

طراحی و ساخت آنتن ریزنواری با پلاریزاسیون دایره‌ای با قابلیت بهبود SWR ورودی برای کاربرد GPS

عباسعلی حیدری

طریق یک خط کوکسیال تغذیه می‌شود. تغذیه آنتن به وسیله خط کوکسیال دارای مزیت‌هایی نسبت به تغذیه خط ریزنواری می‌باشد. از مهم‌ترین این مزایا می‌توان به تلفات کمتر خط تغذیه، جلوگیری از تشعشعات ناخواسته خط تغذیه و قابلیت تنظیم امپدانس ورودی با تغییر محل تغذیه (بدون نیاز به خط یک چهارم طول موج) اشاره نمود. پیچ بر روی زیرلایه میکروویوی RT/duroide-۵۸۷۰ با ضریب دی‌الکتریک (ϵ_r) ۲٫۳۳ و ضخامت دی‌الکتریک ۰٫۷۸۷ mm ساخت شرکت Rogers، ایجاد شده است. در صورتی که طرف دیگر این زیرلایه صفحه زمین باشد، به دلیل ضخامت کم بین پیچ و صفحه زمین، پهنای باند امپدانس آنتن کمتر از مقدار مطلوب خواهد بود. برای رفع این مشکل، بین زیرلایه و صفحه زمین یک فاصله هوایی ایجاد شده و در واقع با استفاده از ساختار چندلایه، پهنای باند افزایش داده شده است. شبیه‌سازی آنتن به وسیله نرم‌افزار HP-HFSS انجام شده است و پس از انجام بهینه‌سازی لازم برای داشتن مشخصات مورد نیاز، آنتن ساخته شده و اندازه‌گیری‌های لازم به وسیله Network Analyzer انجام شده است. نماد تشعشعی و نماد پلاریزاسیون آنتن نیز در اتاق آنتن بدست آمده است.

۲- تحلیل و طراحی آنتن

در شکل ۱ ساختار آنتن مشاهده می‌شود. آنتن به وسیله یک پروب و از طریق خط کوکسیال تغذیه می‌شود و میدان‌های تشعشعی آنتن دارای پلاریزاسیون دایره‌ای راستگرد می‌باشند. در صورتی که برش روی دو گوشه دیگر انجام شود، پلاریزاسیون دایره‌ای چپگرد تولید خواهد شد. طبق مدل رزونانسی، مد غالب در پیچ مربعی، مد TM_{10} است. به منظور تولید پلاریزاسیون دایره‌ای، لازم است مد TM_{10} نیز به نحوی تحریک شود. این کار با ایجاد برش در دو گوشه واقع بر روی قطر پیچ انجام شده است. در صورتی که ابعاد مربع و مقدار برش به طور مناسبی انتخاب شوند، دو مد با دامنه برابر و اختلاف فاز ۹۰ درجه به وجود خواهد آمد که در دو فرکانس نزدیک به هم تشدید می‌نمایند. در این حالت در فرکانسی که برابر با میانگین عددی فرکانس تشدید این مدها است، اختلاف فاز بین دو مد دقیقاً برابر ۹۰ درجه و دامنه مدها با هم برابر می‌شوند. این فرکانس را فرکانس پلاریزاسیون دایره‌ای گوئیم. محل تغذیه نیز باید به گونه‌ای تنظیم شود تا فرکانس تشدید امپدانس نیز با این فرکانس برابر باشد. مقدار برش گوشه‌های پیچ، به ضریب کیفیت (Q) پیچ مربعی بستگی دارد. ضریب کیفیت نیز خود تابع مشخصات دی‌الکتریک و ابعاد پیچ می‌باشد. باید توجه نمود که موقعیت تغذیه نیز بر روی دامنه مدهای تحریک‌شده تأثیر دارد و بنابراین مقدار سطح برش و محل تغذیه هر دو بر روی اختلاف فاز بین دو مد اثر می‌گذارند.

بنابراین لازم است پس از طراحی و تحلیل اولیه آنتن، با تغییر محل تغذیه و یا مقدار برش، بهینه‌سازی لازم برای دستیابی به پارامترهای مورد نظر انجام شود. اگر مساحت قسمت‌های برش داده شده در گوشه‌های پیچ

چکیده: در این مقاله طراحی و شبیه‌سازی لازم برای ساخت یک آنتن ریزنواری پیچ^۱ مربعی با پلاریزاسیون دایره‌ای راستگرد ارائه شده است. این آنتن دارای تغذیه کوکسیالی بوده و برای کار در فرکانس L_1 (۱۵۷۵ مگاهرتز) مربوط به سیستم‌های تعیین موقعیت جهانی GPS^۲ طراحی شده است. شبیه‌سازی آنتن با استفاده از نرم‌افزار HP-HFSS و بهینه‌سازی آن به کمک نرم‌افزار Empipe^۳D انجام شده است. برای افزایش پهنای باند آنتن، ضخامت بین پیچ و صفحه زمین با استفاده از یک لایه هوایی افزایش داده شده و پهنای باند امپدانس به بیش از ۷۰ مگاهرتز افزایش داده شده است. همچنین یک روش مفید برای بهبود SWR^۳ ورودی آنتن پیشنهاد و در عمل به کار گرفته شده است. آنتن پس از طراحی، ساخته شده و نتایج تئوری و اندازه‌گیری مقایسه شده‌اند.

کلید واژه: آنتن ریزنواری patch، پلاریزاسیون دایره‌ای، سیستم تعیین موقعیت جهانی (GPS).

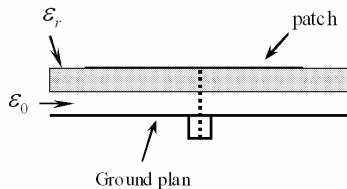
۱- مقدمه

آنتن‌های ریزنواری در مقایسه با سایر آنتن‌های معمول، با داشتن ویژگی‌هایی مانند وزن و حجم کم، هزینه ساخت کم و سادگی ساخت (استفاده از روش‌های مدارچاپی) و قابلیت مجتمع‌شدن با مدارهای میکروویوی، در عمل مورد توجه زیادی بوده و در بسیاری از کاربردهای مخابراتی و نظامی از این آنتن‌ها استفاده می‌شود. با توجه به این مزایا و همچنین امکان تولید پلاریزاسیون دایره‌ای به وسیله آنتن‌های ریزنواری، از این آنتن‌ها به طور وسیعی در کاربردهای تجاری سیستم‌های GPS استفاده شده و تحقیقات زیادی در این زمینه انجام شده است [۱] تا [۵]. اکثر این سیستم‌ها در فرکانس L_1 یعنی ۱۵۷۵ MHz کار می‌کنند. سیگنال ارسالی از ماهواره‌های GPS دارای پلاریزاسیون دایره‌ای راستگرد می‌باشد. پهنای باند مورد نیاز برای آنتن حدود ۴۰ مگاهرتز (۳٪) می‌باشد. جهت تولید پلاریزاسیون دایره‌ای، ساختارهای زیادی با ویژگی‌های مختلف پیشنهاد شده است [۱]. در این پژوهش از ساختاری استفاده شده است که ضمن داشتن مشخصات لازم، پروسه ساخت آنتن ساده بوده و تولید انبوه آنتن با توجه به امکانات موجود، ساده و کم‌هزینه باشد. به این منظور از یک پیچ مربعی با یک جفت گوشه‌های برش داده شده برای تولید پلاریزاسیون دایره‌ای استفاده شده است که به وسیله یک پروب و از

این مقاله در تاریخ ۲۴ تیر ماه ۱۳۸۵ دریافت و در تاریخ ۲۰ آبان ماه ۱۳۸۵ بازنگری شد. این پژوهش در قالب قرارداد پژوهشی بین دانشگاه یزد و صنایع شهید شبرودی (تحت پوشش صنایع هوا فضا) و با استفاده از مزایای بند الف ماده ۱۰۲ قانون سوم توسعه انجام شده است.

عباسعلی حیدری، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه یزد
(email: aheidari@yazduni.ac.ir)

1. Microstrip Patch Antenna
2. Global Positioning Systems
3. Standing Wave Ratio



شکل ۲: افزایش پهنای باند آنتن با افزایش فاصله بین پیچ و صفحه زمین به وسیله یک لایه هوا.

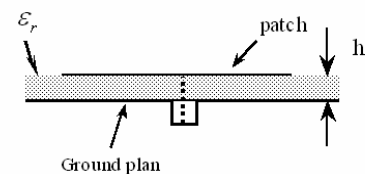
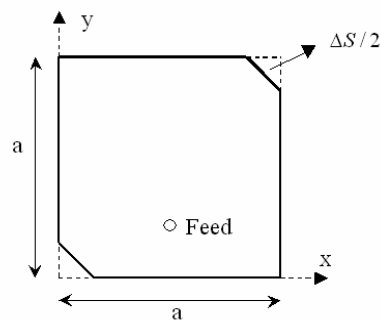
تغذیه در جهت y امپدانس ورودی آنتن را تغییر می‌دهد. هرچه محل تغذیه به لبه آنتن نزدیک‌تر باشد، قسمت حقیقی امپدانس ورودی افزایش می‌یابد. با تحلیل و شبیه‌سازی آنتن به وسیله نرم‌افزار و مشاهده تغییرات امپدانس ورودی در چارت اسمیت، می‌توان با تغییر محل تغذیه و یا سایر پارامترها، آنتن را در فرکانس مرکزی مورد نظر به خط ۵۰ اهم تطبیق نمود، به گونه‌ای که فرکانس پلاریزاسیون دایره‌ای نیز بر فرکانس مرکزی امپدانس منطبق باشد.

۳- بهینه‌سازی آنتن

پس از طراحی اولیه آنتن با استفاده از روابط تقریبی موجود، لازم است ابعاد آنتن، محل تغذیه و میزان برش گوشه‌ها به منظور دستیابی به مشخصات مورد نیاز، مورد بهینه‌سازی قرار گیرند. در اینجا این کار با استفاده از نرم‌افزار Empipe۳D که در یک بسته نرم‌افزاری به همراه HP-HFSS عرضه شده، انجام شده است. این دو برنامه، سیستم نرم‌افزاری کاملی را برای بهینه‌سازی خودکار ساختار، با انجام تحلیل تمام موج الکترومغناطیسی تشکیل می‌دهند. این نرم‌افزار به طراح امکان می‌دهد تا با انتخاب پارامترهای هندسی ساختار (و حتی جنس محیط)، به عنوان متغیرهای بهینه‌سازی، ساختار را برای داشتن مشخصات مورد نظر بهینه‌سازی نماید. این نرم‌افزار مجموعه کاملی از بهینه‌سازها شامل الگوریتم‌های L_1 و L_2 (حداقل مربعات)، شبه نیوتن، Minimax و تصادفی را به کار می‌گیرد. نرم‌افزار به طور خودکار روش بهینه‌سازی مناسب را به توجه به نوع مشخصات تعریف شده انتخاب می‌کند. لازم به ذکر است با توجه به زمان نسبتاً زیاد لازم برای اجرای برنامه، و نیز نیاز به بهینه‌سازی همزمان چند پارامتر در ساختار آنتن، همگرایی روش کند بوده و به راحتی نمی‌توان دقیقاً به مشخصات مورد نیاز دست پیدا نمود.

۴- افزایش پهنای باند آنتن

اگر به روشی که در بخش ۲ بیان شد، آنتن را طراحی نماییم، پس از انجام شبیه‌سازی و بهینه‌سازی لازم، مشاهده می‌شود پهنای باند آنتن ($VSWR = 2$) حدود ۲۸ مگاهرتز می‌باشد که کمتر از مقدار لازم می‌باشد. این یکی از محدودیت‌های اصلی آنتن‌های ریزنواری می‌باشد که در مراجع زیادی مانند [۶] تا [۱۰]، برای رفع آن روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. مطابق (۵) پهنای باند آنتن به ضریب کیفیت آنتن بستگی دارد. هرچه ضخامت بین پیچ و صفحه زمین کمتر باشد و یا ضریب دی‌الکتریک بیشتر باشد، ضریب کیفیت آنتن افزایش یافته و پهنای باند آن کاهش می‌یابد. روشی که در اینجا برای افزایش پهنای باند به کار رفته است، افزایش ضخامت مؤثر زیرلایه با به کار بردن یک لایه هوایی می‌باشد. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، پیچ به همراه دی‌الکتریک، به فاصله مشخصی از یک ورق مسی (صفحه زمین) نصب شده است. لازم به ذکر است در صورتی که فاصله بین پیچ و صفحه زمین از حد معینی بیشتر شود، به دلیل خاصیت سلفی پروب تحریک، نمی‌توان آنتن را به خط ۵۰ اهم تطبیق نمود.



شکل ۱: آنتن پیچ مربعی با گوشه‌های برش داده شده برای تولید پلاریزاسیون دایره‌ای راستگرد.

را با ΔS نشان دهیم، مقدار ΔS و فرکانس تشدید مدهای تحریک شده عبارتند از [۱]

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{1}{Q_0}, f_r = f. \quad (1)$$

$$f_r = f \cdot \left(1 - \frac{\Delta S}{S}\right)$$

در روابط فوق f فرکانس تشدید پیچ مربعی بدون برش، ΔS مقدار کل سطح برش، S سطح پیچ بدون برش و Q_0 ضریب کیفیت پیچ مربعی بدون برش است که به جنس و ضخامت زیرلایه و ابعاد پیچ بستگی دارد. f_1 و f_2 فرکانس مدهای تحریک شده می‌باشند که میانگین عددی آنها فرکانس پلاریزاسیون دایره‌ای خواهد بود. هدف ما طراحی آنتن برای کار در فرکانس مرکزی ۱۵۷۵ مگاهرتز با پهنای باند امپدانس حداقل ۴۰ مگاهرتز می‌باشد. در ابتدا با توجه به این فرکانس مرکزی و مشخصات زیرلایه مورد استفاده، می‌توان طول پیچ مربعی یعنی a را به طور تقریبی با توجه به روابط زیر محاسبه نمود [۲]

$$f_r = \frac{c}{2a_{eff} \sqrt{\epsilon_e}} \quad (2)$$

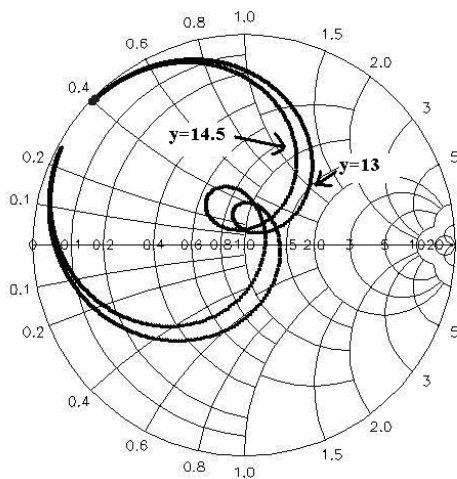
$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} (1 + 10h/a) \quad (3)$$

$$a_{eff} = a \left(1 + 0.824h/a \left(\frac{(\epsilon_e + 0.3)(a/h + 0.262)}{(\epsilon_e - 0.258)(a/h + 0.113)} \right) \right) \quad (4)$$

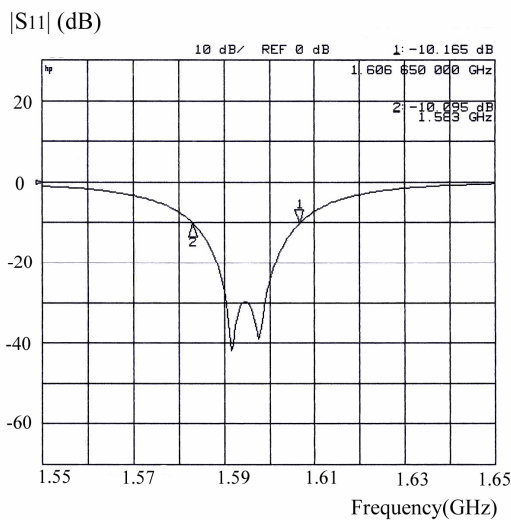
که c سرعت نور در فضای آزاد و h ضخامت دی‌الکتریک می‌باشد. به منظور محاسبه میزان برش گوشه‌ها با استفاده از (۱)، دانستن Q_0 ضروری است. محاسبه تحلیلی Q_0 کار راحتی نیست اما می‌توان با شبیه‌سازی آنتن با استفاده از نرم‌افزار HP-HFSS، پهنای باند آنتن را به ازای $VSWR = s$ تعیین نمود و Q_0 را از رابطه زیر تعیین نمود [۱]

$$BW = \frac{s-1}{Q_0 \sqrt{s}} \quad (5)$$

مقدار Q_0 با مشخصات زیرلایه داده شده و برای یک پیچ مربعی با طول ۶۰ میلی‌متر، حدود ۱۱۰ به دست آمد. پس از تعیین میزان برش گوشه‌ها، لازم است محل تغذیه آنتن تعیین شود. برای داشتن پلاریزاسیون دایره‌ای در شکل ۱، محل تغذیه در جهت x باید در وسط پیچ باشد. جابجایی



شکل ۵: تغییر امپدانس ورودی آنتن تک‌لایه با فرکانس روی چارت اسمیت به ازای دو مقدار y نقطه تغذیه.

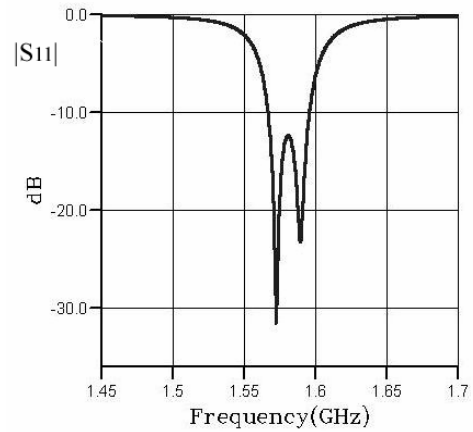


شکل ۶: اندازه ضریب انعکاس ورودی آنتن تک‌لایه اندازه‌گیری شده با دستگاه Network Analyzer.

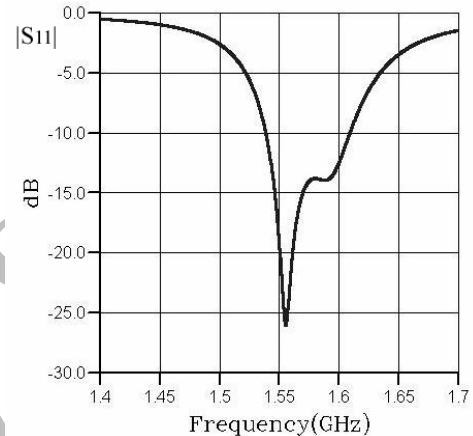
مطلوب انجام گرفته است. همانگونه که در بخش ۳ بیان شد، این بهینه‌سازی به کمک نرم‌افزار Empipe3D انجام شده است. شبیه‌سازی کامپیوتری، پهنای باند آنتن را حدود ۷۰ MHz نشان می‌دهد. دایرکتیویته و بهره آنتن نیز به ترتیب ۹/۱۶ dB و ۸/۹ dB محاسبه شده است. در شکل‌های ۳ و ۴ نتایج شبیه‌سازی آنتن رسم شده است. شکل ۳ منحنی اندازه S_{11} را در دو حالت نشان می‌دهد. حالت اول مربوط به آنتن تک‌لایه می‌باشد. در حالت دوم برای افزایش پهنای باند، زیرلایه به فاصله ۲ mm از صفحه زمین نصب شده است. شکل ۴ نیز امپدانس ورودی این آنتن را بر روی چارت اسمیت نشان می‌دهد.

چنانچه قبلاً ذکر شد، هرچه محل تغذیه به لبه آنتن نزدیک‌تر باشد، قسمت حقیقی امپدانس ورودی افزایش می‌یابد. علاوه بر روش خودکار بهینه‌سازی که در بخش ۳ بیان شد، با تحلیل و شبیه‌سازی آنتن به وسیله نرم‌افزار و مشاهده تغییرات امپدانس ورودی در چارت اسمیت، می‌توان با تغییر محل تغذیه و یا سایر پارامترها، آنتن را در فرکانس مرکزی مورد نظر به خط ۵۰ اهم تطبیق نمود. این موضوع در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل امپدانس ورودی آنتن تک‌لایه روی چارت اسمیت به ازای دو مقدار y نقطه تغذیه مشاهده می‌شود.

این دو نوع آنتن ساخته شده و ضریب انعکاس و SWR ورودی آنها به وسیله Network Analyzer اندازه‌گیری شده است. شکل ۶ منحنی S_{11}

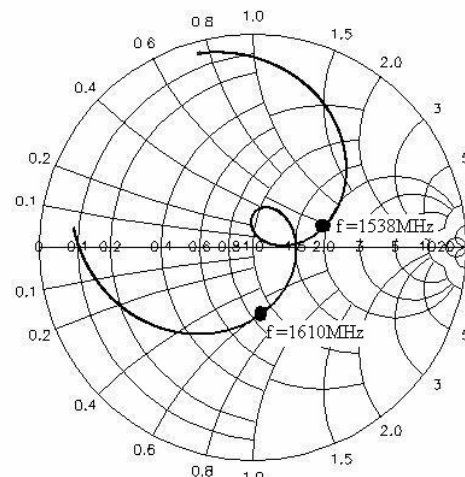


(الف)



(ب)

شکل ۳: اندازه ضریب انعکاس ورودی آنتن، (الف) آنتن تک‌لایه و (ب) آنتن دولایه (استفاده از یک لایه هوایی).



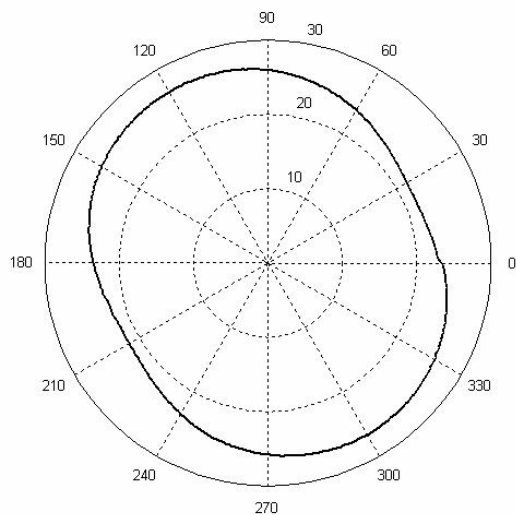
شکل ۴: تغییر امپدانس ورودی آنتن دولایه با فرکانس روی چارت اسمیت.

۵- نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

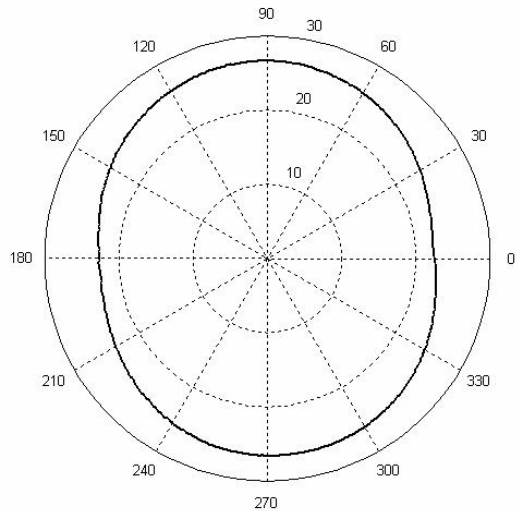
طراحی و ساخت آنتن با استفاده از زیرلایه مایکروویوی RT/duroide-۵۸۷۰ با مشخصات زیر انجام شده است

$$\epsilon_r = 2.33, \quad h = 0.787 \text{ mm}, \quad \tan \delta \cong 0.012$$

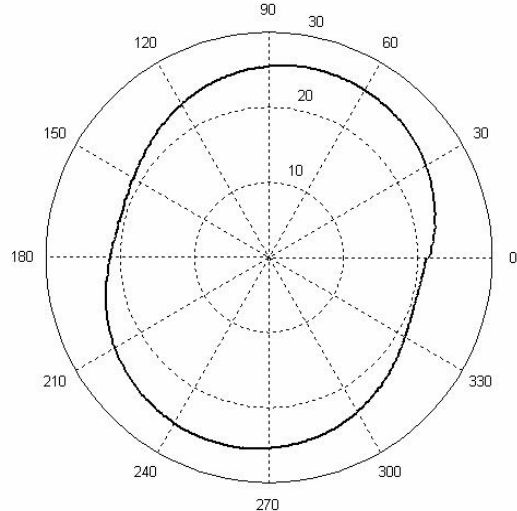
فرکانس مرکزی مورد نظر ۱۵۷۵ مگاهرتز و حداقل پهنای باند لازم، ۴۰ مگاهرتز می‌باشد. به منظور تأمین پهنای باند مورد نیاز، همانند شکل ۲، زیرلایه به فاصله ۲ mm از صفحه زمین نصب شده است. با شبیه‌سازی و تحلیل آنتن، بهینه‌سازی لازم برای داشتن مشخصات



$f = 1565$ MHz (الف)



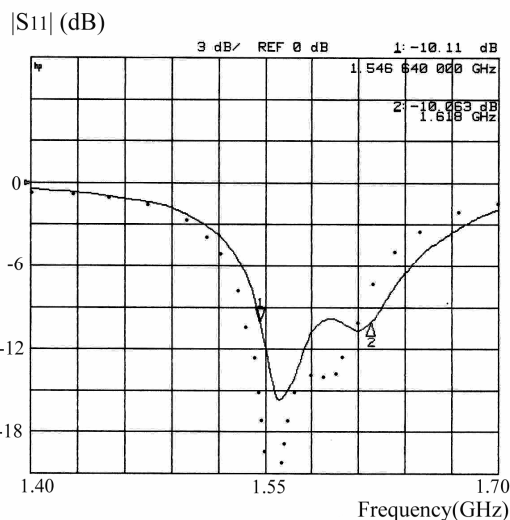
$f = 1575$ MHz (ب)



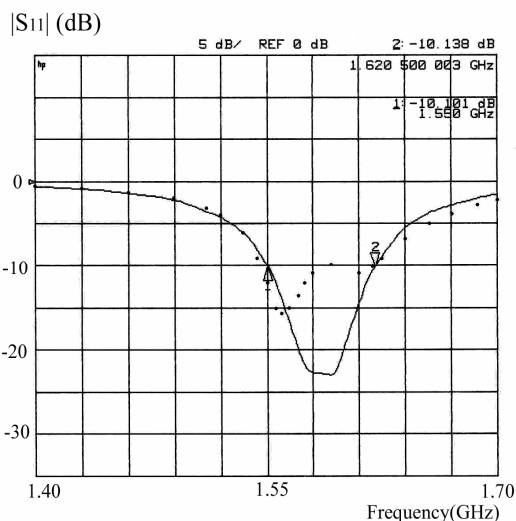
$f = 1585$ MHz (ج)

شکل ۹: پترن پلاریزاسیون آنتن، اندازه‌گیری شده در فرکانس‌های مختلف.

به ویژه زمانی اهمیت دارد که بخواهیم از آنتن برای ارسال توان استفاده کنیم. شکل ۸ منحنی S_{11} آنتن را پس از انجام این تنظیم نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود S_{11} آنتن به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. این تنظیم، تأثیر قابل توجهی روی نماد تشعشعی آنتن نیز ایجاد نمی‌نماید. در شکل ۹ پترن پلاریزاسیون آنتن را که در سه فرکانس ۱۵۶۵، ۱۵۷۵ و ۱۵۸۵ مگاهرتز اندازه‌گیری شده مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج



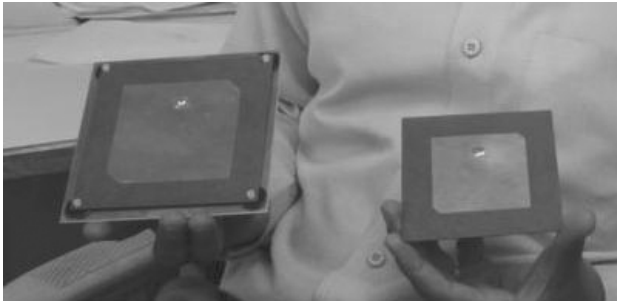
شکل ۷: اندازه ضریب انعکاس ورودی آنتن دولایه اندازه‌گیری شده (خط ممتد) و مقایسه با پاسخ تئوری (نقطه‌چین).



شکل ۸: اندازه ضریب انعکاس آنتن دولایه قبل (نقطه‌چین) و بعد از تنظیم لازم برای بهبود ضریب انعکاس.

آنتن تک‌لایه ساخته شده را نشان می‌دهد که در مقایسه با نتایج تئوری، حدود ۱۵ مگاهرتز شیفت فرکانسی مشاهده می‌شود. یکی از دلایل این اختلاف این است که به دلیل نیاز به حافظه و زمان اجرای زیاد، شبیه‌سازی تئوری با دقت خیلی زیادی انجام نشده است. این شیفت فرکانسی در طراحی آنتن دولایه مورد توجه قرار گرفته است. شکل ۷ منحنی S_{11} اندازه‌گیری شده آنتن دولایه ساخته شده را نشان می‌دهد. نتایج تئوری نیز جهت مقایسه، به این شکل افزوده شده و مطابقت خوبی بین نتایج تئوری و اندازه‌گیری مشاهده می‌شود.

یکی از مشکلاتی که در عمل به هنگام ساخت بسیاری از آنتن‌ها وجود دارد این است که پس از ساخت، امکان بهبود (کاهش) SWR آنتن وجود ندارد. آنتنی که در اینجا ساخته شده است، به دلیل وجود یک لایه هوا، دارای این قابلیت است که با ایجاد تغییر بسیار کوچکی در فاصله بین پیچ و صفحه زمین، می‌توان بدون تغییر محسوسی در سایر پارامترها، SWR ورودی آنتن را بهبود بخشید. این کار را می‌توان با قراردادن پیچ تنظیم کوچکی در لبه پیچ (نقطه مقابل تغذیه) انجام داد. اهمیت کاربردی این تنظیم وقتی روشن می‌گردد که به حساسیت بسیار زیاد SWR ورودی آنتن به محل تغذیه توجه شود. در عمل نصب کانکتور تغذیه، با آن دقتی که در طراحی مورد نظر است، بسیار سخت می‌باشد. کم‌بودن SWR آنتن



شکل ۱۱: تصویری از هر دو آنتن تک‌لایه و دولایه ساخته‌شده.

برای بهبود SWR ورودی آنتن پیشنهاد شده است. آنتن پس از طراحی، ساخته شده و نتایج تئوری و اندازه‌گیری مطابقت خوبی دارند.

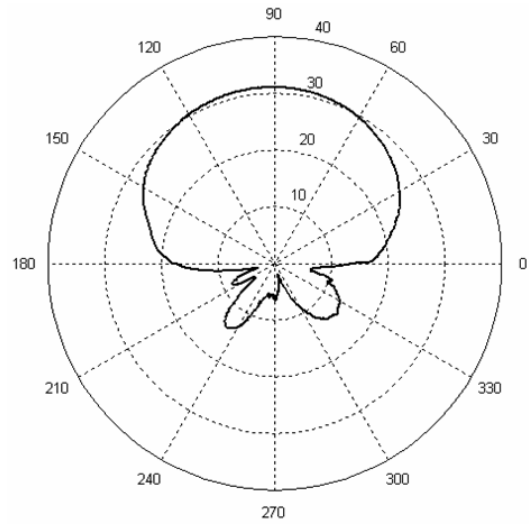
سپاسگزاری

از مساعدت و همکاری آقای دکتر کیوان فرورقی برای انجام بخشی از اندازه‌گیری‌ها در آزمایشگاه میکروویو دانشگاه تربیت مدرس قدردانی می‌گردد.

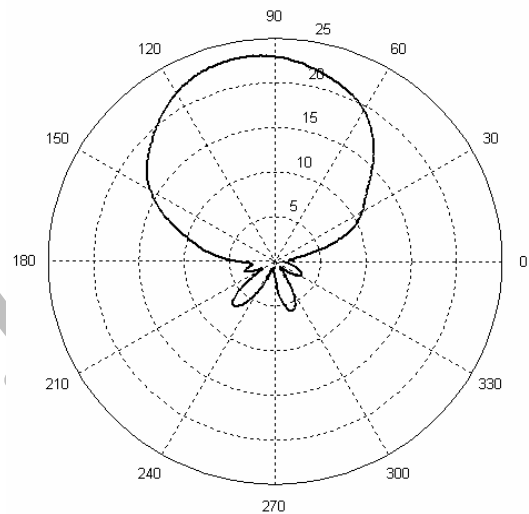
مراجع

- [1] G. Ramesh, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, Boston-London, 2001.
- [2] S. Thiagarajah, B. M. Ali, M. H. Habaebi, "Circular polarized active microstrip antenna for commercial GPS application," in *TENCON 2000 Proc.*, vol. 1, pp. 109-114, Sep. 2000.
- [3] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "A single layer dual band circularly polarized microstrip antenna for GPS applications," in *Proc. IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, vol. 4, pp. 720-723, Jun. 2002.
- [4] X. Lan, "A novel high performance GPS microstrip antenna," in *Proc IEEE Antennas and Propagation Society Int. Symp.*, vol. 2, pp. 988-991, Jul. 2000.
- [5] م. نیروجزی، م. ت. آذرمنش و ج. نوری‌نیا، "طراحی و ساخت آنتن میکرواستریپ بهینه‌سازی‌شده از نوع تک‌تغذیه‌ای با پلاریزاسیون دایره‌ای"، مجموعه مقالات دوازدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، جلد اول، دانشگاه فردوسی مشهد، اردیبهشت ۱۳۸۳.
- [6] F. Chang, K. Wong, and T. Chion, "Low-cost broadband circularly polarized patch antenna," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 10, pp. 3006-3009, Oct. 2003.
- [7] P. H. Rao, V. F. Fusco, and R. Cahill, "Wide-band linear and circularly polarized patch antenna using a printed stepped T-feed," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 3, pp. 356-361, Mar. 2002.
- [8] H. Y. Yim, C. P. Kong, and K. K. M. Cheng, "Compact circularly polarised microstrip antenna design for dual-band applications," *Electronics Letters*, vol. 42, no. 7, pp. 380-381, Mar. 2006.
- [9] Y. J. Sung and Y. S. Kim, "Circular polarised microstrip patch antennas for broadband and dual-band operation," *Electronics Letters*, vol. 40, pp. 520-522, Apr. 2004.
- [10] Z. N. Chen and M. Y. W. Chia, *Broadband Planar Antennas Design and Applications*, John Wiley & Sons, 2006.

عباسعلی حیدری تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی برق-الکترونیک در سال ۱۳۷۲ از دانشگاه شهید باهنر کرمان و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری برق-مخابرات (گرایش میدان و موج) به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۵ و ۱۳۸۲ از دانشگاه تربیت مدرس به پایان رسانده است و هم‌اکنون استادیار دانشکده مهندسی برق دانشگاه یزد می‌باشد. نام‌برده از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ سرپرست دانشکده مهندسی برق دانشگاه یزد بوده و هم‌اکنون رئیس گروه آموزش‌های عالی آزاد و مجازی این دانشگاه می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: طراحی و تحلیل آنتن‌ها به ویژه آنتن‌های ریزنواری و شکافی موجبری، روش‌های عددی در الکترومغناطیس، مدارها و ساختارهای فعال و غیر فعال میکروویو.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰: پترن تشعشی اندازه‌گیری‌شده آنتن در فرکانس ۱۵۷۵ مگاهرتز، (الف) در صفحه $\phi = 0^\circ$ و (ب) در صفحه $\phi = 90^\circ$ (متناظر با دستگاه مختصات شکل ۱).

اندازه‌گیری، نسبت محوری^۱ برای آنتن در این سه فرکانس به ترتیب ۱٫۸۴ dB، ۱٫۴۹ dB و ۱٫۹۵ dB می‌باشد و بنابراین کیفیت پلاریزاسیون قابل قبول می‌باشد.

شکل ۱۰ نماد تشعشی اندازه‌گیری‌شده را برای آنتن دولایه نشان می‌دهد. نماد تشعشی در فرکانس‌های ۱۵۶۵ و ۱۵۸۵ مگاهرتز نیز اندازه‌گیری شده و تغییر محسوسی در نماد تشعشی با تغییر فرکانس مشاهده نمی‌شود. در شکل ۱۱ تصویری از هر دو آنتن تک‌لایه و دولایه ساخته‌شده مشاهده می‌شود. تغذیه این آنتن‌ها به وسیله کانکتور SMA انجام می‌شود. کانکتور به صفحه زمین متصل شده و مغزی آن به پیچ لحیم شده است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک آنتن ریزنواری پیچ مربعی با پلاریزاسیون دایره‌ای راستگرد برای کاربردهای GPS طراحی و با نرم‌افزار HP-HFSS تحلیل و شبیه‌سازی و با استفاده از نرم‌افزار Empipe3D بهینه‌سازی شده است. برای افزایش پهنای باند آنتن، ضخامت بین پیچ و صفحه زمین با استفاده از یک لایه هوایی افزایش داده شد. همچنین یک روش مفید در عمل

1. Axial Ratio