

طراحی آنتن چهارتایی شکافی فشرده با قطبش دایروی برای به کارگیری در گیرنده GPS

ایمان مجیدی^۱، کارشناسی ارشد، حسین همتی^۲، کارشناسی ارشد، سیدحسن صدیقی^۳، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق - موسسه آموزش عالی پویش - ایران - قم - imn.majidi@gmail.com

۲- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران - ایران - تهران - hoseinhemati72@yahoo.com

۳- دانشکده فناوری های نوین - دانشگاه علم و صنعت ایران - ایران - تهران - Sedighy@iust.ac.ir

چکیده: در این مقاله، یک آنتن جدید چهارتایی شکافی فشرده برای به کارگیری در گیرنده های GPS ارائه شده است. ساختار آنتن از چهار عنصر تشعشعی شکافی نیم طول موج با یک نوار اتصال کوتاه تشکیل شده است که با اختلاف فازی ۹۰ درجه نسبت به یکدیگر تغذیه می شوند. ابعاد آنتن ارائه شده $12 \times 24 \times 24 \text{ mm}^3$ است که در مقایسه با بسیاری از آنتن های ارائه شده تاکنون بسیار کوچک تر است. همچنین آنتن پیشنهادی دارای خلوص قطبش راست گرد بسیار خوبی در زوایای افقی است که باعث افزایش احتمال رؤیت ماهواره های GPS و در نتیجه رسیدن به دقت بهتر در مکان یابی می گردد. علیرغم ساختار فشرده، آنتن دارای بهره مناسب ۲/۴۴dB است که در مقایسه با سایر آنتن های معرفی شده تاکنون، بیش تر است. همچنین یک شبکه تغذیه بسیار فشرده با ساختار چندلایه برای تغذیه مناسب آنتن طراحی و ارائه شده است. ساختار ساده، وزن کم، ابعاد فشرده، قطبش دایروی و بهره بالا، این آنتن را گزینه بسیار مناسبی برای به کارگیری در گیرنده های GPS قرار داده است.

واژه های کلیدی: آنتن چهارتایی، آنتن شکافی، فشرده، GPS

Design of Compact Quadruple Slot Antenna with Circular Polarization for GPS Applications

I. Majidi¹, Msc student, H. Hemmati², Msc student, S. H. Sedighy³, Assistant professor

1- School of Electrical Engineering, Pooyesh Institute of Higher Education, Qom, Iran

2- School of Electrical Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

3- Assistant Prof., School of New Technologies, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran, Email: sedighy@iust.ac.ir

Abstract: In this paper, a new compact quadruple slot antenna is proposed for GPS applications. This antenna has a right hand circular polarization which is suitable for GPS satellite signal reception. The antenna is formed by four similar slot antenna excited with 90 degree phase difference. The antenna dimension is $12 \times 24 \times 24 \text{ mm}^3$ which is very compact compared with the references. Moreover, the antenna has a very good right hand polarization in the horizon which increases the GPS accuracy. Also, the antenna gain is 2.44 dB at the GPS frequency which is good enough for signal acquisition. These specifications introduce this antenna as a good candidate for GPS applications.

Keywords: Quadruple antenna, slot antenna, compact, GPS.

تاریخ ارسال مقاله: ۹۴/۷/۸

تاریخ اصلاح مقاله: ۹۴/۱۰/۱۵ و ۹۴/۱۲/۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۲/۲۸

نام نویسنده مسئول: سیدحسن صدیقی

نشانی نویسنده مسئول: تهران. دانشگاه علم و صنعت ایران. دانشکده فناوری نوین

۱- مقدمه

سیستم‌های ماهواره‌ای ناوبری جهانی از جایگاه بسیار مهمی در دنیای امروز برخوردار هستند. این سیستم‌ها موقعیت، سرعت و زمان را به‌سادگی و با هزینه بسیار اندک در هر شرایط آب و هوایی در اختیار کاربران روی زمین و یا نزدیک زمین قرار می‌دهند. تنها چیزی که مهم است آن است که گیرنده در اختیار کاربر بایستی امکان دریافت سیگنال از چهار ماهواره متفاوت را داشته باشد. اولین بار این سیستم‌ها در دهه ۱۹۹۰ میلادی توسط آمریکا و با ماهواره‌های GPS شروع به کار کردند و با سرعت زیادی رشد و توسعه یافتند. در حال حاضر، در کنار سیستم GPS، سیستم ناوبری گالیله (اروپا)، Glonass (روسیه) و Compass (چین) در حال فعالیت می‌باشند.

یکی از عنصرهای اصلی و مهم در سیستم‌های مخابراتی به‌ویژه گیرنده‌های سیستم‌های ناوبری، آنتن است [۱-۳]. یک آنتن مناسب برای این گیرنده‌ها، در کنار ویژگی‌های متداول آنتن‌ها مانند تطبیق امپدانس در فرکانس کاری و پترن تشعشعی مناسب، بایستی ویژگی‌های دیگری را نیز دارا باشد. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به خلوص قطبش مناسب در زوایای مختلف تشعشعی اشاره کرد. این موضوع باعث خواهد شد تا امکان دریافت سیگنال‌های ماهواره‌های بیش‌تری را داشته باشد. همچنین قدرت مقابله گیرنده با سیگنال‌های چندمسیرگی را نیز افزایش خواهد داد. از طرف دیگر، برای استفاده راحت و آسان کاربر نیاز است تا آنتن ابعاد کوچکی را داشته باشد [۴-۷].

تاکنون آنتن‌های گوناگونی برای کار در سیستم ناوبری GPS معرفی شده‌اند. آنتن‌های حلقوی معرفی شده در [۸] یک نمونه از این آنتن‌ها است که اگرچه ویژگی‌های خوبی را بر گیرنده به همراه دارد، اما ابعاد آن بزرگ بوده و برای کاربردهای نقشه‌برداری با نیاز به دقت مرکز فازی بالا مناسب است. آنتن‌های Pinwheel معرفی شده در [۹] نیز دارای مرکز فازی با تغییرات بسیار اندک بوده که آن را گزینه مناسب برای تعیین موقعیت با دقت‌های بسیار بالا قرار داده است. اما ابعاد آنتن بسیار بزرگ بوده و امکان به‌کارگیری آن در کاربردهای معمول را کاهش می‌دهد. آنتن موج سطحی کاهش داده شده که در [۱۰] معرفی شده است، خلوص پلاریزاسیون بسیار خوبی را به دست می‌دهد، اما مشابه با آنتن‌های مورد بحث قبلی، علی‌رغم داشتن ساختار ساده و مسطح ابعاد بزرگی دارد. برای کاربردهای معمولی موقعیت‌یابی نیز آنتن‌های مختلفی تاکنون در مراجع معرفی شده است. آنتن مسطح ارائه شده در [۱۱] اگرچه ساختار مسطحی دارد، اما ابعاد آن نسبتاً بزرگ است. در [۱۲] یک آنتن GPS ارائه شده که با استفاده از بارگذاری استاتی و کنده کاری سطح آنتن پچ طراحی گردیده است. این آنتن اگرچه ساختار تغذیه ساده‌ای دارد، اما خلوص قطبش آنتن مناسب نیست. از ساختارهای آنتن چهارتایی مانند آنتن‌های هلیکس و F معکوس نیز برای کاربرد GPS استفاده شده است. به‌عنوان نمونه در [۱۳] آنتن چاپی هلیکس چهارتایی برای دریافت سیگنال GPS ارائه شده است.

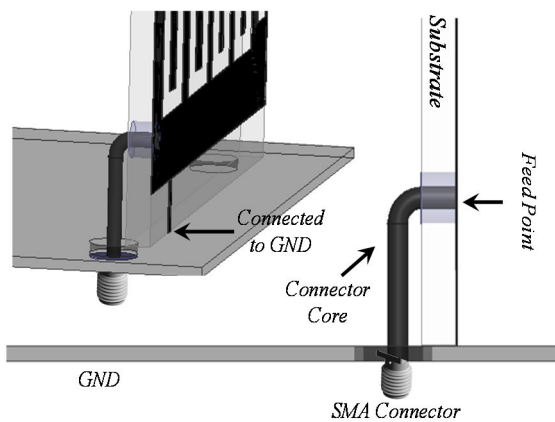
اگرچه آنتن ارائه شده خلوص قطبش نسبتاً خوبی داشته و دارای ساختار شبکه تغذیه نیز است اما ابعاد کلی آنتن نسبتاً بزرگ بوده که محدودیت‌هایی را در کاربرد به همراه خواهد داشت. در [۱۴] یک آنتن چهارتایی با استفاده از آنتن معکوس F ارائه شده است. این آنتن دارای ساختار فشرده‌ای است که در دو باند L1 و L2 کار می‌کند. اما این آنتن دارای بهره کمی در باندهای عملکردی بوده و خلوص قطبش آنتن در زوایای نزدیک به افق بسیار کم است، چنانکه در این زوایا قطبش آنتن از راست‌گرد به چپ‌گرد تغییر پیدا کرده است. در [۱۵] نیز یک آنتن چهارتایی فشرده دوباندی با عنصرهای تشعشعی معکوس F ارائه شده است که در مقایسه با [۱۴] دارای ساختار بزرگ‌تری است. اگرچه بهره این آنتن نسبت به نمونه مشابه ارائه شده در [۱۴] بهتر است، اما قطبش آنتن در زوایای نزدیک به افق خطی است.

در این مقاله یک آنتن جدید و فشرده چهارتایی ارائه شده است. آنتن ارائه شده دارای عنصرهای تشعشعی شکافی است که با اختلاف فازهای ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه تغذیه می‌شوند. ابعاد آنتن در مقایسه با مراجع به‌جز [۱۴] کوچک‌تر است. همچنین خلوص قطبش آنتن برخلاف آنتن‌های ارائه شده در مراجع در زوایای مختلف و به‌ویژه در زوایای افقی بسیار خوب است. همچنین بهره آنتن در مقایسه با آنتن‌های نسبتاً فشرده ارائه شده در مرجع [۱۴ و ۱۵] بیش‌تر است. ساختار ارائه مقاله در ادامه به این شرح است. در بخش دوم ساختار آنتن و پارامترهای هندسی طراحی آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم نیز نحوه عملکرد آنتن بر اساس توزیع جریانی آن ارائه شده است. بخش تغذیه عنصرهای تشعشعی آنتن نیز به صورت تفصیلی در بخش ۴ ارائه شده است. همچنین اثر برخی از پارامترهای مهم طراحی نیز در عملکرد آنتن ارائه شده است.

۲- طراحی و شبیه‌سازی آنتن

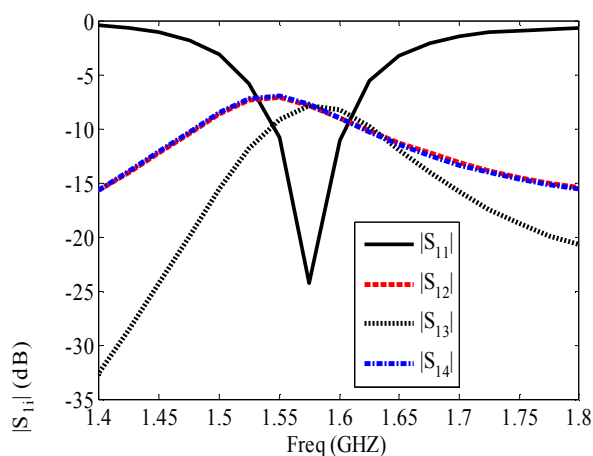
آنتن‌های مرسوم چهارتایی هلیکس و یا چهارتایی F معکوس از چهار عنصر تشعشعی همسان تشکیل می‌شوند که با اختلاف مکانی ۹۰ درجه نسبت به یکدیگر در ساختار آنتن جانمایی می‌گردند. برای رسیدن به قطبش دایروی در این آنتن‌ها، تغذیه عنصرها با اختلاف فاز ۰، ۹۰ و ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه در نظر گرفته می‌شود که می‌توان با چرخش جهت افزایش فاز (ساعت‌گرد و پادساعت‌گرد)، فاز نهایی آنتن را به صورت چپ‌گرد و یا راست‌گرد تنظیم نمود. ساختار آنتن پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ساختار کلی آنتن از چهار عنصر تشعشعی مجزا تشکیل شده است که به‌صورت عمود بر هم و با اختلاف مکانی ۹۰ درجه با فاصله معین از یک صفحه زمین نصب شده‌اند. یک عنصر تشعشعی این آنتن نیز در شکل نشان داده شده است. این عنصر تشعشعی یک شکاف نیم طول موج می‌باشد که بر روی یک صفحه فلزی ایجاد شده است. برای کاهش ابعاد عنصر تشعشعی، شکاف به صورت مارپیچ فرم گرفته است. این صفحه فلزی که توسط یک نوار باریک فلزی به صفحه زمین آنتن وصل شده است. نوار اتصال کوتاه باعث کاهش افزایش مسیر جریان و در نتیجه کاهش

دقیق تنظیم شده‌اند. اثر برخی از این پارامترها و نحوه عملکرد آنتن در بخش بعد به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت. مقادیر هندسی مرتبط با ساختار آنتن در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۲: ساختار تغذیه آنتن

نتایج شبیه‌سازی تمام موج آنتن پیشنهادی با ابعاد مندرج در جدول ۱ در ادامه آمده است. در شکل ۳، مقدار $|S_{11}|$ آنتن نشان داده شده است که نشان‌دهنده تطبیق بسیار خوب آنتن در فرکانس کاری GPS می‌باشد. با توجه به ساختار متقارن آنتن، مقادیر $|S_{ii}|$ ها وضعیت مشابهی دارند. همچنین توزیع متقابل بین پورت یک آنتن و سایر پورت‌ها در این شکل آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با توجه به نزدیکی شکاف‌های تشعشعی به یکدیگر و نیز ساختار فشرده آنتن، توزیع متقابل بین شکاف‌ها قابل توجه است.

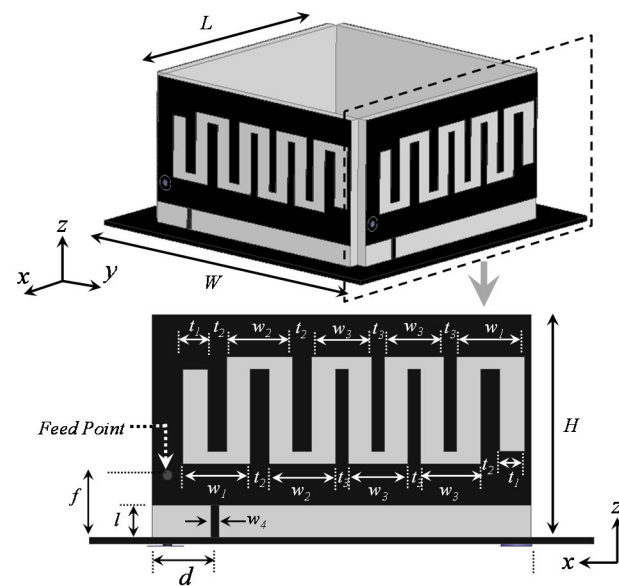


شکل ۳: مشخصه $|S_{ii}|$ آنتن

پترن تشعشعی چپ‌گرد و راست‌گرد آنتن در شکل ۴ در دو زاویه $\phi = 0^\circ$ و $\phi = 90^\circ$ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، آنتن در زوایای نزدیک به افق نیز دارای قطبش دایروی راست‌گرد است که این موضوع برای دریافت سیگنال از ماهواره‌های GPS با زوایای فراز کم بسیار مطلوب می‌باشد و باعث افزایش احتمال رؤیت ماهواره‌ها و در نتیجه افزایش دقت مکان‌یابی خواهد شد. ضمناً با توجه به تقارن ساختار آنتن مشخصات تشعشعی آن در صفحات مختلف یکسان است.

فرکانس تشدید می‌گردد که در بخش بعد به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. به منظور سادگی ساخت و استحکام نسبی مکانیکی، عنصرهای شکافی تشعشعی بر روی صفحات دی‌الکتریک در نظر گرفته‌اند. با توجه به در دسترس بودن و قیمت پایین FR4، از این زیرلایه با ضخامت ۱ mm که دارای $\epsilon_r = 4/4$ و $\tan \sigma = 0/02$ می‌باشد، استفاده شده است.

ساختار تغذیه آنتن نیز با جزئیات در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، تغذیه هر عنصر تشعشعی به صورت مجزا و با یک اتصال SMA انجام می‌شود. در حالی که هادی بیرونی اتصال به صفحه زمین آنتن در پایین وصل می‌شود، مغزی آن به نقطه‌ای در روی صفحه فلزی عنصر تشعشعی متصل می‌گردد.



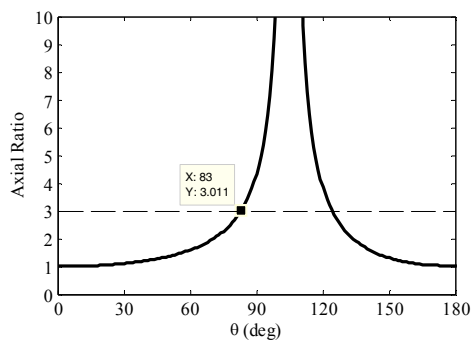
شکل ۱: ساختار آنتن پیشنهادی

جدول ۱: مشخصات طراحی ساختار آنتن

مشخصه	مقدار (mm)
W	۳۲
L	۲۴
$w1$	۴/۳
$w2$	۴/۲
$w3$	۳/۸
$w4$	۰/۵
$t1$	۱/۶
$t2$	۱/۲
$t3$	۰/۸
d	۳/۹۵
l	۲
f	۴
H	۱۴

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، پارامترهای زیادی در طراحی آنتن مؤثر می‌باشند. به‌منظور طراحی آنتن در فرکانس کاری GPS یعنی ۱/۵۷۵ GHz، مقادیر این پارامترها با استفاده از تحلیل‌های انجام‌شده توسط نرم‌افزار تحلیل تمام موج HFSS به‌صورت

همچنین نمودار نسبت محوری آنتن در فرکانس ۱۵۷۵MHz به ازای زوایای فراز مختلف در آنتن در شکل ۶ رسم شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود، آنتن به ازای زوایای فراز ۰ تا ۸۳ درجه دارای نسبت محوری کمتر از ۳dB می باشد که در مقایسه با مراجع مقایسه شده در جدول ۲ وضعیت بهتری دارد. سایر مشخصات آنتن نیز در جدول ۲ به صورت مقایسه ای با مراجع ارائه شده است که نشانگر وضعیت عملکردی مطلوب آنتن در مقایسه با آنتن های ارائه شده در مراجع است.



شکل ۶: نسبت محوری آنتن به ازای تغییر زاویه فراز

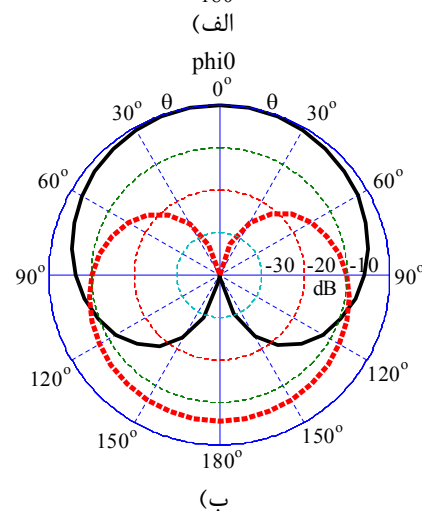
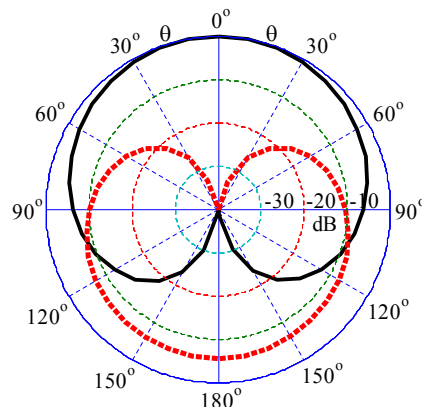
جدول ۲: مقایسه مشخصات آنتن با مراجع

مرجع	ابعاد mm	بهره dB	بازدهی	محدوده زاویه ای قطبش با AR>3 dB (درجه)
[۱۱]	۵۶×۵۶×۱/۶	۲	٪۳۰	-
[۱۲]	۱۰۰×۱۰۰×۵	۶/۶۴	٪۹۸	-
[۱۳]	۵۰×۹۰	۳	-	۷۰
[۱۴]	۱۰×۱۰×۱۰	۱/۱	-	-
[۱۵]	۳۵×۳۵×۱۰	۲	-	۶۰
مقاله	۲۴×۲۴×۱۲	۲/۴۴	٪۷۳	۸۳

۳- تحلیل عملکردی آنتن

همان طور که در بخش قبل نیز اشاره شد، هر عنصر تشعشعی آنتن یک شکاف نیم طول موج است که برای کاهش ابعاد آن به صورت مارپیچ فرم گرفته است. از تئوری شناخته شده آنتن های شکافی متداول می- دانیم که طول شکاف بایستی حدود نیم طول موج باشد. در شکاف مارپیچ پیشنهادی نیز طول کل حدود نیم طول موج در نظر گرفته شده است. ساختار شکاف مارپیچی ارائه شده در طرح پیشنهادی دارای پارامترهای طراحی متعددی است که می توان با تنظیم آن ها به طول نیم موج موردنظر دست یافت. همان طور که در بخش قبل نیز بحث و بررسی شد، مقادیر پارامترهای مختلف آنتن با کمک تحلیل تمام موج برای رسیدن به فرکانس کاری GPS به صورت دقیق بهینه و تنظیم شده اند.

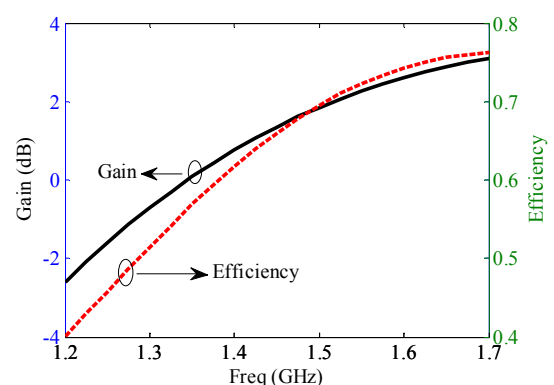
برای تحلیل بهتر عملکرد آنتن، در شکل ۷ (الف) توزیع جریان به صورت برداری و مقدار مطلق آن در سطح عنصر تشعشعی به صورت لگاریتمی در حضور سایر عناصر شکافی نمایش داده شده است. همان طور که در شکل مشاهده می شود، از محل اتصال کوتاه دو مسیر جریانی مشابه آغاز شده که با عبور از پیچ و خم های ایجاد شده توسط شکاف



شکل ۴: پترن تشعشعی راست گرد (رنگ مشکی و توپر) و چپ گرد (رنگ قرمز و

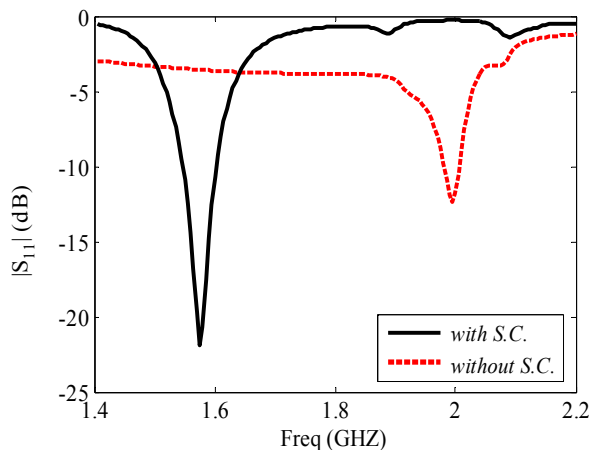
خط چین) آنتن؛ (الف $\phi = 0$ ، ب $\phi = 90$)

بهره آنتن در فرکانس کاری، ۲/۴۴dB است که در مقایسه با مراجع مقدار بیش تری است. نمودار بهره و بازدهی آنتن برحسب فرکانس با فرض شبکه تغذیه مناسب در همه فرکانس ها نیز در شکل ۵ آمده است که نشان دهنده بازدهی بیش از ٪۷۳ برای آنتن است.

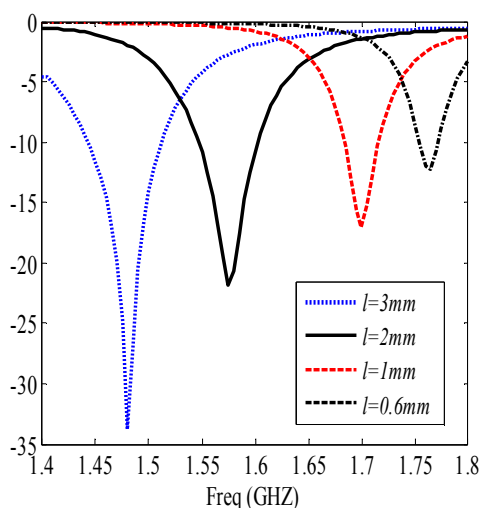


شکل ۵: بهره و بازدهی آنتن GPS پیشنهادی برحسب فرکانس

ابعاد آنتن طراحی شده $۱۲ \times ۲۴ \times ۲۴ \text{ mm}^3$ است که در مقایسه با آنتن های ارائه شده در بیش تر مراجع کوچک است. همان طور که مشاهده می شود، آنتن طراحی شده در این مقاله، ابعاد کوچکی در مقایسه با مراجع دارد. اگرچه ابعاد آنتن ارائه شده در [۱۴] کوچک تر از آنتن پیشنهادی است، اما بهره آنتن از آنتن پیشنهادی کم تر است.

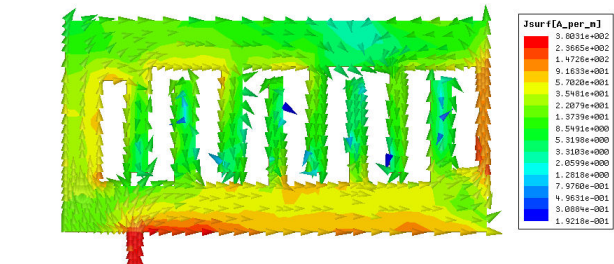
شکل ۸: پاسخ $|S_{11}|$ آنتن با و بدون نوار اتصال کوتاه

با توجه به آنکه ساختار آنتن بسیار کوچک بوده ممکن است خطاهای احتمالی در فرآیند ساخت آنتن مانع از رسیدن به فرکانس دقیق تشدید مورد نیاز GPS یعنی $1/5755\text{GHz}$ گردد. با توجه به بحث انجام شده پیرامون اثر اتصال کوتاه، می‌توان با کوتاه و بلند کردن نوار اتصال کوتاه این فرکانس را به صورت دقیق تنظیم نمود. برای درک بیش‌تر موضوع، نمودار تغییرات $|S_{11}|$ آنتن به ازای تغییر طول نوار اتصال کوتاه در شکل ۹ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل نیز مشاهده می‌شود، افزایش طول این نوار، باعث افزایش طول مؤثر مسیر جریانی شده که نهایتاً فرکانس تشدید آنتن را کاهش داده است.

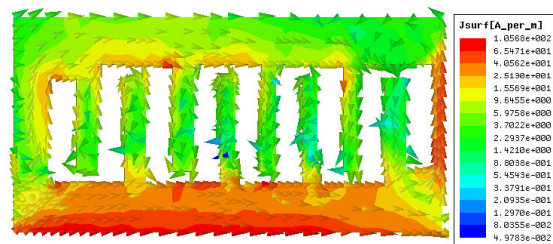
شکل ۹: پاسخ $|S_{11}|$ آنتن به ازای تغییر طول نوار اتصال کوتاه

یکی دیگر از پارامترهای مهم در طراحی آنتن ابعاد صفحه زمین آن است. در شکل ۱۰ اثر تغییر ابعاد صفحه زمین بر روی فرکانس تشدید آنتن ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد، افزایش ابعاد زمین آنتن، فرکانس تشدید آن کاهش می‌یابد. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، در آنتن پیشنهادی، مقدار $W=32\text{mm}$ برای عرض زمین آنتن در نظر گرفته شده است.

مارپیچ و طی مسیر نیم طول موج به همدیگر می‌رسند. البته دی الکتریک قرار گرفته در زیر شکاف باعث کوچک‌تر شدن طول موج خواهد شد. همچنین اثر تزویج متقابل سه شکاف تشعشعی دیگر نیز تغییراتی را در الگوی جریان ایجاد خواهد کرد.



(الف)

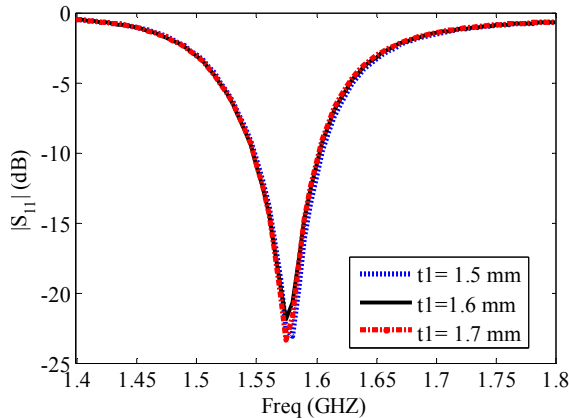


(ب)

شکل ۱۰: توزیع جریان در سطح عنصر تشعشعی شکافی؛ (الف) با نوار اتصال کوتاه، (ب) بدون نوار اتصال کوتاه

نکته حائز اهمیت دیگر نقش نوار اتصال کوتاه قرار گرفته در بخش پایینی شکاف است. به منظور تحلیل دقیق‌تر اثر این اتصال کوتاه، ساختار آنتن بدون وجود اتصال کوتاه شبیه‌سازی شده است که توزیع جریان بر روی یک عنصر تشعشعی شکافی در شکل ۷ (ب) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌گردد، جریان با عبور از پیچ و خم‌های ایجاد شده توسط شکاف مارپیچ، مسیر طولانی‌تری را طی کرده و رفتار نسبتاً مشابه با حالت قبل (با نوار اتصال کوتاه) دارد. اما تفاوت اصلی در طول مؤثر این مسیر است. اگر این دو توزیع مسیر جریانی مقایسه شوند مشخص می‌گردد که هر دو بردار جریانی از بخش اتصال کوتاه شروع می‌شوند. به عبارت دیگر بخش اتصال کوتاه ایجاد شده توسط نوار باعث افزایش طول مسیر جریانی و در نتیجه کاهش فرکانس تشدید شکاف خواهد شد. این بدان معناست که برای رسیدن به فرکانس تشدید پایین‌تر نیازی به افزایش ابعاد آنتن نبوده و می‌توان با طول این نوار اتصال کوتاه، فرکانس را تغییر داد. برای اطمینان بیش‌تر از این تحلیل، نمودار $|S_{11}|$ آنتن با و بدون نوار اتصال کوتاه نیز در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، آنتن بودن نوار اتصال کوتاه در فرکانس 2GHz تشدید دارد، در حالی که با افزوده شدن نوار اتصال کوتاه با طول معین، فرکانس تشدید به فرکانس پایین‌تر $1/5755\text{GHz}$ تغییر پیدا می‌کند.

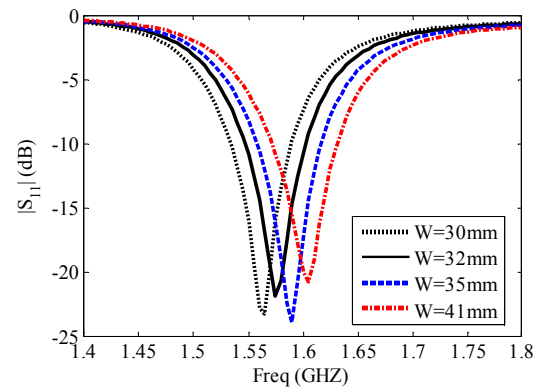
در انتها نیز تغییر رفتار آنتن به ازای تغییر پارامتر t_1 آنتن در شکل ۱۳ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود تغییر جزئی این پارامتر که از خطاهای احتمالی ساخت ناشی می شود در مشخصه $|S_{11}|$ آنتن تأثیر خاصی ندارد. لازم به ذکر است که آنتن به ازای تغییر جزئی پارامترهای t_2 و t_3 نیز رفتار مشابهی دارد.



شکل ۱۳: پاسخ $|S_{11}|$ آنتن به ازای تغییر پارامتر t_1

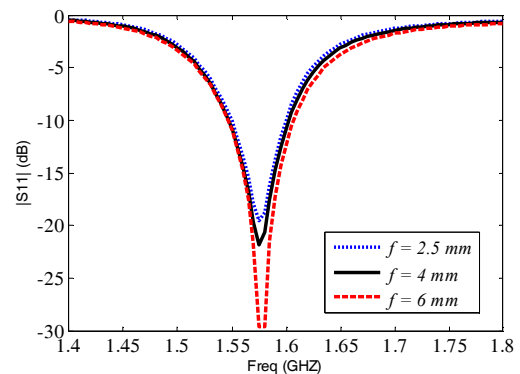
۴- شبکه تغذیه آنتن

با توجه به ساختار آنتن، نیاز به یک شبکه تغذیه برای ترکیب کردن توان دریافتی توسط هر یک از عناصر با اختلاف فاز مناسب ضروری می باشد. به این منظور نیاز به یک المان ترکیب کننده توان در باند L1 داریم که بایستی پس از اعمال فازهای ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه به سیگنال های ورودی از عناصر تشعشعی، آن ها را با یکدیگر ترکیب کرده و برای انتقال به گیرنده GPS آماده کند. برای ترکیب توان دریافتی توسط چهار عنصر تشعشعی، از یک ترکیب کننده صفحه ای ۴ به ۱ توسط چهار عنصر تشعشعی، از یک ترکیب کننده صفحه ای ۴ به ۱ از سطح استفاده شده است [۱۶]. در ساختار این ترکیب کننده توان، از چهار خط انتقال مشابه ربع طول موج با امپدانس مشخصه ۱۰۰ اهم استفاده شده است که درگاه های ورودی های آن با سه مقاومت ۷۰/۷ اهم برای ایجاد ایزولاسیون مناسب بین درگاه ها به یکدیگر متصل می شوند. به منظور ایجاد جابجایی فازهای مورد نیاز، از خطوط انتقال $\lambda/4$ ، $\lambda/2$ و $3\lambda/4$ با امپدانس مشخصه ۵۰ اهم استفاده شده است. با توجه به طرح فشرده آنتن ها، ساختار شبکه تغذیه آنتن نیز به صورت فشرده بایستی طراحی گردد. به این منظور، از یک مدار ۶ لایه در زیر آنتن مشابه شکل ۱۴ استفاده شده است که در زیر آنتن و با مساحت صفحه زمین آن است. همان طور که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، از تکنیک مارپیچ کردن خطوط برای کاهش ابعاد برد و رسیدن به طراحی فشرده تر استفاده شده است. مشخصات ابعادی طراحی انجام شده بر روی بردهای RO4003 با $\epsilon_r = 3.55$ نیز در جدول ۳ ارائه شده است. سیگنال های خروجی از چهار عنصر تشعشعی آنتن که دارای امپدانس ۵۰ اهم در فرکانس GPS می باشند به برد استریپ لاینی جابجا کننده فازی ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه متصل شده است. این ارتباط با استفاده از اتصال از طریق حفره های فلزی عمودی ایجاد شده در برد که در شکل نیز نشان داده شده است، صورت می گیرد.



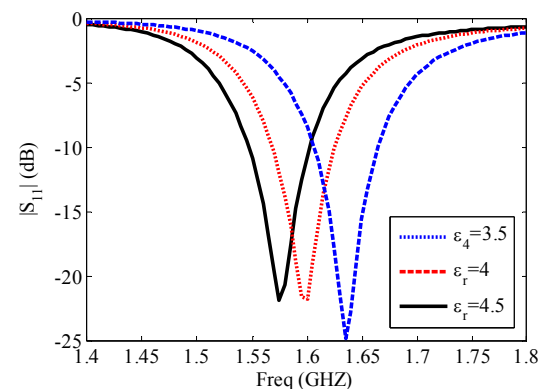
شکل ۱۰: پاسخ $|S_{11}|$ آنتن به ازای تغییر عرض زمین

تغییر محل تغذیه آنتن بر روی الگوی تشعشعی آن اثر ناچیزی داشته و تنها باعث تغییر فرکانس کاری می گردد که در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، اثر تغییر محل تغذیه تأثیر چندانی بر فرکانس کاری آنتن ندارد و تنها اندکی باعث بهتر شدن تطبیق امپدانس ورودی می گردد.



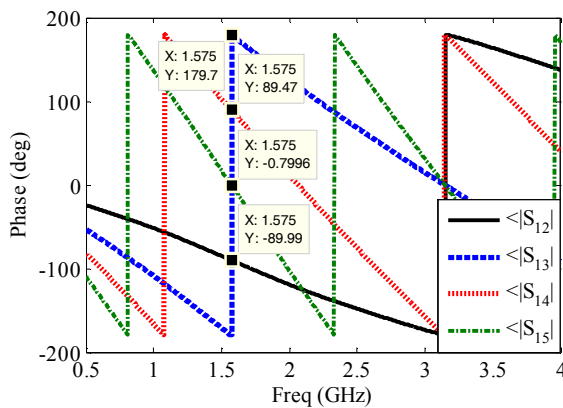
شکل ۱۱: پاسخ $|S_{11}|$ آنتن به ازای تغییر محل تغذیه

با توجه به آنکه بردهای FR4 موجود در بازار دارای مقدار ضریب دی الکتریک دقیقی نمی باشند، اثر تغییر ضریب دی الکتریک بر روی رفتار آنتن نیز مورد بررسی قرار گرفته است. همان طور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، تغییر ضریب دی الکتریک باعث تغییر اندک فرکانس کاری آنتن می گردد. همچنین نتایج شبیه سازی نشانگر آن است که تغییر ضریب دی الکتریک باعث تغییرات ناچیزی در مشخصات تشعشعی آنتن می شود.



شکل ۱۲: پاسخ $|S_{11}|$ آنتن به ازای تغییر ضریب دی الکتریک

همچنین نتایج ارائه شده در شکل ۱۶ وجود اختلاف فاز ۰، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ درجه بین درگاه‌های ورودی را تأیید می‌کند.



شکل ۱۶: نتایج شبیه‌سازی فاز ورودی برای شبکه تغذیه

۵- نتیجه

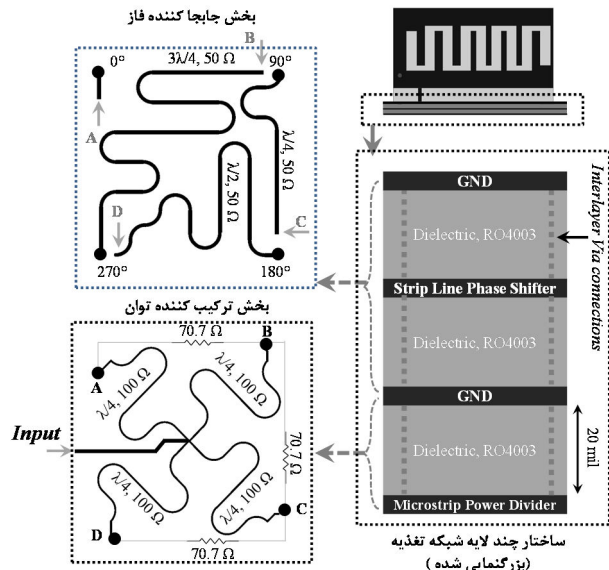
در این مقاله، یک آنتن جدید چهارتایی فشرده برای به کارگیری در گیرنده‌های GPS طراحی و ارائه شد. آنتن پیشنهادی دارای چهار شکاف تشعشعی نیم‌طول موج می‌باشد که با اختلاف مکانی ۹۰ درجه از یکدیگر قرار دارند. ابعاد آنتن طراحی شده $12 \times 24 \times 24 \text{ mm}^3$ است که در مقایسه با آنتن‌های ارائه شده در بیش‌تر مراجع کوچک می‌باشد. به علاوه آنتن دارای قطبش راست‌گرد در زوایای نزدیک به افق است که باعث افزایش دقت مکان‌یابی گیرنده می‌گردد. همچنین، نحوه عملکرد آنتن بر اساس توزیع جریان سطحی آن به صورت مشروح مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در انتها نیز یک شبکه تغذیه فشرده با ساختار چندلایه برای تغذیه مناسب آنتن طراحی شده است. ابعاد کوچک، قطبش دایروی، وزن کم و سادگی ساخت آنتن باعث شده است تا آنتن پیشنهادی گزینه خوبی برای به کارگیری در سیستم GPS باشد.

مراجع

- [۱] فرهاد خسروی افوسی، محمدنقی آذرمنش و جواد نوری‌نیا، «به کارگیری ساختارهای EBG به منظور افزایش پهنای باند و دایرکتیویته آنتن میکرواستریپ»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۳، شماره ۲، صفحه ۸-۱۳، ۱۳۹۲.
- [۲] آزاده ایمانی، جواد نوری‌نیا و چنگیز قبادی، «آنتن دایورسیتی مسطح جدید پهن‌بند جهت استفاده در ارتباطات سیار»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۰، شماره ۲، صفحه ۱۹-۱۳، ۱۳۸۹.
- [۳] زهرا حبیبی، مرتضی کازرونی، سیدحسین محسنی ارمکی و عماد حمیدی، «ارائه یک روش کاربردی جهت کالیبراسیون آنتن‌های آرایه فازی»، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، دوره ۴۵، شماره ۴، صفحه ۸۴-۷۹، ۱۳۹۴.

[4] A. El-Rabbany, *Introduction to GPS: The Global Positioning System*, Artech House, 2002.

پایینی‌ترین لایه، دربردارنده مدار مایکرواستریپ ترکیب‌کننده توان ۴ به ۱ است. بخش ترکیب‌کننده توان به صورت مایکروستریپ طراحی شده است که اتصال آن به بخش جابجاکننده فاز به صورت مشابه با اتصال آنتن به بخش جابجاکننده فازی در نظر گرفته شده است. جزئیات بیش‌تر طرح در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

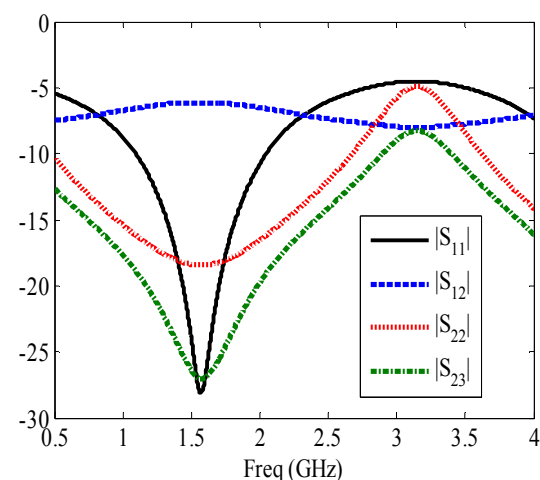


شکل ۱۴: شبکه تغذیه آنتن

نتایج شبیه‌سازی پارامترهای S طرح پیشنهادی شبکه تغذیه در شکل ۱۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود طرح پیشنهادی دارای تطبیق امپدانس ($|S_{11}|$) و جداسازی مناسبی بین درگاه‌های ورودی آن ($|S_{ij}|$) در فرکانس کاری GPS است.

جدول ۳: مشخصات طراحی شبکه تغذیه آنتن

مقدار (mm)	مشخصه
۰/۵۵	عرض خطوط ۵۰ اهم
۲۵/۹۶	طول خط $\lambda/4$ با امپدانس مشخصه ۵۰ اهم
۰/۲۹۶	عرض خطوط ۱۰۰ اهم
۳۰/۵۶	طول خط $\lambda/4$ با امپدانس مشخصه ۷۰ اهم



شکل ۱۵: نتایج شبیه‌سازی پارامتر S برای شبکه تغذیه

- [5] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, and E. Wasle, *GNSS-Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and More*, Springer Science & Business Media, 2007.
- [6] P. D. Groves, *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, Artech House, 2013.
- [7] B. R. Rao, *GPS/GNSS Antennas*, Artech House, 2013.
- [8] F. Scire-Scappuzzo, and S. N. Makarov, "A low-multipath wideband GPS antenna with cutoff or non-cutoff corrugated ground plane," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 57, no. 1, pp. 33-46, 2009.
- [9] W. Kunysz, "High performance GPS pinwheel antenna," *Proceedings of the 2000 International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GPS 2000)*, 2000.
- [10] L. I. Basilio, *et al.*, "A comparative study of a new GPS reduced-surface-wave antenna," *Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE*, vol. 4, pp. 233-236, 2005.
- [11] B. Y. Lee, *et al.*, "A corner-fed square ring antenna with an L-shaped slot on ground plane for GPS application," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 41, pp. 111-120, 2013.
- [12] A. A. Heidari, M. Heyrani, and M. Nakhkash, "A dual-band circularly polarized stub loaded microstrip patch antenna for GPS applications," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 92, pp. 195-208, 2009.
- [13] S. Q. Fu, *et al.*, "Printed quadrifilar helix antenna with integrated feed network," *Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, 3rd IEEE International Symposium on*, IEEE, 2009.
- [14] L. Zheng, and S. Gao "Compact dual-band printed square quadrifilar helix antenna for global navigation satellite system receivers," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 53, no. 5, pp. 993-997, 2011.
- [15] H. S. Tae, *et al.*, "Design of compact dual-band quadruple inverted-F/L antenna for GPS L1/L2 band," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 61, no. 4, pp. 2279-2279, 2013.
- [16] A. A. M. Saleh, "Planar electrically symmetric n-way hybrid power dividers/combiners," *IEE Transaction on Microwave Theory And Techniques*, vol. MTT-28, pp. 555-563, 1980.