

بهینه‌سازی آنتن مارپیچی چهاربازویی چاپی (PQHA) کوچک برای کاربردهای BGAN و GPS

رباب کاظمی، استادیار

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه تبریز - تبریز - ایران - r.kazemi@tabrizu.ac.ir

چکیده: در این مقاله به طراحی عنصر سازنده یک آرایه آنتن 2×2 برای چرخش پرتو در سامانه‌های GPS و BGAN پرداخته شده است. عنصر مورد بررسی یک آنتن مارپیچ چهاربازویی چاپی (PQHA) است که در مد محوری کار می‌کند و برای تغذیه از یک شبکه یکپارچه با چرخش فاز ترتیبی 0° ، 90° ، 180° و 270° برای دستیابی به قطبش دایروی راستگرد (RHCP) بهره می‌برد. آنتن مشخصات تشعشعی RHCP با خلوص بالا را تا محدوده زاویه‌ای $\theta = \pm 60^\circ$ حفظ می‌کند و باند فرکانسی وسیع ارسال و دریافت اطلاعات سامانه BGAN و GPS از 1525MHz تا 1660MHz را پوشش می‌دهد. در این باند، افت بازگشتی آنتن بهتر از 11 dB و نسبت محوری کمتر از $1/9\text{ dB}$ است. آنتن پیشنهادی قابل حمل با پهنای باند نسبتاً وسیع و پوشش تشعشعی نیم‌کروی با قطبش دایروی راستگرد است که آن را برای ارتباطات BGAN و GPS مناسب می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: آنتن مارپیچی چهاربازویی چاپی (PQHA)، شبکه تغذیه یکپارچه، GPS، BGAN، قطبش دایروی راستگرد (RHCP).

Optimization of a Miniaturized Printed Quadrifilar Helical Antenna for BGAN/GPS Applications

Robab Kazemi, Assistant Professor

Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran, Email: r.kazemi@tabrizu.ac.ir

Abstract: This paper presents the design of an element of a steerable 2×2 array antenna for GPS and BGAN applications. The element is a printed quadrifilar helical antenna which an integrated sequential phase shift rotation feed employed to enhance the circular polarization (CP) characteristics of the antenna. The integrated feed network is designed to provide a balanced RF signal to the four helical arms with a 90° sequential phase difference between them. The antenna maintains a low cross polarization up to $\pm 60^\circ$, over transmit and receive frequency coverage from 1525 MHz to 1660 MHz , a return loss better than 11 dB with RHCP performance, and an axial ratio below 1.9 dB . The proposed antenna has a compact size, low cost and light-weight, with a relatively wide bandwidth, and almost-hemispherical radiation pattern with excellent right hand CP radiation that is suitable for L1-band GPS and BGAN satellite communications.

Keywords: printed quadrifilar helical antenna (PQHA), integrated feed network, GPS, BGAN, right-hand circular polarization (RHCP).

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۴

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۲۲

نام نویسنده مسئول: رباب کاظمی

نشانی نویسنده مسئول: ایران - تبریز - بلوار ۲۹ بهمن - دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

۱- مقدمه

اخیراً سیستم‌های ارتباطی ماهواره‌ای سیار به صورت گسترده در بسیاری از کاربردها مانند شبکه جهانی ماهواره‌ای-اینترنتی باند وسیع (BGAN) [۱] و یا سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) [۲] استفاده می‌شود. آنتن‌های BGAN دسترسی شبکه‌های نظارتی به مناطقی که در آن‌ها قرارگیری پست‌های دیده‌بانی بدون سرنشین غیرعملی است را ممکن می‌سازند. تجهیزات اپراتور برای این کاربردها نیاز به آنتنی دارد که علاوه بر داشتن قیمت پایین و اندازه کوچک و قابل حمل، بتواند با قطبش دایروی (CP) و پترن متقارن تقریباً کل نیمکره بالای زمین را پوشش دهد. آنتن‌های CP به دلیل حساس نبودن به عدم تطبیق قطبش؛ محوشدگی چندمسیره^۶ و چرخش فارادی در یونسفر برای انتقال اطلاعات کانال ترجیح داده می‌شوند. ضمناً، آنتن‌های گیرنده BGAN باید عرض بیم عمودی^۷ پهن داشته باشند تا تعداد ماهواره‌های بیشتری را مشاهده کرده و بتوانند سیگنال به نوبت کافی از ماهواره‌های BGAN دریافت کنند.

حفظ کیفیت قطبش دایروی در چرخش پرتو با زوایای بزرگ‌تر موضوع چالش برانگیزی است، چون با دور شدن از جهت پهلوتاب؛ نسبت محوری (AR)^۹ به شدت افزایش می‌یابد [۳، ۴]؛ به‌ویژه اگر قرار باشد آرایه آنتن در پهنای باند وسیع کار کند، مشکل افزایش سطح قطبش متقاطع بیشتر نمود پیدا می‌کند.

آنتن ریزنواری که اغلب در سیستم‌های GPS استفاده می‌شود، نسبت محوری قابل قبولی را در پهنای باند بسیار باریک ارائه می‌دهد [۵-۷] و برای ساختارهای با بیم ثابت استفاده می‌شود، اما آنتن‌های BGAN نیاز به کار در باند فرکانسی وسیع‌تر در محدوده ۱۵۲۵MHz تا ۱۶۶۰MHz (یعنی ۸/۵٪ پهنای باند CP) دارد که این باند فرکانسی موردنیاز، فراتر از پهنای باند اغلب آنتن‌های ریزنواری است.

در [۸] یک آنتن حلزونی ارشمیدسی چهاربازویی برای سیستم‌های راداری با قابلیت تولید قطبش دایروی بدون شبکه تغذیه ارائه شده ولی ضخامت آن بسیار زیاد بوده و طراحی شبکه تغذیه چنین آنتنی به علت ساختار متقارن آن بسیار مشکل خواهد بود. در [۹] یک آنتن شکافی چندلایه با تغذیه موجبر هم‌صفحه برای دستیابی به قطبش دایروی باند وسیع ارائه شده است، اما ابعاد این آنتن نیز بزرگ بوده (۱۳۵mm×۱۳۵mm×۱۷mm) و همچنین تلفات شبکه تغذیه نیز به علت طولانی بودن خطوط مایکرواستریپ بالاست (۱/۲ dB). در [۱۰] یک آنتن چهارتایی شکافی برای گیرنده‌های GPS معرفی شده که پهنای باند بسیار باریک و شبکه تغذیه پیچیده‌ای دارد. همچنین سطح قطبش متقاطع نیز به‌طور غیرقابل قبولی بسیار بالاست (۶- dB). علاوه بر آن نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی با اندازه‌گیری تأیید نشده است.

یک جایگزین مناسب، استفاده از آنتن ماریچ چهاربازویی چاپی (PQHA) در مد محوری است [۱۱، ۱۲] که در کاربردهای عملی GPS/BGAN به دلیل داشتن اندازه کوچک، تشعشع با قطبش دایروی و پوشش فضایی وسیع پرتو در صفحه^{۱۰} ترجیح داده می‌شوند. آنتن

PQHA از چهار خط تشعشعی موازی با فاصله یکسان از هم و با زاویه پیچش بهینه تشکیل می‌شود که بسته به نوع قطبش (راستگرد/چپگرد) و سوی پرتو مورد نیاز، هم‌جهت یا در خلاف جهت عقربه‌های ساعت پیچیده می‌شوند. خطوط تشعشعی روی یک زیرلایه نازک چاپ شده و سپس زیرلایه دور یک پایه استوانه‌ای پیچیده می‌شود و با یک شبکه تغذیه ۴ دهانه‌ای با چرخش فاز ترتیبی-افزایشی ۹۰ درجه‌ای^۱ تغذیه می‌شود.

در این مقاله، جزئیات طراحی یک نمونه آنتن PQHA با قطبش دایروی راستگرد (RHCP) برای سیستم‌هایی با قابلیت چرخش بیم، از جمله سیستم‌های GPS، GNSS و BGAN در باند L (۱۵۲۵ MHz تا ۱۶۶۰ MHz) ارائه شده است. در بخش دوم، روند طراحی آنتن PQHA و اثر پارامترهای مختلف ساختار روی عملکرد آنتن بررسی شده است. طراحی بخش‌های مختلف شبکه تغذیه در بخش سوم و مقایسه نتایج اندازه‌گیری نمونه آنتن ساخته شده با نتایج حاصل از شبیه‌سازی در بخش چهارم آورده شده است و در نهایت نتیجه‌گیری از مباحث در بخش پنجم بیان شده است.

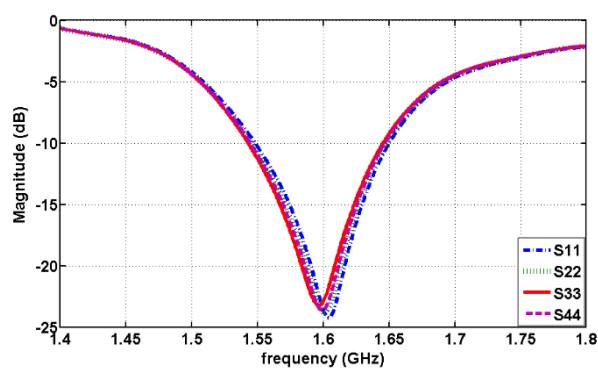
۲- طراحی آنتن PQHA

مشخصات اصلی آنتن سیستم‌های BGAN به شرح زیر است:

- محدوده فرکانس کار: ۱۵۲۵ MHz تا ۱۶۶۰ MHz
- عملکرد: ارسال / دریافت
- نوع قطبش: دایروی راستگرد
- پترن: تقریباً نیم‌کروی شکل

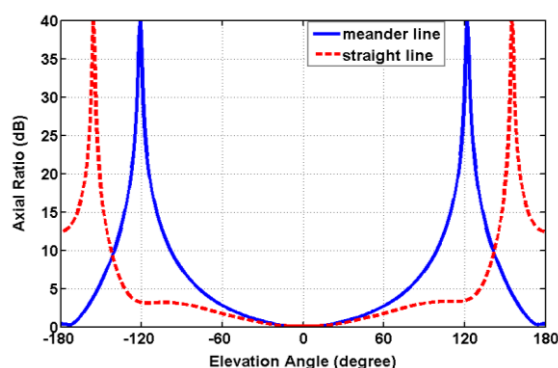
بر اساس مشخصات فوق، آنتن PQHA یک انتخاب مناسب برای سیستم‌های BGAN است. به‌طور کلی آنتن‌های QHA جزو ساختارهای روزنانشی هستند و طول هر آنتن ماریچی تشکیل دهنده آن تقریباً مضرب صحیحی از ربع طول موج ($\lambda/4$) است. ساختارهای با طول $\lambda/4$ یا $3\lambda/4$ اغلب با انتهای باز و خطوط با طول $\lambda/2$ یا λ با انتهای اتصال-کوتاه استفاده می‌شود [۱۳، ۱۴]. در هر حالت، پترن تشعشعی آن‌ها برای عملکرد مطلوب باید بهینه‌سازی شود و درجه‌های آزادی در فرآیند بهینه‌سازی شامل زاویه پیچش عنصرهای ماریچ (وابسته به ارتفاع آنتن و تعداد دورها)، طول عنصر تشعشعی و قطر هسته است. این خطوط ماریچ تشعشعی نیازمند به شبکه تغذیه بسیار پیچیده هستند، همچنین اندازه آن‌ها در حالت عادی نسبتاً بزرگ بوده و لذا تولید انبوه آن‌ها پرهزینه و دشوار است. از این‌رو در اینجا به کاهش مناسب ارتفاع آنتن پرداخته شده است.

شکل ۱(الف) ساختار هندسی آنتن PQHA پیشنهادی را نشان می‌دهد. چهار عنصر تشعشعی یکسان با اختلاف مکانی ۹۰° نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند و جهت پیچش خطوط خلاف جهت قطبش دایروی مطلوب است. در این ساختار برای دستیابی به قطبش دایروی راستگرد (RHCP)، جهت پیچش خطوط، چپگرد (خلاف جهت قطبش دایروی راستگرد مطلوب) و توالی افزایش فاز پورت‌های شبکه تغذیه پادساعتگرد

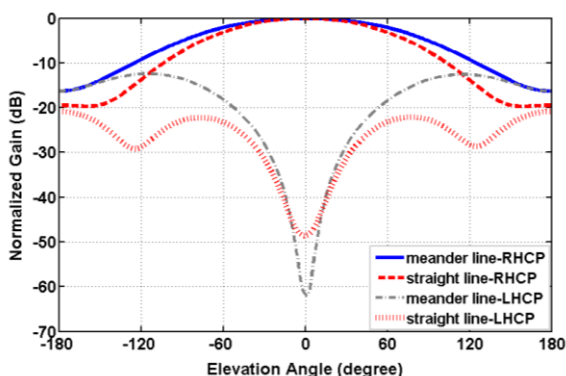


شکل ۲: افت بازگشتی شبیه‌سازی شده آنتن PQHA با دامنه و فاز ایده‌آل تغذیه.

پیچ‌وخمدار را نشان می‌دهد. روشن است که پیچ‌وخمدار کردن خطوط، باعث تخریب نسبت محوری بخصوص در زوایای خارج از محور شده و به عبارت دیگر سطح قطبش متقاطع را افزایش می‌دهد. همان‌طور که شکل ۳ نشان می‌دهد پیچ‌وخمدار کردن خط، تا $\pm 60^\circ$ خارج از جهت پهلوتاب، اثر قابل توجهی روی عملکرد CP نداشته است. همچنین مطابق شکل ۴، پیچ‌وخمدار کردن خطوط، نسبت گلبرگ جلو به عقب (F/B)^{۱۴} را به میزان تقریباً ۳dB (در فرکانس مرکزی ۱۶۰۰MHz) کاهش داده است. نتایج مشابه در دیگر فرکانس‌های باند موردنظر نیز به دست آمده است.



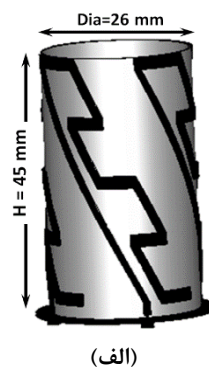
شکل ۳: تغییرات نسبت محوری (AR) بر حسب زاویه θ در صفحه $\phi=0^\circ$ در فرکانس مرکزی (f=1600 MHz).



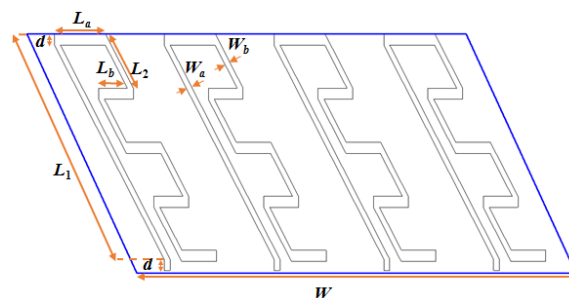
شکل ۴: تغییرات مؤلفه RHCP (قطبش اصلی) و مؤلفه LHCP (قطبش متقاطع) نسبت به زاویه θ در صفحه $\phi=0^\circ$.

است تا مد مارپیچی پیشرو^{۱۳} تولید شود. در این طراحی، به منظور کاهش ارتفاع آنتن، هر عنصر مارپیچ از دو بازوی موازی که در بالای هسته استوانه‌ای شکل به هم متصل‌اند، تشکیل شده است: بازوی اول از یک خط راست با عرض W_a تشکیل شده که در ابتدا به نقطه تغذیه وصل می‌شود و بازوی دوم یک خط پیچ‌وخمدار^{۱۴} با عرض W_b و با انتهای باز است. جزئیات طرح در شکل ۱(ب) نشان داده شده است.

آنتن PQHA بر روی زیرلایه انعطاف‌پذیر PyraluxAC ($\epsilon_r = 3.7$) و $\tan\delta = 0.0014$) با ضخامت $60\mu m$ طراحی شده، سپس زیرلایه به صورت استوانه‌ای-شکل (بدون هسته نگهدارنده) پیچیده شده و برای شبیه‌سازی روی صفحه زمین دایره‌ای شکل که قطر آن $1/2$ برابر قطر استوانه است، قرار گرفته است. کل ساختار با استفاده از نرم‌افزار CST Microwave Studio برای اطمینان از عملکرد مناسب آنتن بهینه‌سازی شد. شکل ۲ افت بازگشتی شبیه‌سازی شده از هرکدام از چهار عنصر مارپیچ سازنده آنتن پیشنهادی را با تغذیه‌ای با دامنه و چرخش فاز ایده‌آل نشان می‌دهد.



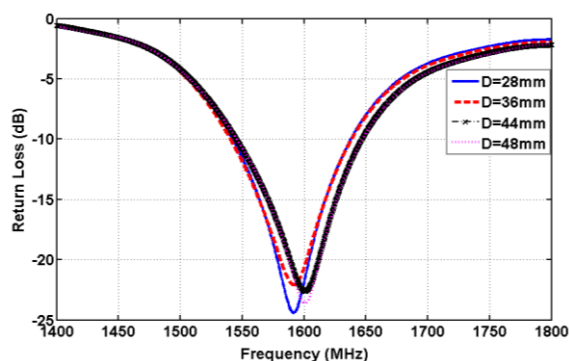
(الف)



(ب)

شکل ۱: الف- ساختار آنتن PQHA با صفحه زمین محدود، ب- ساختار گسترده آنتن ($d=2.1mm$, $L_2=11.43mm$, $L_1=47.64mm$, $W=81.68mm$, $L_b=5.36mm$, $L_a=9.5mm$, $W_a=W_b=1.1mm$).

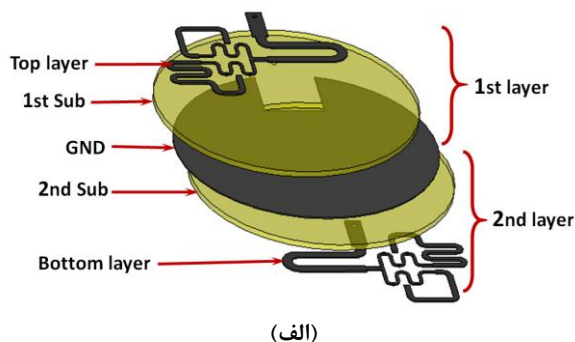
به منظور بررسی اثر پیچ‌وخمدار کردن خطوط تشعشی بر روی عملکرد آنتن، مطالعات پارامتری مختلفی انجام شد. با توجه به اینکه ارتفاع آنتن با این روش نسبت به PQHA معمولی و با خطوط مستقیم، حدود ۵۶٪ کاهش یافته، می‌تواند روی عملکرد تشعشی آنتن نیز مؤثر باشد. شکل‌های ۳ و ۴ مقایسه بین عملکرد PQHA با / بدون خطوط



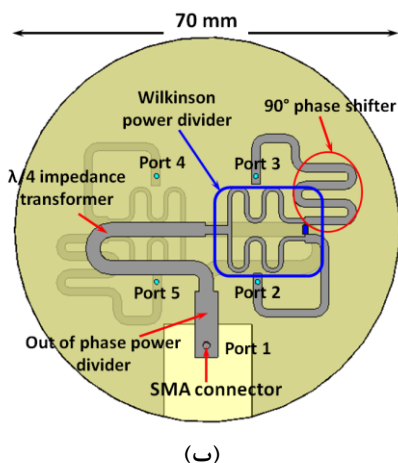
(د) اثر ابعاد صفحه زمین روی افت بازگشتی آنتن

شکل ۵: اثر ابعاد صفحه زمین محدود روی پارامترهای تشعشع آنتن.

متوالی ۹۰° در پورت‌های خروجی فراهم کند، برای حفظ عملکرد CP لازم است. به منظور ساده‌سازی طراحی و فشردن کردن ساختار آنتن، امپدانس ورودی هر بازوی آنتن به 50Ω بهینه شده است؛ از این رو نیاز به مدارات تطبیق امپدانس بین آنتن و شبکه تغذیه وجود ندارد. برای طراحی مقسم توان ۱ به ۴ در ساختار شبکه تغذیه مطابق شکل ۶(الف)، دو مقسم دو می‌توان ویلکینسون بکار رفته که با استفاده از یک بُرد دولا به روی همدیگر قرار گرفته‌اند و با یک بالون تغذیه می‌شوند [۱۵]. دو مقسم ویلکینسون میکرواستریپی همان‌طور که در ۶(ب) دیده می‌شود، در ورودی به یک بالون خط نواری موازی متصل شده‌اند تا بتوان اختلاف فاز ۱۸۰° بین دو مقسم توان به دست آورد. در یکی از خروجی‌های هر



(الف)



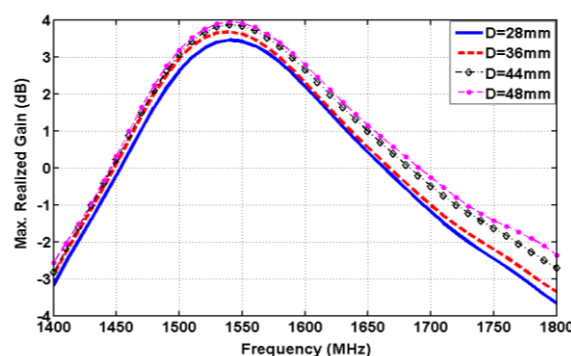
(ب)

شکل ۶: شبکه تغذیه دولا به الف - ساختار سه بعدی شبکه تغذیه، ب - بخش‌های مختلف تشکیل دهنده هر لایه.

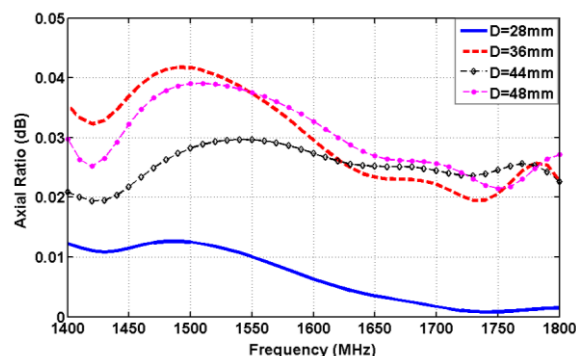
در تلاش برای کاهش اثرات نامطلوب ساختار جدید روی عملکرد مورد انتظار از آنتن PQHA، تأثیر استفاده از صفحه زمین با ابعاد محدود به جای صفحه نامحدود مورد بررسی قرار گرفت. در شکل‌های ۵(الف) تا ۵(د) تغییرات مشخصات تشعشعی آنتن نسبت به تغییر قطر صفحه زمین (D) از ۲۸mm تا ۴۸mm دیده می‌شود. واضح است اندازه صفحه زمین اثر ناچیزی بر عملکرد آنتن دارد و با افزایش آن، تنها بهبود اندکی در بهره و دایرکتیویته آنتن مشاهده می‌شود. از این رو، در شبیه‌سازی از صفحه زمینی به قطر ۳۲mm استفاده شده است.

۳- طراحی شبکه تغذیه

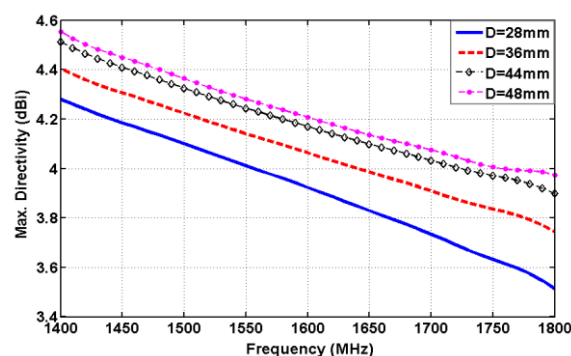
برای به دست آوردن پوشش فضایی نیم‌کره‌ای از آنتن، قدم بعدی پس از بهینه‌سازی پارامترهای مارپیچ، تعیین امپدانس ورودی هر مارپیچ است تا بتوان یک شبکه تغذیه مناسب طراحی کرد. برای این آنتن یک شبکه تغذیه چهار پورته که بتواند سیگنال‌های با دامنه برابر و با اختلاف فاز



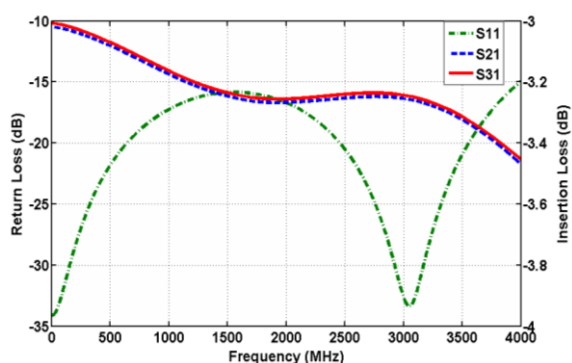
(الف) اثر ابعاد صفحه زمین روی بهره ماکزیمم آنتن



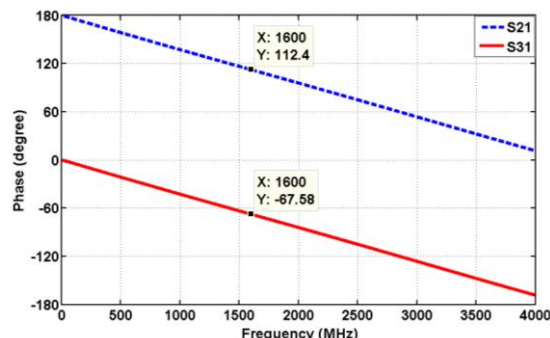
(ب) اثر ابعاد صفحه زمین روی AR در جهت پهلوتاب



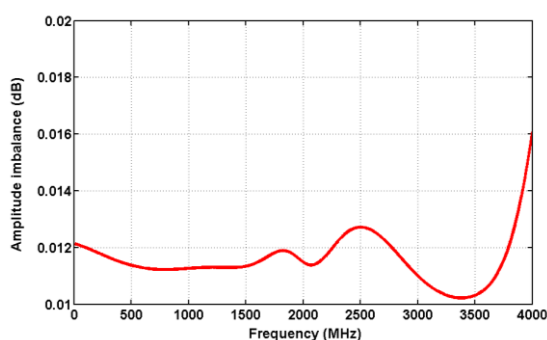
(ج) اثر ابعاد صفحه زمین روی دایرکتیویته ماکزیمم آنتن



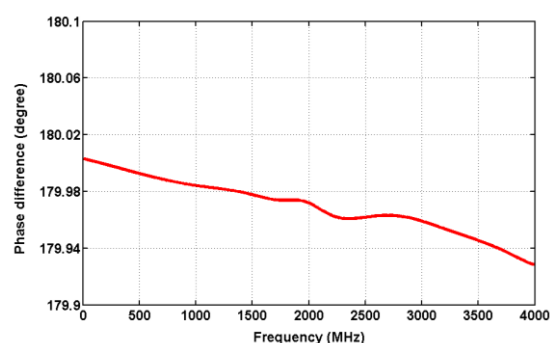
(ب) تلف بازگشتی و تلف عبوری ساختار انتقال



(ج) فاز در خروجی‌های ساختار انتقال



(د) تفاضل دامنه در خروجی‌های ساختار انتقال



(ه) تفاضل فاز در خروجی‌های ساختار انتقال

شکل ۷: ساختار انتقال باند-وسیع از خط نواری موازی به دو خط میکرواستریپ و نتایج شبیه‌سازی آن.

شکل ۸ نتایج حاصل از شبیه‌سازی شبکه تغذیه شکل ۶، شامل افت بازگشتی در ورودی و ضرایب انتقال در چهار پورت خروجی (دامنه و فاز) را نشان می‌دهد. اگر امپدانس چهار عنصر سازنده آنتن با امپدانس

مقسم توان خط میکرواستریپی به طول $\lambda/4$ نیز اضافه شده تا 90° تأخیر فاز اضافی بین دو پورت به وجود آورد. با استفاده از این ساختار، فاز 0° و 90° از یک مقسم ویلکینسون (لایه بالا) و 180° و 270° از دومی (لایه پایین) به دست می‌آید، در نتیجه یک چرخش فاز متوالی مناسب در چهار خروجی شبکه تغذیه داریم.

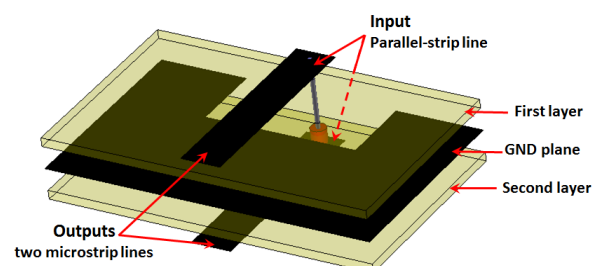
۳-۱ طراحی بالون

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، دو تقسیم‌کننده توان ویلکینسون با یک بالون تغذیه می‌شوند. مطابق شکل ۷(الف)، ساختار بالون شامل یک کابل کوکسیال است که به یک خط نواری موازی وصل شده است، سپس هر نوار در خروجی متعادل خود به یک خط میکرواستریپ (یکی در لایه بالا و دیگری در لایه پایین) منتقل می‌شود. دو نوار موازی به هادی درونی و بیرونی کابل کوکسیال وصل شده‌اند تا بین دو لایه میکرواستریپ در بالا و پایین به 180° اختلاف فاز دست یابیم.

خط نواری موازی با امپدانس مشخصه 50Ω به دو خط میکرواستریپ که به‌وسیله صفحه زمین از هم جدا شده‌اند، متصل می‌شود. لذا دو خط میکرواستریپ دارای امپدانس مشخصه 25Ω اما در فاز مخالف هستند. برای بهینه‌سازی طراحی بالون، مطالعه پارامتری گسترده و بهینه‌سازی در نرم‌افزار CST انجام شد. شکل‌های ۷(ب) تا ۷(ه) نتایج شبیه‌سازی انتقال از خط نواری موازی به میکرواستریپ شامل تلف بازگشتی، تلف عبوری و اختلاف فاز در دو پورت خروجی میکرواستریپ را نشان می‌دهند. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، پهنای باند وسیع بیش از 20% با $S_{11} < -15\text{dB}$ ، افت عبوری کمتر از 0.5dB و اختلاف فاز 180° بین دو پورت خروجی برای خط انتقال به طول 12mm در باند فرکانسی 4GHz به دست آمده است. همان‌طور که در شکل ۷(د) و ۷(ه) مشاهده می‌شود، حداکثر خطای دامنه و فاز در دو پورت میکرواستریپ خروجی به ترتیب 0.16dB و 0.5° در پهنای باند 4GHz است.

۳-۲ پیاده‌سازی شبکه تغذیه

شبکه تغذیه در فرکانس مرکزی 1600MHz طراحی شده و سیگنال RF یکسان با فازهای 0° ، 90° ، 180° و 270° برای چهار بازوی مارپیچی آنتن فراهم می‌کند. شبکه تغذیه روی دو زیرلایه دایروی به قطر 70mm از جنس FR4 ($\epsilon_r = 4.4$ و $\tan\delta = 0.02$) با ضخامت 1mm طراحی و چاپ شده است.



(الف) ساختار انتقال از خط نواری موازی به دو خط میکرواستریپ.

پورت‌ها معمولاً چندین تکرار در طول تحلیل الکترومغناطیسی لازم است. نتایج نهایی شبیه‌سازی، افت بازگشتی بهتر از ۱۲dB در ورودی هر چهار عنصر آنتن، الگوی تشعشعی نیم‌کروی و عملکرد RHCP با کیفیت بالا در کل پهنای باند موردنظر نشان می‌دهد.

مشخصات تشعشعی آنتن ساخته شده یکپارچه با شبکه تغذیه خود که در شکل ۱۰ نشان داده شده، با استفاده از تحلیل گر شبکه (NA)^{۱۹} Agilent E8363B تست شده و پترن‌های تشعشعی آن داخل اتاق جاذب اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی طراحی آنتن، در شکل ۱۱ نتایج اندازه‌گیری با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مقایسه شده است؛ طبق نتایج اندازه‌گیری، تلف بازگشتی بهتر از ۱۱dB، بهره مثبت و نسبت محوری کمتر از ۱/۵dB در پهلوتاب و در باند فرکانسی مطلوب (۱۵۲۵MHz تا ۱۶۶۰MHz) به دست آمده است. طبق شکل ۱۱(ب)، ماکزیمم بهره اندازه‌گیری شده ۳/۲۵ dBi در فرکانس ۱۵۹۰MHz است و در فرکانس مرکزی ۱۶۰۰MHz اندکی افت کرده و به ۳/۲ dBi می‌رسد. نتایج به دست آمده، بهره واقعی آنتن با لحاظ کردن کل تلفات از جمله تلفات شبکه تغذیه می‌باشد.

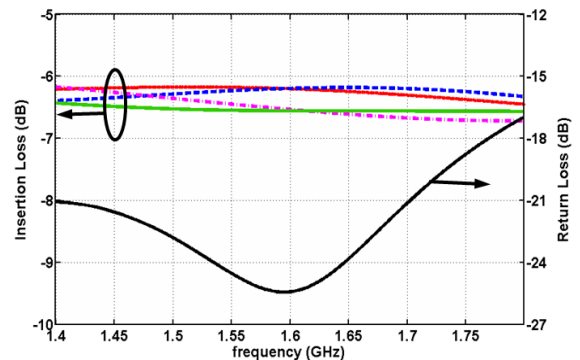


شکل ۱۰: آنتن ساخته شده به همراه شبکه تغذیه یکپارچه آن.

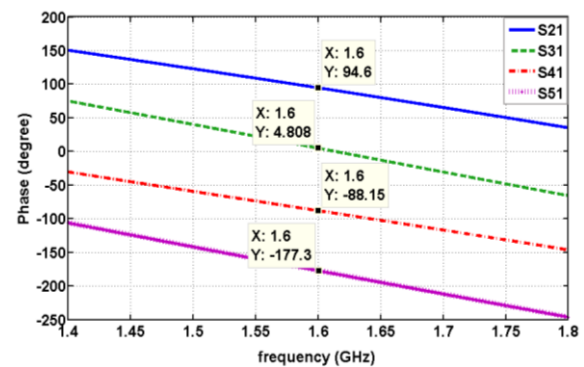
در شکل ۱۱(ج) پترن‌های تشعشعی نرمالیزه در سه فرکانس مختلف و در صفحه $\phi = 0^\circ$ نشان می‌دهد که عرض بیم نصف توان (HPBW) تقریباً $\Delta\theta = 142^\circ$ ، بهره مثبت تا $\theta = \pm 80^\circ$ و مؤلفه قطبش متقاطع (LHCP) در محدوده عرض بیم ۳dB، زیر ۱۸dB است که منجر به ایجاد نسبت محوری کمتر از ۱/۹dB می‌شود. تغییرات نسبت محوری نسبت به فرکانس در نیمکره بالایی (شکل ۱۱(ب)) نشان می‌دهد که در فرکانس مرکزی و در جهت پهلوتاب، ایزولاسیون قطبش ۲۴dB^{۲۰} و نسبت محوری ۱/۱dB است. ابعاد آنتن به همراه شبکه تغذیه برابر با $0.37\lambda \times 0.24\lambda$ است و چون نیاز به صفحه زمین ندارد، می‌تواند برای گیرنده‌های ماهواره‌ای قابل حمل استفاده شود [۱۳].

در جدول ۱ مشخصات تشعشعی آنتن پیشنهادی با آنتن‌های PQHA که اخیراً ارائه شده‌اند، مقایسه و بررسی شده است. مشاهده می‌شود که آنتن پیشنهادی با شبکه تغذیه یکپارچه، در مقایسه با بقیه آنتن‌ها، دارای ابعاد کوچک، پوشش فضایی وسیع و بهره مناسب در باند فرکانسی مطلوب است که نیازهای سیستم GPS و BGAN را برآورده می‌کند.

۵۰Ω خطوط شبکه تغذیه در تطبیق باشند، میزان تغییرات دامنه و فاز به ترتیب کمتر از $\pm 2^\circ$ و $\pm 0.5^\circ$ در محدوده وسیع فرکانسی از ۱۵۲۵MHz تا ۱۶۶۰MHz به دست می‌آید. در شکل ۹ نمونه ساخته شده‌ای از شبکه تغذیه دولایه قبل از اتصال به آنتن دیده می‌شود.

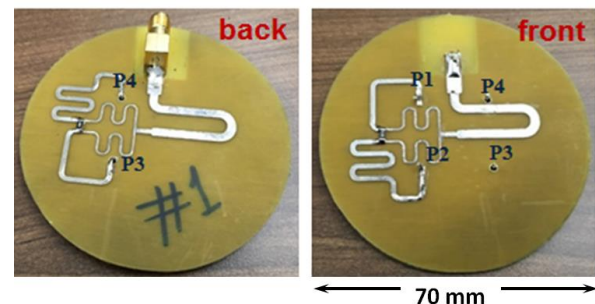


(الف)



(ب)

شکل ۸: نتایج شبیه‌سازی شبکه تغذیه؛ الف- دامنه، ب- فاز در پورت‌های خروجی.



شکل ۹: نمونه ساخت شده شبکه تغذیه چهار پورتی با دامنه یکسان و اختلاف فاز متوالی ۰°، ۹۰°، ۱۸۰° و ۲۷۰° در پورت‌های خروجی.

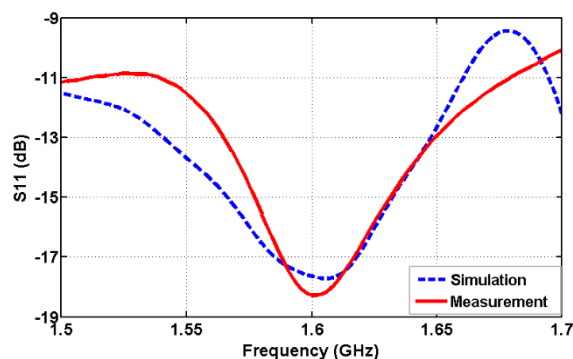
۴- اندازه‌گیری مشخصات تشعشعی آنتن

آنتن به همراه شبکه تغذیه متصل به آن به صورت یکپارچه با استفاده از نرم‌افزار CST Microwave Studio شبیه‌سازی شد. در این مرحله باید تطبیق عنصرهای مارپیچی آنتن به خطوط تغذیه دوباره تنظیم شود تا اثرات تزویج متقابل بین عنصرها نیز با استفاده از تجزیه و تحلیل الکترومغناطیسی لحاظ شود. برای رسیدن به تطبیق خوب در همه

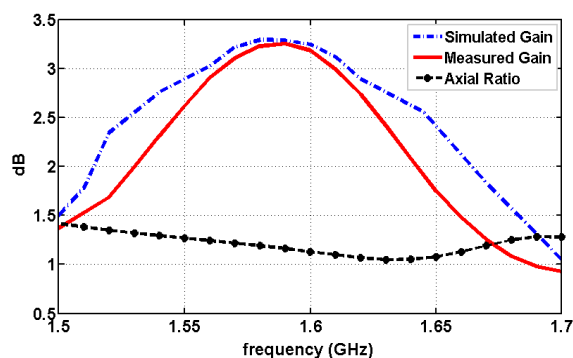
عنصر مارپیچ و با اختلاف فاز ترتیبی 90° بین آن‌ها طراحی، ساخته و تست شده است. این آنتن مشخصه قطبش دایروی راستگرد با خلوص بالا (سطح قطبش متقاطع پایین) را در باند فرکانسی ارسال و دریافت (1525MHz تا 1660MHz) برای سیستم‌های BGAN و GPS فراهم می‌کند. استفاده از شبکه تغذیه یکپارچه دولایه و خطوط پیچ‌وخم‌دار در عنصرهای مارپیچی سازنده آنتن منجر به کوچک شدن قابل‌توجه آنتن شده است به‌طوری‌که جایگزینی خطوط پیچ‌وخم‌دار به‌جای خط مستقیم، ارتفاع آنتن را حدود 56% کاهش داده است. شبکه تغذیه، توان RF یکسان و با اختلاف فاز 90° به هر چهار بازوی سازنده آنتن که در فاز تربیعی نسبت به هم قرار دارند، فراهم می‌کند. در این باند، افت بازگشتی آنتن بهتر از 11dB و نسبت محوری کمتر از $1/9\text{dB}$ است. بهره اندازه‌گیری شده در جهت پهلوتاب $3/2\text{dBi}$ در فرکانس مرکزی 1600MHz است. آنتن پیشنهادی دارای پهنای باند نسبتاً وسیع، پترن تشعشعی نیم کروی و خلوص قطبش دایروی بالاست که مناسب برای آرایه‌های فازی کاربرد در سیستم‌های ماهواره‌ای باند L1 و ارتباطات BGAN است.

مراجع

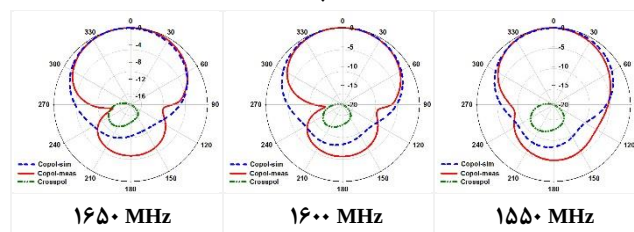
- [1] D. Morse and K. Griep, "Next generation FANS over Inmarsat broadband global area network (BGAN)," The 23rd DASC Conf., Salt Lake City, UT, USA, Oct. 2004.
- [2] K. Sandhu, D. Turner, and M. Shaw, "Modernization of the global positioning system," The 13th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division, pp. 2175-2183, Salt Lake City, UT, USA, Sept. 2000.
- [3] M. Amin, S. Ahmed, V. Fusco, H. Cantu, and T. Ratnarajah, "The effect of spatial axial ratio variation on QPSK modulation encoded using orthogonal circularly polarized signals," European Conf. on Wireless Technologies, pp. 62-65, Munich, Germany, Oct. 2007.
- [4] S. O'Kane and V. Fusco, "Circularly polarized curl antenna lens with tilt properties," IEEE Trans. Ant. Propag., vol. 57, no. 12, pp. 3984-3987, 2009.
- [5] W. Richards and Y. Lo, "Design and theory of circularly polarized microstrip antennas," Int. Symp. Ant. Propag. Soc., vol. 17, pp. 117-120, Seattle, WA, USA, 1979.
- [6] K. L. Chung and A.S. Mohan, "A systematic design method to obtain broadband characteristics for singly-fed electromagnetically coupled patch antennas for circular polarization," IEEE Trans. Ant. Propag., vol. 51, no. 12, pp. 3239-3248, 2003.
- [7] N. Karmakar and M. Bialkowski, "Circularly polarized aperture-coupled circular microstrip patch antennas for L-band applications," IEEE Trans. Ant. Propag., vol. 47, no. 5, pp. 933-940, 1999.
- [8] علی‌اکبر دسترنج، «آنتن حلزونی ارشمیدی چهاربازویی در باند فرکانسی ۲ تا ۴ گیگاهرتز برای سیستم‌های ردگیری موناپالس اهداف هوایی»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۷، شماره ۳، صفحات ۱۰۳۳-۱۰۲۵، ۱۳۹۶.
- [9] H. Liu, Y. Liu, and S. Gong, "Broadband microstrip-CPW fed circularly polarised slot antenna with inverted configuration for L-band applications," IET Microwaves, Ant. Propag., vol. 11, no. 6, pp. 880-885, 2017.
- [10] ایمان مجیدی، حسین همتی و سیدحسن صدیقی، «طراحی آنتن چهارتایی شکافی فشرده با قطبش دایروی برای به کارگیری در گیرنده GPS»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۶، شماره ۴، صفحات ۳۰۶-۲۹۹، ۱۳۹۵.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱: الف- تلف بازگشتی آنتن PQHA، ب- بهره ماکزیمم و نسبت محوری در راستای محور PQHA، ج- پترن‌های تشعشعی RHCP.

جدول ۱: مقایسه ابعاد و عملکرد تشعشعی آنتن پیشنهادی با دیگر

آنتن‌های PQHA

آنتن	ابعاد آنتن (mm) (ارتفاع×قطر)	فرکانس کار (MHz)	HPBW (°)	بهره (dB)
[۱۶]	۳۴×۱۳۴	۲۴۹۲، ۱۶۱۵	۱۶۰	۲.۲
[۱۷]	۴۴/۷×۸۲/۶	۱۵۷۵، ۱۲۲۷	۷۴.۸۰	۶/۴، ۶/۳
[۱۸]	۳۰×۸۵	۱۵۷۵، ۱۲۲۷	۱۲۲.۹۶	۳/۸۷، ۴/۴۴
[۱۹]	۵۲/۴×۵۰/۸	۱۰۰۰-۳۵۰۰	~ ۹۰	۳-۵/۵
[۲۰]	۳۶×۷۲/۴۸	۱۸۴۰، ۱۵۴۰، ۱۱۴۰	۱۷۲، ۱۵۶، ۱۲۶	۱/۷، ۲/۱، ۴/۲
[۲۱]	۱۳×۳۳	۱۶۱۶-۱۶۲۶	۱۳۲	۳/۷ (بدون در نظر گرفتن تلفات بسیار بالای شبکه تغذیه)
پیشنهادی	۲۶×۴۵	۱۵۲۵-۱۶۶۰	۱۴۲	۳/۱-۲۵/۶۵

۵- نتیجه

یک آنتن مارپیچ چهار بازویی چایی (PQHA) با اندازه کوچک و قابل حمل به‌صورت یکپارچه با شبکه تغذیه دولایه با استفاده از چهار

- networks for GNSS application,” IEEE Trans. Ant. Propag., vol. 61, no. 2, pp. 516-523, 2013.
- [17] G. Byun, H. Choo, and S. Kim, “Design of a dual-band quadrifilar helix antenna using stepped-width arms,” IEEE Trans. Ant. Propag., vol. 63, no. 4, pp. 1858-1862, 2015.
- [18] Y. Yang, J. Guo, B. Sun, and Y. Huang, “Dual-band slot helix antenna for global positioning satellite applications,” IEEE Trans. Ant. Propag., vol. 64, no. 12, pp. 5146-5152, 2016.
- [19] E. A. Etellisi, M. A. Mansouri, and D.S. Filipovic, “Wideband monostatic simultaneous transmit and receive (STAR) antenna,” IEEE Trans. Ant. Propag., vol. 64, no. 1, pp. 6-15, 2016.
- [20] J. Rabemanantsoa and A. Sharaiha, “Size reduced multi-band printed quadrifilar helical antenna,” IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 59, no. 9, pp. 3138-3143, 2011.
- [21] R. Kazemi, “A small printed quadrifilar helical antenna for BGAN/GPS applications,” J. Elec. Comp. Innov., vol. 5, no. 1, pp. 7-11, 2017.
- [11] A. Takacs, H. Aubert, D. Belot, and H. Diez, “Miniaturization of compact quadrifilar helix antennas for telemetry, tracking and command applications,” PIER C, vol. 60, pp. 125-136, 2016.
- [12] M. Caillet, M. Clenet, A. Sharaiha, and Y. M. M. Antar, “A broadband folded printed quadrifilar helical antenna employing a novel compact planar feeding circuit,” IEEE Trans. Ant. Propag., vol. 58, no. 7, pp. 2203-2208, Jul. 2010.
- [13] B. Slade, “The basics of quadrifilar helix antennas,” Orban Microwave Inc., Orlando, FL, USA, 2015.
- [14] Y. Letestu and A. Sharaiha, “Broadband folded printed quadrifilar helical antenna,” IEEE Trans. Ant. Propag., vol. 54, no. 5, pp. 1600-1604, May 2006.
- [15] P. Xu, Z. Yan, X. Yang, T. Zhang, and G. Yuan, “Miniature folded printed quadrifilar helical antenna with integrated compact feeding network,” PIER lett., vol. 45, pp. 13-18, 2014.
- [16] Q. Chu, W. Lin, W-X. Lin, and Z-K. Pan, “Assembled dual-band broadband quadrifilar helix antennas with compact power divider

زیر نویس ها

¹ - sequential 90° phase progression feed

¹ - forward helix mode 2

¹ - meander line 3

¹ - front to back ratio 4

¹ - balun 5

¹ - parallel stripline 6

¹ - balanced output 7

¹ - transition 8

¹ - Network Analyzer 9

² - RH to LH polarization 0

¹ - Global Positioning System

² - Broadband Global Area Network

³ - Printed Quadrifilar Helical Antenna (PQHA)

⁴ - axial mode

⁵ - polarization mismatch

⁶ - multipath fading

⁷ - elevation beamwidth ($\Delta\theta$)

⁸ - broadside

⁹ - Axial Ratio

¹ - elevation plane 0