جریان های سطحی روی دیسک از رابطه زیر به دست می آیند:

$$\vec{K} = \hat{n} \times \vec{H} = \hat{\rho} H_\phi - \hat{\phi} H_\rho \quad (7-1)$$

به طوری که $\hat{\rho}$ و $\hat{\phi}$ بردارهای در جهت ρ و ϕ هستند. در لبه دیسک مولفه جریان سطحی K_ρ باید حذف شود:

$$K_\rho(\rho = a) = H_\phi(\rho = a) = 0 \quad (8-1)$$

که شعاع دیسک است و

$$J'_n(ka) = 0 \quad (9-1)$$

بعد برای هر شکل مد یک شعاع بدست می آید که به یک رزنانس ختم می شود و مربوط به صفر های تابع بسل است. فرکانس رزنانس مد TM_{nm} آنتن دیسک مذکور از طریق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$f_r = \frac{k_{nm} c}{2\pi a \sqrt{\epsilon_r}} \quad (10-1)$$

بطوریکه $k_{nm}(=ka)$ ، m ام صفر مشتق تابع بسل از مرتبه n است و c سرعت نور در فضای آزاد و ϵ_r ضریب دی الکتریک نسبی زیرآیند می باشد. شعاع موثر a_e که در رابطه (۱۰-۱) آمده است مربوط به محاسبه میدا نهی نشتی در سرتاسر لبه رزوناتور می باشد.

$$a_e = a \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} \left(\ln \frac{\pi a}{2h} + 1.7726 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (11-1)$$

عبارت فوق شعاع پیچ را با یک خطای کمتر از 2.5 درصد برای $a/h \gg 1$ پیش بینی می کند [۱]. برای یک زیر آیند دی الکتریک معین در فرکانس کار f_r ، شعاع المان دیسک میکرواستریپ از رابطه زیر به دست می آید:

$$a = \frac{k}{\left(1 + \frac{2h}{\pi \epsilon_r k} \left[\ln \left(\frac{\pi k}{2h} \right) + 1.7726 \right] \right)^{1/2}} \quad (12-1)$$

به طوری که

$$k = \frac{8.794}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (13-1)$$

f_r بر حسب GHz است.

۲ روش تفاضلات محدود در حوزه زمان

روش FDTD یکی از روش های بسیار ساده برای حل مسائل الکترومغناطیس می باشد. این روش در حل انواع بسیار وسیع از مسائل از قبیل اسکترینگ از اجسام فلزی و دی الکتریک، آنتن ها، مدارهای میکرواستریپ و جذب امواج الکترومغناطیسی در افراد در معرض تشعشع می تواند بکار رود. اصول تئوری FDTD بسیار ساده است. برای حل یک مساله الکترومغناطیس، زمان و مکان را به صورت ناپیوسته در نظر می گیریم و معادلات ماکسول را با استفاده از تقریب تفاضلات مرکزی می نویسیم. جهت روشن شدن مطلب، حالت یک بعدی را در نظر می گیریم. معادلات ماکسول در فضای آزاد را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon_0} \nabla \times H \quad (1-2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0} \nabla \times E \quad (2-2)$$

در حالت یک بعدی می توان تنها E_x و H_y را در نظر گرفت. بنابراین معادلات (۱-۲) و (۲-۲) به این صورت نوشته می شوند:

$$\frac{\partial E_x}{\partial t} = -\frac{1}{\epsilon_0} \frac{\partial H_y}{\partial z} \quad (3-2)$$

$$\frac{\partial H_y}{\partial t} = \frac{1}{\mu_0} \frac{\partial E_x}{\partial z} \quad (3-3)$$

که یک موج صفحه ای در جهت Z را نمایش می دهد. این روش به این شکل است که E_x و H_y در مکان به اندازه نصف یک سلول و در زمان به اندازه نصف یک پله زمانی جلو می رود. در این حال معادلات (۳-۲) و (۴-۲) به این شکل در می آیند:

$$\frac{E_x^{n+1/2}(k) - E_x^{n-1/2}(k)}{\Delta t} = -\frac{1}{\epsilon_0} \frac{H_y^n(k+1/2) - H_y^n(k-1/2)}{\Delta z} \quad (5-2)$$

$$\frac{H_y^{n+1}(k+1/2) - H_y^n(k+1/2)}{\Delta t} = -\frac{1}{\mu_0} \frac{E_x^{n+1/2}(k+1) - E_x^{n+1/2}(k)}{\Delta z} \quad (6-2)$$

سمت چپ معادله (۵-۲) نشان می‌دهد که میدان E در زمان $n\Delta t$ بر حسب مقدار میدان در زمان‌های $(n+1/2)\Delta t$ و $(n-1/2)\Delta t$ نوشته شده است.

در فرمول‌های FDTD برای محاسبه $H_y(k+1/2)$ به عنوان مثال، مقدار مجاور E_x در k و $k+1$ مورد احتیاج

است. در نهایت می‌توان معادلات فوق را با در نظر گرفتن $E = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} E$ به صورت زیر نوشت:

$$E_x^{n+1/2}(k) = E_x^{n-1/2}(k) + \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{\Delta t}{\Delta z} (H_y^n(k-1/2) - H_y^n(k+1/2)) \quad (7-2)$$

$$H_y^{n+1}(k+1/2) = H_y^n(k+1/2) + \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \frac{\Delta t}{\Delta z} (E_x^{n+1/2}(k) - E_x^{n+1/2}(k+1)) \quad (8-2)$$

این معادلات می‌توانند به صورت مستقیم به صورت کد کامپیوتری درآیند. فرمول‌های کلی برای حالت سه بعدی [۷] به صورت زیر می‌باشند:

$$H_x^{n+1/2}(i, j, k) = H_x^{n-1/2}(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\mu_x(i, j, k)} \left(\frac{E_y^n(i, j, k+1) - E_y^n(i, j, k)}{\Delta z(k)} - \frac{E_z^n(i, j+1, k) - E_z^n(i, j, k)}{\Delta y(j)} \right) \quad (9-2)$$

$$H_y^{n+1/2}(i, j, k) = H_y^{n-1/2}(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\mu_y(i, j, k)} \left(\frac{E_z^n(i+1, j, k) - E_z^n(i, j, k)}{\Delta x(i)} - \frac{E_x^n(i, j, k+1) - E_x^n(i, j, k)}{\Delta z(k)} \right) \quad (10-2)$$

$$H_z^{n+1/2}(i, j, k) = H_z^{n-1/2}(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\mu_z(i, j, k)} \left(\frac{E_x^n(i, j+1, k) - E_x^n(i, j, k)}{\Delta y(j)} - \frac{E_y^n(i+1, j, k) - E_y^n(i, j, k)}{\Delta x(i)} \right) \quad (11-2)$$

$$E_x^{n+1}(i, j, k) = \frac{\varepsilon_x(i, j, k) - 0.5 \Delta t \sigma_x(i, j, k)}{\varepsilon_x(i, j, k) + 0.5 \Delta t \sigma_x(i, j, k)} E_x^n(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\varepsilon_x(i, j, k) + 0.5 \Delta t \sigma_x(i, j, k)} \left(\frac{H_z^{n+1/2}(i, j+1, k) - H_z^{n+1/2}(i, j, k)}{\Delta y(j)} - \frac{H_y^{n+1/2}(i, j, k+1) - H_y^{n+1/2}(i, j, k)}{\Delta z(k)} \right) \quad (12-2)$$

$$E_y^{n+1}(i, j, k) = \frac{\varepsilon_y(i, j, k) - 0.5 \Delta t \sigma_y(i, j, k)}{\varepsilon_y(i, j, k) + 0.5 \Delta t \sigma_y(i, j, k)} E_y^n(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\varepsilon_y(i, j, k) + 0.5 \Delta t \sigma_y(i, j, k)} \left(\frac{H_x^{n+1/2}(i, j, k+1) - H_x^{n+1/2}(i, j, k)}{\Delta z(k)} - \frac{H_z^{n+1/2}(i+1, j, k) - H_z^{n+1/2}(i, j, k)}{\Delta x(i)} \right) \quad (13-2)$$

$$E_z^{n+1}(i, j, k) = \frac{\varepsilon_z(i, j, k) - 0.5 \Delta t \sigma_z(i, j, k)}{\varepsilon_z(i, j, k) + 0.5 \Delta t \sigma_z(i, j, k)} E_z^n(i, j, k) + \frac{\Delta t}{\varepsilon_z(i, j, k) + 0.5 \Delta t \sigma_z(i, j, k)} \left(\frac{H_y^{n+1/2}(i+1, j, k) - H_y^{n+1/2}(i, j, k)}{\Delta x(i)} - \frac{H_x^{n+1/2}(i, j+1, k) - H_x^{n+1/2}(i, j, k)}{\Delta y(j)} \right) \quad (14-2)$$

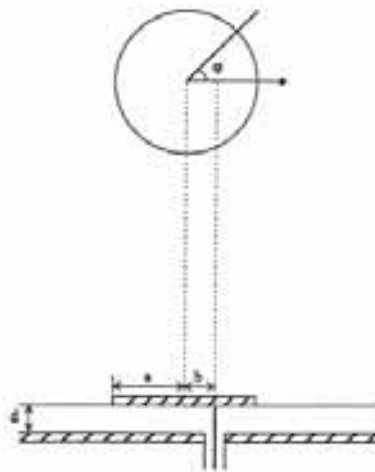
ثابت می شود که برای به دست آوردن جواب مناسب شرط پایداری نیز بایستی به صورت زیر ارضاء شود.

$$\Delta t \leq \frac{1}{c \sqrt{\left(\frac{1}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta y}\right)^2 + \left(\frac{1}{\Delta z}\right)^2}} \quad (15-2)$$

۳ طراحی آنتن پچ دایروی با مود TM₀₂

مود TM₀₂ آنتن های پچ میکرو استریپ دایروی مناسب سیستم Hiperlan داخل ساختمان است. به جهت اینکه پترن تشعشعی مود مذکور در صفحه افقی همه جهتی است در حالیکه در جهت عمود تشعشعی نمی کند. در این قسمت نتایج آنالیز و اندازه گیری آنتن های ساخته شده که بوسیله خط کواکسیال تغذیه می شوند بیان می گردد. برای آنالیز این نمونه آنتن از روش آنالیز عددی FDTD و همین طور نتایج نرم افزار HP HFSS9,2 استفاده شده است. برای ساخت آنتن از زیر آیند با ضخامت 3mm و $\varepsilon_r = 4.7$ و $\tan \delta = 0.017$ استفاده شده است.

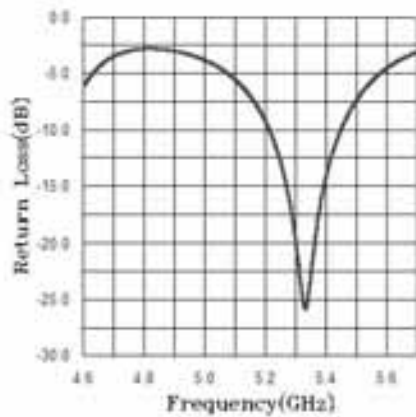
با توجه به روابط (۱۰-۱) و (۱۱-۱) و ضریب $K_{02}=3.83171$ ، به کمک نرم افزار MATLAB V6.5 می توان شعاع پچ دایروی مربوط به فرکانس رزونانس مورد نظر را به دست آورد. برای فرکانس رزونانس 5.416 GHz مربوط به مود TM_{02} ، شعاع پچ دایروی 14.7mm است. مساله بعدی یافتن محل مناسب برای تغذیه آنتن است. بخش های بعدی نتایج آنالیز و اندازه گیری آنتن پچ میکرو استریپ دایروی با تغییر محل تغذیه را نشان می دهد. شکل (۳-۱) ساختار تغذیه آنتن پچ دایروی را نشان می دهد به طوری که d ضخامت زیرآیند، a شعاع پچ و b فاصله محل تغذیه از مرکز پچ است و ضمناً ضخامت لایه مسی بالا و پایین زیرآیند $35\mu\text{m}$ می باشد.



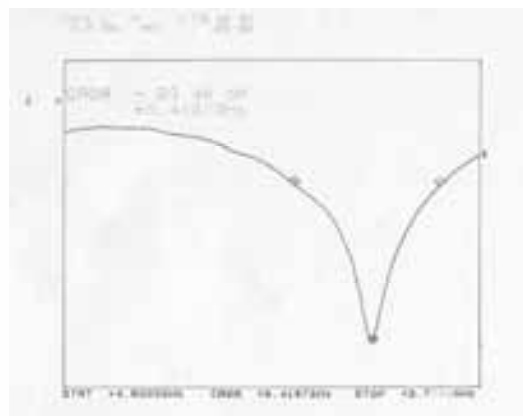
شکل ۳-۱: ساختار آنتن

۳-۱ نتایج آنالیز و اندازه گیری آنتن پچ دایروی $\frac{b}{a} = 0.45$

در این بخش افت برگشتی آنتن برای محل تغذیه که 6.615 mm از مرکز پچ فاصله دارد، نشان داده می شود.



شکل ۳-۲: افت برگشتی آنتن با $\frac{b}{a} = 0.45$

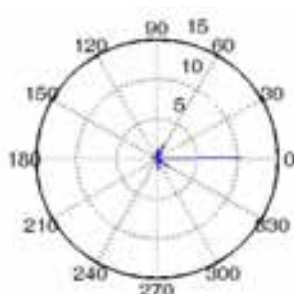


شکل ۳-۳: افت برگشتی آنتن با $\frac{b}{a} = 0.45$

شایان ذکر است محل تغذیه آنتن در آزمایشگاه برای ۱۶ نقطه مختلف تست شد که با توجه به نتایج بدست آمده نقطه بهینه تغذیه $\frac{b}{a} = 0.45$ باعث کمترین ضریب انعکاس است.

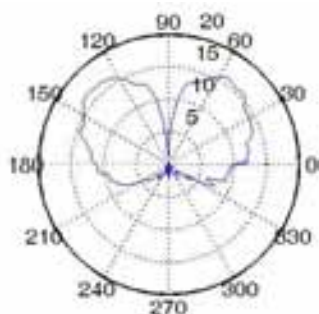
۳-۲ پترن پلاریزاسیون آنتن

یکی از روش ها برای مشخص کردن پلاریزاسیون آنتن اندازه گیری پترن پلاریزاسیون آنتن است. شکل (۳-۴) نتیجه اندازه گیری پترن پلاریزاسیون آنتن با نقطه تغذیه بهینه را در فرکانس 5.4 GHz نشان می دهد. همچنین شکل های (۳-۵) و (۳-۶) نتایج اندازه گیری پترن تشعشی آنتن را برای نقطه تغذیه بهینه در صفحات افقی و بصورت لگاریتمی و شکل های (۳-۷) و (۳-۸) نتایج اندازه گیری پترن آنتن را بصورت نرمال نشان می دهند.

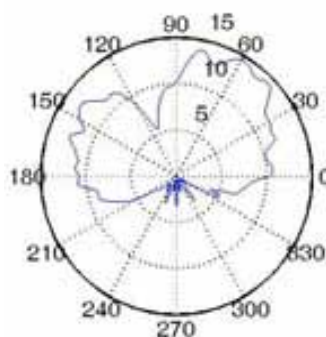


شکل ۳-۴: پترن پلاریزاسیون آنتن دیسک دایروی در فرکانس 5.4 GHz.

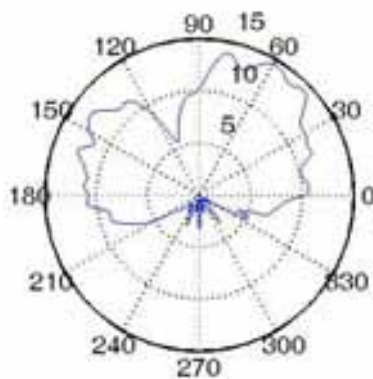
شکل (۳-۴) نشان می دهد که پلاریزاسیون آنتن خطی و از نوع عمودی است که عمودی بودن پلاریزاسیون آنتن از روی نتایج اندازه گیری مشخص شده است.



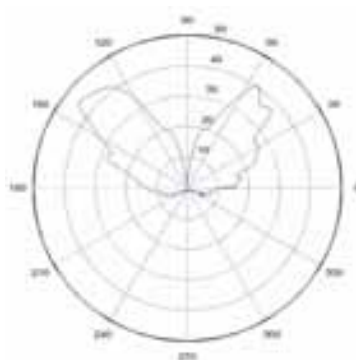
شکل ۳-۵: پترن لگاریتمی آنتن دیسک دایروی در صفحه $H - Plane$ و فرکانس 5.4 GHz.



شکل ۶-۳: پترن لگاریتمی آنتن دیسک دایروی در صفحه $E - Plane$ و فرکانس 5.4 GHz



شکل ۷-۳: پترن لگاریتمی آنتن دیسک دایروی در صفحه $E - Plane$ و فرکانس 5.4 GHz



شکل ۸-۳: پترن نرمال آنتن دیسک دایروی در صفحه $H - Plane$ و فرکانس 5.4 GHz

۳-۴ نتیجه گیری

بررسی آنتن پچ میکرو استریپ دایروی با مود TM_{02} نشان می دهد که پترن آنتن در صفحه Azimuth همه جهتی است و در جهت Zenith (نرمال) تشعشع نمی کند، بطوریکه برای کاربردهای Hiperlan مناسب است. با انتخاب محل تغذیه می توان آنتن را به امپدانس 50Ω تطبیق نمود. از بین چند نمونه آنتنهایی که طراحی و ساخته شده است. تنها یک نمونه با توجه به محل تغذیه کمترین ضریب انعکاس را دارد و در فرکانس 5.416 GHz رزنانس می کند که با فرض $VSWR \leq 2$ پهنای باند امپدانس 7.13% می باشد. نتایج اندازه گیری نیز با نتایج آنالیز همخوانی دارد.

منابع

- [1] I. J. Bahl and P. Bhartia, "Microstrip Antenna", Artech House, Nov.a3.
- [2] D. H. Schaubert and D. M. Pozar, "Microstrip Antennas", Wiley-IEEE Press, 2004.
- [3] R. E. Collin, "Antennas and Radiowave Propagation", Mc GrawHill 1985.
- [4] K. R. Carver and J. R. James, "Microstrip Antenna Technology," IEEE Trans. Antennas propagat. Vol. AP-29, no.1, pp.2-24, Jan 1981.
- [5] K. R. Carver and E. L. Coffey, "Theoretical investigation of the microstrip antenna," physic. And sci. Lab., New Mexico State Univ., Las Cruces, Tech. Rep. PT-00929, Jan.23, 1979.
- [6] D. M. Pozar and D. H. Schaubert, "Microstrip Antenna the Analisis and Design of Microstrip Antennas and Arrays", Wiley-IEEE Press, May 1995.
- [7] A.Taflove, "Computational Electromagnetic", Artech House Inc, 1995.