

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی برق و رباتیک
پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات میدان و موج

طراحی و شبیه سازی آنتن آرایه ای ریزنواری در باند Ku برای رادار FMCW

نگارنده: محمد آبشت

استاد راهنما

دکتر نیما آزادی طینت

شهریور ۱۳۹۸

تقدیم به

منجی موعود امام زمان (عج)

و پدر و مادر عزیزم

تشکر و قدردانی

خدایا، پیاپی آمدن خوبی هایت، بر پا داشتن شکر را از یاد من برد و فراوانی بخشش مرا از شمارش ستایشت در مانده ساخت و در پی هم آمدن احسانت مرا از یاد اوصاف نیکت بازداشت و پشت هم رسیدن نعمت هایت مرا از گسترش خوبی هایت در مانده نمود، این است جایگاه آن که به برزندگی نعمت های تو و در برابر آن به کوتاهی خود اعتراف دارد و به زیان خود به سستی در بندگی و هدر دادن نعمت ها گواهی می دهد و تویی دلجو، مهربان، نیکوکار کریم، که خواهنده اش را محروم نمی کند و آرزومندش را از درگاهش نمی راند، امیدواران به آستانه تو بار امید خود را بیندازند، و در درگاه رحمت تو می ایستد آرزوهای عطاخواهان، پس آرزوهایمان را با محرومیت و ناامیدی روبرو مساز، و جامه بی ناامیدی و دوری از رحمتت را بر ما میپوشان. خدایا در برابر بزرگی نعمت هایت سپاسم کوچک می نماید و در کنار اکرام و بزرگواری تو ثنا و ستایش من کوچک و ناقابل است، نعمت هایت از انوار ایمان زینت هایی به من پوشاند و لطایف خوبی هایت خیمه هایی از عزت بالایی سرم افراشت و عطاهایت گردن بندهای زببیده ای به گردنم افکند که هرگز باز نشود، عطاهای انبوهت زبانم را از شمردنش ناتوان ساخته و نعمت های فراوانت فهمم را از دریافتشان کوتاه نموده

شکرگزاری ات چگونه برای من امکان پذیر است در حالی که شکر من نسبت به تو خود نیازمند شکر دیگری است، پس هر نوبت که گفتم تو را شکر، بر من واجب شد که به خاطر آن باز بگویم تو را شکر، خدایا همانگونه که ما را به لطف طعام دادی و با احسانت پروریدی پس نعمت های سرشارت را بر ما کامل فرما و ناگواری های ناخوشایند را از ما دور کن و از بهره های هر دو جهان بالاتر و برترش را چه اینک و چه در آینده به ما عنایت کن، تو را شکر بر خوبی

آزمایشت و بر نعمت های سرشارت، شکر می که درخور خشنودی ات باشد و خیر وجودت را به جانب ما جلب کند، ای بزرگ، ای کریم، به مهربانی ات ای مهربان ترین مهربانان.

همچنین مراتب تشکر و قدردانی خود را نسبت به استاد گران قدر جناب آقای دکتر نیما آزادی طینت ابراز می نمایم.

تعهد نامه

اینجانب محمد آبشت دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق / مخابرات - میدان و موج دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه طراحی و شبیه سازی آنتن آرایه ای ریزنواری در باند Ku برای رادار FMCW تحت راهنمایی دکتر نیما آزادی طینت متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

امضای دانشجو

تاریخ

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

تمرکز این پایان نامه بر طراحی و توسعه ی یک آنتن مایکرواستریپ آرایه ای با تغذیه تزویج روزنه ای با گین بالا، پهنای باند زیاد، ساید لوب کم برای رادار FMCW است.

در طراحی چنین آرایه ای نوع زیرلایه، ضخامت آن، فاصله ی بین عناصر، خطوط تغذیه و ترکیب آن ها با هم، در بدست آوردن گین بالا، سطح ساید لوب مناسب، پهنای باند، کوپلینگ متقابل بسیار مهم است که در طراحی ساختار لحاظ شده است. شروع کار با طراحی تک عنصر به صورت بهینه آغاز شده. سپس آرایه ی کامل ۵۱۲ عنصری با تغذیه و توزیع یکسان توان بین همه عناصر انجام شد و گین بیش از ۳۰ dB به دست آمد.

برای کاهش سطح گلبرگ جانبی، شبکه تغذیه با استفاده از توزیع تیلور طوری طراحی شده تا دامنه مشخص مورد نیاز هر عنصر که متفاوت با سایر عناصر است، بدست آید و همچنین تمام عناصر آرایه به صورت هم فاز تغذیه شده اند. عناصری که در وسط آرایه هستند بیشترین توان و عناصری کناری کمترین توان را دریافت می کنند.

این ساختار با ۵۱۲ عنصر به صورت آرایه ی $۱۶ * ۳۲$ طراحی شده و فرکانس کاری این آنتن از ۱۲/۵ تا ۱۴/۹ گیگاهرتز، معادل ۱۷ درصد پهنای باند در باند Ku است. گین این آنتن ۲۹ dB و تغییرات گین در تمام طول بازه فرکانسی اندک بوده که مطلوب ما است و همچنین سطح ساید لوب بین ۲۲ dB - تا ۲۷ dB - در دو صفحه E و H است. در نهایت برای کاهش سطح گلبرگ پشتی از یک صفحه ی بازتابنده ی فلزی استفاده شد که سطح F/B به بیش از ۳۰ dB رسید. ابعاد کلی آنتن $۲۸۸ \text{ mm} * ۵۷۶ \text{ mm}$ است.

کلمات کلیدی: آنتن های مایکرواستریپ ، رادار ، پهن باند ، تزویج روزنه ای ، گین بالا ، سطح گلبرگ جانبی ، توزیع غیر یکنواخت

فهرست مطالب

۱.....	فصل اول
۱.....	معرفی آنتن های میکرواستریپ.....
۲.....	۱-۱ مقدمه.....
۳.....	۲-۱ روش های تغذیه ی آنتن های میکرواستریپ.....
۷.....	۳-۱ آرایه ی صفحه ای.....
۹.....	فصل دوم
۹.....	سنتز آرایه و بررسی روش های کاهش سطح گلبزرگ جانبی.....
۱۰.....	۲-۱ بازده تابشی از وزن دهی آرایه.....
۱۰.....	۲-۲ سنتز آرایه.....
۱۰.....	۳-۲ ضریب آرایه: نمایش چند جمله ای شلکنف.....
۱۲.....	۴-۲ آرایه ی دو جمله ای (باینمیاال).....
۱۵.....	۵-۲ آرایه ی چبی شف.....
۱۸.....	۶-۲ پهنای بیم و ضریب وزن دهی آرایه.....
۲۰.....	۷-۲ سنتز تیلور.....
۲۱.....	۸-۲ الگوی چبی شف برای منبع پیوسته.....
۲۲.....	۹-۲ توزیع منبع.....
۲۳.....	۱۰-۲ منبع تیلور.....
۲۵.....	۱۱-۲ پهنای بیم و ضریب روزنه.....
۲۶.....	۱۲-۲ مروری بر کارهای گذشته.....
۳۳.....	فصل سوم
۳۳.....	رادار و کاربردهای آن.....

۳۴	۱-۳ مقدمه
۳۵	۲-۳ انواع رادار
۳۵	۱-۲-۳ رادارهای مونواستاتیک
۳۶	۲-۲-۳ رادارهای بایاستاتیک
۳۷	۳-۲-۳ رادارهای پالسی
۳۸	۴-۲-۳ رادارهای موج پیوسته
۴۱	۵-۲-۳ رادارهای فرا افق نگر
۴۳	۶-۲-۳ رادار مراقبت ثانویه
۴۳	۷-۲-۳ رادارهای SAR
۴۴	۸-۲-۳ رادارهای آرایه فازی
۴۵	۹-۲-۳ رادار مونوپالس
۴۷	فصل چهارم
۴۷	طراحی آنتن رادار FMCW با گین بالا و سطح گلبرگ جانبی پایین
۴۸	۱-۴ طراحی یک عنصر آنتن مایکرواستریپ تزویج روزنه ای
۵۱	۳-۴ طراحی آنتن آرایه ی تزویج روزنه صفحه ای با توزیع یکسان
۵۲	۴-۴ طراحی آرایه و شبکه تغذیه مشترک تزویج روزنه ای با توزیع یکسان و هم فاز
۶۱	۵-۴ طراحی آرایه و شبکه تغذیه مشترک تزویج روزنه ای با توزیع غیر یکنواخت و هم فاز
۸۳	فصل پنجم
۸۳	نتیجه گیری و کارهای آینده
۸۴	نتیجه گیری
۸۴	کارهای آینده
۸۵	مراجع

فهرست جداول

جدول (۱-۴) نتایج شبیه سازی آنتن آرایه ی ۵۱۲ عنصری با تزویج روزنه ای با توزیع یکسان دامنه و هم فاز..... ۶۰

جدول(۲-۴) میزان ضرایب توزیع تیلور برای سطح گلبرگ جانبی dB -۲۵- برای آرایه ۱۶*۳۲ (الف) سمت راست ضرایب توزیع (ب) سمت چپ ضرایب توزیع..... ۶۲

جدول(۳-۴) نتایج شبیه سازی آنتن آرایه ی ۵۱۲ عنصری با تزویج روزنه ای با توزیع غیر یکنواخت و هم فاز..... ۷۶

جدول(۴-۴) نتایج شبیه سازی آنتن آرایه ی ۵۱۲ عنصری با تزویج روزنه ای با صفحه ی بازتابنده و توزیع غیر یکنواخت و هم فاز..... ۸۲

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) ساختار تغذیه ی آنتن مایکرواستریپ با کابل کواکسیال..... ۳
- شکل (۲-۱) آنتن پچ تغذیه شده با خط مایکرواستریپ..... ۴
- شکل (۳-۱) آنتن پچ تزویج مغناطیسی و مجاورتی..... ۴
- شکل (۴-۱) آنتن مایکرواستریپ تغذیه شده با تزویج روزنه ای..... ۵
- شکل (۱-۲) دایره ی واحد شلکنف..... ۱۱
- شکل (۲-۲) ضریب تغذیه یک آرایه ی دو جمله ای با ۱۰ عنصر..... ۱۳
- شکل (۳-۲) ضریب آرایه (AF) آرایه ی دو جمله ای شکل (۲-۲)..... ۱۴
- شکل (۴-۲) ضریب وزن دهی آرایه بر حسب تعداد عناصر یک آرایه ی دو جمله ای..... ۱۴
- شکل (۵-۲) تابع چند جمله ای چبی شف..... ۱۵
- شکل (۶-۲) توزیع دامنه ی یک آرایه ی چبی شف ۱۱ عنصری..... ۱۸
- شکل (۷-۲) الگوی تشعشی یک آرایه چبی شف با $N = 11$ و $SLR = 20 \text{ dB}$ ۱۸
- شکل (۸-۲) آرایه های چبی شف نشان می دهد که SLR بزرگ تر متناظر است با بیم پهن تر..... ۲۰
- شکل (۹-۲) ضریب وزن دهی آرایه بر حسب SLR برای دو آرایه ی چبی شف..... ۲۰
- شکل (۱۰-۲) توزیع منبع تیلور با $\bar{n} = 6$ و $SLR = 30 \text{ dB}$ ۲۴
- شکل (۱۱-۲) الگوی تیلور با $\bar{n} = 6$ و $SLR = 30 \text{ dB}$ ۲۵
- شکل (۱۲-۲) بازده روزنه ای با توجه به SLR که از رابطه تیلور به ازای \bar{n} به عنوان یک پارامتر حاصل می شود..... ۲۶
- شکل (۱۳-۲) سمت راست زیر آرایه ی صفحه ی H با دو نوع تغذیه ی سری به صورت رزونانسی و لیکمی ویو..... ۲۶
- شکل (۱۴-۲) تلفات بازگشتی در نقاط مختلف ساختار آرایه..... ۲۷
- شکل (۱۵-۲) پترن تشعشی آنتن در (الف) صفحه ی E (ب) صفحه ی H ۲۷

- شکل (۱۶-۲) ساختار کلی آرایه با ۴۲۰ عنصر پچ..... ۲۸
- شکل (۱۷-۲) ساختار آنتن در نماهای مختلف (الف) لایه ی بالایی آرایه (ب) لایه ی زیرین آرایه (ج) نمای جانبی تک عنصر (د) نمای کناری تک عنصر..... ۲۹
- شکل (۱۸-۲) نمودار تلفات بازگشتی آرایه ی ۶۴ عنصری..... ۲۹
- شکل (۱۹-۲) پترن تشعشی آنتن آرایه ای ۶۴ عنصری در فرکانس ۱۷/۵ گیگاهرتز..... ۳۰
- شکل (۲۰-۲) ساختار آرایه ۷*۷ با پچ هایی با ابعاد متفاوت برای رسیدن به SLL مورد نظر..... ۳۰
- شکل (۲۱-۲) میدان الکتریکی آرایه ۱*۷ تغذیه ی به صورت سری..... ۳۱
- شکل (۲۲-۲) پترن تشعشی آنتن آرایه ی ۷*۷ با پچ هایی با ابعاد متفاوت..... ۳۱
- شکل (۲۳-۲) آنتن پچ دایروی با حفره ی هوا و تغذیه شده توسط کابل کواکسیال..... ۳۱
- شکل (۲۴-۲) آرایه H-plane آنتن پچ دایروی با حفره های هوا و فنس های ریز، تغذیه شده توسط کابل کواکسیال..... ۳۲
- شکل (۲۵-۲) توزیع میدان اطراف پچ (الف) بدون حفره هوا (ب) با حفره هوا در زیر پچ..... ۳۲
- شکل (۲۶-۲) پترن تشعشی صفحه H آنتن آرایه ی ۱۶ عنصری (الف) بدون حفره ی هوا (ب) همراه با حفره ی هوا..... ۳۲
- شکل (۱-۳) انواع رادارها در بازه های فرکانسی مختلف..... ۳۴
- شکل (۲-۳) آنتن رادار..... ۳۵
- شکل (۳-۳) رادار مونواستاتیک و تغییر بین دو حالت (الف) فرستندگی (ب) گیرندگی..... ۳۶
- شکل (۴-۳) رادار بایاستاتیک..... ۳۶
- شکل (۵-۳) فاصله ی گیرنده و فرستنده تا هدف..... ۳۷
- شکل (۶-۳) رادار هادی، یک نمونه رادار موج پیوسته ی نظامی..... ۳۹
- شکل (۷-۳) رادار FMCW با گین بالا..... ۴۰

- شکل (۳-۸) رادار فرا افق نگر..... ۴۲
- شکل (۳-۹) رادار OTH..... ۴۲
- شکل (۳-۱۰) رادار SAR..... ۴۳
- شکل (۳-۱۱) آنتن رادار آرایه فازی در اتاق تست آنتن..... ۴۴
- شکل (۳-۱۲) تغییر زاویه ی بیم اصلی آنتن آرایه فازی با توجه به تغییر فاز عناصر..... ۴۵
- شکل (۳-۱۳) شبکه تقسیم کننده توان مونوپالس موجبری..... ۴۵
- شکل (۴-۱) آنتن تک عنصر تزویج روزنه ای (الف) صفحه پیچ (ب) صفحه تغذیه (ج) صفحه زمین (د) نمای جانبی..... ۴۸
- شکل (۴-۲) نمودار تلفات بازگشتی آنتن تک عنصر تزویج روزنه ای..... ۴۹
- شکل (۴-۳) نمودار VSWR آنتن تک عنصر تزویج روزنه ای..... ۴۹
- شکل (۴-۴) پترن تشعشی آنتن تک عنصر تزویج روزنه ای در فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز (الف) صفحه $\Phi = 0$ (ب) صفحه $\Phi = 90$ (ج) پترن سه بعدی..... ۵۰
- شکل (۴-۵) نمودار بازده تشعشی و بازده کل..... ۵۱
- شکل (۴-۶) ساختار آنتن تزویج روزنه ای با ۵۱۲ عنصر..... ۵۱
- شکل (۴-۷) شبکه تغذیه و تقسیم کننده توان مشترک و هم فاز..... ۵۲
- شکل (۴-۸) تلفات بازگشتی ساختار آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری تزویج روزنه ای با تغذیه یکسان و هم فاز عناصر..... ۵۳
- شکل (۴-۹) نمودار VSWR ساختار آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری تزویج روزنه ای با تغذیه یکسان و هم فاز عناصر..... ۵۳
- شکل (۴-۱۰) پترن تشعشی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع یکسان دامنه و هم فاز در مختصات قطبی..... ۵۶

- شکل (۴-۱۱) پترن تشعشعی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع یکسان دامنه و هم فاز به صورت دو بعدی.....۵۹
- شکل (۴-۱۲) پترن تشعشعی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع یکسان دامنه و هم فاز به صورت سه بعدی در فرکانس ۱۳,۷۵ گیگاهرتز.....۵۹
- شکل (۴-۱۳) اندازه میدان الکتریکی در ساختار آرایه با توزیع یکسان و هم فاز.....۶۰
- شکل (۴-۱۴) ربع شبکه تغذیه تقسیم کننده ی توان نامتقارن برای توزیع تیلور -25 dB۶۳
- شکل (۴-۱۵) نمای نزدیک از شبکه تغذیه تقسیم کننده ی توان غیر یکسان برای توزیع تیلور 25 dB۶۴
- شکل (۴-۱۶) ساختار زمین آرایه ی تزویج روزه ای با ۵۱۲ عنصر.....۶۴
- شکل (۴-۱۷) نمودار تلفات بازگشتی شبکه تغذیه تقسیم توان نامتقارن برای توزیع تیلور -25 dB۶۴
- شکل (۴-۱۸) نسبت توان عناصر در توزیع تیلور برای سطح گلببرگ جانبی -25 dB۶۸
- شکل (۴-۱۹) فاز عناصر آرایه با توزیع غیر یکنواخت.....۶۹
- شکل (۴-۲۰) توزیع جریان در ساختار آرایه با توزیع توان غیر یکنواخت.....۶۹
- شکل (۴-۲۱) پترن تشعشعی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع نامتقارن، غیریکنواخت و هم فاز در مختصات قطبی.....۷۱
- شکل (۴-۲۲) پترن تشعشعی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع غیریکنواخت و هم فاز به صورت دو بعدی.....۷۳
- شکل (۴-۲۳) ساختار آنتن آرایه ی تزویج روزه ای با ۵۱۲ عنصر پچ با تغذیه ی غیر یکنواخت.....۷۴
- شکل (۴-۲۴) ساختار شبکه تغذیه آنتن آرایه ای تزویج روزه ای با ۵۱۲ عنصر با تغذیه ی غیر یکنواخت.....۷۴
- شکل (۴-۲۵) نمودار S_{11} ساختار آرایه ی ۵۱۲ عنصری با توزیع غیر یکسان و غیر یکنواخت.....۷۵
- شکل (۴-۲۶) نمودار V_{SWR} ساختار آرایه ی ۵۱۲ عنصری با توزیع غیر یکسان و غیر یکنواخت.....۷۵
- شکل (۴-۲۷) پترن تشعشعی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع غیر یکسان دامنه به صورت سه بعدی در فرکانس ۱۴ گیگاهرتز.....۷۶

شکل (۴-۲۸) نمودار S11 ساختار کامل آرایه ی ۵۱۲ عنصری همراه با صفحه ی بازتابنده با توزیع غیر یکسان و غیر یکنواخت..... ۷۷

شکل (۴-۲۹) پترن تشعشعی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با صفحه ی بازتابنده و توزیع غیر یکنواخت و هم فاز در مختصات قطبی..... ۷۹

شکل (۴-۳۰) پترن تشعشعی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با صفحه ی بازتابنده و توزیع غیر یکنواخت و هم فاز به صورت دو بعدی..... ۸۱

شکل (۴-۳۱) نمودار گین بر حسب فرکانس..... ۸۲

شکل (۴-۳۲) نمودار F/B بر حسب فرکانس..... ۸۲

فصل اول:

معرفی آنتن های میکرواستریپ

۱-۱ مقدمه

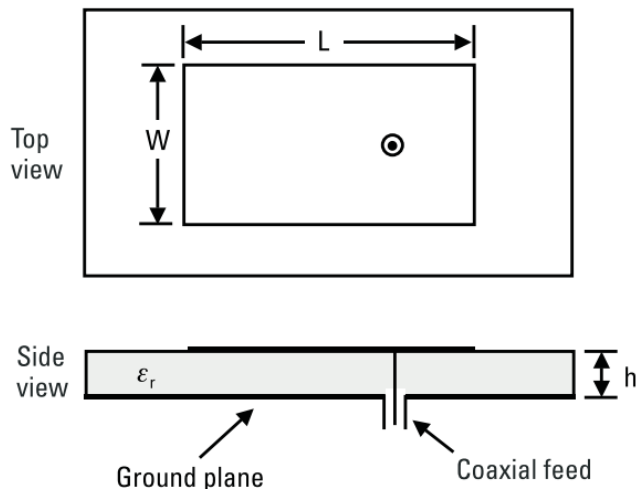
آنتن های میکرواستریپ به خاطر کاربردهای فراوان در سال های اخیر بسیار مورد استفاده قرار گرفتند. این آنتن ها بسیار سبک و کوچک هستند و دارای سطح مقطع راداری کمی هستند و به آسانی ساخته می شوند و بر روی یک زیرلایه، قابلیت مجتمع سازی با سایر عناصر یک مدار را دارند [۱]. توانایی ایجاد انواع پلاریزاسیون از جمله پلاریزاسیون خطی و دایروی، دو بانده و یا چند بانده شدن فرکانسی جزء ویژگی های این نوع از آنتن ها است. به همین دلیل گزینه ی مناسبی برای کاربردهای صنعتی و نظامی هستند. در کنار این ویژگی ها، این آنتن ها دارای چالش هایی نظیر میزان بهره ی کم، توان قابل استفاده ی کم، بازده پایین، پهنای باند کم در حدود ۱ تا ۵ درصد هستند. هر چند در سال های اخیر این مسائل تا حد مناسبی حل شده اند. همین باعث شد تا بتوان آنتن های میکرواستریپ را در کاربردهای متنوعی از ساختارهای باند باریک تا سیستم های فرایهن باند مورد استفاده قرار داد [۲-۳]. همچنین قابلیت استفاده از فرکانس کم تا فرکانس های زیر میلیمتری را دارند [۴-۵]. از این آنتن ها می توان در ساختار هایی به غیر از ساختار مسطح، به عنوان مثال بر روی بدنه ی یک استوانه استفاده نمود و به طور خاص در سیستم های هدایت موشک، رادارهای هشدار، رادارهای ناوبری دریایی، رادارهای FMCW، رادارهای SAR، سیستم های ارتباط فضایی که عمدتاً در باند X/Ku کار می کنند [۶]. آنتن های میکرواستریپ می توانند یک جایگزین مناسب برای آنتن هایی نظیر آنتن های موجبری شکافی و یا آنتن های سهموی باشند.

در این پایان نامه که هدف رسیدن به سطح گین بالا در حدود ۳۰ dB و سطح گلبرگ جانبی ۲۵ dB- و پهنای باند مناسب که مشخصات مطلوب آنتن های راداری است، کار را با طراحی تک عنصر به صورت بهینه آغاز کردیم. سپس آرایه ای با ۵۱۲ عنصر با توزیع توان یکسان برای رسیدن به سطح بهره ی ۳۰ dB طراحی شد. در ادامه برای داشتن سطح گلبرگ جانبی پایین از توزیع تیلور استفاده شد که برای تحقق این امر، میزان توان عناصر آرایه می بایست متفاوت از هم باشند به طوری که عناصر وسط آرایه بیش ترین و عناصر کناری، کم ترین میزان توان را دریافت می کنند. در انتهای کار با توجه به این که ساختار تغذیه ی عناصر آرایه به صورت تزویج روزه ای است و به دلیل تشعشعات خط تغذیه به طور مستقل، میزان قابل توجهی از توان در خلاف جهت گلبرگ اصلی آنتن تشعشع پیدا می کند که برای به حداقل رساندن اثر آن از یک صفحه ی بازتابنده ی فلزی در پشت آنتن استفاده شده است.

۲-۱ روش های تغذیه ی آنتن های میکرواستریپ

آنتن های میکرواستریپ می توانند به صورت مستقیم توسط کابل کواکسیال^۱ تغذیه شوند و یا توسط خط میکرواستریپ. همچنین می توانند به صورت تزویج مغناطیسی^۲، تزویج روزنه ای^۳ تغذیه شوند که در این حالت تماس فلزی مستقیمی بین خط تغذیه و پچ وجود ندارد. روش های تغذیه بر روی ساختار آنتن و امپدانس ورودی تاثیر می گذارند و یک موضوع مهم در طراحی هستند.

در شکل (۱-۱) ساختار تغذیه ی آنتن میکرواستریپ با کابل کواکسیال نشان داده شده است. مزیت اصلی این نوع تغذیه این است که برای رسیدن به امپدانس ورودی مد نظر، کابل کواکسیال می تواند در هر جایی برای تطبیق قرار بگیرد. یکی از معایب این نوع تغذیه این است که ساختار آنتن را از حالت صفحه ای و تقارن خارج می کند و همچنین می تواند پهنای باند اندکی داشته باشد.



شکل (۱-۱) ساختار تغذیه ی آنتن میکرواستریپ با کابل کواکسیال

ساختار آنتن پچ تغذیه شده با خط میکرواستریپ در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. مزیت این نوع تغذیه این است که می تواند با بقیه ی ساختار بر روی یک زیرلایه قرار بگیرد و ساختار را به صورت صفحه ای باقی نگه دارد. یکی از معایب این نوع تغذیه این است که خط تغذیه می تواند به طور جداگانه تشعشع داشته باشد و همین موضوع باعث افزایش سطح قطبش متقاطع^۴ می شود. مخصوصا در طول موج های میلیمتری و زیرمیلیمتری که

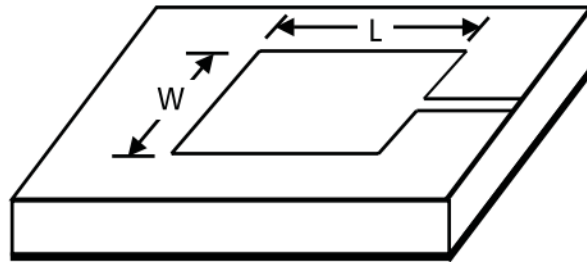
^۱Coaxial Cable

^۲Proximity Coupling

^۳Aperture Coupling

^۴Cross Polarization

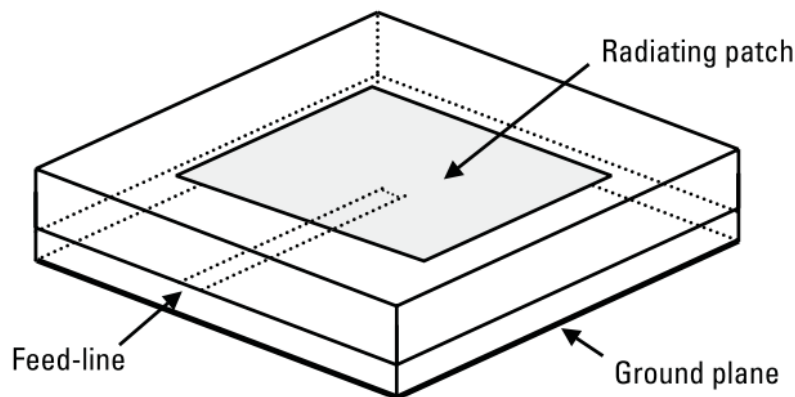
اندازه ی خط تغذیه در مقایسه با پیچ، مقدار قابل توجهی است، اثر قطبش متقاطع به طور قابل ملاحظه ای زیاد می شود.



شکل (۲-۱) آنتن پیچ تغذیه شده با خط میکرواستریپ

استفاده از زیرلایه هایی با ارتفاع زیاد که به طور معمول برای افزایش پهنای باند به کار می روند، در هنگام تغذیه با دو روش کابل کواکسیال و خط تغذیه میکرواستریپ با چالش مواجه می شود. در مورد کابل کواکسیال، چالش این است که با افزایش ارتفاع زیرلایه، به تبع طول پراب تغذیه هم زیادتر می شود و همین منجر به افزایش خاصیت سلفی کابل می شود در نتیجه برای تطبیق مشکل به وجود می آید. در روش تغذیه با خط میکرواستریپ، هر چه ارتفاع زیرلایه بیش تر شود، به همان نسبت میزان تشعشع های ناخواسته ی خط تغذیه افزایش می یابد.

روش تغذیه ی غیر مستقیم این مسائل را حل نمود. در شکل (۳-۱) یک ساختار با تزویج مغناطیسی و مجاورتی نشان داده شده است. در این روش تغذیه، خط تغذیه بین پیچ و صفحه ی زمین قرار گرفته که توسط دو دی الکتریک از هم جدا شده اند. از جمله ی مزیت های این روش این است که تشعشع های اضافی خط تغذیه را حذف می کند. یکی از مسائلی که باید در این روش به آن توجه کرد، تراز و هم راستا نمودن دو زیرلایه است که باید به دقت انجام شود.



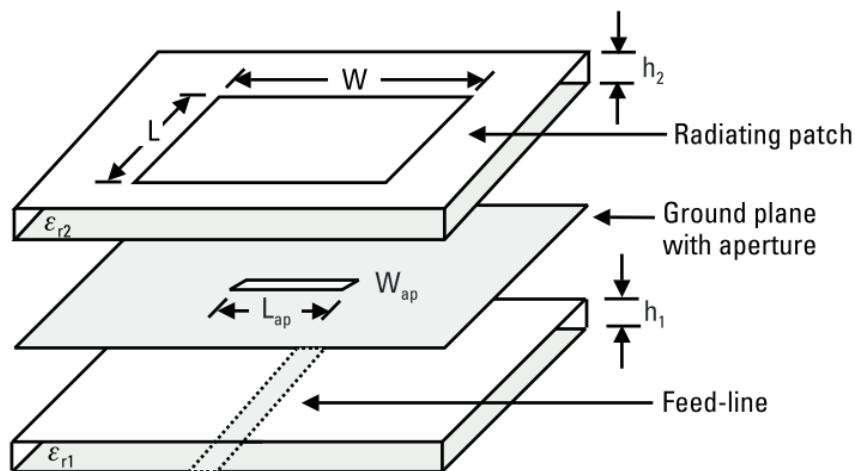
شکل (۳-۱) آنتن پیچ تزویج مغناطیسی و مجاورتی

روش دیگر تغذیه ی آنتن های پچ استفاده از تزویج روزنه ای است. همان طور که در شکل (۴-۱) مشخص است این آنتن تشکیل شده از دو زیرلایه است. یک زیرلایه برای قسمت پچ و دیگری برای ساختار خط تغذیه است. دو زیر لایه توسط یک صفحه ی زمین نسبت به هم فاصله دارند. در این حالت، میدان ها از طریق خط تغذیه ی مایکرواستریپ و از میان یک شکاف کوچک از لحاظ الکتریکی که بر روی صفحه ی زمین قرار دارد، با پچ های تشعشی تزویج می شوند.

برخی از مزایا و پیشرفت های اخیر در زمینه ی تغذیه ی تزویج روزنه ای آنتن های پچ:

- پهنای باند امپدانس بالا، از ۵% تا ۷۰%
- جداسازی شبکه تغذیه از آنتن ها از طریق صفحه زمین
- حداقل قطبش متقاطع در صفحات اصلی
- سهولت مجتمع سازی برای آرایه های فعال
- حفظ ساختار متقارن آنتن
- درجه بالاتر انتخاب از نظر تصمیم گیری شکل پچ، طول خطوط تغذیه، اندازه و شکل روزنه، رادوم
- گسترش این تکنیک ها به کوپلرهای تغذیه روزنه ای، مبدل موجرها، رزوناتورهای دی الکتریک

برای رسیدن به پهنای باند زیاد، فرکانس رزونانس پچ و روزنه باید به هم نزدیک باشند.



شکل (۴-۱) آنتن مایکرواستریپ تغذیه شده با تزویج روزنه ای

بعضی از پارامترها ی مهم که بر عملکرد آنتن موثر هستند:

- زیرلایه ی آنتن: تانژانت تلفات زیرلایه بر بازده تشعشی آنتن تاثیر می گذارد. برای کم کردن و به حداقل رساندن تلفات بازده، باید زیرلایه ای با کم ترین تانژانت تلفات انتخاب شود. گذردهی الکتریکی زیرلایه

بر روی ابعاد پیچ تشعشعی اثر می‌گذارد. گذردهی الکتریکی هر چه کم تر باشد، امواج سطحی هم کم تر خواهند شد. گذردهی الکتریکی زیرلایه ی آنتن معمولا کم تر از گذردهی الکتریکی زیرلایه ی خطوط تغذیه است. ضخامت زیرلایه ی آنتن بر پهنای باند و تزویج آنتن ها اثر می‌گذارد. زیرلایه ی ضخیم تر، پهنای باند امپدانس را افزایش می‌دهد اما تزویج بین خطوط تغذیه و پیچ تشعشعی را کاهش می‌دهد. همچنین فرکانس رزونانس پیچ را کاهش می‌دهد.

- طول و عرض پیچ مایکرواستریپ: طول پیچ، فرکانس رزونانس را و عرض پیچ، مقاومت رزونانسی پیچ را مشخص می‌کند. پیچ پهن تر، مقاومت کم تری دارد.

- ابعاد صفحه ی زمین: ابعاد صفحه ی زمین و جایگاه آن باید طوری باشد که آنتن، تشعشعی به عقب نداشته باشد و همچنین جریان های ناخواسته ای بر لبه ی صفحه ی زمین که می‌توانند تشعشع کنند، ایجاد نشود.

- زیر لایه ی خط تغذیه: نیاز است که تانژانت تلفات کمی داشته باشد تا از هرگونه تلفات در بازده تزویج بین خط مایکرو استریپ و روزنه جلوگیری کند. گذردهی الکتریکی زیر لایه، ارتفاع آن و عرض خط انتقال مایکرواستریپ، امپدانس مورد نظر را مشخص می‌کنند.

- طول و عرض روزنه: برای رزونانس روزنه ها، طول روزنه ها باید حدودا نصف طول موج آنتن باشند. طول و عرض روزنه میزان تزویج را کنترل می‌کنند و می‌توانند باعث افزایش پهنای باند امپدانس آنتن شوند. به طور کلی نسبت طول به عرض روزنه حدود ۱۰:۱ است. مقاومت با توجه به افزایش این نسبت، افزایش می‌یابد.

- جایگاه روزنه نسبت به پیچ: روزنه باید در پایین مرکز پیچ باشد. میدان مغناطیسی پیچ در مرکز، بیش ترین مقدار را دارد، بنابراین به بیش ترین تزویج نیاز دارد.

- طول استاب: استاب می‌تواند میزان راکتانس روزنه را تنظیم کند و تطبیق بهتری را فراهم نماید [۷].

۱-۳ آرایه ی صفحه ای

از جمله دلایل برای آرایه نمودن یک عنصر، رسیدن به دایرکتیویته و گین بالا، چرخش بیم، رسیدن به سطح ساید لوب پایین و ... می باشد. در طراحی آرایه باید مسائل مختلفی را مد نظر قرار داد و متغیرهای متعددی وجود دارد، از جمله:

- ساختار هندسی و نحوه قرار گیری عناصر آرایه (خطی، دایروی، صفحه ای ، چندلایه ای و ...)
- فاصله ی بین عناصر آرایه
- دامنه و ضریب تغذیه هر عنصر
- ضریب و فاز هر عنصر
- پترن تشعشعی عناصر

هدف گذاری برای این پایان نامه بدین صورت بوده که برای آنتن رادار FMCW، گین 30 dB ، سطح گلبرگ جانبی بیش از 20 dB ، پهنای بیم نصف توان باریک و پهنای باند امپدانس مناسبی حاصل شود.

فصل دوم:

سنتز آرایه و بررسی روش های کاهش سطح گلبرگ جانبی

۲-۱ بازده تابشی از وزن دهی آرایه^۱

بازده تابشی از وزن دهی آرایه (ATE) نمایان گر تاثیر توزیع وزن دهی روی بازده کلی دهانه آرایه است. برای یک آرایه که عناصر آن بازده دهانه ۱۰۰٪ دارند، ATE با بازده دهانه آرایه برابر می شود. برای یک آرایه صفحه ای یا خطی، ATE به صورت زیر تعریف می شود:

$$ATE = \frac{\left(\sum_1^n |A_n| \right)^2}{N \sum_1^n |A_n|^2} * 100\% \quad (1-2)$$

برای آرایه با وزن دهی یکنواخت، ATE برابر ۱۰۰ درصد است. برای آرایه ی غیر یکنواخت اندازه آن کمتر از ۱۰۰ درصد است. بازده دهانه آرایه حاصل ضرب ATE و بازده دهانه ی عنصر در محدوده ی آرایه است. بنابراین ATE نقش بسایر مهمی در تصمیم گیری بازده کلی دهانه آرایه کامل دارد.

۲-۲ سنتز آرایه

سنتز آرایه اساسا شامل تعیین دامنه و فاز عناصر است که یک الگوی بیم مورد نظر را تولید می کند. روش های مختلفی برای تحقق این امر وجود دارد از جمله استفاده از توزیع باینمیل، توزیع چپی شف و توزیع تیلور برای رسیدن به سطح گلببرگ جانبی پایین.

۲-۳ ضریب آرایه: نمایش چند جمله ای شلکنف

برای یک آرایه ی N عنصری، ضریب آرایه^۲ به صورت زیر شرح داده می شود:

$$AF(z) = A_0 + A_1z + A_2z^2 + \dots + A_{N-1}z^{N-1} \quad (2-2)$$

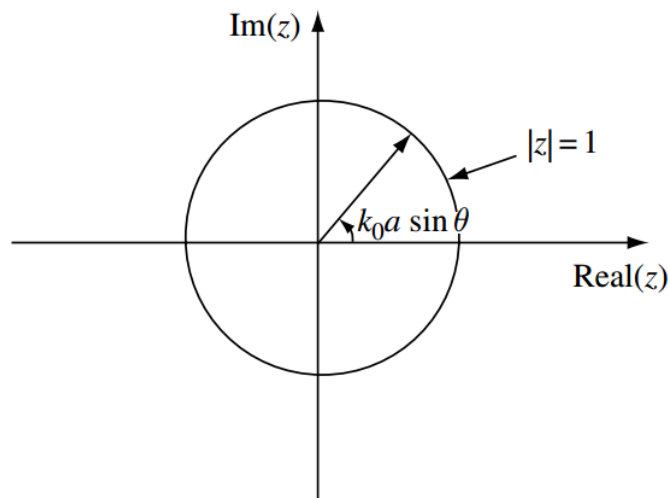
^۱The Array Taper Efficiency (ATE)

^۲Array Factor

که $A_{N-1} \dots A_1$ ضرایب تغذیه موهومی هستند و Z ضربی است که به این صورت تعریف می شود:

$$z = \exp(jk_0 a \sin \theta) \quad (3-2)$$

همان طور که مشاهده می شود ضریب آرایه به وسیله Y چند جمله ای از Z نشان داده شده است که به چند جمله ای شلکنف معروف است. برای یک اندازه واقعی $\sin \theta$ ، $|z|=1$ است که دایره Y واحد را در صفحه Y موهومی که دایره Y واحد شلکنف نامیده می شود، نشان می دهد. شکل (۱-۲) بر روی محیط دایره Y واحد، بخشی را که $|\sin \theta| < 1$ است ناحیه Y مرئی نامیده می شود. هر نقطه Y که خارج این بخش، چه بر روی محیط و چه خارج از محیط دایره باشد، مربوط به ناحیه نامرئی است.



شکل (۱-۲) دایره Y واحد شلکنف [۸]

چند جمله ای (۱-۱) می تواند به صورت چند جمله ای $N-1$ بیان شود:

$$AF(z) = A_{N-1}(z - z_1)(z - z_2) \dots (z - z_{N-1}) \quad (4-2)$$

که $Z_1 \dots Z_N$ صفرهای چند جمله ای هستند. اگر طرف راست معادله Y (۴-۲) را بسط دهیم و با معادله Y

(۲-۲) مقایسه ای انجام دهیم، می توانیم دامنه Y عنصر آرایه ها را بر حسب صفرهای چند جمله ای به دست بیاوریم. صفر با یک جایگاه نال در آرایه در ارتباط است. گلبگ کناری بین دو صفر پیاپی در ناحیه Y مرئی دایره Y واحد اتفاق می افتد. محل اتفاق صفرها بر روی دایره Y واحد نشان دهنده Y مرتبه Y گلبگ کناری است.

برای مرتبه ی پایین گلبرگ کناری، دو صفر پیاپی باید نزدیک به یکدیگر و از محل بیم اصلی دور باشند. این همچنین می تواند از ضریب آرایه در معادله ی (۴-۲) نیز به دست آید. اندازه ضریب آرایه به صورت زیر است:

$$|AF(z)| = |A_{N-1}| \cdot |z - z_1| \cdot |z - z_2| \cdots |z - z_{N-1}| \quad (۵-۲)$$

فرض کنید که بیم اصلی در زاویه $\theta = 0$ و $z = 1$ است. قله ی گلبرگ اصلی بین دو صفر پیاپی z_1 و z_2 ، برای مثال در $z \approx \frac{z_1 + z_2}{2}$ قرار گرفته است. بنابراین نرخ گلبرگ کناری همان SLR^1 می شود:

$$SLR = \frac{|AF((z_1 + z_2)/2)|}{|AF(0)|} \approx \frac{|z_1 - z_2|^2 \cdot |(z_1 + z_2)/2 - z_3| \cdots |(z_1 + z_2)/2 - z_{N-1}|}{|(1 - z_1) \cdot (1 - z_2) \cdot (1 - z_3) \cdots (1 - z_{N-1})|} \quad (۶-۲)$$

از (۶-۲) می توان فهمید اگر $|z_1 - z_2|$ کوچک باشد یعنی فاصله ی صفرها با فاصله ی کمی از یکدیگر بر روی دایره ی واحد قرار گرفته اند، SLR دو دسی بل بزرگ تر می شود. همچنین صفرها باید از محل Boresight بر روی دایره ی واحد دور باشند که اندازه مخرج بزرگ تر باشد.

۴-۲ آرایه ی دو جمله ای (باینمیا)^۲

برای یک آرایه ی دو جمله ای N عنصری، چند جمله ای شلکنف تنها یک صفر دارد که ضریب آرایه بدین شرح است:

$$AF(z) = (z - z_1)^{N-1} \quad (۷-۲)$$

گسترش سری دو جمله ای سمت راست معادله ی (۷-۲) به صورت زیر است:

$$AF(z) = z^{N-1} - {}^{N-1}C_1 z^{N-2} z_1 + {}^{N-1}C_2 z^{N-3} z_1^2 - \cdots + (-1)^{N-1} {}^{N-1}C_{N-1} z_1^{N-1} \quad (۸-۲)$$

ضریب تغذیه از ضرایب چند جمله ای به دست می آید. ضریب آرایه فقط یک نال در $z = z_1$ دارد. بنابراین آرایه گلبرگ کناری مرئی ندارد. آرایه ای با عنصر فاصله گذاری فرض $\alpha = \frac{\lambda_0}{2}$ کنید. این آرایه مشخصا گلبرگ

^۱Side-Lobe Ratio
^۲Binomial Array

گریتینگ ندارد و تمام محیط دایره ی واحد، مربوط به ناحیه ی مرئی می شود. قله ی بیم را در $\theta = 0$ و محل صفر را در $\theta = 90$ در نظر می گیریم. صفر چند جمله ای به صورت زیر است:

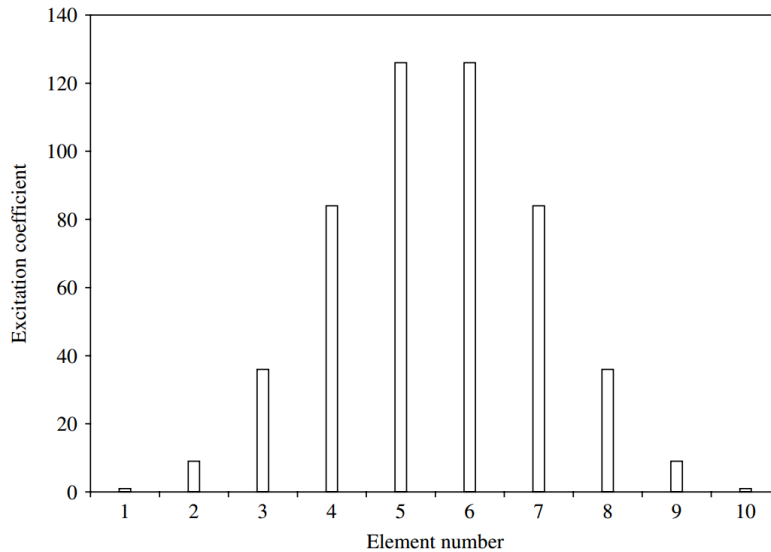
$$z_1 = \exp(jk_0 a \sin 90^\circ) = -1 \quad (9-2)$$

ضریب تغذیه نسبی برای Π امین عنصر به دست می آید:

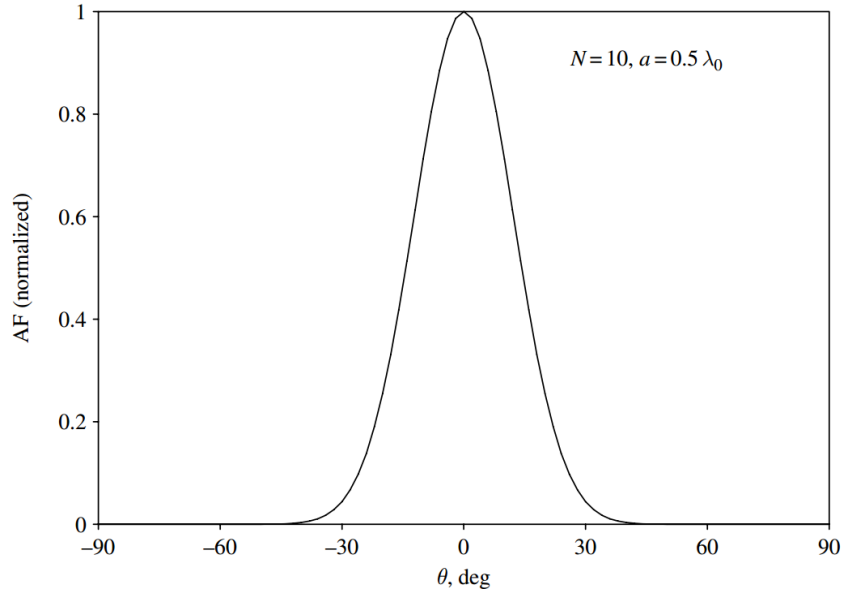
$$A_n = {}^{N-1}C_{N-n} = \frac{(N-1)!}{(N-n)!((n-1)!)} \quad (10-2)$$

شکل (۲-۲) ضریب تغذیه یک آرایه ی دو جمله ای ۱۰ عنصری را نشان می دهد. شکل (۳-۲) الگوی آرایه ی متناظر را نشان می دهد. همان طور که دیده می شود دامنه ی توزیع وزن دهی شده است. در آخر همان طور که انتظار می رود، دیده می شود که الگوی آرایه هیچ گلبرگ کناری ندارد. ATE که در معادله (۱۰-۲) تعریف شده است، به صورت زیر تعریف می شود:

$$ATE = \frac{|\sum_{n=1}^N A_n|^2}{N \sum_{n=1}^N |A_n|^2} = \frac{2^{2N-2}}{N 2^{2N-2} C_{N-1}} \quad (11-2)$$

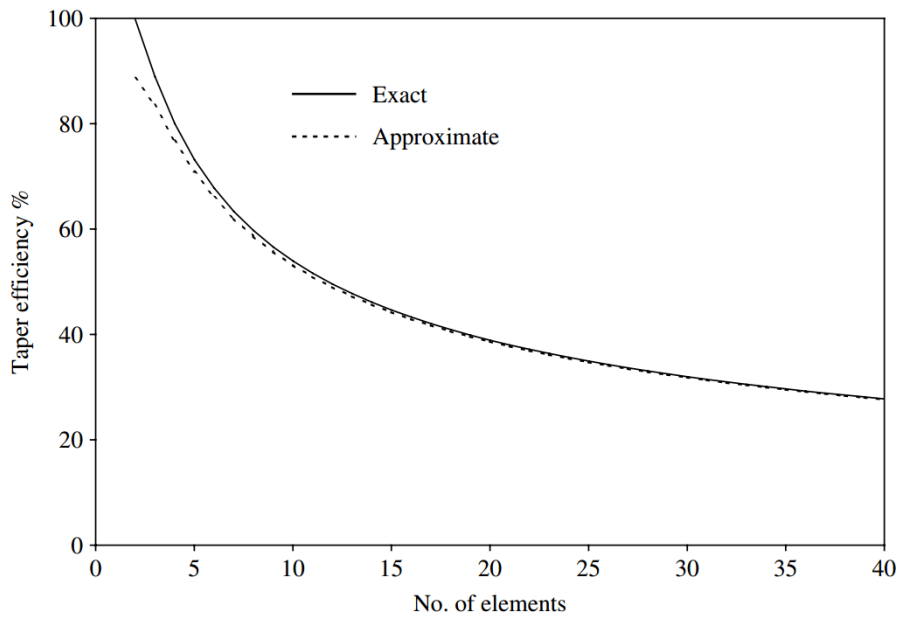


شکل (۲-۲) ضریب تغذیه یک آرایه ی دو جمله ای با ۱۰ عنصر [۸]



شکل (۳-۲) ضریب آرایه (AF) آرایه ی دو جمله ای شکل (۲-۲) [۸]

در شکل (۴-۲) ATE بر حسب تعداد عناصر N رسم شده است که در (۱۱-۲) استنتاج شد. برای $N < 5$ بالای ۸۰٪ است و به صورت یکنواخت با افزایش N کاهش می یابد.



شکل (۴-۲) ضریب وزن دهی آرایه بر حسب تعداد عناصر یک آرایه ی دو جمله ای [۸]

۲-۵ آرایه ی چبی شف^۱

سنتز آرایه ی چبی شف امکان طراحی یک آرایه با SLR مد نظر با بهبود بهره وری وزن دهی آرایه را به ما می دهد. از ویژگی های برجسته ی این آرایه، وابستگی یکنواخت آن به مرتبه ی گلبرگ کناری را می توان نام برد. چند جمله ای مرتبه m چبی شف وقتی که m عدد صحیح است به صورت زیر تعریف می شود:

$$T_m(x) = \begin{cases} \cos(m \cos^{-1} x) & |x| \leq 1 \\ \cosh(m \cosh^{-1} x) & x > 1 \\ (-1)^m \cosh(m \cosh^{-1} |x|) & x < -1 \end{cases} \quad (۱۲-۲)$$

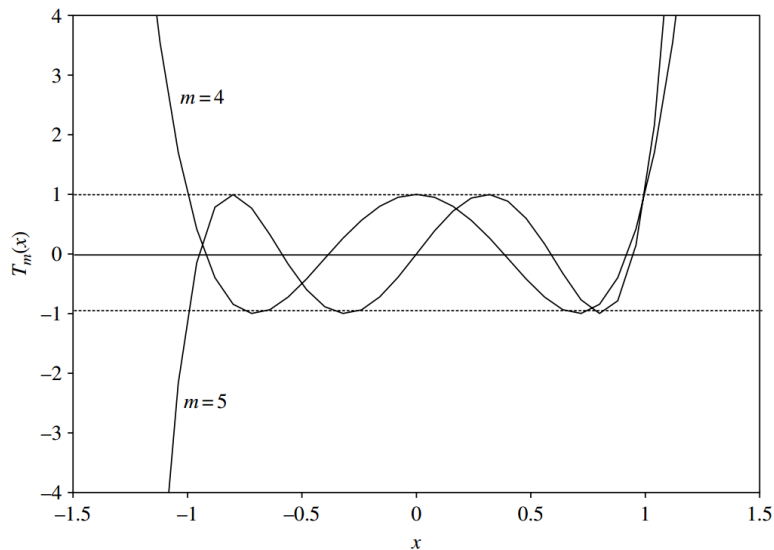
$T_m(x)$ چند جمله ای از x و از درجه ی m است که رابطه ی بازگشتی زیر را برای آن داریم:

$$T_{m+1}(x) = 2xT_m(x) - T_{m-1}(x) \quad (۱۳-۲)$$

چند جمله ای های اول به صورت زیر هستند:

$$T_0(x) = 1 \quad T_1(x) = x \quad T_2(x) = 2x^2 - 1 \quad (۱۴-۲)$$

از (۱۳-۲) می بینیم که اندازه چند جمله ای چبی شف بین صفر و یک است اگر $|x| < 1$ و بالاتر از واحد می شود اگر $|x| > 1$. همان طور که در شکل (۵-۲) به تصویر کشیده شده است.



شکل (۵-۲) تابع چند جمله ای چبی شف [۸]

این ویژگی برای ساختن ضریب آرایه استفاده شده است. متغیر x طوری طراحی شده است که اگر $|x| < 1$ باشد متناظر با گلبرگ کناری آرایه می شود در حالی که بوسایت متناظر با حالتی است که $|x| > 1$ باشد. یک آرایه ی چبی شف توزیع دامنه ی مقارنی دارد.

یک ضریب آرایه با آرایه ی N عنصری و فاصله گذاری a به شرح زیر فرض کنید:

$$AF(\theta) = \sum_{-(N-1)/2}^{(N-1)/2} A_n \exp(jk_0 n a \sin \theta) \quad (15-2)$$

بدون از دست دادن کلیت موضوع می توانیم که بیم بوسایت فرض کنیم. برای یک بیم پویش شده ضریب فاز می تواند داخل عبارت نمایی جایگزین شود. برای تغذیه ی مقارن $A_n = A_{-n}$. بنابراین (15-2) به این صورت به دست می آید:

$$AF(\theta) = A_0 + 2 \sum_{n=1}^{(N-1)/2} A_n \cos(n\psi) \quad (16-2)$$

ضریب آرایه ی بالا با چند جمله ای چبی شف مرتبه ی $N-1$ نوشته می شود. بنابراین تناظر بین متغیر ضریب آرایه ψ و متغیر x باید به دست آورده شود. با بازبینی (12-2) و (16-2)، $x = \cos(\frac{\psi}{2})$ می تواند انتخاب مناسبی باشد. زیرا این نسبت ضریب آرایه عبارت (16-2) را به یک چند جمله ای مرتبه ی $N-1$ متغیر x تبدیل می کند. برای اثبات، $\psi = 2 \cos^{-1} x$ را در (16-2) جایگزین کرده و به دست می آوریم:

$$AF(x) = A_0 + 2 \sum_{n=1}^{(N-1)/2} A_n \cos(2n \cos^{-1} x) \quad (17-2)$$

طرف راست معادله ی (17-2) مجموع چند جمله ای N چبی شف با بالاترین درجه ی $N-1$ است. بنابراین مجموع چندجمله ای متغیر x از درجه ی $N-1$ است. در این جا به یک اندازه گذاری متغیر نیاز پیدا می شود، چون در بوسایت عبارت چندجمله ای چبی شف باید بزرگ تر از یک باشد. بنابراین یک متغیر جدید به نام $x' = cx$ که c یک ثابت بزرگ تر از 1 است، تعریف می شود. بنابراین داریم:

$$AF(x) = A_0 + 2 \sum_{n=1}^{(N-1)/2} A_n \cos(2n \cos^{-1} x) = BT_{N-1}(cx) \quad (18-2)$$

در (18-2) B یک ضریب ثابت است و c از SLR به دست می آید. جایگاه بیم اصلی متناظر است با $x = 1$ و ناحیه گلبرگ کناری با $|cx| < 1$ متناظر می شود. در ناحیه ی $|cx| < 1$ ، $T_{N-1}(cx)$ یک تابع کسینوسی با متغیر

حقیقی می شود. همچنین گلبرگ کناری قلّه ی یکنواختی با دامنه ی B دارد. بنابراین SLR آرایه، R به این صورت داده می شود:

$$R = \left| \frac{BT_{N-1}(c)}{B} \right| = T_{N-1}(c) = \cosh[(N-1) \cosh^{-1} c] \quad (19-2)$$

می توان عبارت بالا را برای به دست آوردن C حل کرد:

$$c = \frac{1}{2} [(R + \sqrt{R^2 - 1})^{1/(N-1)} + (R - \sqrt{R^2 - 1})^{1/(N-1)}] \quad (20-2)$$

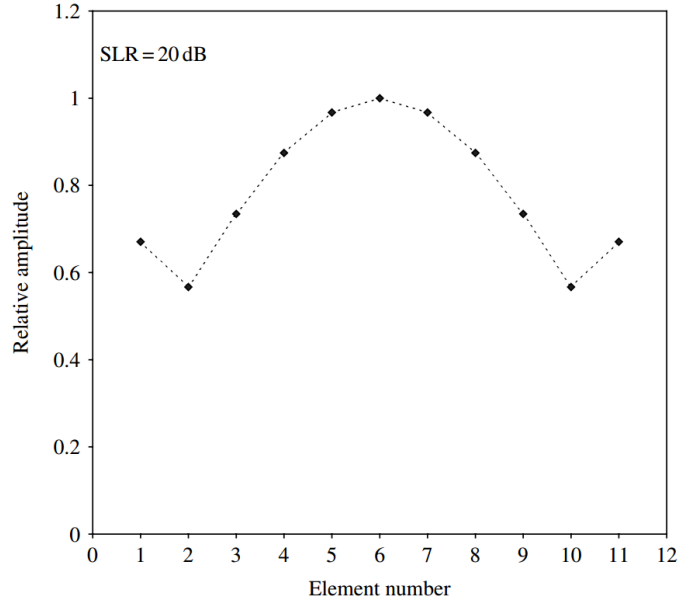
کار بعدی به دست آوردن ضریب تغذیه ی A_n است که به وسیله ی بسط چند جمله ای چبی شف در (2-18) و مقایسه کردن تک تک جملات آن به دست می آید. راه دیگر این است که از فرم اولیه ی ضریب آرایه استفاده کنیم و بعد برای آن سری فوریه بنویسیم. در آخر عبارت (2-18) را بازنویسی می کنیم:

$$\sum_{n=-(N-1)/2}^{(N-1)/2} A_n \exp(jn \psi) = BT_{N-1}\{c \cos(\psi/2)\} \quad (21-2)$$

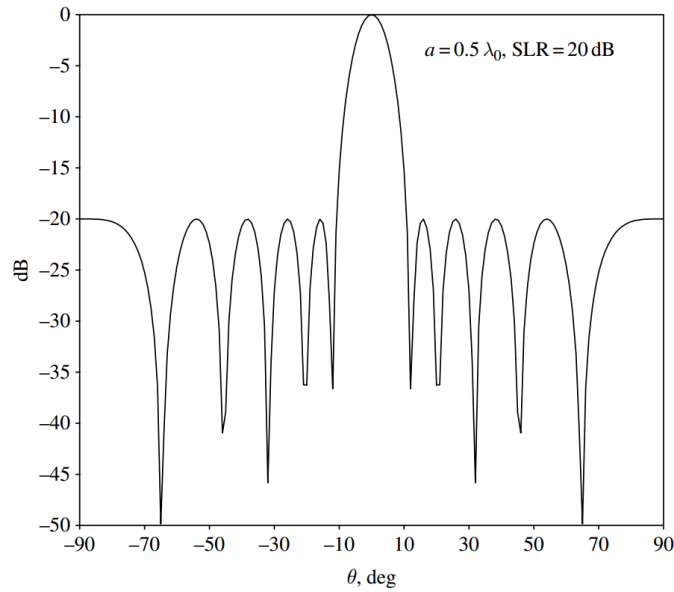
ضریب فوریه به وسیله ی انتگرال زیر به دست می آید:

$$A_m = \frac{B}{2\pi} \int_0^{2\pi} T_{N-1} \left(c \cos \frac{\psi}{2} \right) \exp(-jm\psi) d\psi \quad (22-2)$$

با مشاهده ی انتگرال (2-22) می بینیم، که این انتگرال فوریه ی معکوس الگوی آرایه را نشان می دهد. توزیع دامنه ی یک آرایه ی چبی شف ۱۱ عنصری در شکل (2-6) نشان داده شده است. SLR برای این آرایه ۲۰ dB در نظر گرفته شده است. الگوی تشعشع یک آرایه با فاصله گذاری $0.5\lambda_0$ در شکل (2-7) نشان داده شده است. همان طور که انتظار می رود گلبرگ های کناری یکنواخت قابل رویت است.



شکل (۶-۲) توزیع دامنه ی یک آرایه ی چبی شف ۱۱ عنصری [۸]



شکل (۷-۲) الگوی تشعشی یک آرایه چبی شف با $N = 11$ و $SLR = 20$ dB [۸]

۶-۲ پهنای بیم و ضریب وزن دهی آرایه

یک پهنای بیم ۳ dB یک آرایه ی چبی شف با حل کردن معادله ی زیر به دست می آید:

$$T_{N-1} \left(c \cos \frac{\psi}{2} \right) = \frac{R}{\sqrt{2}} \quad (۲۳-۲)$$

در (۲۳-۲) $\psi = K_0 a \sin \theta'$ که پهنای بیم ۳ dB است. برای $R > \sqrt{2}$ ، $\sin \theta'$ در زیر به دست می آید:

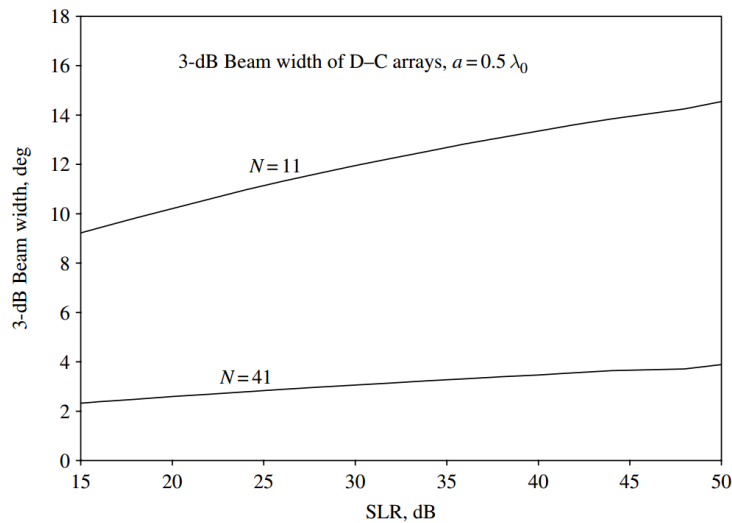
$$\sin \theta' = \frac{1}{k_0 a} 2 \cos^{-1} \left\{ \frac{1}{c} \cosh \left[\frac{\cosh^{-1}(R/\sqrt{2})}{N-1} \right] \right\} \quad (۲۴-۲)$$

با استفاده از عبارت c از (۲۰-۲)، (۲۴-۲) به صورت زیر به دست می آید:

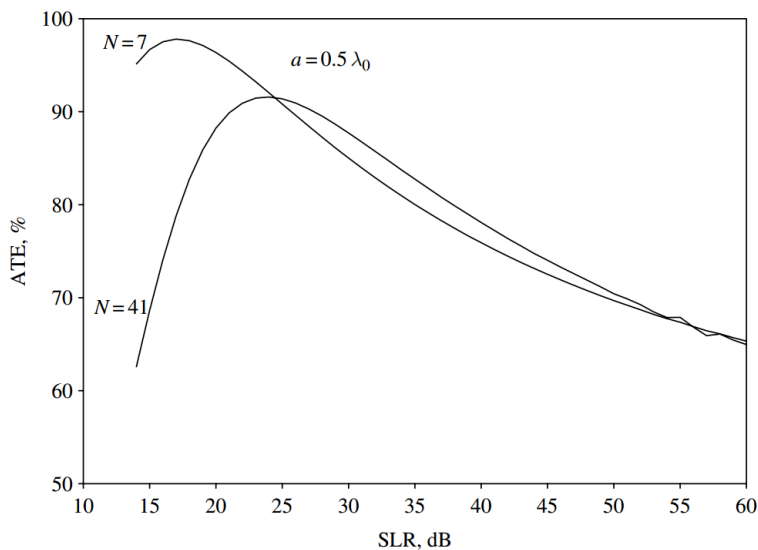
$$\sin \theta' = \frac{2}{k_0 a} \cos^{-1} \left[\frac{2^{-1/(2(N-1))} \{R + \sqrt{R^2 - 2}\}^{1/(N-1)} + \{R - \sqrt{R^2 - 2}\}^{1/(N-1)}}{\{R + \sqrt{R^2 - 1}\}^{1/(N-1)} + \{R - \sqrt{R^2 - 1}\}^{1/(N-1)}} \right] \quad (۲۵-۲)$$

از (۲۵-۲) می توان فهمید که عبارت داخل براکت با افزایش R کاهش می یابد. بنابراین کل عبارت افزایش می یابد که همان پهنای بیم با SLR است.

این اثر برای دو آرایه در شکل (۸-۲) نشان داده شده است. ATE بر حسب SLR برای دو آرایه $N = 11$ و $N = 41$ در شکل (۹-۲) رسم شده است. همان طور که مشخص است در ابتدا ATE افزایش می یابد، به قله می رسد و بعد به طور یکنواخت با SLR کاهش می یابد. ATE در دو SLR مختلف برای دو آرایه دارای قله است. برای $N = 11$ ، ATE در SLR کوچک تری از $N = 41$ به قله می رسد. این تاثیر را می توان به این روش توضیح داد که ATE به دو ضریب بستگی دارد. یکی توان در گلبگ اصلی و دیگری پهنای بیم است. توان گلبگ اصلی با افزایش SLR افزایش پیدا می کند. این دو ضریب اثر معکوس بر روی ATE دارند. توان گلبگ اصلی در محدوده ی پایین تری از SLR، با سرعت بیش تری با SLR افزایش پیدا می کند. بنابراین در این محدوده، توان گلبگ اصلی تقریباً اشباع می شود. بنابراین ATE بیش تر با پهنای بیم تصمیم گیری می شود. از آن جایی که پهنای بیم با SLR افزایش پیدا می کند و ATE کاهش پیدا می کند. بنابراین توان در گلبگ های کناری برای N های کوچک تر نسبت به N های بزرگ تر، کمتر است. بنابراین برای به دست آوردن آرایه های کوچک تر، توان گلبگ اصلی ATE را با بازه ی محدودی از SLR با دلالت بر این که قله ی ATE در SLR کوچک تری اتفاق می افتد، کنترل کرد.



شکل (۸-۲) آرایه های چبی شف نشان می دهد که SLR بزرگ تر متناظر است با بیم پهن تر [۸]



شکل (۹-۲) ضریب وزن دهی آرایه بر حسب SLR برای دو آرایه ی چبی شف [۸]

۷-۲ سنتز تیلور

برای یک منبع به طول L تابع توزیع منبع $f(x)$ ، الگوی تشعشی به صورت زیر است:

$$F(\theta) = C \int_{-l/2}^{l/2} f(x) \exp(jk_0 x \sin \theta) dx \quad (۲۶-۲)$$

در (۲۶-۲) C ثابت است. انتگرال (۱-۲۵) می تواند با تعریف دو متغیر p و u که به x و $\sin \theta$ مرتبط هستند بیان شود:

$$p = \frac{2\pi x}{l} \quad u = \frac{k_0 l \sin \theta}{2\pi} \quad (۲۷-۲)$$

تابع الگوی تشعشع که تابعی از u است به این صورت تعریف می شود:

$$F(u) = B \int_{-\pi}^{\pi} g(p) \exp(jpu) dp \quad (۲۸-۲)$$

با $B = \frac{Cl}{2\pi}$ و $g(p) = f\left(\frac{pl}{2\pi}\right)$. این تعریف برای سنتز منبع پیوسته بسیار مناسب است.

۲-۸ الگوی چبی شف برای منبع پیوسته

سنتز تیلور تکامل یافته ی سنتز چبی شف است. دیدیم که ضریب آرایه ی چبی شف برای یک آرایه ی N عنصری با یک چند جمله ای چبی شف $N-1$ مرتبه ای تعریف می شود. ضریب آرایه چبی شف به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$F(\psi) = T_{N-1} \left(c \cos \frac{\psi}{2} \right) \quad (۲۹-۲)$$

که در آن $\psi = K \cdot \sin \theta$ است. SLR مساوی است با $T_{N-1}(c)$. یک پارامتر A به صورت مقابل تعریف می شود. $T_{N-1}(c) = \cosh(\pi A)$ به این نتیجه می رسیم که:

$$c = \cosh \left(\frac{\pi A}{N-1} \right) \approx \cosh \left(\frac{\pi A}{N} \right) \quad (۳۰-۲)$$

فرض می کنیم N بسیار بزرگ است، در نتیجه با استفاده از (۲-۳۰) در (۲-۲۹) ضریب آرایه را به صورت تابعی از u به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$F(u) = T_{N-1} \left\{ \cosh \left(\frac{\pi A}{N} \right) \cos \left(\frac{\pi u}{N} \right) \right\} = \cos \left[(N-1) \cos^{-1} \left\{ \cosh \left(\frac{\pi A}{N} \right) \cos \left(\frac{\pi u}{N} \right) \right\} \right] \quad (۳۱-۲)$$

حال تابع داخل براکت دوم در سری تیلور را گسترش می دهیم. با میل دادن N به سوی بی نهایت، محاسبه می شود که:

$$F(u) = \cos(\pi\sqrt{u^2 - A^2}) \quad |u| > A \quad (32-2)$$

برای $|u| < A$ ، $F(u)$ می شود:

$$F(u) = \cosh(\pi\sqrt{A^2 - u^2}) \quad |u| < A \quad (33-2)$$

۹-۲ توزیع منبع

توزیع یک منبع پیوسته با گرفتن معکوس تبدیل فوریه از الگوی میدان در $F(u)$ به دست می آید. از (۲۸-۲) توزیع منبع $g(p)$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$g(p) = \frac{1}{2\pi B} \int_{-\infty}^{\infty} F(u) \exp(-jpu) du \quad (34-2)$$

باید بدانیم که $g(p)$ تنها در بازه p از $-\pi$ تا π وجود دارد. با استفاده از نظریه ی نمونه برداری و صرف نظر از ضریب $\frac{1}{2\pi B}$ ، به دست می آوریم:

$$g(p) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(n) \exp(-jnp) \quad (35-2)$$

توزیع منبع بیان شده در (۳۵-۲) برای هر توزیع منبع محدود که الگوی تشعشع مانند $F(u)$ دارد قابل استفاده است، برای یک الگوی تشعشع متقارن $F(n) = F(-n)$. بنابراین طرف راست (۳۵-۲) به صورت زیر ساده می شود:

$$g(p) = F(0) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} F(n) \cos(np) \quad (36-2)$$

در شرایطی که الگوی چبی شف در (۳۱-۲) باشد، توزیع منبع پیوسته می شود:

$$g(p) = \cosh(\pi A) + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \cos(\pi\sqrt{n^2 - A^2}) \cos(np) \quad (37-2)$$

سری های نامحدود در (۳۷-۲) نوسانی و بنابراین غیرهمگرا هستند. این بیان می دارد که یک الگوی چبی شف نمی تواند با توزیع منبع پیوسته به دست آید. این همچنین می تواند از نظریه ی پارسوال به دست آید.

با توجه به نظریه نسبت باید نوشت:

$$B^2 \int_{-\pi}^{\pi} g^2(p) dp = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |F(u)|^2 du \quad (38-2)$$

برای $F(u) = \cos(\pi\sqrt{u^2 - A^2})$ ، طرف راست (2-36) یک انتگرال جدایی ناپذیر است. برای برآورده شدن (2-38) $g(p)$ باید حداقل در چند عدد محدود از بازه $-\pi < p < \pi$ بدون مرز باشد که این با اصل توزیع منبع پیوسته محدود در تناقض است. از طرف دیگر، یک آرایه ی محدود با تعداد عنصر گسسته (2-38) را برآورده می کند. زیرا یک تابع دلتای دیراک که نامحدود است، نشان می شود. بنابراین در عمل، یک الگوی چبی شف تنها با یک الگوی آرایه ی گسسته قابل نمایش است. در واقعیت هر چند که یک منبع گسسته (یک منبع دلتای دیراک) با یک آرایه که طول محدود دارد جای گذاری می شود، زیرا یک منبع دلتای دیراک هیچ گاه نمی تواند به دلیل امیدانس ورودی نامحدودش جای گذاری شود.

2-10 منبع تیلور

همان طور که بیان شد، الگوی چبی شف تابع $f(u)$ با یک منبع پیوسته و مرزی قابل تحقق نیست، زیرا انتگرال طرف راست (2-38) غیر همگرا است. برای برآورده کردن معیار همگرایی، الگوی آرایه ی چبی شف تغییر داده شد. بنابراین یک تابع الگوی جدید طرح شد که بسیار مشابه الگوی چبی شف مقیاس گذاری شده در بورسایت و نزدیک گلبرگ کناری است که مشابه تابع $\frac{\sin(\pi u)}{\pi u}$ در ناحیه ی بیرونی که شامل ناحیه ی مرئی است، می شود. برای پیاده سازی این ایده، چند صفر ابتدایی را از صفر الگوی آرایه ی چبی شف بر می داریم و صفرهای باقی مانده، از صفرهای تابع $\frac{\sin(\pi u)}{\pi u}$ استفاده می کنیم. برای به دست آوردن یک انتقال مناسب بین دو مجموعه از صفرها، دو پارامتر σ و \bar{n} تعریف شد. σ ضریب مقیاس برای الگوی چبی شف مقیاس گذاری شده و \bar{n} تعداد گلبرگ های مساوی کناری است. تابع الگوی چبی شف مقیاس گذاری شده که استفاده شده به صورت زیر است:

$$F_1(u) = \cos \left[\pi \sqrt{\left(\frac{u}{\sigma}\right)^2 - A^2} \right] \quad (39-2)$$

در این صورت صفرها بدین صورت می شوند:

$$u_n = \sigma \sqrt{\frac{(2n-1)^2}{4} + A^2} \quad n = 1, 2, \dots, \bar{n} \quad (40-2)$$

صفرهای باقی مانده، صفرهای تابع $\frac{\sin(\pi u)}{\pi u}$ هستند. بنابراین:

$$u_n = n \quad n > \bar{n} \quad (41-2)$$

فرض شود که $u_{\bar{n}} = \bar{n}$ است. برای داشتن فاصله گذاری صفرها در حالت معمول، رابطه ی زیر را می نویسیم:

$$\sigma = \frac{\bar{n}}{\sqrt{A^2 + (\bar{n} - 1/2)^2}} \quad (42-2)$$

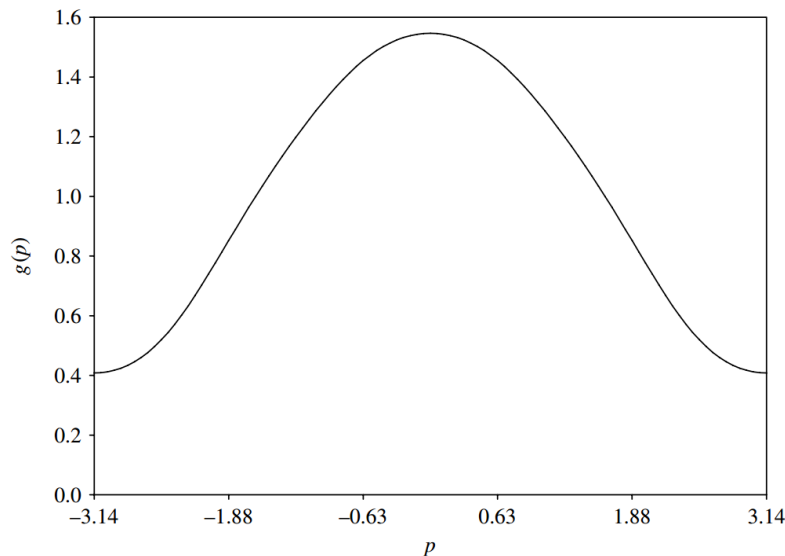
با این صفرها، تابع الگوی یک آرایه ی متقارن می شود:

$$F(u) = \prod_{n=1}^{\bar{n}-1} \left(1 - \frac{u^2}{u_n^2}\right) \prod_{n=\bar{n}}^{\infty} \left(1 - \frac{u^2}{n^2}\right) \quad (43-2)$$

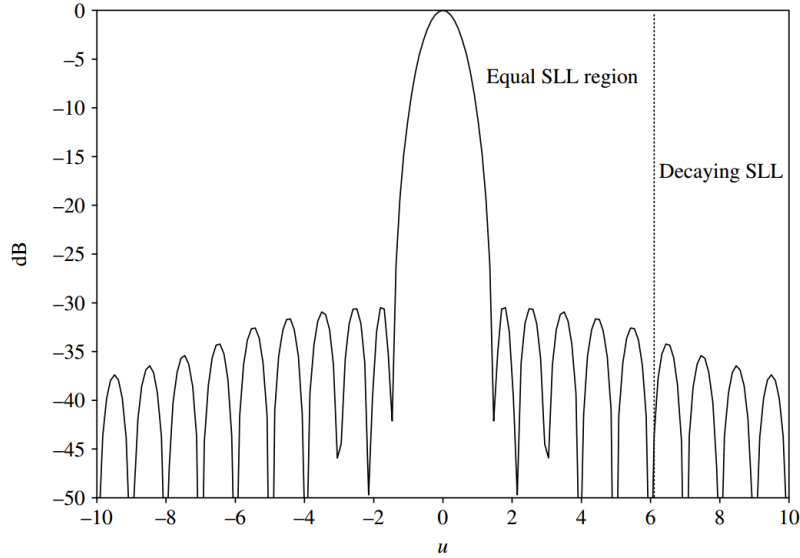
در نتیجه داریم:

$$F(u) = \frac{\sin(\pi u)}{\pi u} \prod_{n=1}^{\bar{n}-1} \frac{1 - u^2/u_n^2}{1 - u^2/n^2} \quad (44-2)$$

شکل (۱۰-۲) توزیع منبع تیلور برای $\bar{n} = 6$ و $SLR = 30$ dB رسم شده است. شکل (۱۱-۲) الگوی تشعشی تیلور متناظر توزیع منبع شکل (۱۰-۲) را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود پنج گلبرگ کناری اول تقریباً ارتفاع یکسانی دارند، زیرا در این ناحیه الگو با الگوی تابع چبی شف بیان شده است. تاثیر تابع $\frac{\sin(\pi u)}{\pi u}$ باعث می شود که یکنواختی دقیق مهتر شود. SLR همان طور که مطلوب است بسیار به ۳۰ نزدیک است.



شکل (۱۰-۲) توزیع منبع تیلور با $\bar{n} = 6$ و $SLR = 30$ dB [۸]



شکل (۱۱-۲) الگوی تیلور با $\bar{n} = 6$ و $SLR = 30$ dB [۸]

۱۱-۲ پهنای بیم و ضریب روزنه

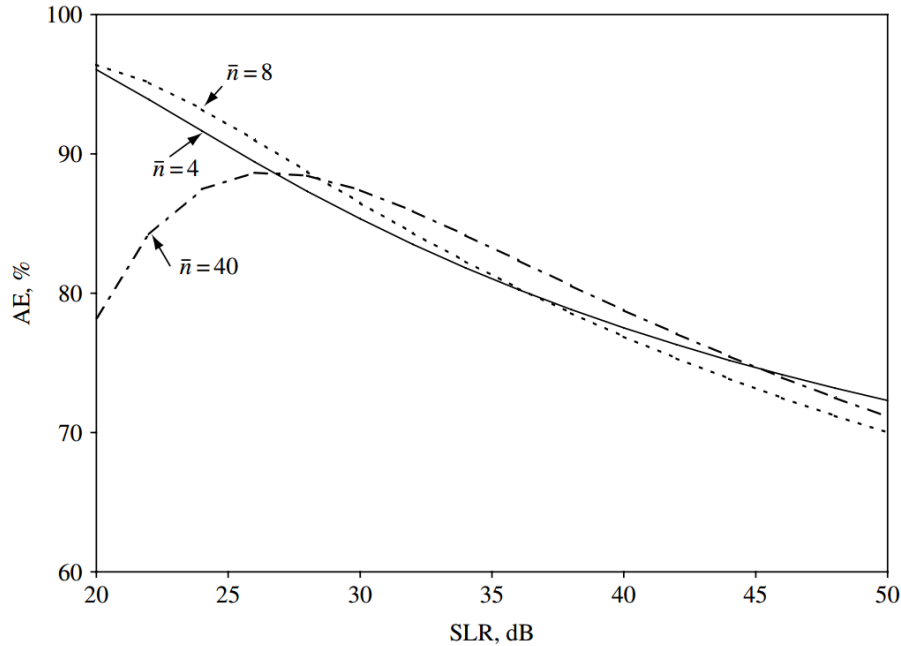
مشاهده شد که ناحیه ی گلبرگ اصلی با الگوی چبی شف کنترل شده است. بنابراین پهنای بیم الگوی تیلور تقریباً ۶ برابر پهنای بیم آرایه چبی شف با طول مشخص و SLR. به صورت عددی به دست آمده است که اندازه از $1/13$ تا $1/3$ برای \bar{n} متغیر از ۲ تا ۱۰ متغیر است و SLR از ۲۰ تا ۳۰ دی بی تغییر می کند. این نشان می دهد که الگوی تیلور ۱۳-۳٪ پهن تر از الگوی چبی شف با اندازه و SLR قابل مقایسه است. برای مثال یک الگوی تیلور با SLR 25 dB با $\bar{n} = 6$ تقریباً ۷٪ پهن تر از الگوی چبی شف با SLR قابل مقایسه است. هر چه اندازه \bar{n} بیش تر باشد، پهنای بیم ها به هم نزدیک تر هستند.

با در نظر گرفتن تعریف ATE یک الگوی گسسته، ضریب روزنه^۱ (AE) یک منبع پیوسته به این صورت تعریف می شود:

$$AE = \frac{[\int_{-\pi}^{\pi} g(p) dp]^2}{2\pi \int_{-\pi}^{\pi} g^2(p) dp} = \frac{1}{1 + 2 \sum_{n=1}^{\bar{n}-1} F^2(n)} \quad (۴۵-۲)$$

در شکل (۱۲-۲) AE بر حسب SLR و $\bar{n} = 4,8,40$ رسم شده است. AE به صورت یکنواخت با SLR برای \bar{n} های کوچک کاهش می یابد. هر چند که برای مقادیر بزرگ \bar{n} ضریب روزنه یکنواخت نیست [۸-۱۱]

^۱Aperture Efficiency



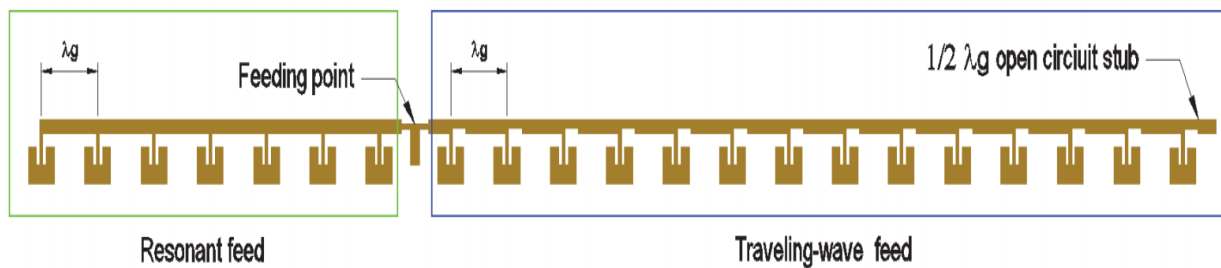
شکل (۲-۱۲) بازده روزنه ای با توجه به SLR که از رابطه تیلور به ازای \bar{n} به عنوان یک پارامتر حاصل می شود [۸]

۲-۱۲ مروری بر کارهای گذشته

در این جا به بررسی کارهایی که در گذشته در زمینه ی کاربردهای راداری آنتن های میکرواستریپ و ویژگی هایی نظیر گین بالا، سطح گلبرگ جانبی پایین و ... حاصل شد، می پردازیم.

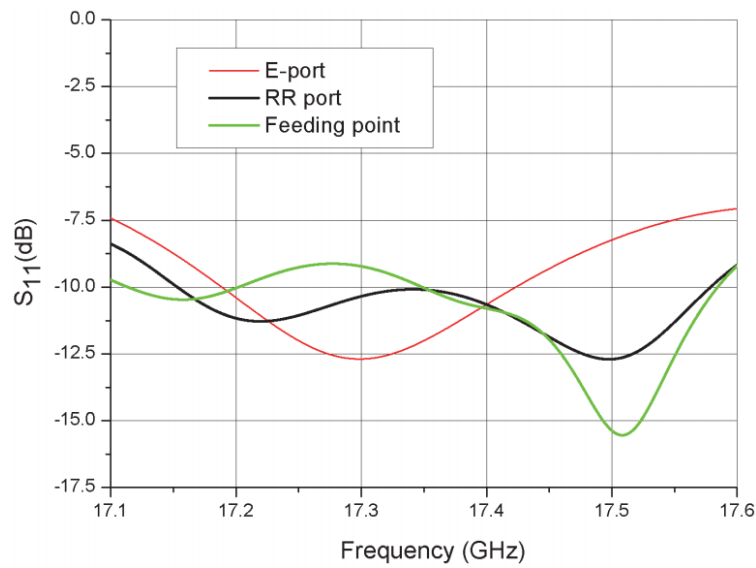
در [۱۲] ساختار یک آنتن آرایه ی میکرواستریپ شامل ۴۲۰ پیچ با گین بالا و SLL پایین برای رادار FMCW در باند Ku بررسی شد. پهنای بیم نصف توان در این آرایه در صفحات E و H به ترتیب ۱۰ و ۲ درجه است. سطح گلبرگ جانبی بهتر از ۲۰ dB و گین آنتن حدود ۳۰ dB شد و پهنای باند بین ۱۷/۳۵ تا ۱۷/۶ گیگاهرتز معادل ۱ درصد پهنای باند می باشد و از شیوه ی تغذیه ی سری برای تغذیه ی آنتن ها استفاده شد.

با توجه به شکل (۲-۱۳) در این ساختار برای کاهش سطح گلبرگ جانبی از ساختار لیکتی ویو برای ایجاد توزیع غیر یکسان در دامنه استفاده شده است تا به سطح پایینی از سطح گلبرگ جانبی برسند.

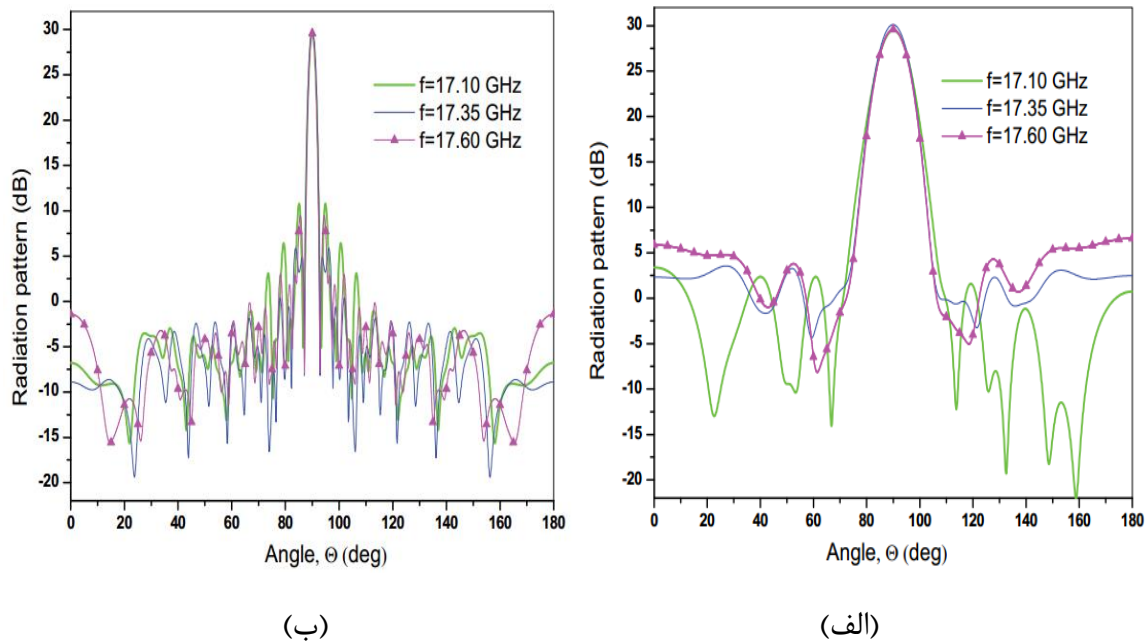


شکل (۲-۱۳) سمت راست زیرآرایه ی صفحه ی H با دو نوع تغذیه ی سری به صورت رزونانسی و لیکتی ویو [۱۲]

در شکل (۲-۱۴) و شکل (۲-۱۵) نمودار تلفات بازگشتی و پترن تشعشی آنتن در صفحات مختلف نشان داده شده است.

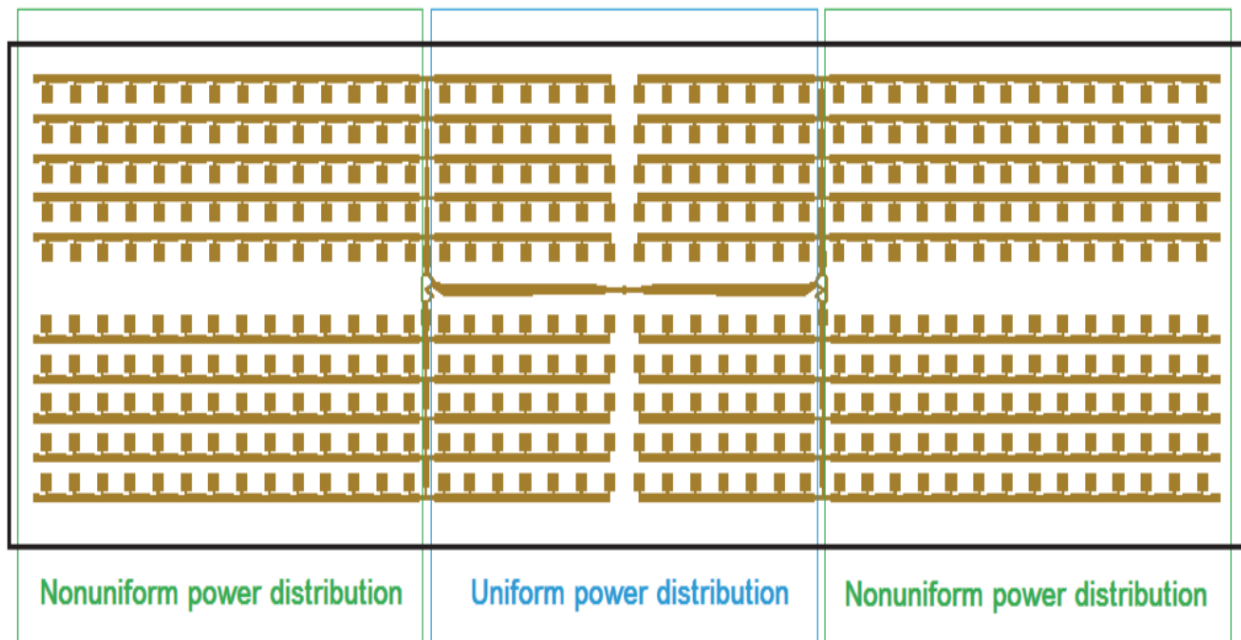


شکل (۲-۱۴) تلفات بازگشتی در نقاط مختلف ساختار آرایه [۱۲]



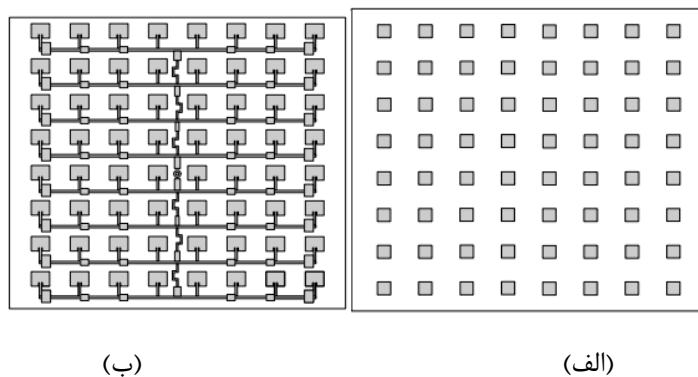
شکل (۲-۱۵) پترن تشعشی آنتن در (الف) صفحه ی E (ب) صفحه ی H [۱۲]

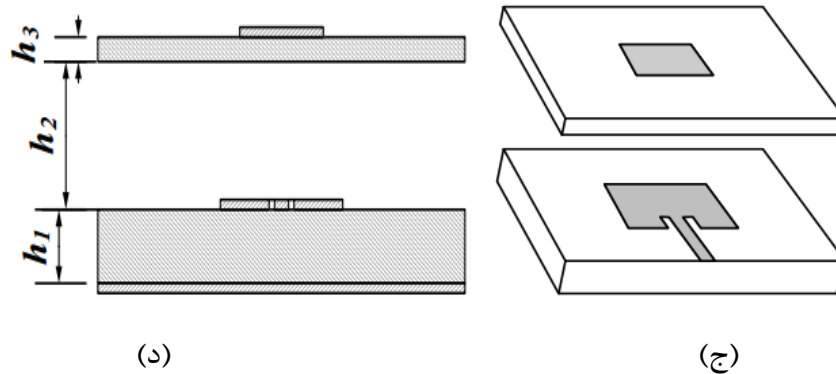
در شکل (۲-۱۶) ساختار کلی آنتن نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۶) ساختار کلی آرایه با ۴۲۰ عنصر پیچ [۱۲]

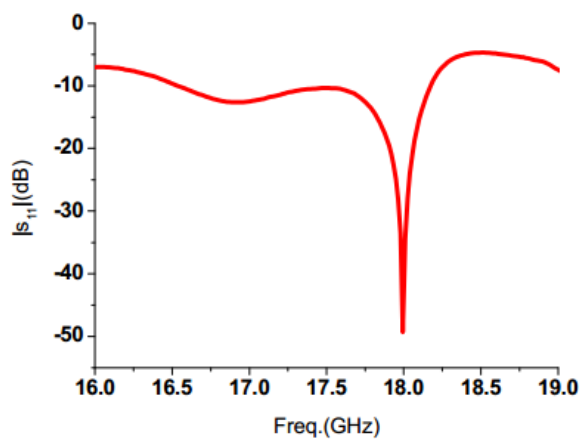
در [۱۳] ساختار یک آنتن آرایه ی میکرواستریپ با گین بالا و SLL کم مورد ملاحظه قرار گرفته است. در این ساختار، برای افزایش پهنای باند، در بالای پیچ اصلی یک پیچ پارازیتیک هم قرار گرفته است. این آنتن از ۶۴ عنصر به صورت آرایه ی 8×8 تشکیل شده است. برای ایجاد سطح گلبزرگ جانبی پایین در صفحه H از توزیع چبی شف برای توزیع دامنه استفاده شده است. این آرایه در باند Ku و با فرکانس مرکزی $17/5$ گیگاهرتز و پهنای باند $9/3\%$ کار می کند. گین آنتن در حدود 20 dB و SLL هم همچنین در حدود 20 dB است. در شکل (۲-۱۷) ساختار آرایه نشان داده است.



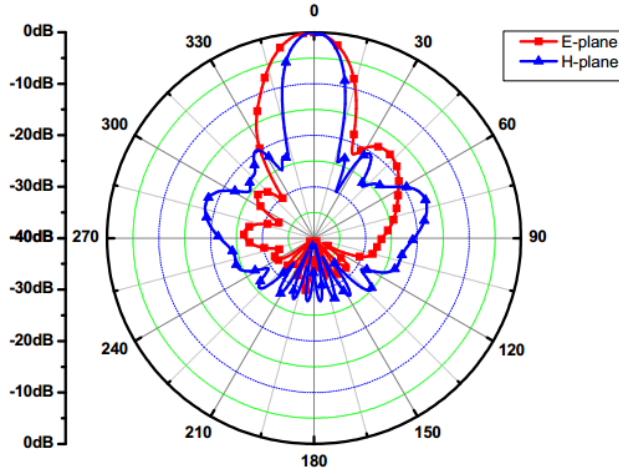


شکل (۲-۱۷) ساختار آنتن در نماهای مختلف (الف) لایه ی بالایی آرایه (ب) لایه ی زیرین آرایه (ج) نمای جانبی تک عنصر (د) نمای کناری تک عنصر [۱۳]

پهنای باند نیم توان این ساختار در صفحات مختلف و به ترتیب ۲۰٫۲ و ۲۰٫۱ درجه می باشد. در شکل (۲-۱۸) و شکل (۲-۱۹) نمودار تلفات بازگشتی و پترن تشعشعی آنتن رسم شده است. از این آنتن می توان در رادارهایی که به شناسایی محیط می پردازند و از برخورد جلوگیری می کنند، استفاده نمود.

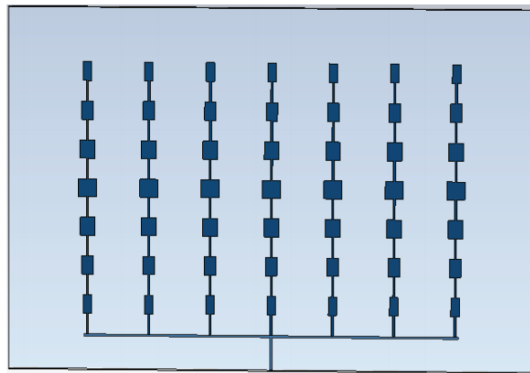


شکل (۲-۱۸) نمودار تلفات بازگشتی آرایه ی ۶۴ عنصری [۱۳]



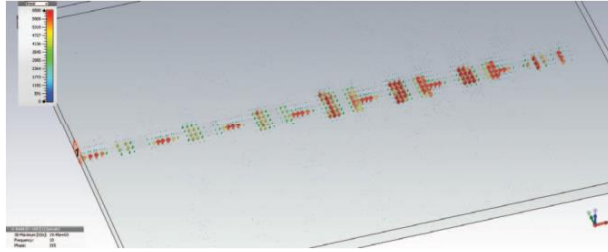
شکل (۲-۱۹) پترن تشعشعی آنتن آرایه ای ۶۴ عنصری در فرکانس ۱۷٫۵ گیگاهرتز [۱۳]

در [۱۴] یک آنتن آرایه ای با سطح گلبزرگ جانبی پایین، گین بالا و پهناى بیم نصف توان بهینه شده مورد بررسی قرار گرفته است. این آنتن با SLL در حدود -27 dB و گین بالا در فرکانس ۱۰ گیگاهرتز طراحی شده است. با توجه به شکل (۲-۲۰) برای رسیدن به SLL پایین در ساختار آرایه، از پیچ هایی با ابعاد متفاوت برای ایجاد tapering استفاده شده است. ساختار آنتن به صورت 7×7 معادل ۴۹ عنصر به آرایه تبدیل شده است.



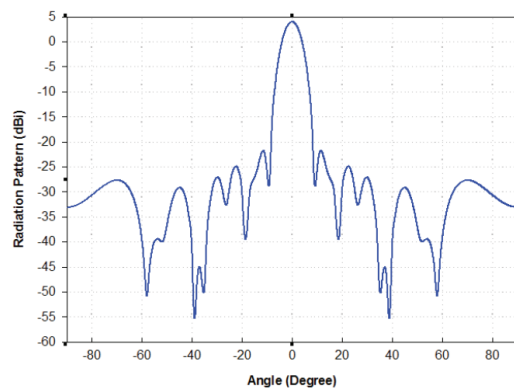
شکل (۲-۲۰) ساختار آرایه 7×7 با پیچ هایی با ابعاد متفاوت برای رسیدن به SLL مورد نظر [۱۴]

با توجه به شکل (۲-۲۱) همان طور که انتظار می رفت با قرار دادن پیچ هایی با ابعاد متفاوت، به پیچ های مرکزی، میزان توان و جریان بیش تری رسیده است و هر چه به سمت ابتدا و انتهای آرایه برویم میزان توان، کم تر و همین موجب ایجاد SLL مناسب خواهد شد.



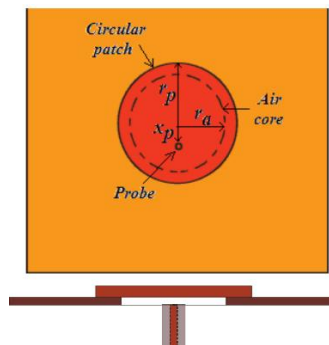
شکل (۲۱-۲) میدان الکتریکی آرایه 7×1 تغذیه ی به صورت سری [۱۴]

این ساختار البته پهنای باند امیدانسی کمی نیز دارد. در شکل (۲۲-۲) پترن تشعشی آرایه ی 7×7 نشان داده شده است.

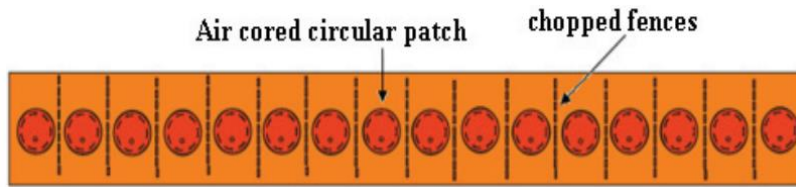


شکل (۲۲-۲) پترن تشعشی آنتن آرایه ی 7×7 با پیچ هایی با ابعاد متفاوت [۱۴]

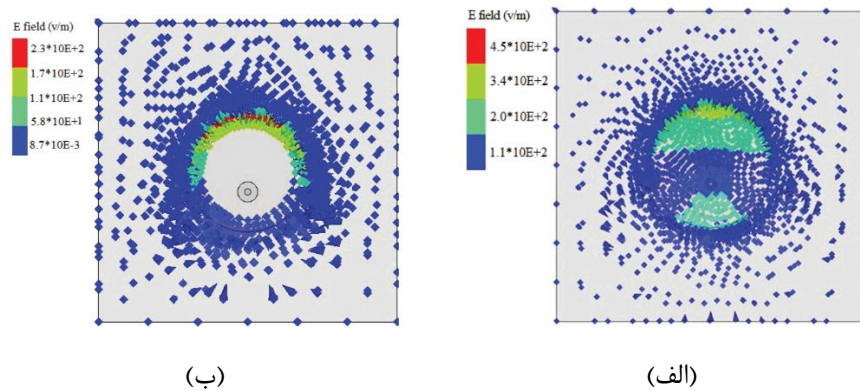
در [۱۵] کاهش سطح گلببرگ جانبی برای آنتن های میکرو استریپ مورد بحث و بررسی قرار گرفت. برای کاهش جریان های سطحی، از حفره های هوا درون زیرلایه و در زیر هر پیچ قرار دارد و برای کاهش تزویج متقابل بین عناصر از فنس های باریکی بین عناصر استفاده شد. یک آرایه با ۱۶ عنصر آنتن پیچ دایروی توسط کابل کوکسیال تغذیه شده است که از توزیع چپی شف در تغذیه عناصر استفاده شده است. مشاهده شده است که استفاده از حفره و هسته های هوایی و فنس های باریک، SLL را به ترتیب 4.2 dB و 1.2 dB بهبود بخشیده است.



شکل (۲۳-۲) آنتن پیچ دایروی با حفره ی هوا و تغذیه شده توسط کابل کوکسیال [۱۵]

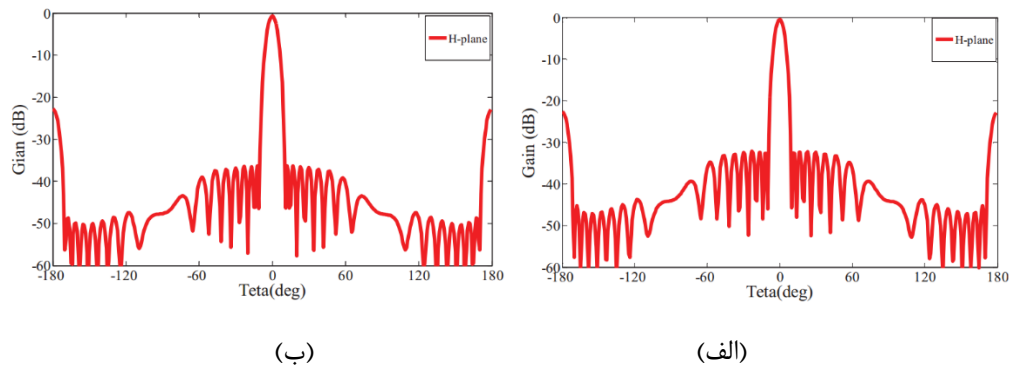


شکل (۲-۲۴) آرایه H-plane آنتن پچ دایروی با حفره های هوا و فنس های ریز، تغذیه شده توسط کابل کوکسیال [۱۵]



شکل (۲-۲۵) توزیع میدان اطراف پچ (الف) بدون حفره هوا (ب) با حفره هوا در زیر پچ [۱۵]

در شکل (۲-۲۶) پترن تشعشی آرایه ی ۱۶ عنصری پچ دایروی در حالی که حفره های هوا وجود دارند و حالتی که بدون حفره های هوا هستند، رسم و میزان SLL مقایسه شده است و مشاهده می شود که سطح گلبرگ جانبی حدود ۴ dB بهبود داشته است.



شکل (۲-۲۶) پترن تشعشی صفحه H آنتن آرایه ی ۱۶ عنصری (الف) بدون حفره ی هوا (ب) همراه با حفره ی هوا [۱۵]

فصل سوم:

رأدار و کاربردهای آن

۳-۱ مقدمه

رادارها و به تبع آن، بخش آنتن رادار همواره یکی از مهمترین بخش های تجهیزات دفاعی کشور به شمار می رود، زیرا این امکان را به ما می دهد که بتوانیم تهدیدات را رصد کنیم. امروزه برای کاربردهای راداری، طراحی آنتن هایی با بهره ی بالا، پهنای باند مطلوب، سطح سایه لوب جانبی پایین، عرض پرتوی نیم توان باریک و... امری ضروری به شمار می رود. آنتن های میکرواستریپ با داشتن ویژگی هایی همچون سطح مقطع راداری کم، سبک بودن، هزینه کمتر، شکل پذیر بودن و قابلیت انعطاف بالا، جایگاه ویژه ای در کاربردهای راداری دارند [۱۶].

امروزه بسیاری از کاربردهای سیستم های مخابراتی کارآمد و قابل اطمینان در باندهای فرکانسی بالا و باندهای فرکانسی میلیمتری و زیرمیلیمتری مانند باند فرکانسی Ku هستند. در این رنج فرکانسی، نسبت ابعاد فیزیکی آنتن و وزن برای بردهای متوسط و کوتاه بسیار ایده آل است. رادارها در این باند دارای دقت و وضوح بالایی هستند و همچنین سرعت جستجو، کشف و رهگیری بالایی دارند. این باند به شکل گسترده ای بر روی جنگنده ها، پدافند و ... برای هدایت موشک (رادار درگیری) استفاده می شوند (اکثر رادارها که موشکی را هدایت می کنند، از باند فرکانسی Ku و X استفاده می کنند، با این تفاوت که در شرایط یکسان، یعنی گین و توان یکسان، باند Ku دارای برد کمتر نسبت به باند X می باشد ولی دقیق تر است)



شکل (۳-۱) انواع رادارها در بازه های فرکانسی مختلف

۳-۲ انواع رادار



شکل (۳-۲) آنتن رادار

دسته‌بندی انواع رادارها را می‌توان بر اساس سخت‌افزار، تکنیک‌های پردازش سیگنال، نوع کارکرد، فرکانس کاری و... انجام داد.

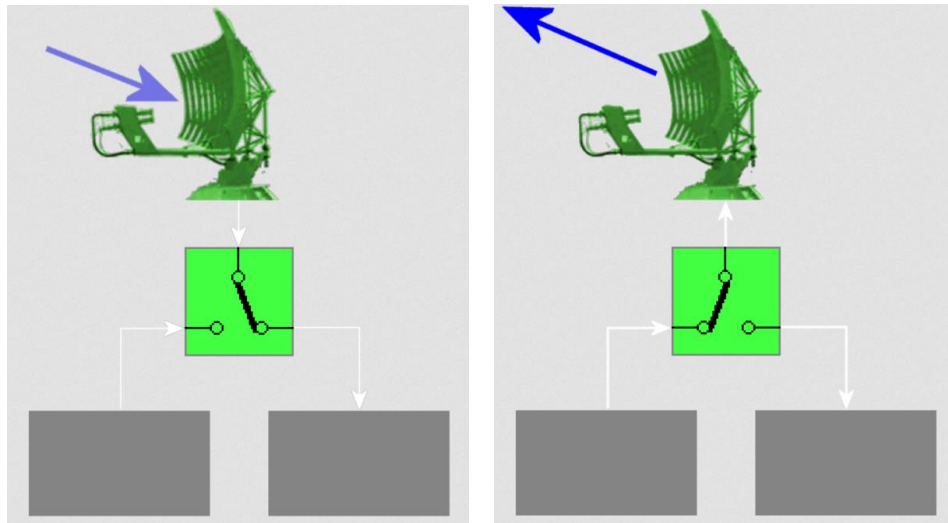
۳-۲-۱ رادارهای مونواستاتیک^۱

رادارهایی که فرستنده و گیرنده‌ی آنها در یک نقطه واقع است را مونواستاتیک می‌نامند. در واقع فاصله‌ی بین گیرنده و فرستنده در این رادارها بسیار کوچکتر از فاصله نقطه‌ی استقرار رادار نسبت به هدف است، بنابراین فرستنده و گیرنده یک فضای یکسان را پوشش می‌دهند. در اغلب موارد فرستنده و گیرنده‌ی رادار مونواستاتیک در یک سامانه تعبیه شده و از یک آنتن استفاده می‌کنند. جداسازی دو مود کاری گیرندگی و فرستندگی در این رادارهایی که از یک آنتن گیرنده فرستنده استفاده می‌کنند، توسط واحدی به نام سلول فرستنده/گیرنده^۲ یا داپلکسر^۳ صورت می‌گیرد. این سلول وظیفه دارد در حالت فرستندگی ورودی گیرنده را بلوکه کند. در این رادارها به کمک اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت سیگنال و ضرب آن در سرعت حرکت موج (سرعت نور) فاصله هدف استخراج می‌شود. همچنین سرعت هدف را می‌توان به کمک خاصیت شیفت داپلر فرکانس بازتاب هدف متحرک تشخیص داد.

^۱Monostatic Radars

^۲T/R cell

^۳Duplexer



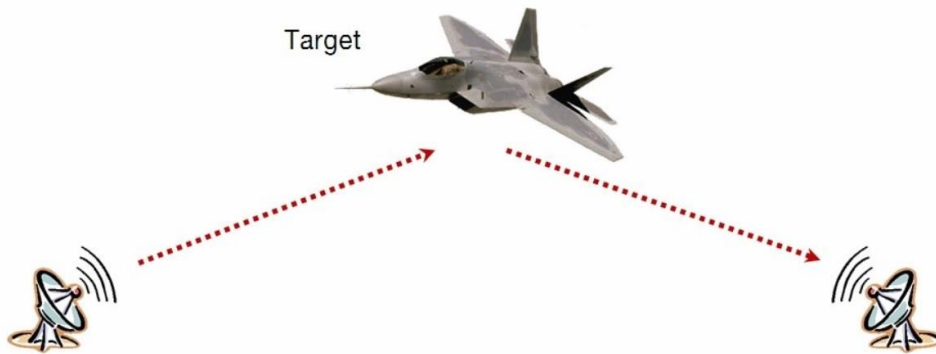
(ب)

(الف)

شکل (۳-۳) رادار مونواستاتیک و تغییر بین دو حالت (الف) فرستندگی (ب) گیرندگی

۲-۲-۳ رادارهای بایاستاتیک^۱

در این نوع رادارها آنتن گیرنده و فرستنده در فاصله‌ای دور از یکدیگر قرار دارند.



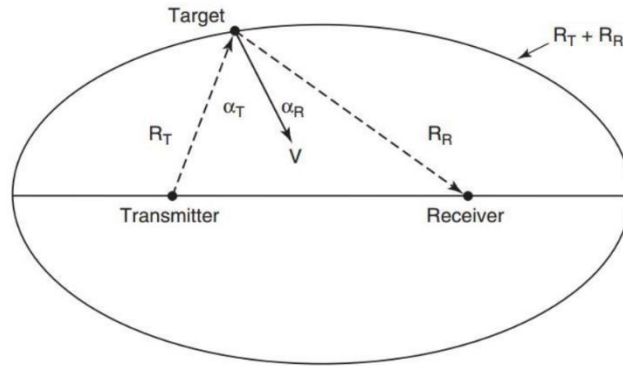
شکل (۴-۳) رادار بایاستاتیک

این امر سبب جلوگیری از تداخل مد فرستندگی/گیرندگی می‌شود و علاوه بر این سبب کاهش آسیب‌پذیری سامانه در برابر حملات هوایی می‌شود، چرا که می‌توان چندین آنتن گیرنده‌ی پسیو را با یک فرستنده به کار گرفت. از این نوع رادار جهت رهگیری جنگنده‌هایی که با شکل بدنه از دید رادار پنهان می‌شوند، کاربرد دارد. در این نوع رادارها سیگنال پس از طی فاصله‌ی R_T به هدف رسیده و بازتاب آن با طی فاصله‌ی R_R به گیرنده می‌رسد. لذا مجموع این فاصله را می‌توانیم به کمک فرمول زیر بیابیم:

^۱Bistatic Radars

$$R_T + R_R = ct$$

(۱-۳)



شکل (۳-۵) فاصله ی گیرنده و فرستنده تا هدف

مقدار شیفت داپلر از طریق فرمول زیر استخراج می شود:

$$f_D = \frac{V(\cos a_T + \cos a_R)}{l} \quad (۲-۳)$$

۳-۲-۳ رادارهای پالس

رادار پالسی راداری است که ابتدا یک پالس ارسال می کند و سپس منتظر رسیدن بازتاب از اهداف می ماند. این امر مانع از تداخل بین گیرندگی و فرستندگی می شود و امکان استفاده از یک آنتن واحد به عنوان گیرنده و فرستنده را فراهم می آورد. با اندازه گیری زمان بین ارسال و دریافت می توان برد هدف را بدست آورد. (در رادارهای مونواستاتیک) از آنجا که رادارهای مونواستاتیک نمی توانند همزمان به ارسال و دریافت امواج مبادرت ورزند دارای برد کور هستند که از طریق فرمول زیر قابل محاسبه است:

$$R_M = \frac{ct}{2} \quad (۳-۳)$$

به عبارت دیگر رادار زمانی در مد گیرندگی قرار دارد که انتهای پالس ارسالی از آنتن خارج شده باشد.

حال اگر یک رادار پالسی از خاصیت شیفت داپلر جهت استخراج سرعت هدف استفاده کند، به آن رادار پالس داپلری می گوییم.

۳-۲-۴ رادارهای موج پیوسته CW

یک شکل موج پیوسته نوعی موج الکترومغناطیسی است که دامنه و فرکانس آن ثابت است و در تحلیل ریاضی و در تئوری از نظر زمان بی نهایت است. همچنین در ارسال رادیویی، موج پیوسته به نام موج پایدار شناخته می شود تا بتوان آن را از موج میرا متمایز کرد. این نوع رادار دائما به ارسال و دریافت امواج مبادرت می ورزند. سرعت هدف در این نوع رادارها از طریق سنجش شیفت داپلر استخراج می شود به طوری که فرکانس سیگنال دریافتی با فرکانس سیگنال ارسالی متفاوت است.

مزیت اصلی رادارهای موج پیوسته، فقدان هرگونه پالس است. بنابراین هیچ برد کمینه یا بیشینه ای هم ندارند (گرچه قدرت انتشار، محدودیت خاصی در برد بیشینه ایجاد می کند) و بیشترین قدرت امواج روی هدف متمرکز می شود. این رادارها فقط هدف های متحرک را می توانند کشف نمایند، زیرا هدف های ثابت (در خط دید مستقیم) جایجایی داپلر ایجاد نمی کنند و سیگنال بازتاب این اشیاء حذف می گردد. یکی از روش های مقابله ی جنگنده های نظامی با رادارهای CW، چرخش آپیرامون فرستنده این رادارها به منظور ممانعت از کشف خود می باشد.

سامانه های رادار CW در همه ی گستره ی بردها کارایی دارند، مانند ارتفاع سنج های رادیویی در برد کوتاه (حتی چند متری) و بردهای بلند مانند رادارهای هشداردهنده. رادارهای CW نمی توانند مسافت را اندازه گیری نمایند، زیرا هیچ گونه پالسی برای اندازه گیری زمان وجود ندارد. برای حل این موضوع، روش های خاص جایجایی فرکانس^۴ را می توان به کار گرفت.

طیف امواج پیوسته ارسالی را می توان با تلفیق دامنه (AM)، فرکانس (FM) و یا فاز وسیع تر نمود. رادار پالسی نمونه ای از تلفیق دامنه (AM) است. هر چه پالس باریک تر باشد، اندازه گیری فاصله دقیق تر و طیف ارسالی وسیع تر خواهد بود. در صورت اعمال تغییر در فرکانس موج ارسالی (مدولاسیون اف ام)، رادار را رادار موج پیوسته با مدولاسیون فرکانسی یا FMCW^۵ می نامند. این نوع رادار موج پیوسته با توجه به اعمال تغییر در فرکانس موج ارسالی می تواند با توجه به فرکانس بازگشتی دریافتی، برد هدف را نیز محاسبه کند. تداخل بین گیرنده و فرستنده در این نوع رادارها توان مورد استفاده ی آنها را محدود می کند و ایزولاسیون بین گیرنده و فرستنده مساله ای مهم است. از جمله ی مثال ها از این نوع رادارها، رادارهای سنجش سرعت مورد استفاده توسط پلیس و رادار ارتفاع سنج است.

^۱Continuous wave

^۲Orbiting

^۳Early Warning

^۴Frequency Shifting Method

^۵FM Modulation

^۶Frequency Modulation Continuous Wave

یکی از کاربردهای نظامی رادارهای موج پیوسته در هدایت راداری نیمه فعال آشیانه یاب^۱ (SARH) موشک های هوا به هوا است. هواپیمای پرتاب کننده ی موشک، هدف را مورد تابش سیگنال راداری موج پیوسته قرار داده و موشک روی موج های راداری بازتاب شده هدایت می شوند. بیشتر رادارهای هوایی پیشرفته رزمی، حتی مجموعه رادارهای پالس داپلر، دارای حالت عملکرد موج پیوسته برالی هدایت موشک هستند. یکی از مسائل رادار موج پیوسته و جنگ افزارهای هدایت راداری نیمه فعال (SARH) این است که هواپیمای پرتاب کننده پیوسته رادار خود (و به طبع دماغه) را در تمام مدت پرواز موشک روی هدف نگه دارد. به علاوه، اغلب مجموعه رادارهای هدایت مکانیکی در یک زمان فقط می توانند به یک هدف حمله نمایند و نمی توانند هدف دیگری را در حین هدایت موشک آشیانه یاب نیمه فعال (SARH) تعقیب کنند.

در رادارهای موج پیوسته، خاموش کردن گیرنده در هنگام ارسال انرژی به وسیله Duplexer امکان پذیر نیست، زیرا فرستنده همواره به ارسال انرژی ادامه می دهد. عمل جداسازی فرستنده و گیرنده در حالتی که آنتن مشترک باشد، به وسیله ی هایبرید^۲، موج گردان ها^۳، مفصل های چند راهه^۴ (مفصل های گردان)، و یا قطبیت مختلف (پلاریزاسیون متفاوت)، انجام می شود.

آنتن های جداگانه رادار ردگیر^۵ و روشنگر^۶ CW از نوع هادی متعلق به سامانه موشکی مرصاد در شکل زیر نشان داده شده است. هر دو آنتن برای ایجاد ایزولاسیون بیش تر، در اطراف محیط خود دارای درون رفتگی هستند.



شکل (۳-۶) رادار هادی، یک نمونه رادار موج پیوسته ی نظامی

^۱Semi-Active Radar Homing

^۲Hybrid

^۳Circulator

^۴Rotary Joint

^۵Tracking Radar

^۶Illuminator

به طور کلی یک سامانه CW با خاصیت داپلر، قادر است اطلاعات زیر را در مورد یک هدف ارائه نماید:

الف- وجود هدف متحرک با ایجاد فرکانس داپلر مشخص می گردد.

ب- زاویه ی سمت و ارتفاع هدف با استفاده از یک پرتو باریک یا پرتو مدادی تعیین می گردد.

پ- محاسبه سرعت نسبی (شعاعی) هدف با اندازه گیری تغییرات فرکانس داپلر امکان پذیر است.

ت- تعیین جهت حرکت هدف با مشخص شدن علامت تغییر فرکانس داپلر امکان پذیر است.

لازم به ذکر است سامانه موج پیوسته داپلری بدون مدولاسیون فرکانس قادر به اندازه گیری فاصله هدف نبوده و برای دستیابی به آن باید از رادارهای موج پیوسته با مدولاسیون فرکانس (FMCW) و یا رادارهای پالسی استفاده نمود.



شکل (۳-۷) رادار FMCW با گین بالا

کاربرد اصلی رادارهای موج پیوسته بدون تلفیق، تعیین سرعت نسبی هدف های متحرک است، مانند سرعت سنج پلیس و دستگاه اندازه گیری سرعت صعود هواپیماهای عمود پرواز. در راه آهن نیز می توان از رادارهای موج پیوسته به جای دورسنج های محوری استفاده نمود و به عنوان ابزار هشداردهنده برای این که افراد مشغول نگه

داری خط را از نزدیک شدن قطار آگاه سازد، استفاده می شود. رادارهای CW برای تعیین سرعت حرکت کشتی های بزرگ نیز به کار می روند. همچنین برای اندازه گیری سرعت موشک ها و... مورد استفاده قرار گرفته اند.

یکی از کاربردهای رادار FMCW استفاده از آن به عنوان ارتفاع سنج در هواپیما است. این سامانه برای نشان دادن مداوم ارتفاعی که هواپیما در آن پرواز می نماید، مورد استفاده قرار می گیرد. به عنوان مثال در مناطق کوهستانی وضعیت بسیار متنوعی وجود دارد. به همین منظور هواپیماهای پیشرفته امروزی به دو نوع ارتفاع سنج مجهز هستند:

الف- ارتفاع سنج رادیویی که ارتفاع هواپیما تا سطح زمین را نشان می دهد.

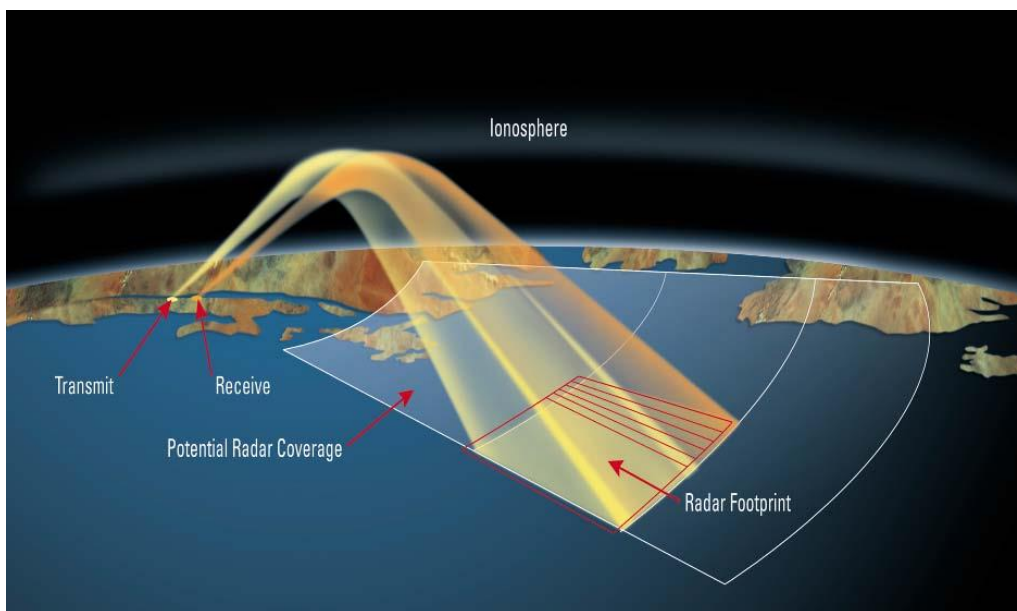
ب- ارتفاع سنج بارومتري که ارتفاع هواپیما را تا سطح دریا (سطح مبنا) نشان می دهد.

وجود هر دو سامانه در هواپیما ضروری بوده و هواپیما باید قادر به پرواز مستقیم در یک سطح تراز یکنواخت، بر روی هر نوع زمین در ارتفاع مورد نظر از سطح دریا باشد. کار ارتفاع سنج بارومتري بستگی به تغییرات فشار جوی دارد. با توجه به این که فشار موجود در سطح دریا ممکن است تغییر نماید، در نتیجه این نوع فشار سنج ممکن است ارتفاع را با چند صد متر خطا نشان دهد که این عمل در پروازهای ارتفاع پایین از دقت کافی برخوردار نیست. بنابراین برای افزایش دقت در ارتفاع سنج هواپیما، به خصوص در زمان فرود، از ارتفاع سنج راداری استفاده می گردد.

۳-۲-۵ رادارهای فرا افق نگر OTH^۱

در این نوع رادارها از خاصیت بازتاب یونوسفریک امواج الکترومغناطیسی جهت دستیابی به دید فرا افق استفاده می شود. این نوع رادارها معمولاً در باند HF (۳ الی ۳۰ مگاهرتز) بکار گرفته می شوند، چرا که امواج با این فرکانس دارای خاصیت بازتاب یونوسفریک هستند و پس از برخورد با لایه یونوسفر آبه سمت زمین برمی گردند. این رادارها دارای آنتنهایی بزرگ، توان راه اندازی بالا و زمان پردازشی طولانی هستند. هرچند دقت زاویه و برد در این رادارها پایین است اما می توانند به عنوان یک رادار پیش اخطار و هشدار اولیه برای شناسایی سامانه های دفاع موشکی بالستیک، کروز، جنگنده های رادارگریز و... بکار گرفته شوند.

^۱Over the Horizon Radars
^۲Ionosphere



شکل (۳-۸) رادار فرا افق نگر

بر خلاف رادار های متداول و مرسوم که حداکثر برد و پوشش الکترونیکی آنها توسط عوارض پستی و بلندی زمین و... محدود می شود ، رادار های OTH توانایی کشف اهداف مختلف هوایی در برد های بسیار بلند چند هزار کیلومتری را بدون هیچ محدودیت سطحی دارا هستند. این رادارها به دلیل ماهیت شبکه ای و گسترش سامانه های خود، قابلیت حمل و نقل و جابجایی بالایی ندارند. این رادارها به راحتی قابل هدف قرار گرفتن توسط موشکهای ضد رادار نیستند(به دلیل اینکه فرکانس آنتن گیرنده این موشک ها خیلی بیش تر از آن است که بتواند امواج این رادارها رو دریافت کنند).



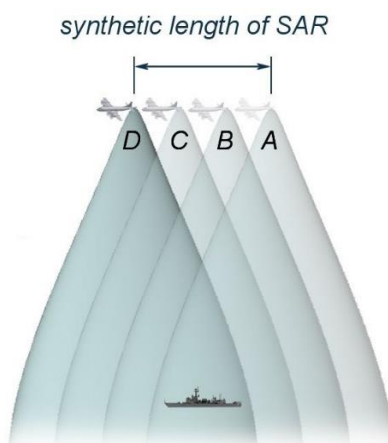
شکل (۳-۹) رادار OTH

۳-۲-۶ رادار مراقبت ثانویه SSR^۱

این نوع رادار دارای آنتنی چرخان است که دائما به ارسال پالس هایی با قدرت کافی جهت رسیدن به هواگردها می پردازد. هواگردهای مجهز به فرستنده مناسب پس از دریافت سیگنال رادار SSR اقدام به ارسال سیگنال پاسخ مناسب در باند فرکانسی مجزا به رادار می نمایند. این سیگنال حاوی اطلاعاتی کد شده از قبیل مقصد و برخی اطلاعات پروازی است. به کمک این تکنیک برد رادار تا اندازه ی زیادی افزایش می یابد چرا که سیگنال درخواست اطلاعات رادار و سیگنال پاسخ هواپیما تنها یک مسیر رفت را طی می کنند و در مقایسه با سایر روش ها، تلفات و تضعیف کمتری را متحمل می شوند. گونه ی نظامی این ساختار به IFF یا سامانه تشخیص دوست از دشمن مشهور است.

۳-۲-۷ رادارهای SAR^۲

برای تهیه ی یک نقشه دقیق از زمین و عوارض موجود در آن لازم است از یک آنتن طویل استفاده کنیم اما امکان ساخت و بکارگیری راداری با آنتن بزرگ جهت دستیابی به تصاویر با کیفیت بالا از عوارض زمینی امکان پذیر نیست. برای رفع این مشکل از تکنیک رادار روزنه مصنوعی یا SAR استفاده می شود. در این تکنیک هواگرد در حال حرکت اقدام به ارسال و دریافت امواج کرده و بدین ترتیب یک آنتن طویل شبیه سازی می شود. به عبارت دیگر در این سامانه ها، بکارگیری آنتن های بلند برای ایجاد پرتو باریک که در رادارهای آرایه حقیقی RAR^۳ مورد نظر است جای خود را به حجم زیادی از پردازش طیفی سیگنال داده است. جدیدترین مدل های موجود SAR قابلیت تهیه تصاویری با قدرت تفکیک حدود ۱۲ سانتی متر وجود دارد.



شکل (۳-۱۰) رادار SAR

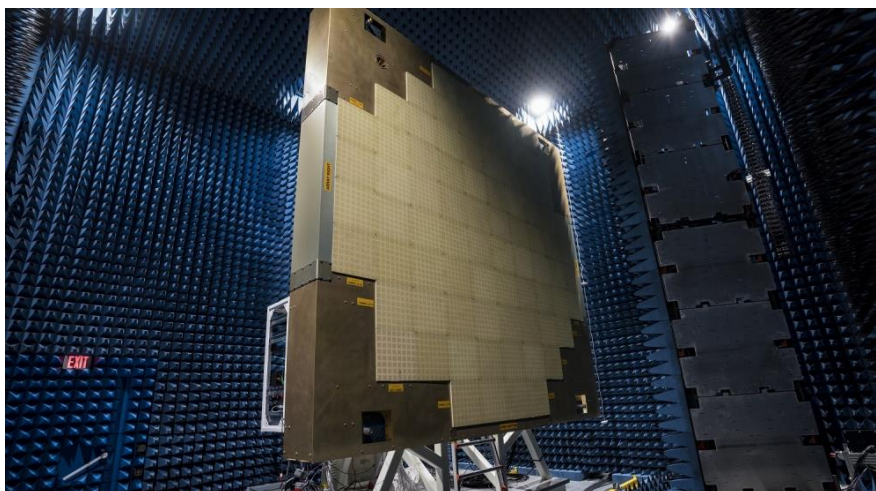
^۱Secondary surveillance radar

^۲Synthetic Aperture Radars

^۳Real Aperture Radars

۸-۲-۳ رادارهای آرایه‌فازی^۱

در رادارهای آرایه‌فازی، شبکه‌ای از تغییر دهنده‌های فاز به تعداد زیادی آنتن متصل هستند که سیگنال‌هایی با فاز متفاوت از یکدیگر تولید می‌کنند که این امر سبب تقویت سیگنال در جهت دلخواه و تضعیف آن در جهت‌های دیگر می‌شود و این کار به طور متناوب با فازهای مختلف برای زوایای مختلف ادامه پیدا می‌کند. به کمک این رادارها می‌توان بدون نیاز به حرکت دادن مکانیکی، جهت لوب اصلی^۳ آنتن را تغییر داد. علاوه بر این با توجه به تعدد عناصر ارسال، دریافت می‌توان هر تعداد از آرایه‌های یک آنتن را برای کار خاصی اختصاص داد.



شکل (۳-۱۱) آنتن رادار آرایه‌فازی در اتاق تست آنتن

دو گونه‌ی اصلی رادارهای آرایه‌فازی:

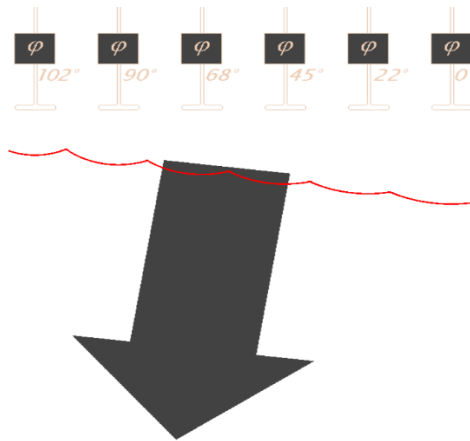
- ۱- غیرفعال: در این نوع رادارها تغذیه‌ی کلیه‌ی آنتن‌ها توسط یک منبع مولد واحد صورت می‌گیرد و به کمک شیفت‌دهنده‌های فاز می‌توان فاز خروجی هر آرایه را تغییر داد. در این نوع آنتن، در هر لحظه تنها یک پرتو اصلی می‌توان تولید کرد.
- ۲- فعال: در این نوع رادارها هر آرایه مولد مستقلی دارد لذا کنترل بیشتری بر روی آرایه‌ها وجود داشته و امکان تولید چندین پرتو اصلی وجود دارد. همانطور که در شکل زیر مشخص است، در ساختار آنتن آرایه‌فازی امواج تولیدی مولد

^۱Phased Array Radars

^۲Phase shifter

^۳Main Lobe

ابتدا وارد شیفیت دهنده های فاز شده و سپس به عناصر آرایه وارد می‌شوند. با کنترل شیفیت دهنده فاز می‌توان پرتو دلخواه را تولید کرد.



شکل (۱۲-۳) تغییر زاویه ی بیم اصلی آنتن آرایه فازی با توجه به تغییر فاز عناصر

مونوپالسی^۱

رادارهای

۹-۲-۳

نام گذاری این نوع رادارها از آنجایی است که این رادار به کمک چند عنصر دریافت کننده (به طور معمول چهار عنصر) و یا چهار زیر آرایه و تاباندن تنها یک پالس اطلاعات مورد نیاز از هدف را استخراج می‌کنند. از طریق مقایسه فاز و دامنه امواج ورودی به هر عنصر و انجام برخی محاسبات اطلاعات مورد هدف نیاز استخراج خواهد شد. در حال حاضر رادارهای مونوپالسی در بسیاری از سامانه های مدرن راداری بکار گرفته شده است [۱۷].



شکل (۱۳-۳) شبکه تقسیم کننده توان آمونوپالس موجبری

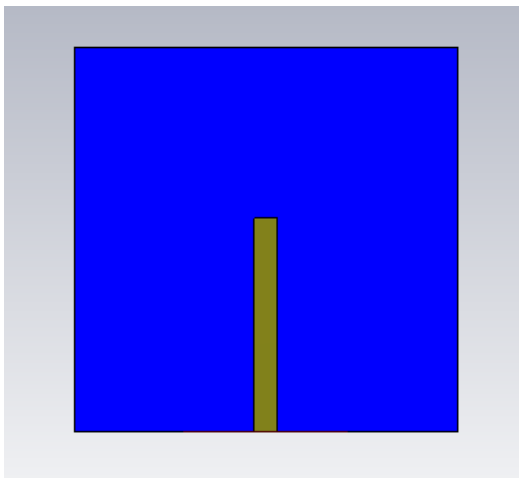
^۱Monopulse Radar
^۲Power Divider

فصل چهارم:

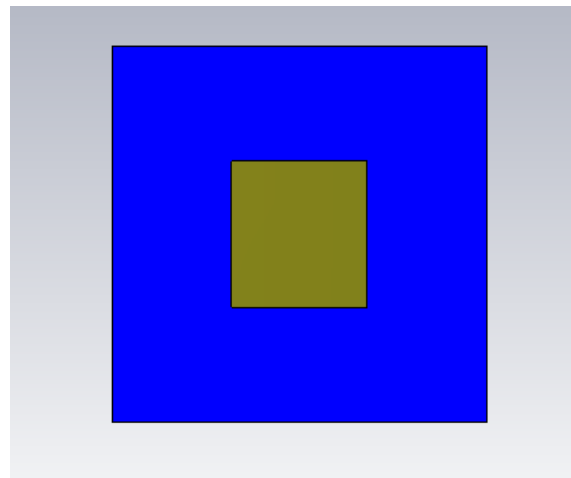
طراحی آنتن رادار FMCW با گین بالا و سطح گلبرگ جانبی پایین

۱-۴ طراحی یک عنصر آنتن مایکرواستریپ تزویج روزنه ای

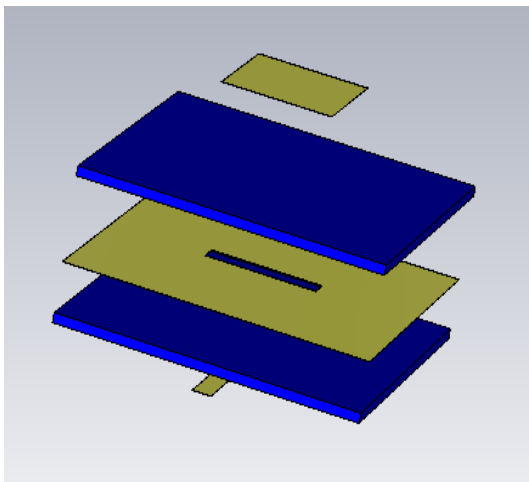
در طراحی آرایه از زیرلایه ی RO4003C با $\epsilon_r = 3.38$ و $\tan \delta = 0.0027$ استفاده شده است. در شکل (۱-۴) نماهای مختلف آنتن تک عنصر طراحی شده مشخص شده است. آنتن از دو زیر لایه تشکیل شده است که در فاصله ی معینی نسبت به هم قرار گرفته اند. در یک زیرلایه عناصر پچ و در زیرلایه ی دیگر خطوط تغذیه قرار گرفته است که از طریق شکاف ایجاد شده بر روی صفحه ی زمین، توان و انرژی را به پچ جهت تشعشع منتقل می کنند. طول و عرض پچ به طور تئوری محاسبه شدند [۱۸]. یک پارامتر مهم که نقش مهمی در طراحی دارد، میزان استاب اتصال باز است. چرا که باید طوری تنظیم شود تا بیش ترین میزان تزویج بین خط تغذیه و پچ ایجاد شود.



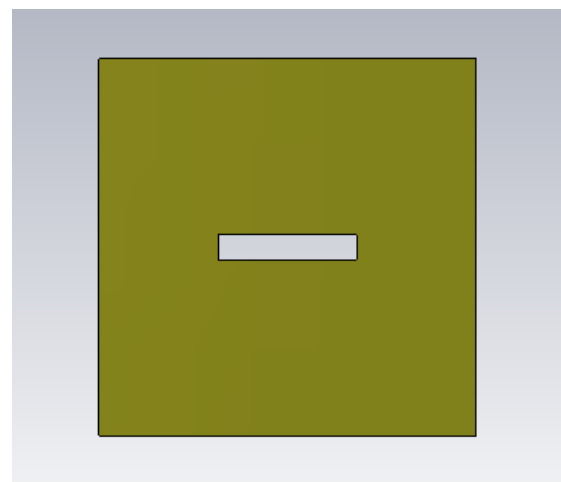
(ب)



(الف)



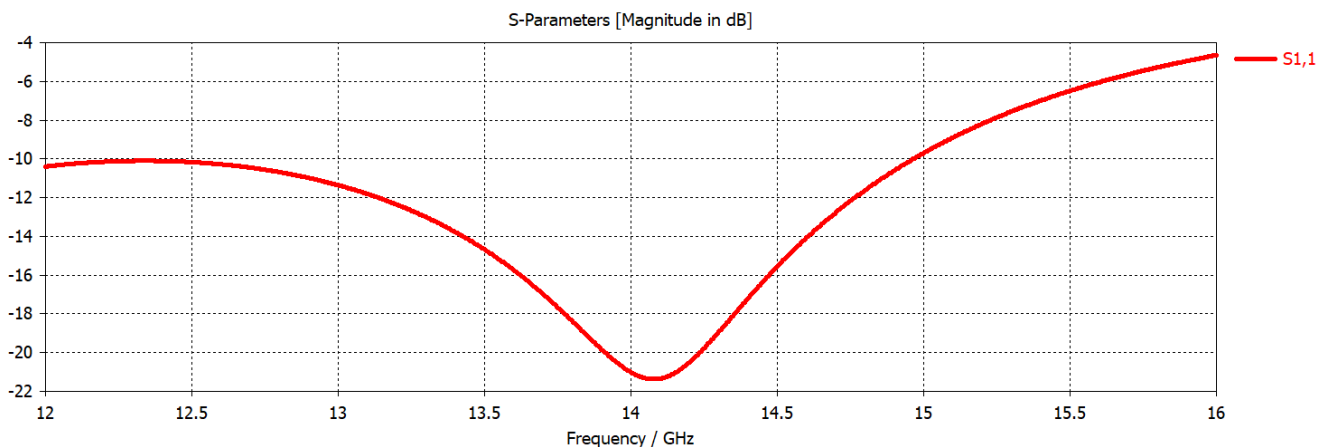
(د)



(ج)

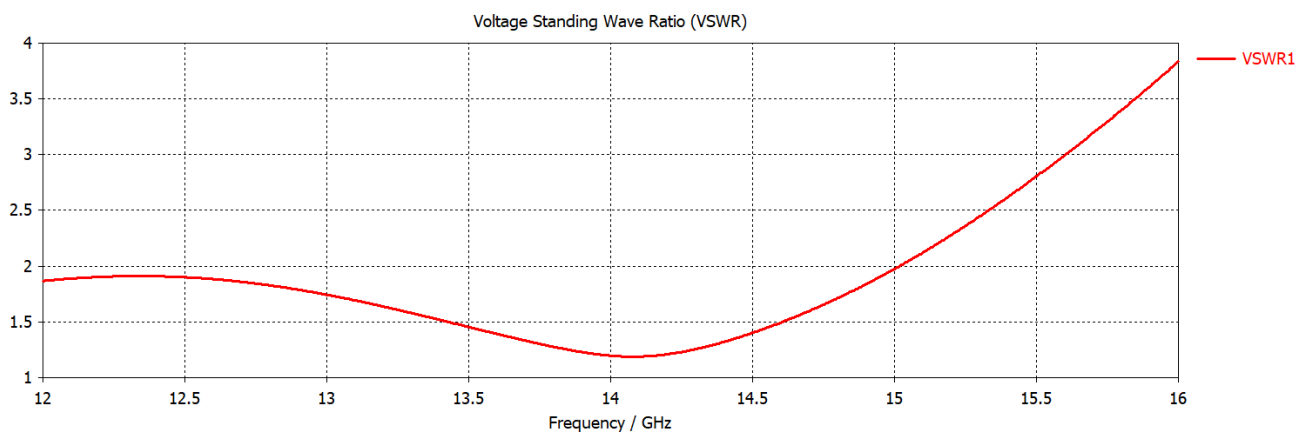
شکل (۱-۴) آنتن تک عنصر تزویج روزنه ای (الف) صفحه پچ (ب) صفحه تغذیه (ج) صفحه زمین (د) نمای جانبی

تمام ابعاد ساختار اعم از طول و عرض پیچ، فاصله ی بین زیرلایه ها، طول استاب، طول و عرض روزنه و ... طوری بهینه شده اند که بهترین عملکرد و پاسخ حاصل شود. نمودار S11 ساختار در نمودار (۲-۴) نشان داده شده است.



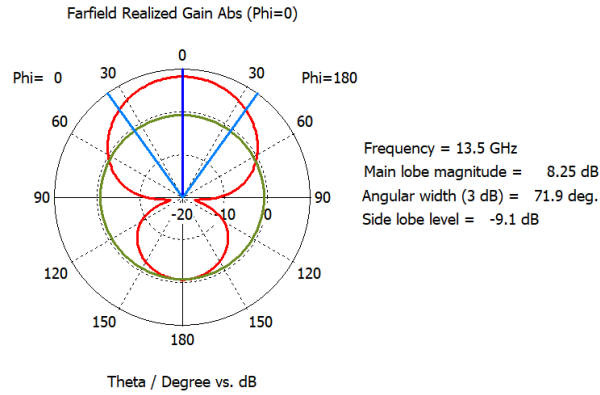
شکل (۲-۴) نمودار تلفات بازگشتی آنتن تک عنصر تزویج روزنه ای

با توجه به نمودار (۳-۴)، VSWR آنتن در بازه فرکانسی ۱۲ تا ۱۵ گیگاهرتز کم تر از ۲ است.

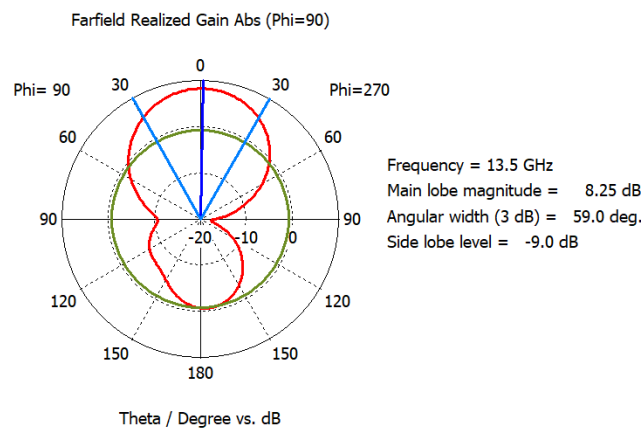


شکل (۳-۴) نمودار VSWR آنتن تک عنصر تزویج روزنه ای

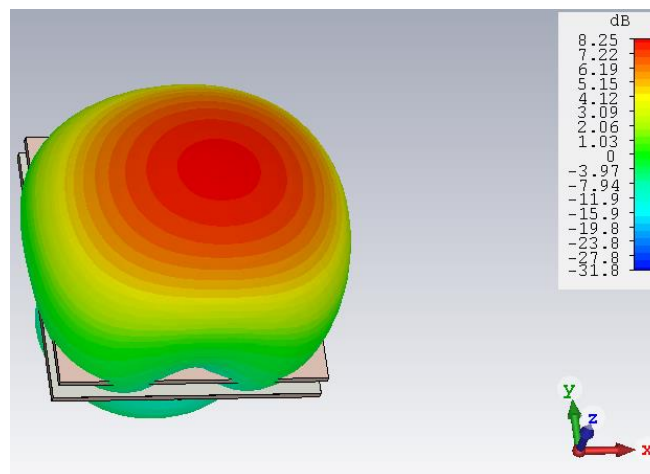
پهنای باند امپدانسی تقریباً از فرکانس ۱۲ تا ۱۵ گیگاهرتز می باشد که معادل ۲۲٪ پهنای باند می باشد. S11 در فرکانس ۱۴/۱ گیگاهرتز برابر است با ۴ dB / -۲۱. پترن تشعشعی این آنتن در فرکانس ۱۳/۵ در شکل (۴-۴) رسم شده است. همان طور که مشخص است در این فرکانس، گین تک عنصر ۸/۲۵ dB می باشد.



(الف)



(ب)



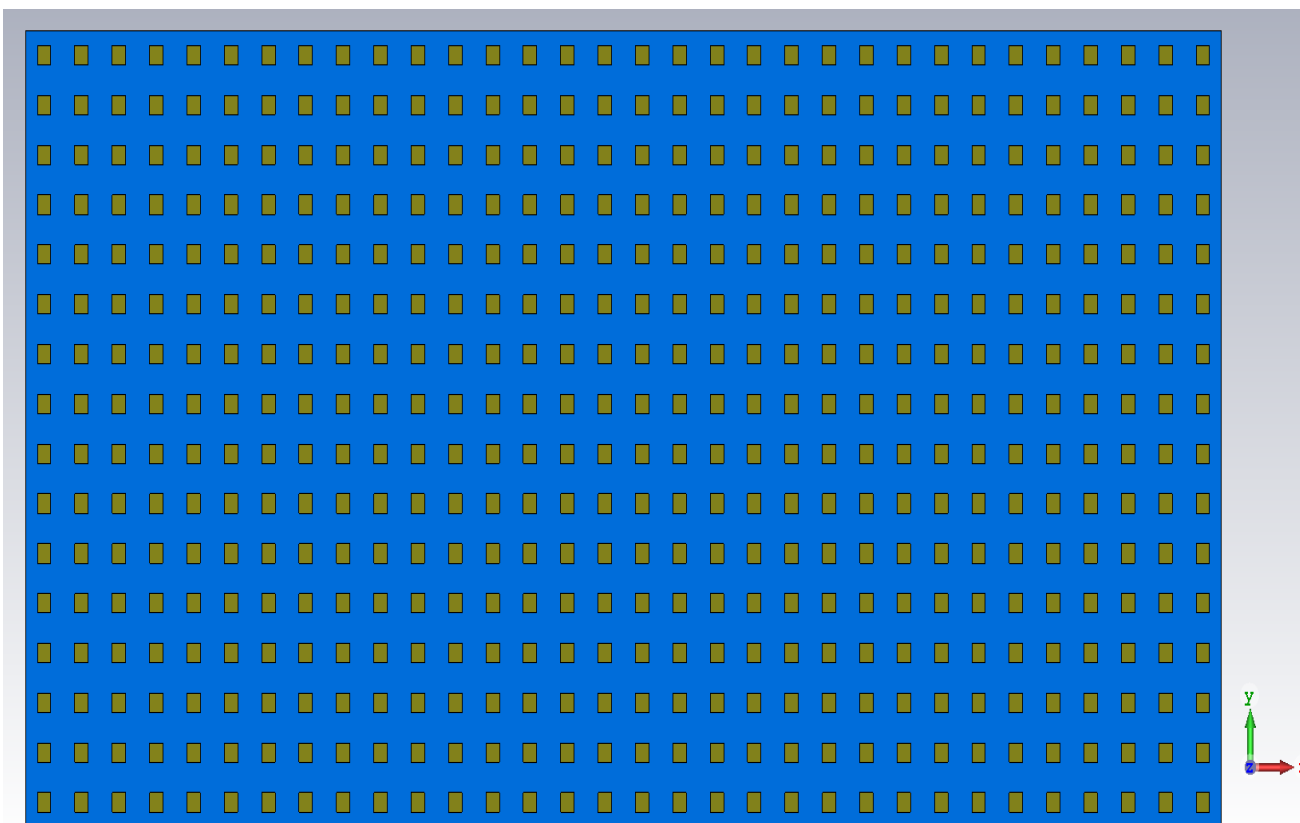
(ج)

شکل (۴-۴) پترن تشعشی آنتن تک عنصر تزویج روزه ای در فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز (الف) صفحه $\Phi = 0$

(ب) صفحه $\Phi = 90$ (ج) پترن سه بعدی

۴-۲ طراحی آنتن آرایه ی تزویج روزنه صفحه ای با توزیع یکسان

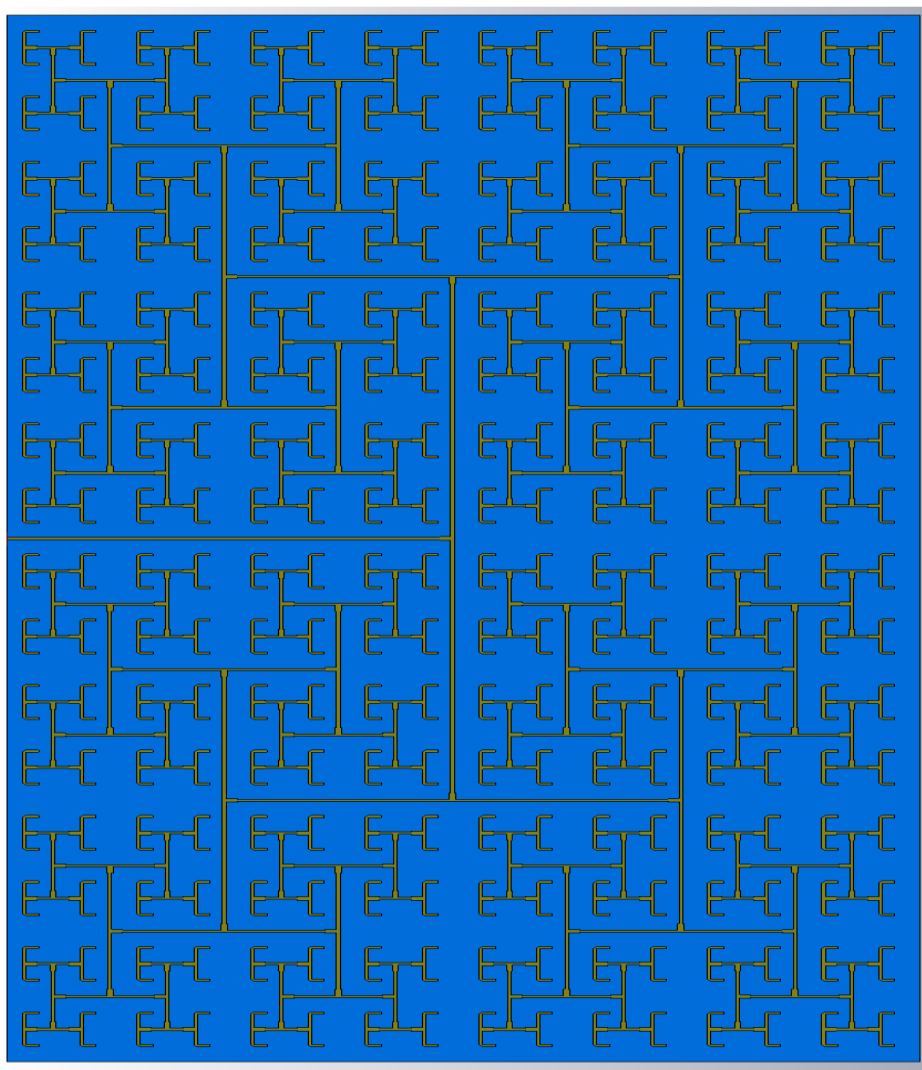
برای رسیدن به گین ۳۰ dB نیاز به آرایه ای با تعداد عناصر زیاد داریم. می دانیم که به طور ایده آل و بدون در نظر گرفتن تلفات ساختار، با دو برابر شدن تعداد عناصر آرایه، گین آنتن تقریباً ۳ dB اضافه می شود. در نتیجه با در نظر گرفتن این نکته و همچنین لحاظ کردن تلفات ساختار از جمله تلفات زیرلایه، تلفات خط تغذیه و ... در ابتدا آرایه ای با ۵۱۲ عنصر را شبیه سازی می کنیم. بدین صورت که دامنه و فاز تمام عناصر آن با هم برابر است. مشاهده می شود هنگامی که دامنه و فاز تمام عناصر برابر می باشد به حداکثر گین می رسیم. البته در این حالت با سطح گلبرگ جانبی مطلوب فاصله خواهیم داشت. فاصله بین عناصر در حدود 0.78λ در نظر گرفته شده است. این فاصله اگر خیلی بیش تر از این مقدار باشد، شاهد افزایش سطح گلبرگ جانبی خواهیم بود و اگر کم تر از این مقدار باشد، گین نهایی آنتن کم تر از این مقدار خواهد شد. در شکل (۴-۶) ساختار آنتن آرایه تزویج روزنه ای با ۵۱۲ عنصر نشان داده شده است.



شکل (۴-۶) ساختار آنتن تزویج روزنه ای با ۵۱۲ عنصر

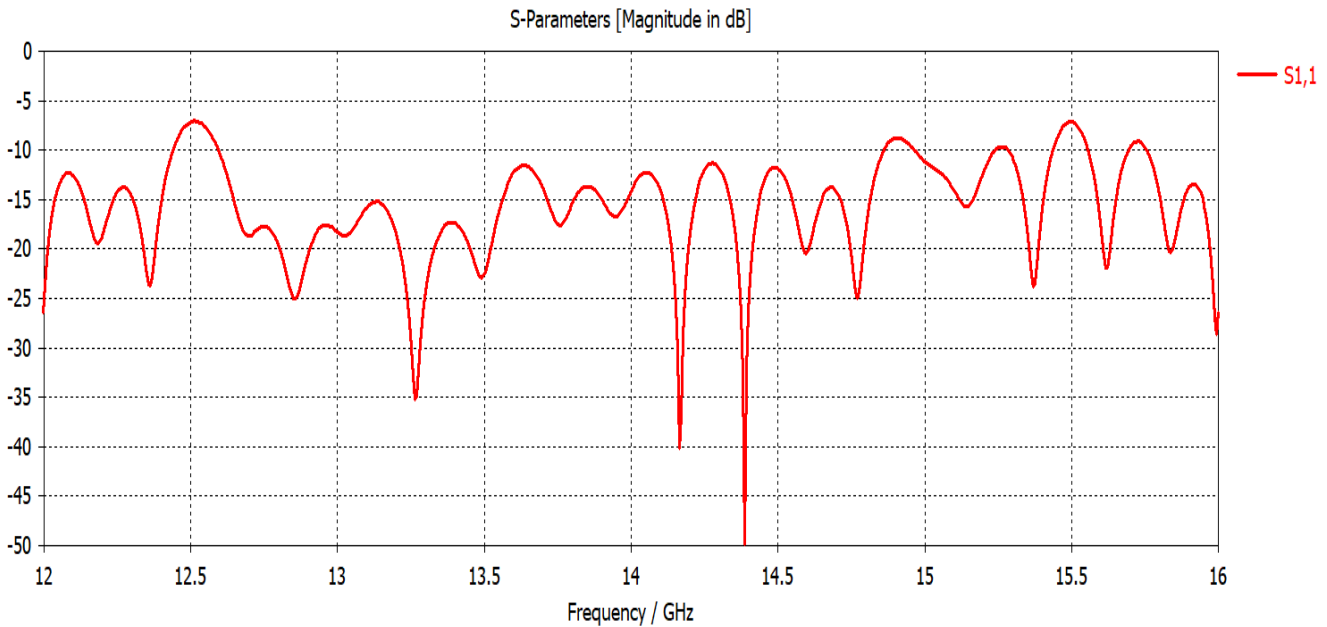
۴-۳ طراحی آرایه و شبکه تغذیه مشترک^۱ تزویج روزنه ای با توزیع یکسان و هم فاز

با استفاده از شبکه ی تغذیه ی مشترک می توان تمام عناصر آرایه را با دامنه و فاز یکسان تغذیه نمود. در طراحی باید به جریان های سطحی و تشعشع خطوط تغذیه توجه نمود و این محدودیت ها را در طراحی لحاظ کرد. طراحی شبکه تغذیه ی مشترک برای آرایه ی $۱۶ * ۳۲$ در شکل (۴-۷) نشان داده شده است. توان به طور مساوی بین همه ی عناصر تقسیم شده است. بنابراین هر پچ، $\frac{1}{512}$ توان ابتدایی ورودی را دریافت می کند. طول خط از ورودی تا به تمام پچ ها برابر است و این یعنی این که فاز تمام عناصر با هم برابر است. برای تطبیق شبکه تغذیه از خط مبدل ربع طول موج استفاده شده است.



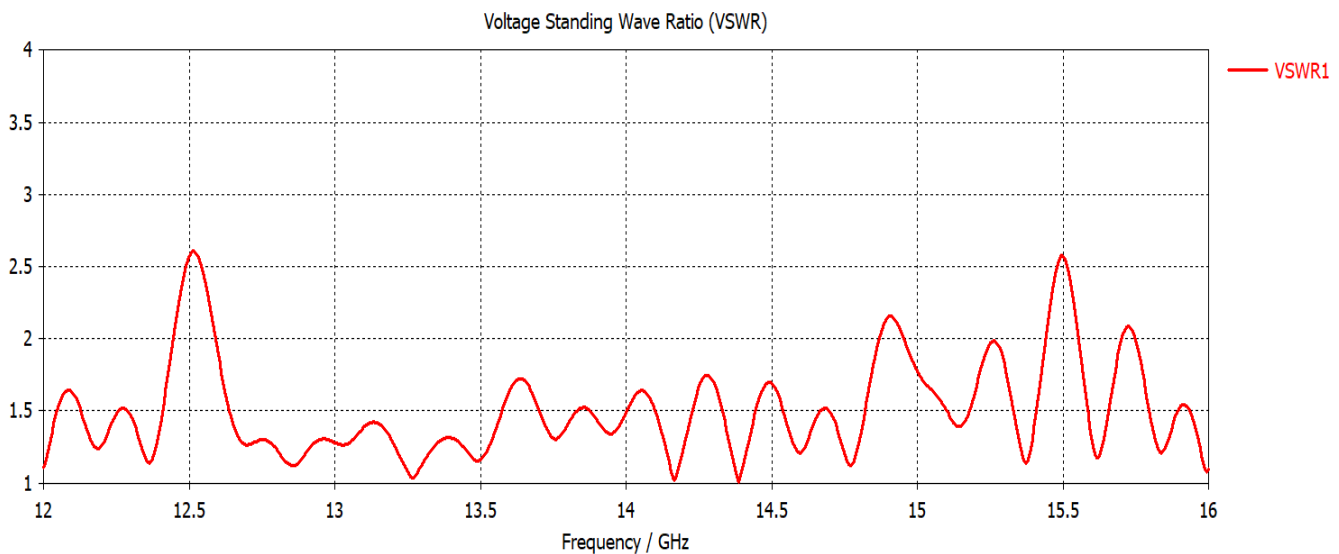
شکل (۴-۷) شبکه تغذیه و تقسیم کننده توان مشترک و هم فاز (تصویر ۹۰ درجه چرخیده شده است)

نتایج شبیه سازی و پارامتر S11 در شکل (۴ - ۸) نشان داده شده است. همان طور که مشخص است، فرکانس کاری ساختار آرایه از فرکانس ۱۲/۶ تا ۱۴/۸۵ گیگاهرتز، که معادل ۱۶٪ پهنای باند است.



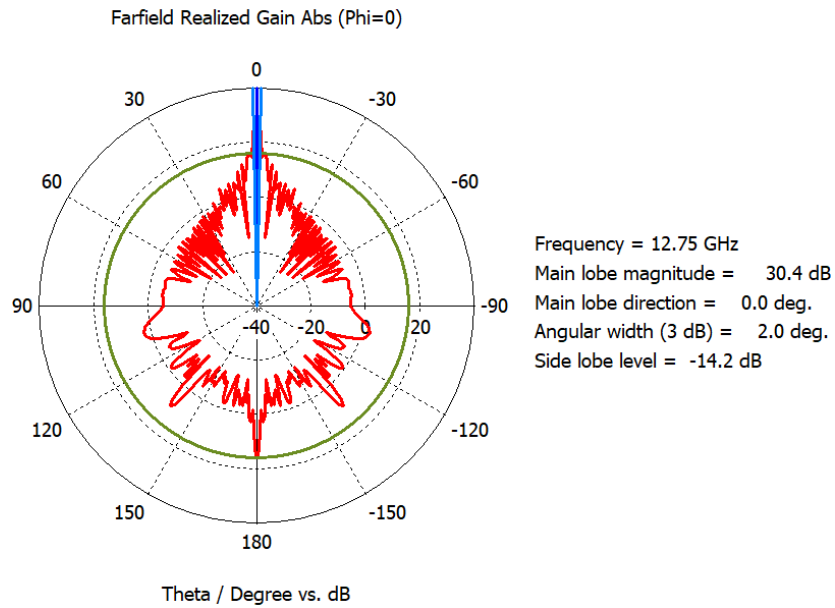
شکل (۴-۸) تلفات بازگشتی ساختار آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری تزویج روزنه ای با تغذیه یکسان و هم فاز عناصر

در شکل (۴ - ۹) نتایج VSWR مشخص شده است. نکته قابل توجه در این نمودار این است که میزان VSWR در اکثر پهنای باند آنتن کم تر از ۱/۵ است.

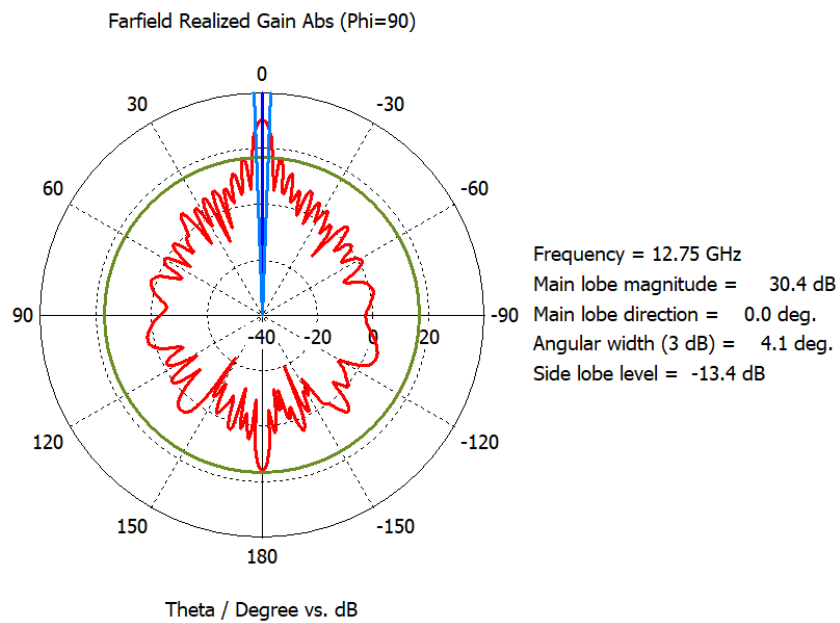


شکل (۴-۹) نمودار VSWR ساختار آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری تزویج روزنه ای با تغذیه یکسان و هم فاز عناصر

گین آنتن در فرکانس ۱۳ گیگاهرتز برابر است با 30.7 dB و سطح گلبرگ جانبی (SLL) برابر است -13.7 dB . در شکل (۴-۱۰) نمودار پترن تشعشعی آنتن در صفحات $\text{Phi} = 0$ و $\text{Phi} = 90$ و به صورت دو بعدی در مختصات قطبی و در فرکانس های 12.75 ، 13.5 و 14.5 گیگاهرتز رسم شده است که گین آنتن در این سه فرکانس به ترتیب 30.4 dB ، 30.5 dB و 29.5 dB است.

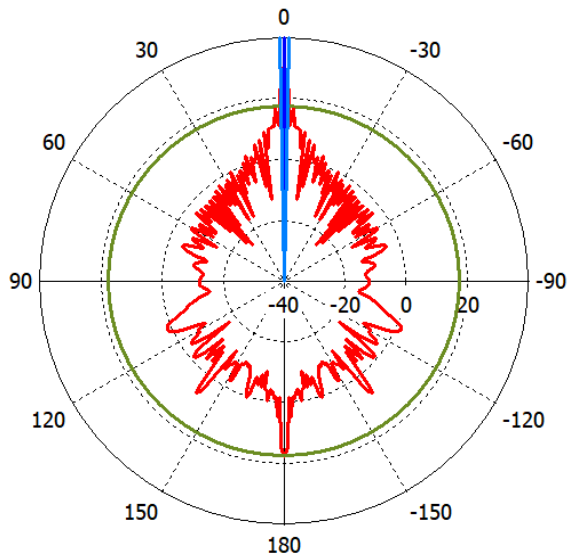


(الف)



(ب)

Farfield Realized Gain Abs (Phi=0)

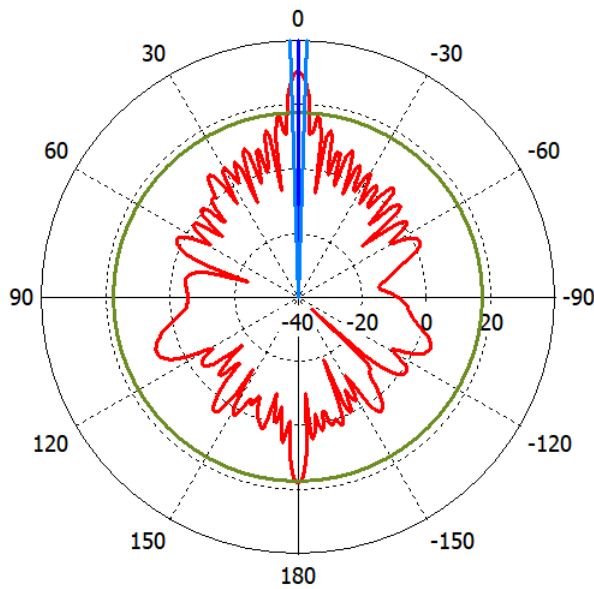


Frequency = 13.5 GHz
Main lobe magnitude = 30.5 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 1.9 deg.
Side lobe level = -12.7 dB

Theta / Degree vs. dB

(c)

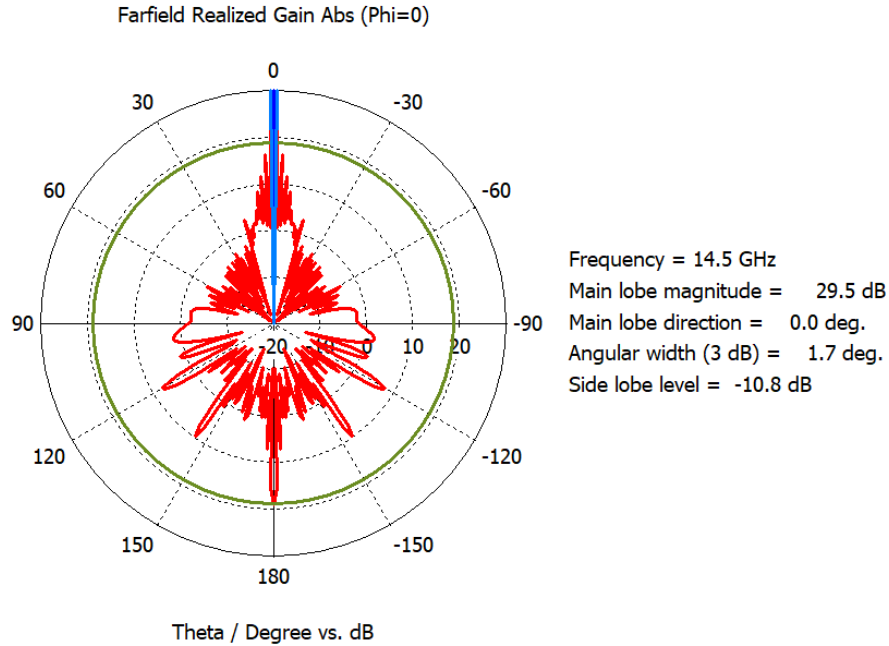
Farfield Realized Gain Abs (Phi=90)



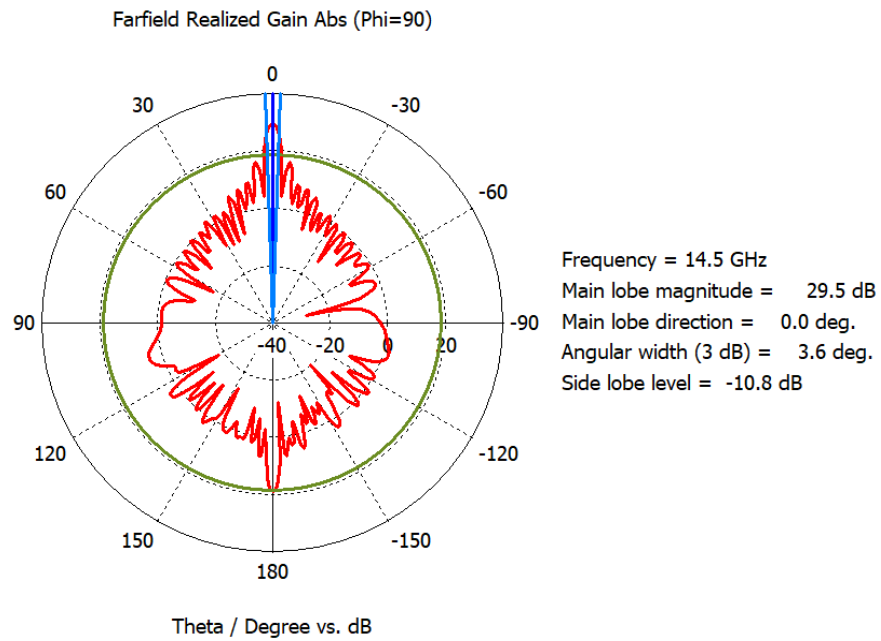
Frequency = 13.5 GHz
Main lobe magnitude = 30.5 dB
Main lobe direction = 0.0 deg.
Angular width (3 dB) = 3.9 deg.
Side lobe level = -12.7 dB

Theta / Degree vs. dB

(d)



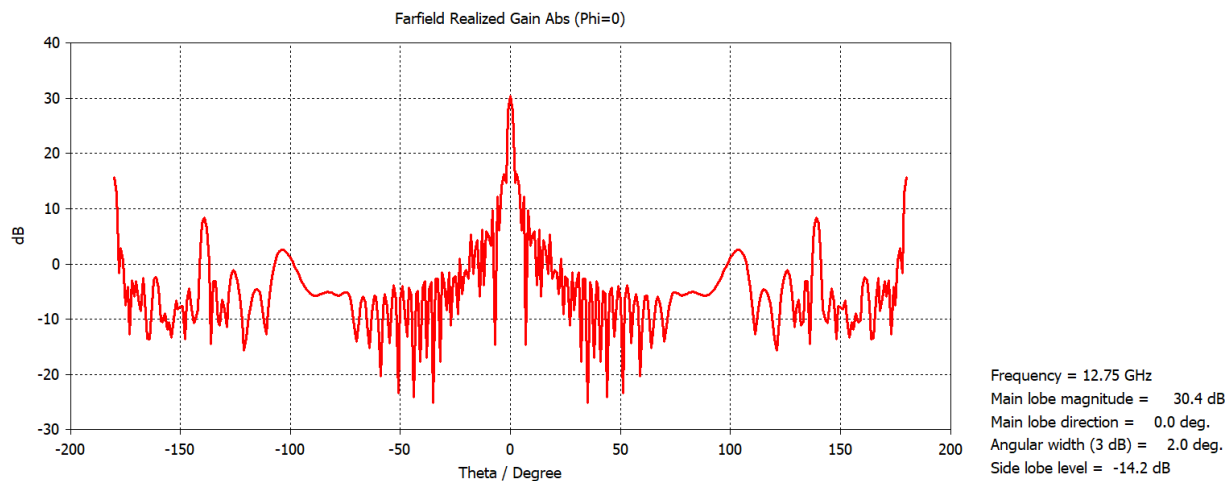
(ه)



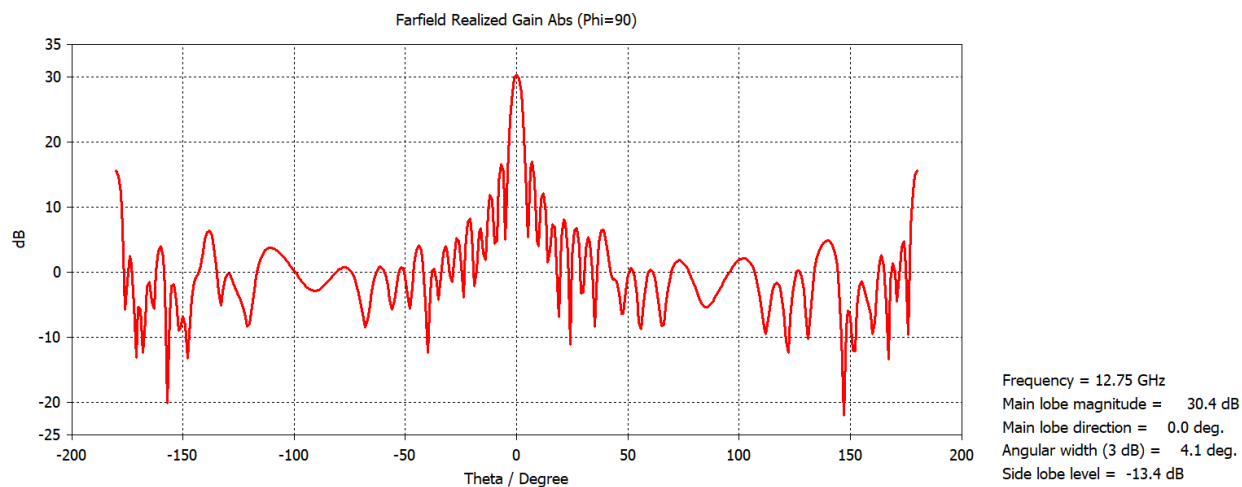
(ر)

شکل (۴-۱۰) پترن تشعشی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع یکسان دامنه و هم فاز در مختصات قطبی (الف) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (ب) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ج) فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (د) فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ه) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (ر) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$

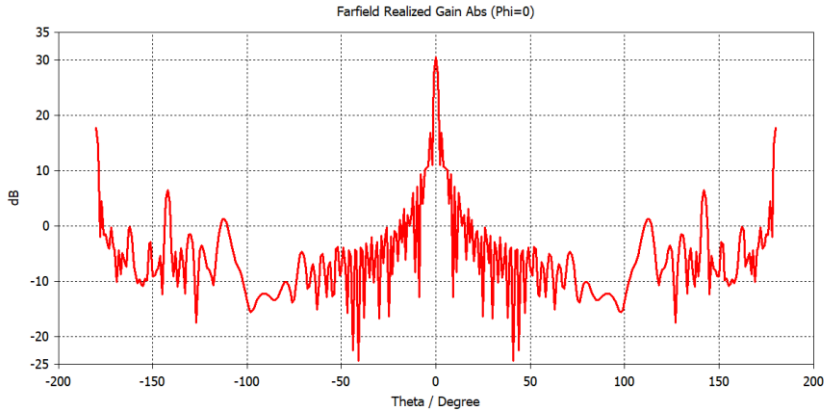
در شکل (۴-۱۱) نمودار پترن تشعشی آنتن در صفحات $\Phi = 0$ و $\Phi = 90$ و به صورت دو بعدی در فرکانس های $12,75$ ، $13,5$ و $14,5$ گیگاهرتز رسم شده است که گین آنتن در این سه فرکانس به ترتیب $30,4$ dB ، $30,5$ dB و $29,5$ dB است.



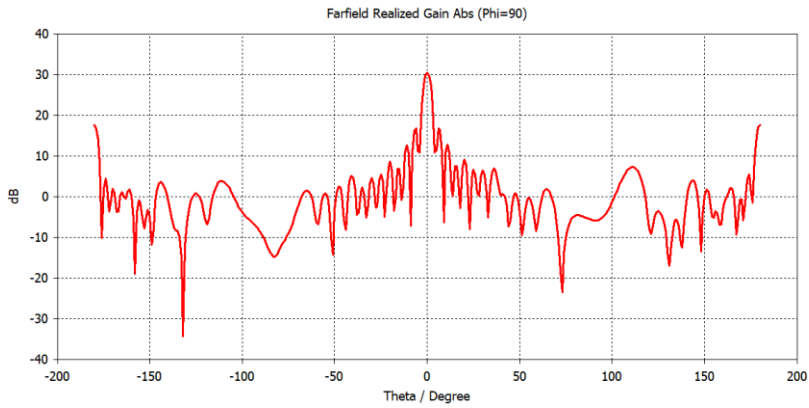
(الف)



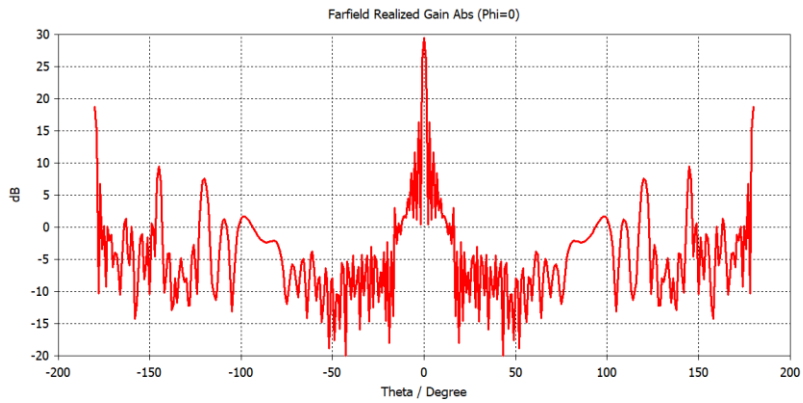
(ب)



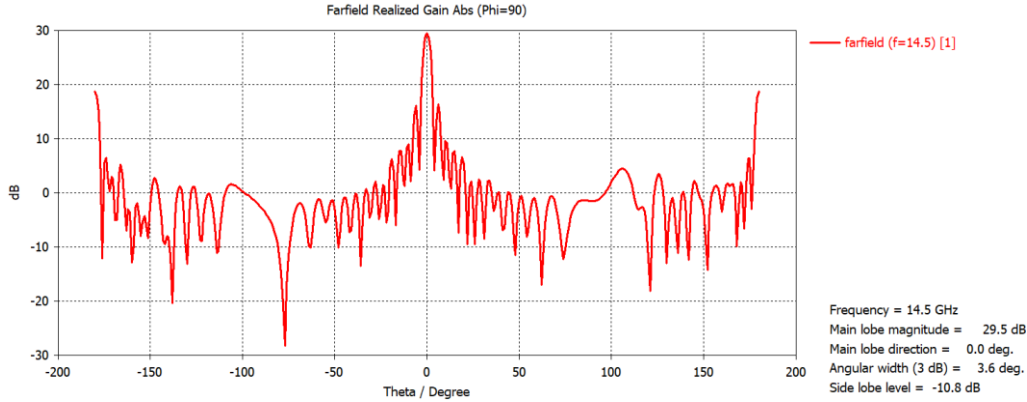
(z)



(d)



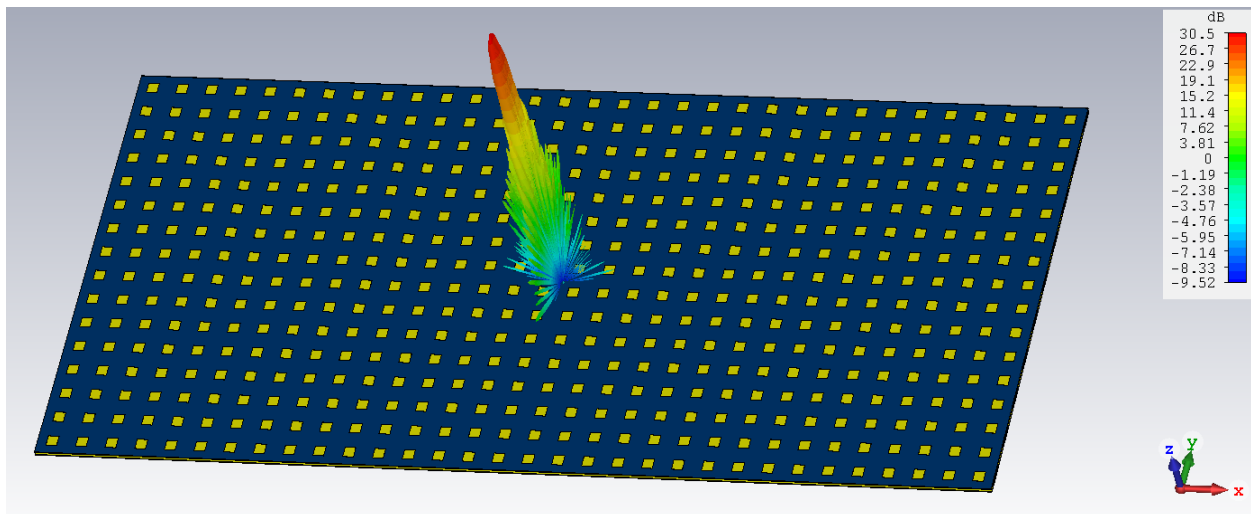
(o)



(ر)

شکل (۴-۱۱) پترن تشعشی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع یکسان دامنه و هم فاز به صورت دو بعدی (الف) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (ب) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ج) فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (د) فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ه) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (ر) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$

در شکل (۴-۱۲) نمودار پترن تشعشی آنتن ۵۱۲ عنصری با توزیع یکسان دامنه و هم فاز به صورت سه بعدی در فرکانس ۱۳/۷۵ رسم شده است که گین آنتن در این فرکانس ۳۰/۵ dB است.



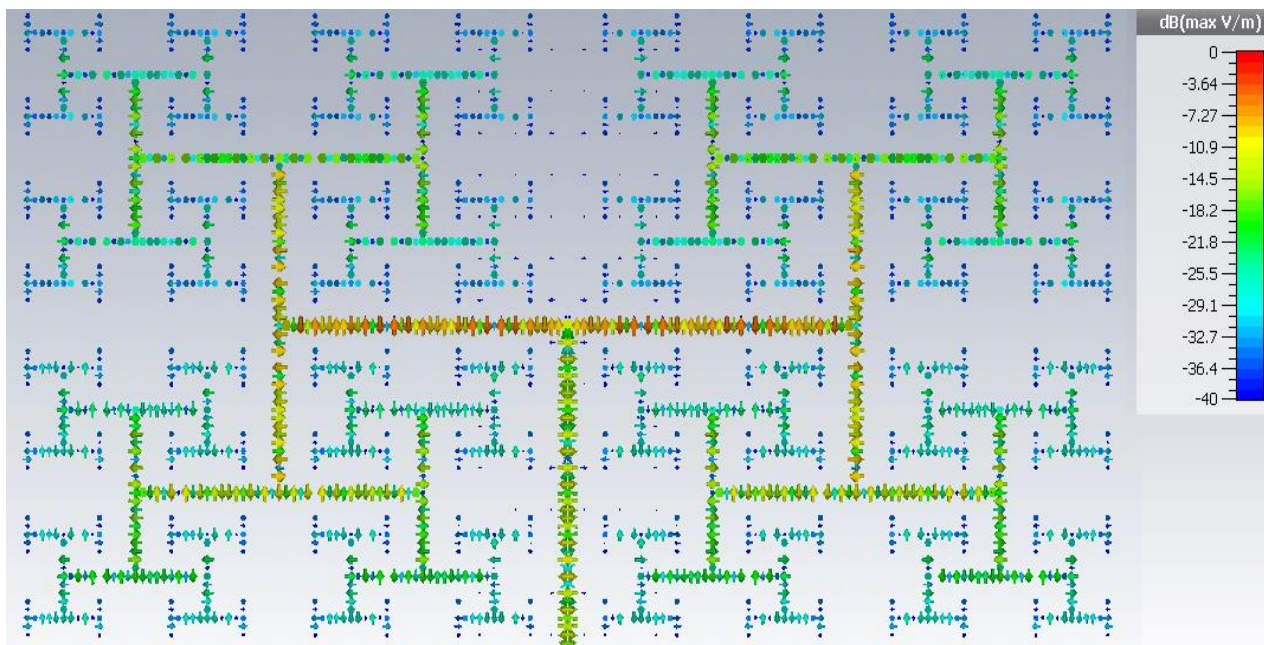
شکل (۴-۱۲) پترن تشعشی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع یکسان دامنه و هم فاز به صورت سه بعدی در فرکانس ۱۳/۷۵ گیگاهرتز

در جدول (۱-۴) نتایج به طور خلاصه در سه فرکانس ۱۲/۷۵، ۱۳/۵ و ۱۴/۵ گیگاهرتز بیان شده است. همان طور که مشخص است، گین آنتن در تمام طول بازه ی فرکانسی، بسیار به هم نزدیک هستند و این بسیار مطلوب است. به دلیل تشعشع خطوط تغذیه، میزان F/B مقدار قابل توجهی است.

جدول (۱-۴) نتایج شبیه سازی آنتن آرایه ی ۵۱۲ عنصری با توزیع روزنه ای با توزیع یکسان دامنه و هم فاز

HPBW E-plane (deg)	HPBW H-plane (deg)	F/B (dB)	SLL (dB)	گین (dB)	فرکانس (GHz)
۴/۱	۲	۱۴/۷	-۱۳/۴	۳۰/۴	۱۲/۷۵
۳/۹	۱/۹	۱۲/۷	-۱۳/۵	۳۰/۵	۱۳/۵
۳/۶	۱/۷	۱۰/۸	-۱۳/۱	۲۹/۵	۱۴/۵

شکل (۱۳-۴) اندازه میدان الکتریکی در ساختار آرایه را نشان می دهد. با توجه به شکل مشخص است که اندازه میدان برای تمام عناصر یکسان است و به صورت هم فاز به همه ی آن ها رسیده است.



شکل (۱۳-۴) اندازه میدان الکتریکی در ساختار آرایه با توزیع یکسان و هم فاز

۴-۴ طراحی آرایه و شبکه تغذیه مشترک تزویج روزنه ای با توزیع غیر یکنواخت و هم

فاز

تا بدین جای کار به مواردی مثل گین بیش از ۳۰ dB، پهنای باند ۱۶٪ و ... رسیدیم. در این قسمت باید به کاهش سطح گلبرگ جانبی اقدام کنیم. بدین منظور توان ورودی را به طور غیر یکنواخت و نامساوی ولی هم فاز بین عنصر آرایه تقسیم می کنیم. برای رسیدن به سطح گلبرگ جانبی، مرکزی ترین عنصر بیش ترین توان را دریافت می کند و هر چه به سمت طرفین ساختار آرایه برویم، میزان تغذیه و توان دریافتی کمتر خواهد شد. برای این که بدانیم به هر عنصر چه میزان توانی باید برسد، توزیع دامنه های مختلفی از جمله باینمیل، چبی شف، تیلور و... وجود دارد. بسته به نوع کاربرد و نیاز ما اعم از میزان سطح گلبرگ جانبی، گین، HPBW و... می توان از توزیع های مختلفی استفاده کرد و باید یک توازی را بین پارامترها و خواسته های مختلف ایجاد کرد. به طور مثال برای ساختار های بزرگ و میزان سطح گلبرگ جانبی پایین، توزیع تیلور نسبت به توزیع چبی شف کارکرد بهتری دارد. به عنوان مثال در توزیع تیلور هر چه مرتبه ی گلبرگ جانبی بیش تر می شود، سطح آن هم کم تر می شود، در حالی که در توزیع چبی شف، سطح تمام گلبرگ های جانبی تقریباً یکسان است. و یا این که در دو ساختار با گین یکسان و توزیع چبی شف و تیلور، ساختار با توزیع تیلور دارای پهنای باند نیم نصف توان بیش تری است. بنابراین با توجه به این که ساختار ما یک آرایه ی بزرگ می باشد و در نظر گرفتن سایر شرایط، در نتیجه از توزیع تیلور استفاده خواهد شد. جدول (۲-۴) میزان ضرایب توزیع تیلور برای سطح گلبرگ جانبی ۳۵ dB- برای آرایه ۱۶*۳۲ را نشان می دهد:

جدول (۲-۴) میزان ضرایب توزیع تیلور برای سطح گلبرگ جانبی dB ۲۵- برای آرایه ۱۶*۳۲

(الف) سمت راست ضرایب توزیع (ب) سمت چپ ضرایب توزیع

۰.۰۸۳	۰.۰۸۱	۰.۰۷۹	۰.۰۷۵	۰.۰۷	۰.۰۶۴	۰.۰۵۸	۰.۰۵۱	۰.۰۴۴	۰.۰۳۷	۰.۰۳	۰.۰۲۳	۰.۰۱۸	۰.۰۱۳	۰.۰۰۸	۰.۰۰۵
۰.۱۸۹	۰.۱۸۵	۰.۱۷	۰.۱۶	۰.۱۵	۰.۱۴	۰.۱۳	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۱
۰.۳۲	۰.۳۱	۰.۳	۰.۲۹	۰.۲۷	۰.۲۵	۰.۲۲	۰.۲	۰.۱۷	۰.۱۴	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۲
۰.۴۹	۰.۴۸	۰.۴۶	۰.۴۴	۰.۴۱	۰.۳۸	۰.۳۴	۰.۳	۰.۲۶	۰.۲۱	۰.۱۷	۰.۱۴	۰.۱	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۳
۰.۶۶	۰.۶۵	۰.۶۲	۰.۵۹	۰.۵۵	۰.۵۱	۰.۴۶	۰.۴	۰.۳۵	۰.۲۹	۰.۲۴	۰.۱۸	۰.۱۴	۰.۱	۰.۰۶	۰.۰۴
۰.۸۱	۰.۸	۰.۷۷	۰.۷۳	۰.۶۹	۰.۶۳	۰.۵۷	۰.۵	۰.۴۳	۰.۳۶	۰.۲۹	۰.۲۳	۰.۱۷	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۰۵
۰.۹۳	۰.۹۲	۰.۸۹	۰.۸۴	۰.۷۹	۰.۷۲	۰.۶۵	۰.۵۷	۰.۴۹	۰.۴۱	۰.۳۴	۰.۲۶	۰.۲	۰.۱۴	۰.۰۹	۰.۰۵
۱	۰.۹۸	۰.۹۵	۰.۹	۰.۸۴	۰.۷۷	۰.۶۹	۰.۶۱	۰.۵۳	۰.۴۴	۰.۳۶	۰.۲۸	۰.۲۱	۰.۱۵	۰.۱	۰.۰۶
۱	۰.۹۸	۰.۹۵	۰.۹	۰.۸۴	۰.۷۷	۰.۶۹	۰.۶۱	۰.۵۳	۰.۴۴	۰.۳۶	۰.۲۸	۰.۲۱	۰.۱۵	۰.۱	۰.۰۶
۰.۹۳	۰.۹۲	۰.۸۹	۰.۸۴	۰.۷۹	۰.۷۲	۰.۶۵	۰.۵۷	۰.۴۹	۰.۴۱	۰.۳۴	۰.۲۶	۰.۲	۰.۱۴	۰.۰۹	۰.۰۵
۰.۸۱	۰.۸	۰.۷۷	۰.۷۳	۰.۶۹	۰.۶۳	۰.۵۷	۰.۵	۰.۴۳	۰.۳۶	۰.۲۹	۰.۲۳	۰.۱۷	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۰۵
۰.۶۶	۰.۶۵	۰.۶۲	۰.۵۹	۰.۵۵	۰.۵۱	۰.۴۶	۰.۴	۰.۳۵	۰.۲۹	۰.۲۴	۰.۱۸	۰.۱۴	۰.۱	۰.۰۶	۰.۰۴
۰.۴۹	۰.۴۸	۰.۴۶	۰.۴۴	۰.۴۱	۰.۳۸	۰.۳۴	۰.۳	۰.۲۶	۰.۲۱	۰.۱۷	۰.۱۴	۰.۱	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۳
۰.۳۲	۰.۳۱	۰.۳	۰.۲۹	۰.۲۷	۰.۲۵	۰.۲۲	۰.۲	۰.۱۷	۰.۱۴	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۰۷	۰.۰۵	۰.۰۳	۰.۰۲
۰.۱۸۹	۰.۱۸۵	۰.۱۷	۰.۱۶	۰.۱۵	۰.۱۴	۰.۱۳	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۰۸	۰.۰۶	۰.۰۵	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۱
۰.۰۸۳	۰.۰۸۱	۰.۰۷۹	۰.۰۷۵	۰.۰۷	۰.۰۶۴	۰.۰۵۸	۰.۰۵۱	۰.۰۴۴	۰.۰۳۷	۰.۰۳	۰.۰۲۳	۰.۰۱۸	۰.۰۱۳	۰.۰۰۸	۰.۰۰۵

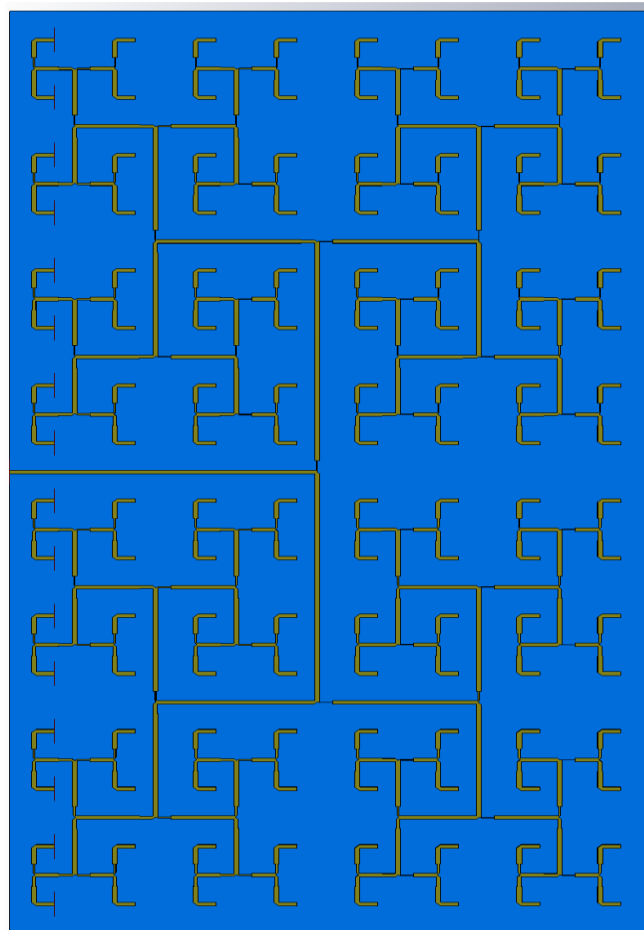
(الف)

۰.۰۰۵	۰.۰۰۸	۰.۰۱۳	۰.۰۱۸	۰.۰۲۳	۰.۰۳	۰.۰۳۷	۰.۰۴۴	۰.۰۵۱	۰.۰۵۸	۰.۰۶۴	۰.۰۷	۰.۰۷۵	۰.۰۷۹	۰.۰۸۱	۰.۰۸۳
۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۱۱	۰.۱۳	۰.۱۴	۰.۱۵	۰.۱۶	۰.۱۷	۰.۱۸۵	۰.۱۸۹
۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۰۹	۰.۱۱	۰.۱۴	۰.۱۷	۰.۲	۰.۲۲	۰.۲۵	۰.۲۷	۰.۲۹	۰.۳	۰.۳۱	۰.۳۲
۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۱	۰.۱۴	۰.۱۷	۰.۲۱	۰.۲۶	۰.۳	۰.۳۴	۰.۳۸	۰.۴۱	۰.۴۴	۰.۴۶	۰.۴۸	۰.۴۹
۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۱	۰.۱۴	۰.۱۸	۰.۲۴	۰.۲۹	۰.۳۵	۰.۴	۰.۴۶	۰.۵۱	۰.۵۵	۰.۵۹	۰.۶۲	۰.۶۵	۰.۶۶
۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۱۲	۰.۱۷	۰.۲۳	۰.۲۹	۰.۳۶	۰.۴۳	۰.۵	۰.۵۷	۰.۶۳	۰.۶۹	۰.۷۳	۰.۷۷	۰.۸	۰.۸۱
۰.۰۵	۰.۰۹	۰.۱۴	۰.۲	۰.۲۶	۰.۳۴	۰.۴۱	۰.۴۹	۰.۵۷	۰.۶۵	۰.۷۲	۰.۷۹	۰.۸۴	۰.۸۹	۰.۹۲	۰.۹۳
۰.۰۶	۰.۱	۰.۱۵	۰.۲۱	۰.۲۸	۰.۳۶	۰.۴۴	۰.۵۳	۰.۶۱	۰.۶۹	۰.۷۷	۰.۸۴	۰.۹	۰.۹۵	۰.۹۸	۱
۰.۰۶	۰.۱	۰.۱۵	۰.۲۱	۰.۲۸	۰.۳۶	۰.۴۴	۰.۵۳	۰.۶۱	۰.۶۹	۰.۷۷	۰.۸۴	۰.۹	۰.۹۵	۰.۹۸	۱
۰.۰۵	۰.۰۹	۰.۱۴	۰.۲	۰.۲۶	۰.۳۴	۰.۴۱	۰.۴۹	۰.۵۷	۰.۶۵	۰.۷۲	۰.۷۹	۰.۸۴	۰.۸۹	۰.۹۲	۰.۹۳
۰.۰۵	۰.۰۸	۰.۱۲	۰.۱۷	۰.۲۳	۰.۲۹	۰.۳۶	۰.۴۳	۰.۵	۰.۵۷	۰.۶۳	۰.۶۹	۰.۷۳	۰.۷۷	۰.۸	۰.۸۱
۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۱	۰.۱۴	۰.۱۸	۰.۲۴	۰.۲۹	۰.۳۵	۰.۴	۰.۴۶	۰.۵۱	۰.۵۵	۰.۵۹	۰.۶۲	۰.۶۵	۰.۶۶
۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۱	۰.۱۴	۰.۱۷	۰.۲۱	۰.۲۶	۰.۳	۰.۳۴	۰.۳۸	۰.۴۱	۰.۴۴	۰.۴۶	۰.۴۸	۰.۴۹
۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۷	۰.۰۹	۰.۱۱	۰.۱۴	۰.۱۷	۰.۲	۰.۲۲	۰.۲۵	۰.۲۷	۰.۲۹	۰.۳	۰.۳۱	۰.۳۲
۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۴	۰.۰۵	۰.۰۶	۰.۰۸	۰.۰۹	۰.۱۱	۰.۱۳	۰.۱۴	۰.۱۵	۰.۱۶	۰.۱۷	۰.۱۸۵	۰.۱۸۹
۰.۰۰۵	۰.۰۰۸	۰.۰۱۳	۰.۰۱۸	۰.۰۲۳	۰.۰۳	۰.۰۳۷	۰.۰۴۴	۰.۰۵۱	۰.۰۵۸	۰.۰۶۴	۰.۰۷	۰.۰۷۵	۰.۰۷۹	۰.۰۸۱	۰.۰۸۳

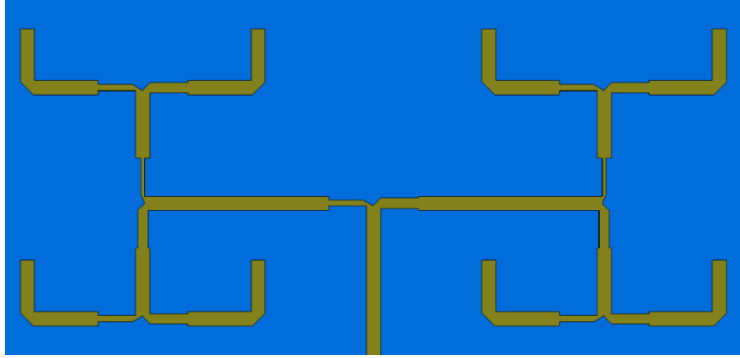
(ب)

مرحله ی بعدی تحقق این ضرایب در ساختار آرایه است. بدین منظور مقسم های توان را طوری طراحی می کنیم که توان را با توجه به نسبت های به دست آمده و به صورت غیر یکسان تقسیم کنند. یکی از راه ها، استفاده از تضعیف کننده ها در هر شاخه و خط تغذیه منتهی به هر پیچ است تا میزان توان هر عنصر به میزان مشخصی به آن برسد، اما تلفات آن برای یک ساختار بزرگ زیاد خواهد شد و به تبع پارامترهای دیگری را از دست خواهیم داد. در این ساختار از مبدل های ربع طول موجی استفاده می کنیم که علاوه بر تطبیق آرایه، نسبت مد نظر برای ضرایب توزیع توان تیلور را ایجاد کنند. همان طور که در شکل (۴-۱۴) مشخص است، با ایجاد امپدانس های متفاوت در ورودی مقسم های توان، همزمان با ایجاد تطبیق، به توزیع توان مد نظر رسیدیم.

با توجه به تقارن ضرایب توزیع توان تیلور، تنها ربع ساختار و شبکه ی تغذیه را تحلیل و طراحی می کنیم. بنابراین ساختار شبکه ی تغذیه ی زیر را برای رسیدن به ضرایب توزیع توان تیلور طراحی می کنیم:

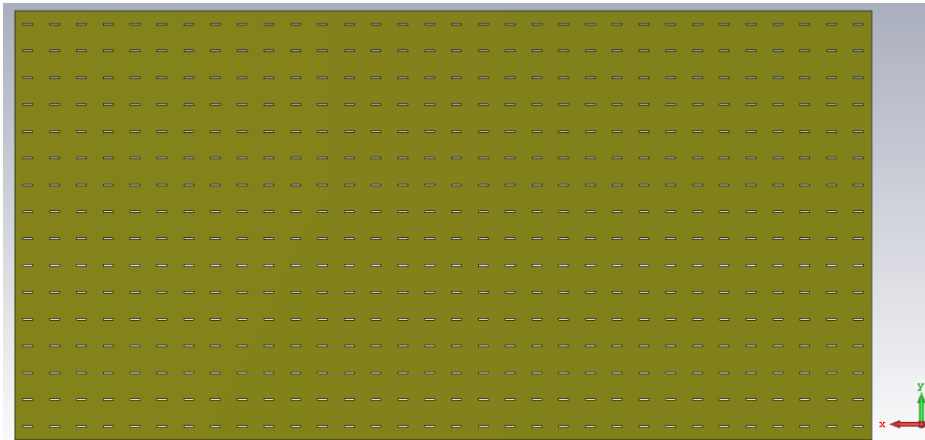


شکل (۴-۱۴) ربع شبکه تغذیه تقسیم کننده ی توان نامتقارن برای توزیع تیلور 25 dB - (تصویر 90° درجه چرخیده است)



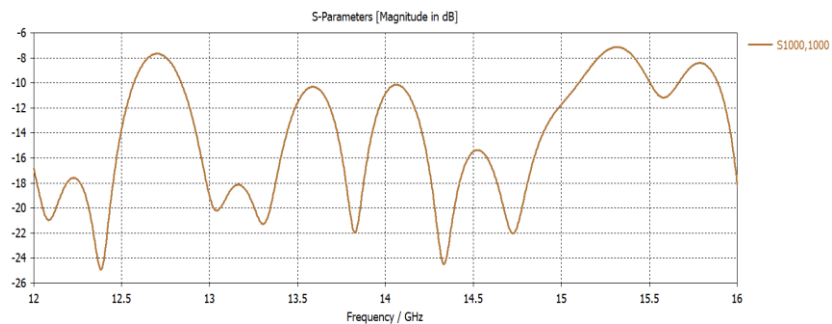
شکل (۴-۱۵) نمای نزدیک قسمتی از شبکه تغذیه تقسیم کننده ی توان غیر یکسان برای توزیع تیلور -25 dB-

در شکل (۴-۱۶) ساختار زمین آرایه ی تزویج روزنه ای با 512 عنصر مشخص است.



شکل (۴-۱۶) ساختار زمین آرایه ی تزویج روزنه ای با 512 عنصر

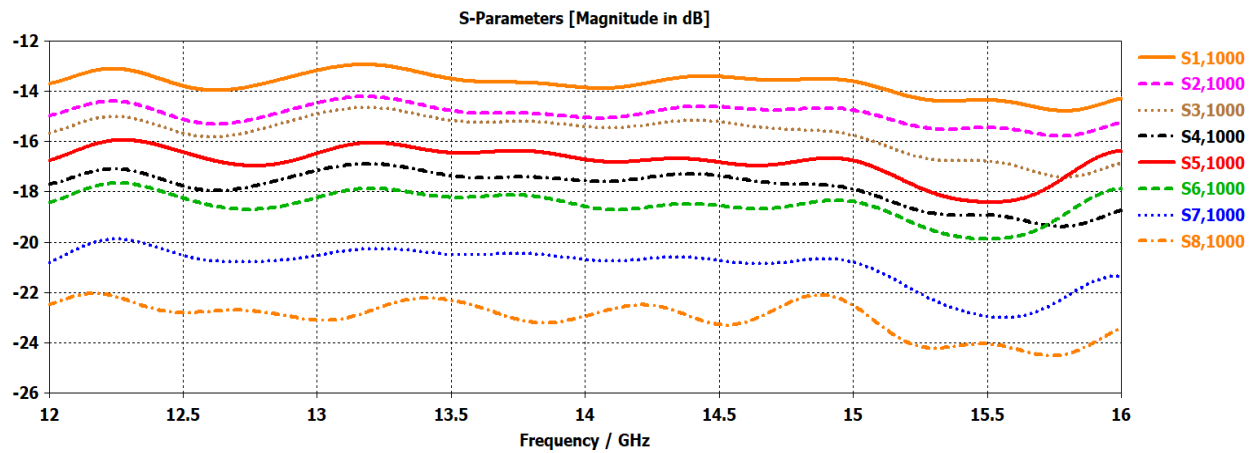
در شکل (۴-۱۷) نمودار تلفات بازگشتی شبکه تغذیه رسم شده است و به 50 اهم تطبیق داده شده است.



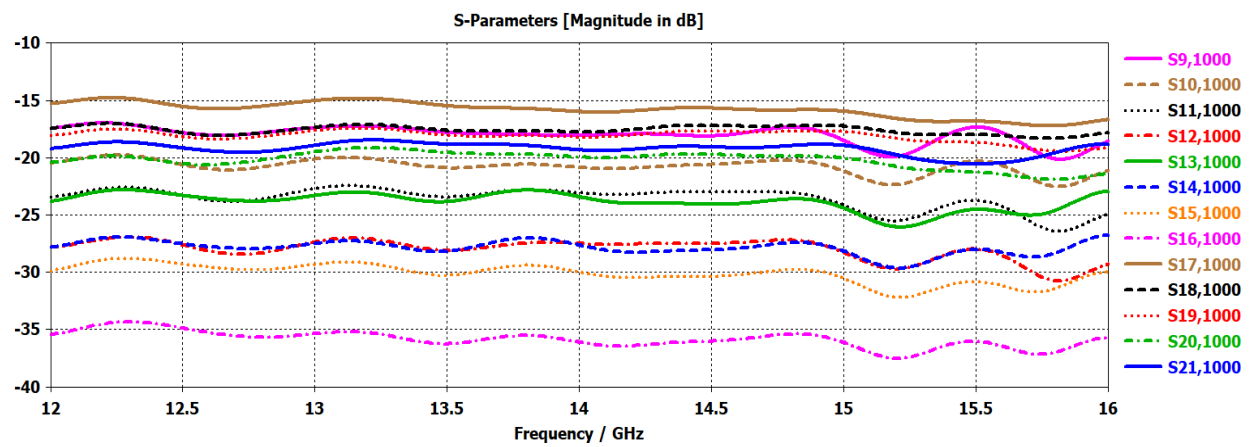
شکل (۴-۱۷) نمودار تلفات بازگشتی شبکه تغذیه تقسیم کننده ی توان نامتقارن برای توزیع تیلور -25 dB-

در شکل (۴-۱۸) توان های مختلف عناصر آرایه با یکدیگر مقایسه شده اند و نسبت آن ها بررسی شده است. نکته ی مهمی که وجود دارد این است که نسبت توان برای تمام عناصر در تمام طول بازه ی فرکانسی و پهنای

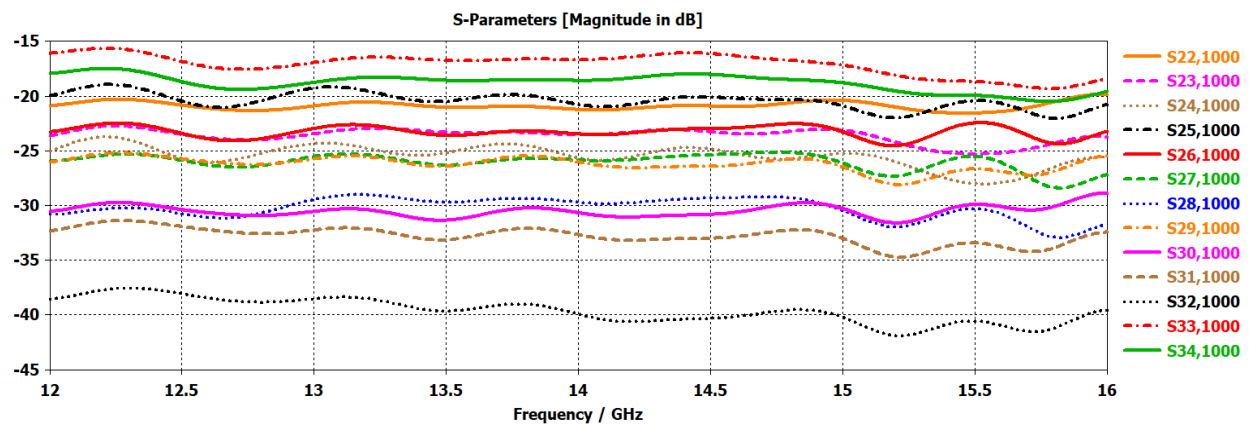
باند امپدانسی، مقداری ثابت است و این یعنی این که ساختار آرایه از نظر سطح گلبزرگ جانبی در تمام پهنای باند رفتاری مشخص و تقریباً یکسان دارد. شماره ی پورت ها در شکل (۴-۲۰) مشخص شده است.



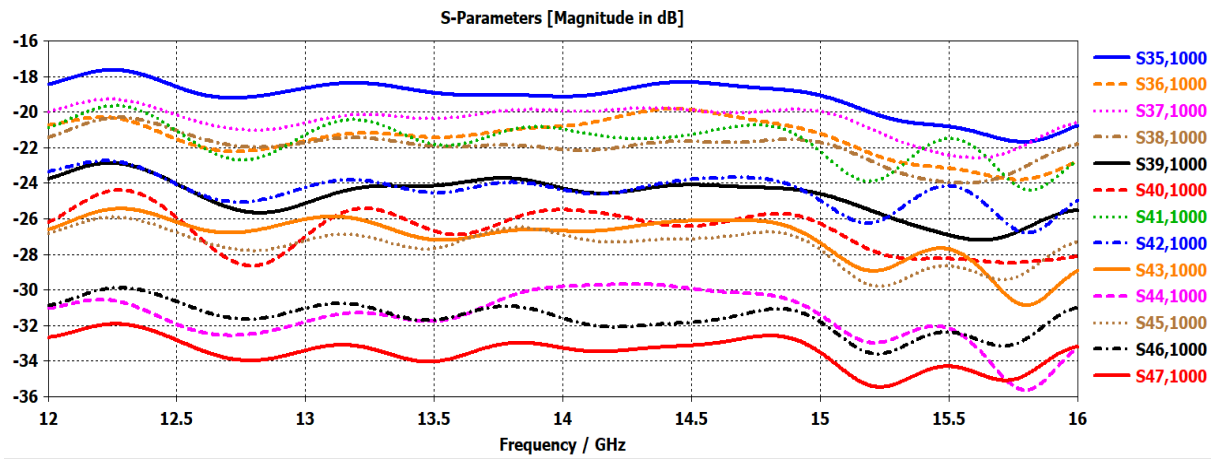
(الف)



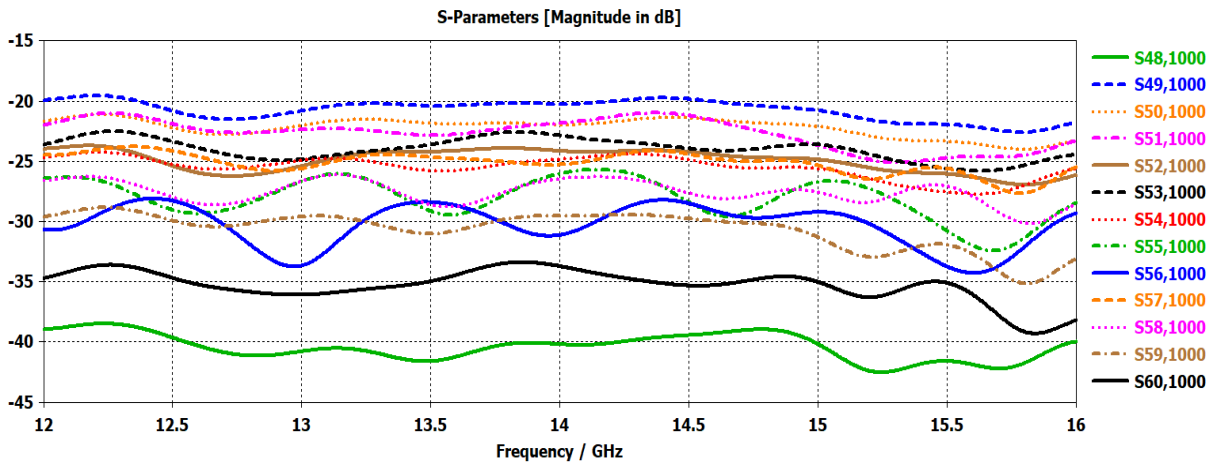
(ب)



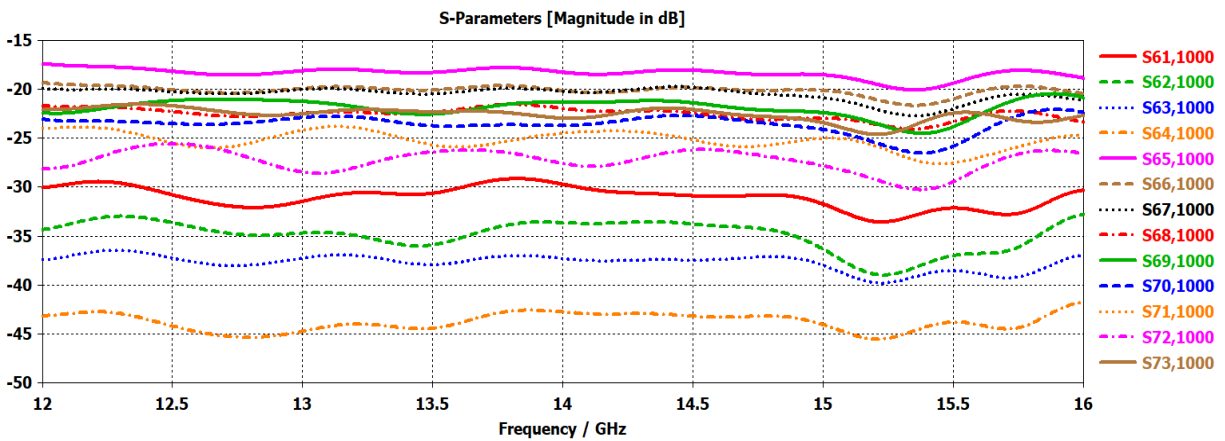
(ج)



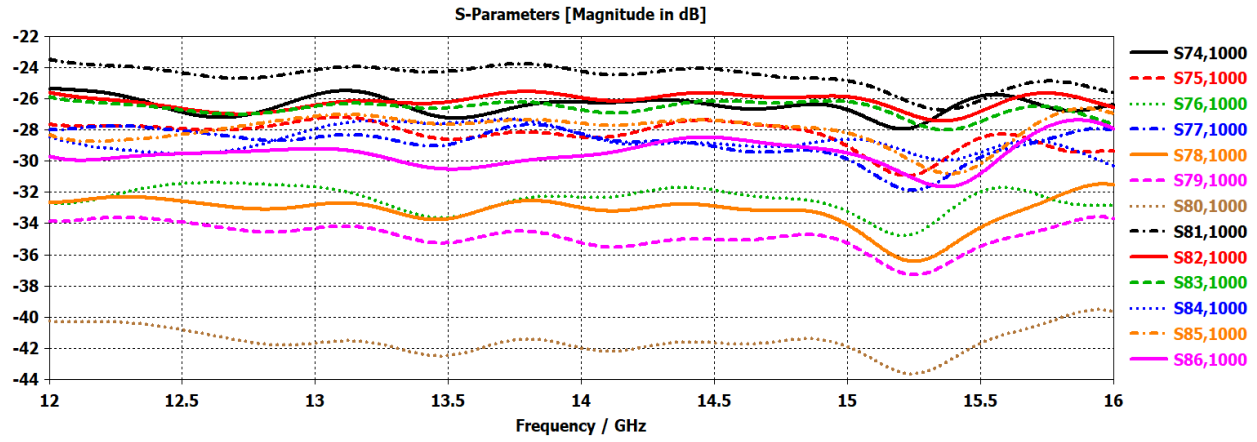
(d)



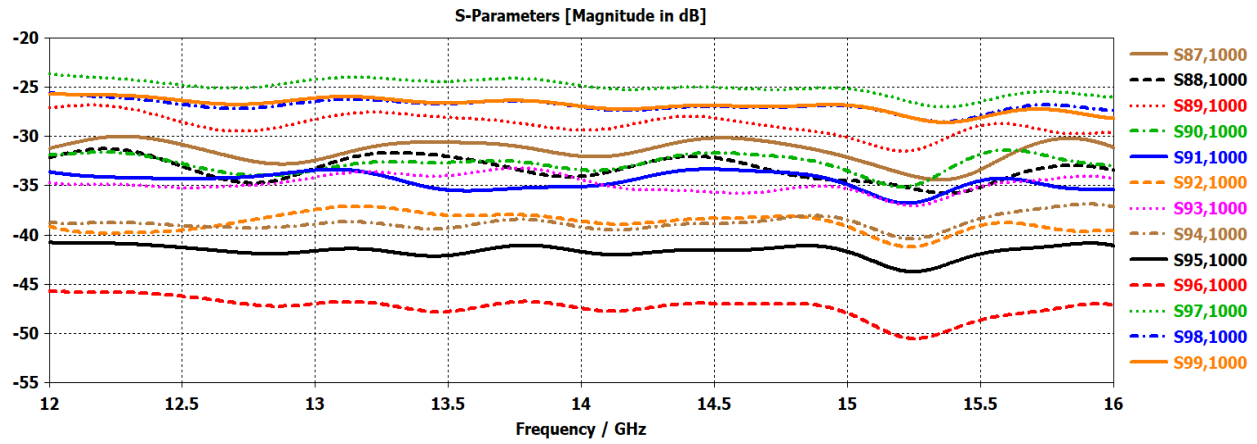
(e)



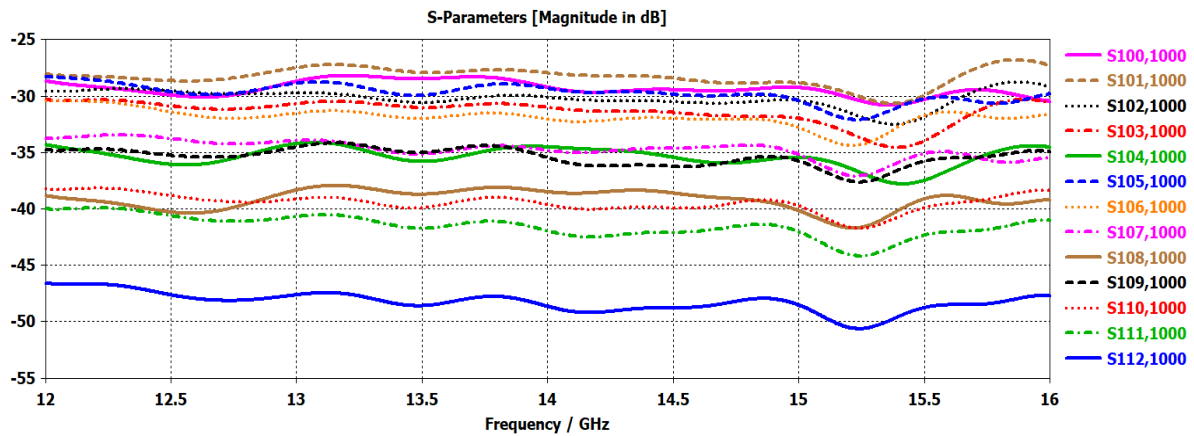
(f)



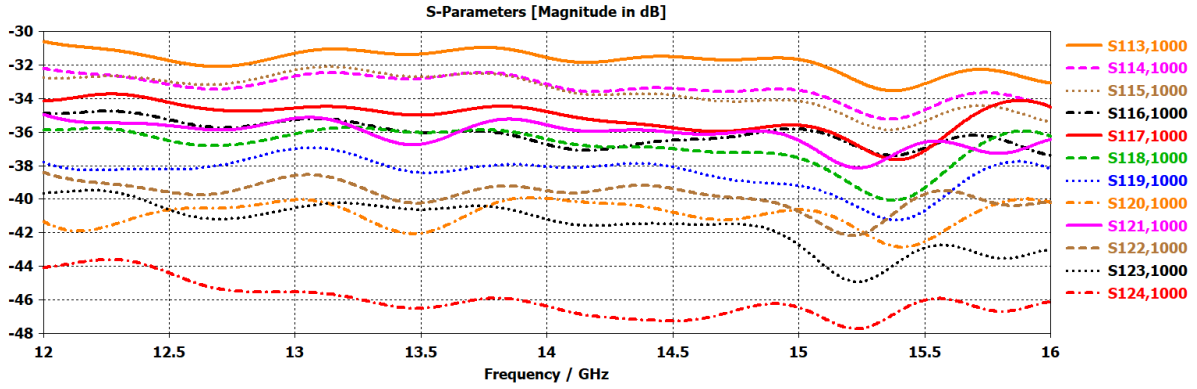
(i)



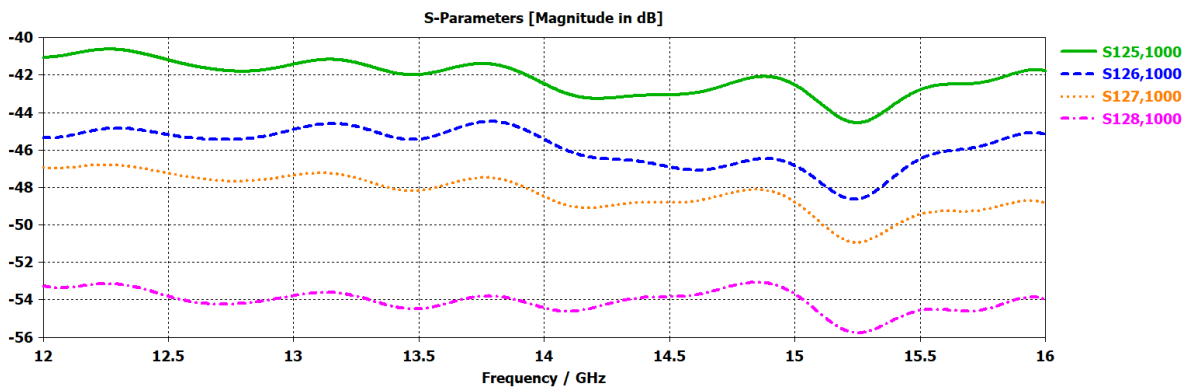
(j)



(k)



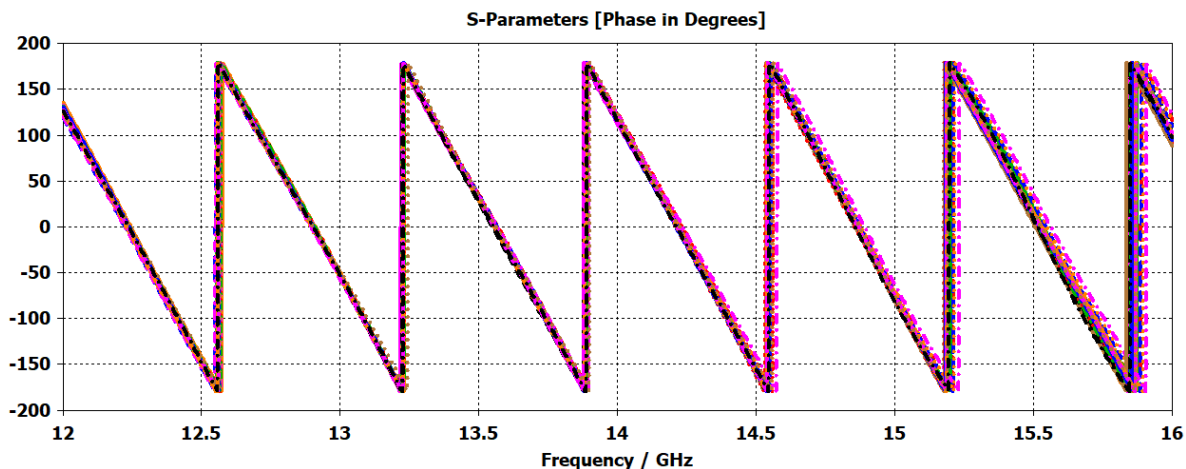
(ن)



(و)

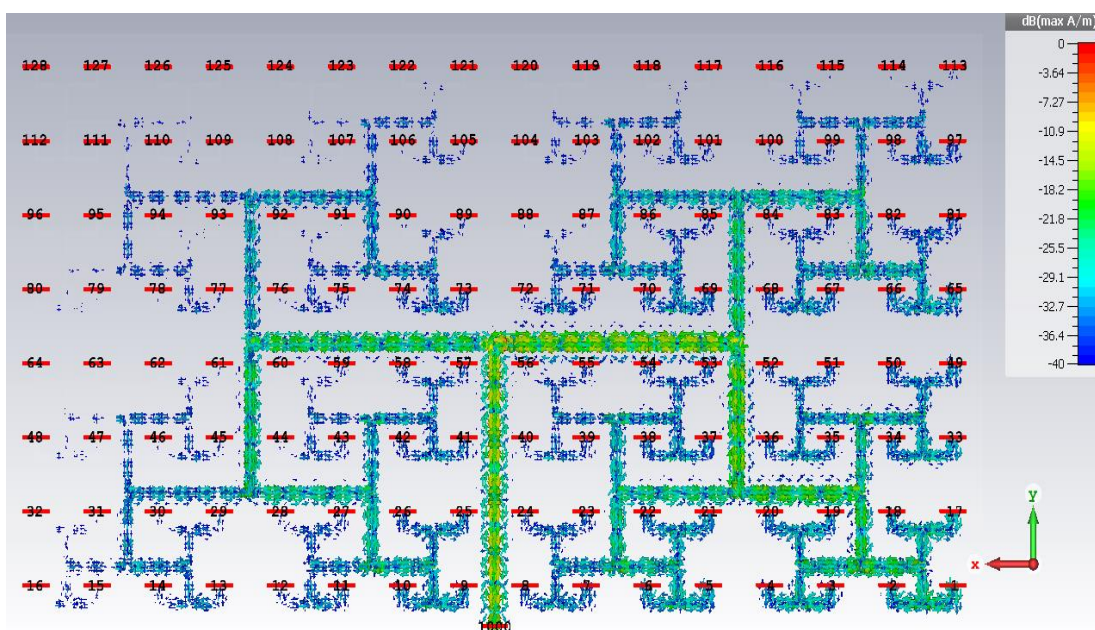
شکل (۴-۱۸) نسبت توان عناصر در توزیع تیلور برای سطح گلبرگ جانبی -25 dB برای عناصر (الف) ۱ تا ۸ (ب) ۹ تا ۲۱ (ج) ۲۲ تا ۳۴ (د) ۳۵ تا ۴۷ (ه) ۴۸ تا ۶۰ (و) ۶۱ تا ۷۳ (ز) ۷۴ تا ۸۶ (ح) ۸۷ تا ۹۹ (ط) ۱۰۰ تا ۱۱۲ (ث) ۱۱۳ تا ۱۲۴ (۱) ۱۲۵ تا ۱۲۸

همان طور که بیان شد برای این که بیم اصلی در ناحیه ی broadside باشد، می بایست فاز تمام عناصر با یکدیگر برابر باشند. حال با توجه به این که در ساختار خط تغذیه، فاصله ی ورودی توان تا تمام عناصر به صورت یکسان می باشد، بنابراین فاز تمام عناصر هم تقریباً با هم برابر خواهند بود. این موضوع در شکل (۴-۱۹) مشخص است.



شکل (۴-۱۹) فاز عناصر آرایه با توزیع غیر یکنواخت

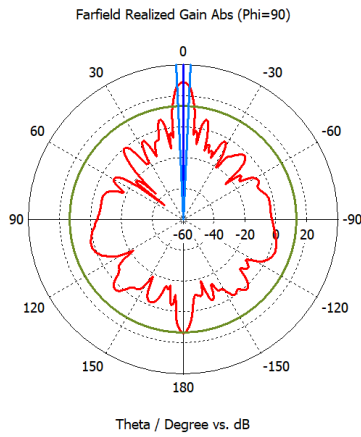
در شکل (۴-۲۰) نمودار توزیع جریان مشخص است. با توجه به نمودار و متناسب با ضرایب توزیع توان تیلور، بیشترین توان و جریان به عناصر پچ مرکزی رسیده و هر چه به سمت گوشه‌های ساختار آرایه برویم، میزان توان عناصر پچ کاهش پیدا می‌کند.



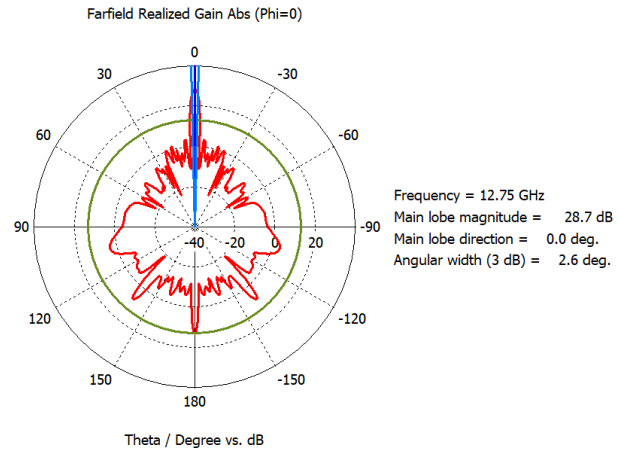
شکل (۴-۲۰) توزیع جریان در ساختار آرایه با توزیع توان غیر یکنواخت

پترن تشعشعی آرایه‌ی کامل حاصل از توزیع توان تیلور در شکل (۴-۲۱) در فرکانس‌های $12/75$ ، $13/5$ و $14/5$ گیگاهرتز در صفحات E و H رسم شده است. گین آرایه در این حالت در حدود 29 dB است. میزان گین آرایه با توزیع تیلور، کم‌تر از ساختار با توزیع یکنواخت است. تغییرات گین آرایه در کل پهنای باند امپدانس

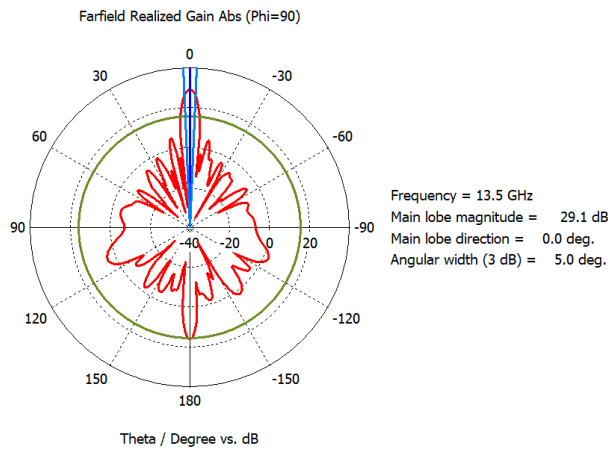
اندک است که امری مطلوب است. همان طور که مشخص است سطح گلبیج در این ساختار پایین تر از ساختار آرایه با توزیع یکسان و در حدود $-22/5$ dB تا -29 dB در صفحات مختلف متغیر است. پهنای بیم در ساختار آرایه با توزیع توان نامتقارن، بزرگ تر از پهنای بیم در ساختار آرایه با توزیع توان یکسان است.



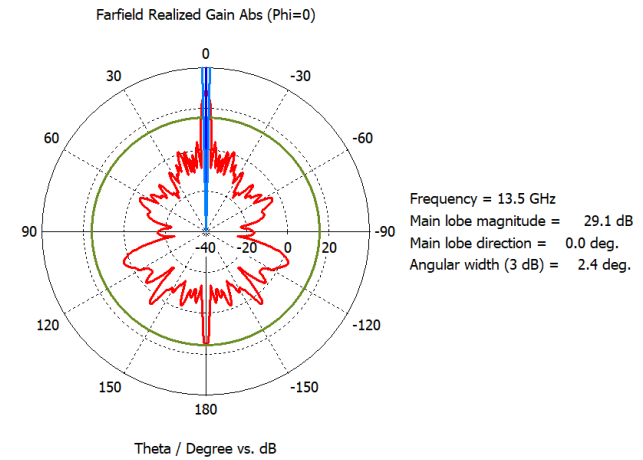
(ب)



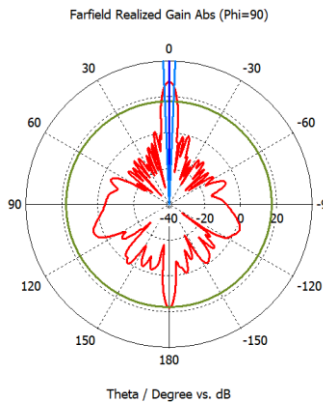
(الف)



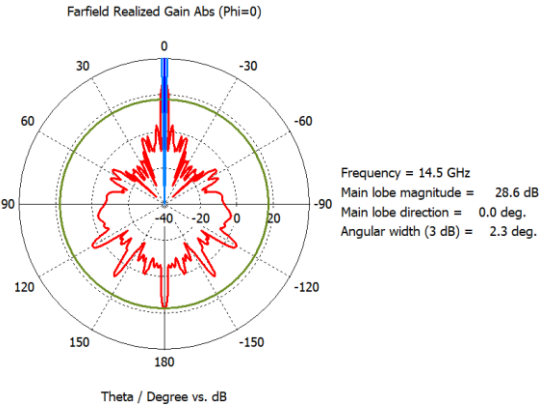
(د)



(ج)



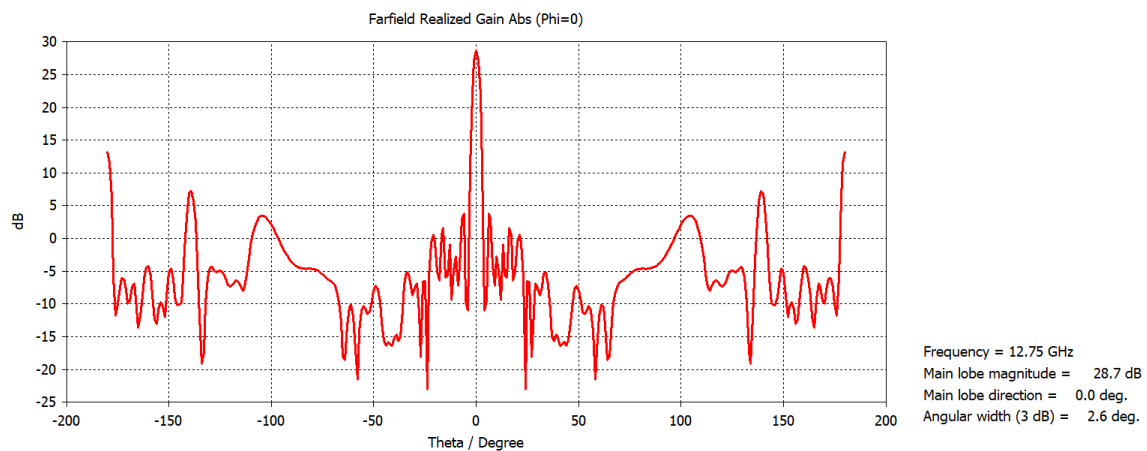
(ر)



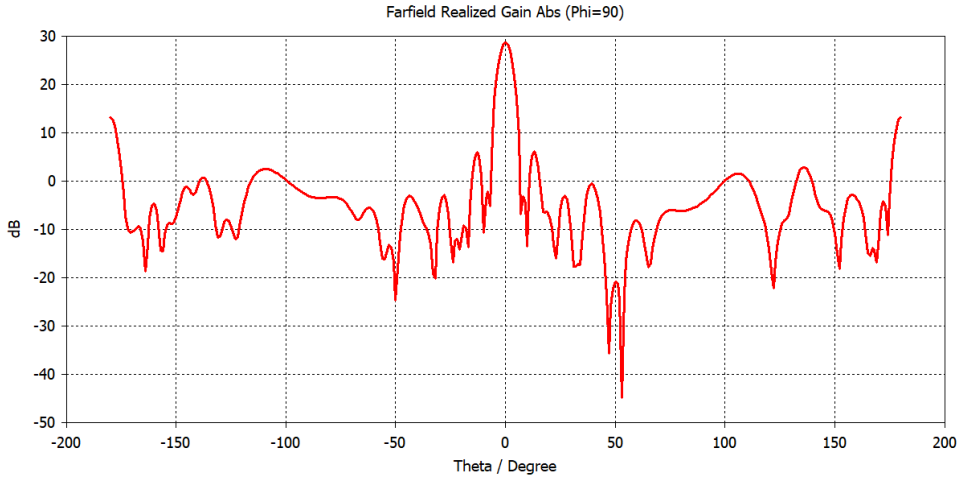
(ه)

شکل (۴-۲۱) پترن تشعشی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع غیریکنواخت و هم فاز در مختصات قطبی (الف) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (ب) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ج) فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (د) فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ه) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (ر) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$

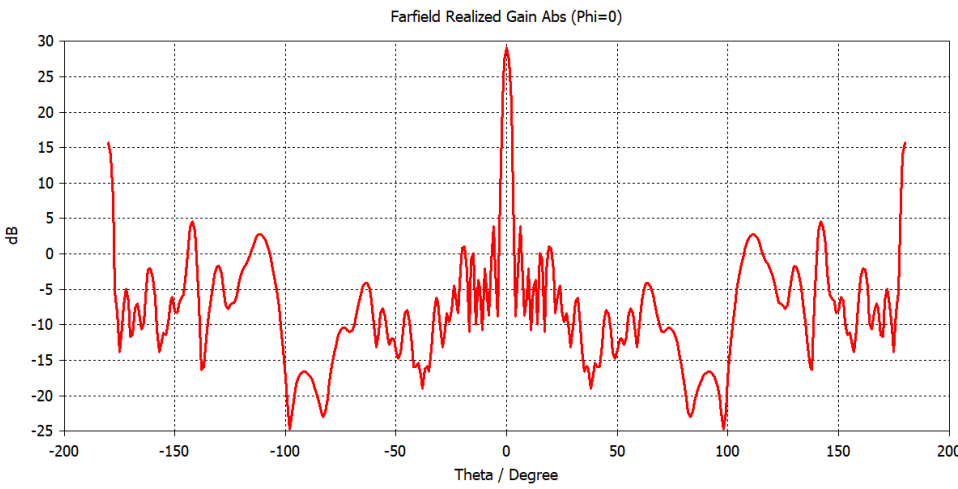
در شکل (۴-۲۲) نمودار پترن تشعشی آنتن در صفحات $\Phi = 0$ و $\Phi = 90$ و به صورت دو بعدی در فرکانس های ۱۲/۷۵ ، ۱۳/۵ و ۱۴/۵ گیگاهرتز رسم شده است که گین آنتن در این سه فرکانس به ترتیب ۲۸/۷ dB ، ۲۹/۱ dB و ۲۸/۶ dB است.



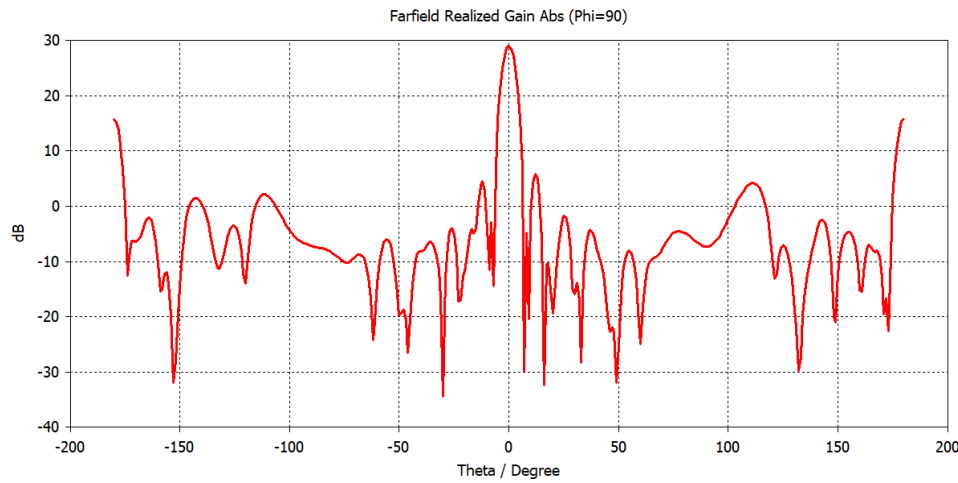
(الف)



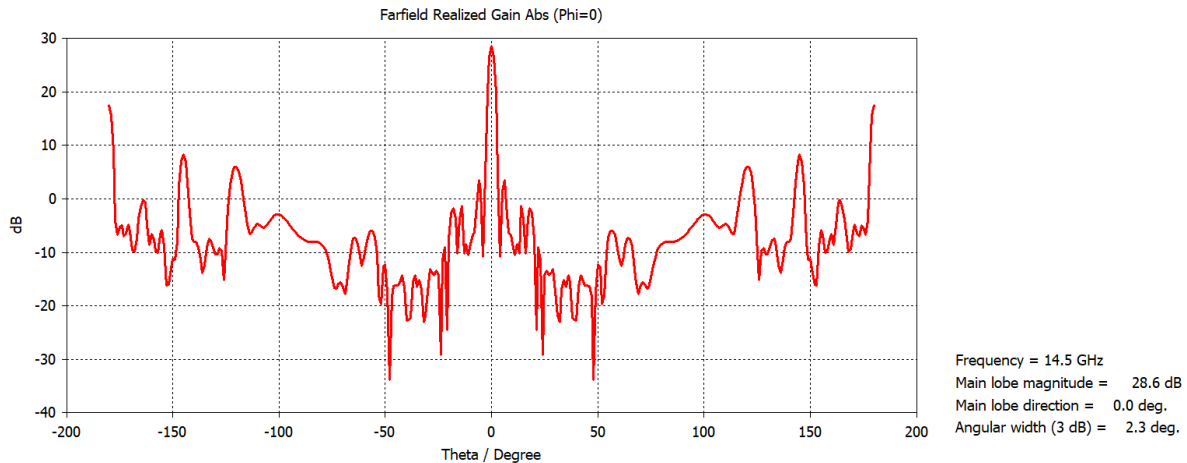
(↵)



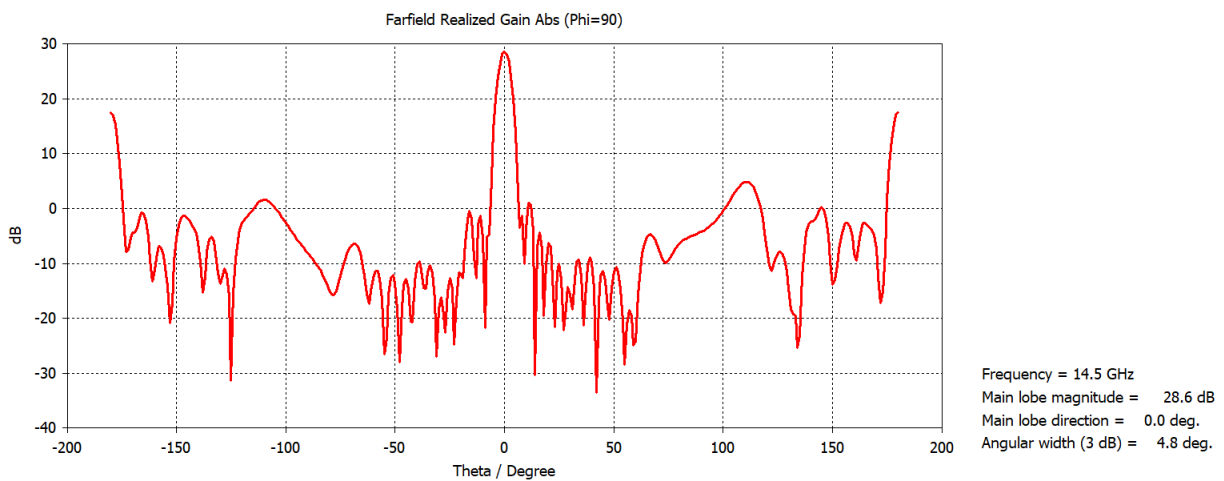
(↶)



(↷)



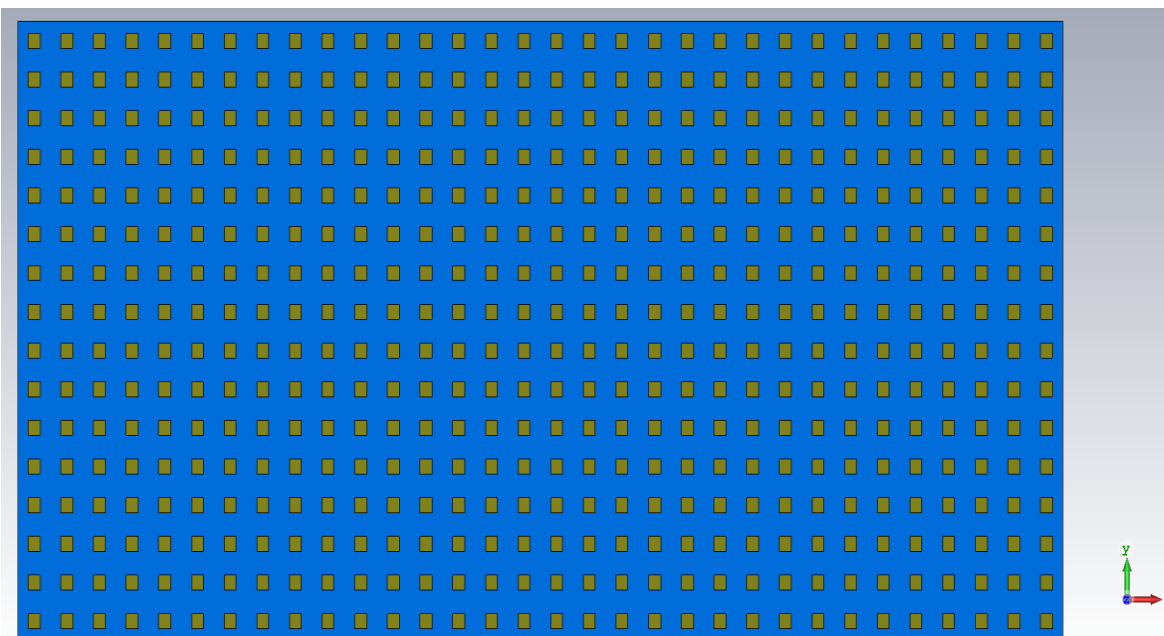
(ه)



(ر)

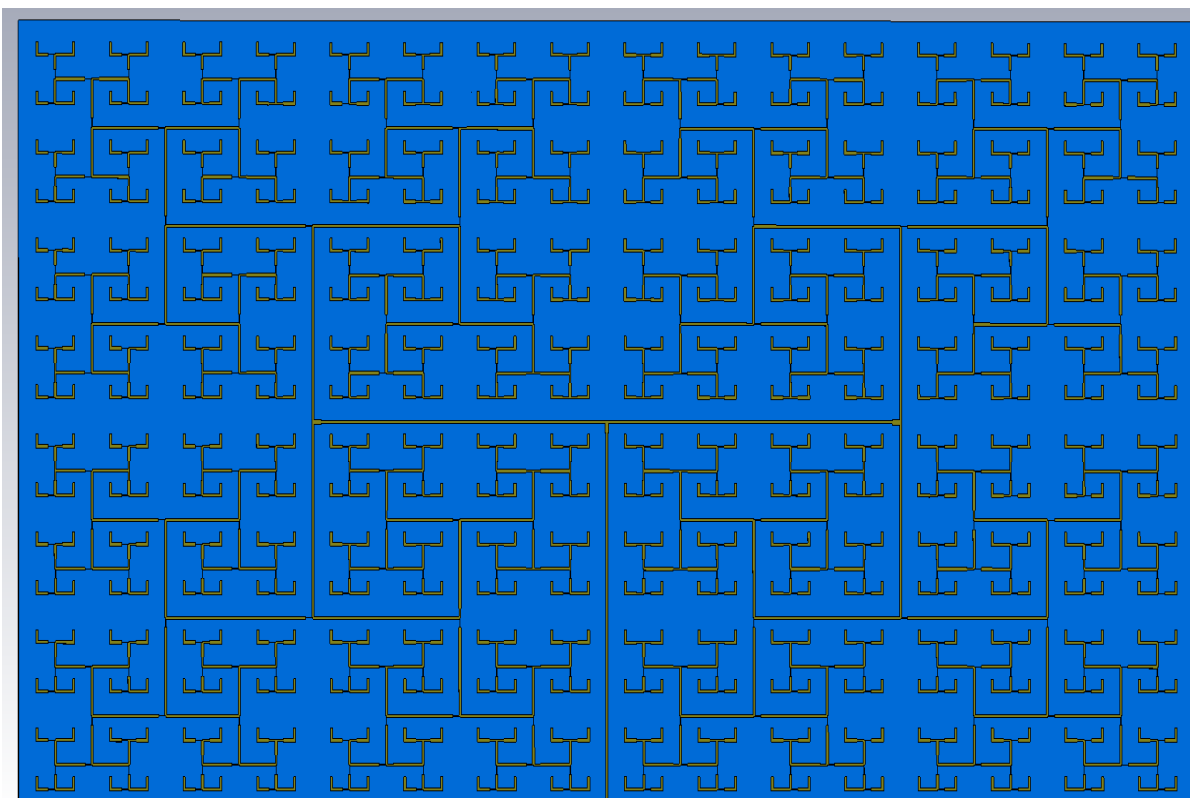
شکل (۴-۲۲) پترن تشعشعی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع غیریکنواخت و هم فاز به صورت دو بعدی (الف) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (ب) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ج) فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (د) فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ه) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (ر) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$

در شکل (۴-۲۳) ساختار کامل زیرلایه ی همراه با پچ آرایه ی $16 * 32$ عنصری نشان داده شده است که دارای ابعاد کلی $288 \text{ mm} * 576 \text{ mm}$ است:



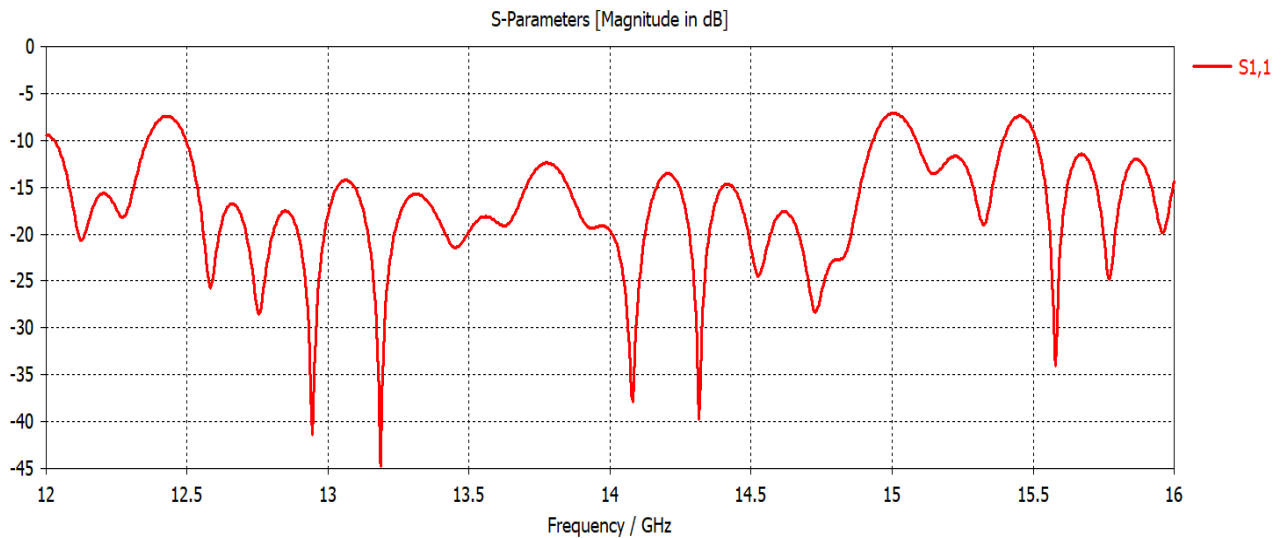
شکل (۴-۲۳) ساختار آنتن آرایه ی تزویج روزنه ای با ۵۱۲ عنصر پیچ با تغذیه ی غیر یکنواخت

در شکل (۴-۲۴) ساختار خط تغذیه ی آرایه ی کامل ۵۱۲ عنصری با توزیع غیر یکسان نشان داده است:



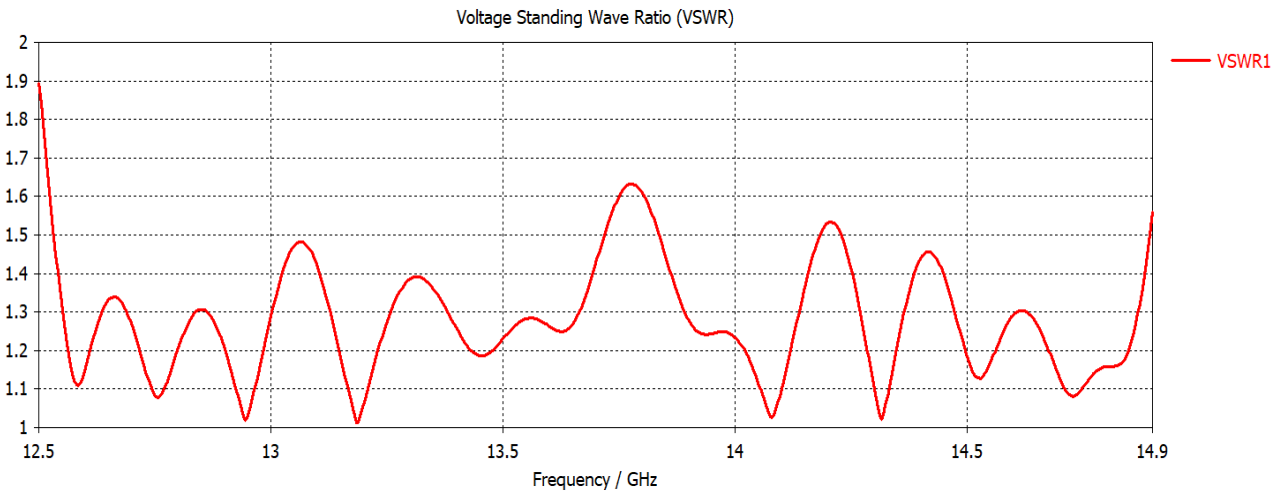
شکل (۴-۲۴) ساختار شبکه تغذیه آنتن آرایه ای تزویج روزنه ای با ۵۱۲ عنصر با تغذیه ی غیر یکنواخت

نمودار S11 ساختار کامل و نهایی آرایه ی ۵۱۲ عنصری در شکل (۴-۲۵) رسم شده است. پهنای باند امپدانسی آنتن از فرکانس ۱۲/۵ تا ۱۴/۹ گیگاهرتز که معادل ۱۷٪ پهنای باند امپدانسی است.



شکل (۴-۲۵) نمودار S11 ساختار آرایه ی ۵۱۲ عنصری با توزیع غیر یکسان

در شکل (۴-۲۶) نمودار VSWR آرایه ی کامل ۵۱۲ عنصری با توزیع غیر یکسان توان رسم شده است که در اکثر پهنای باند امپدانسی این میزان کم تر از ۱/۵ است.



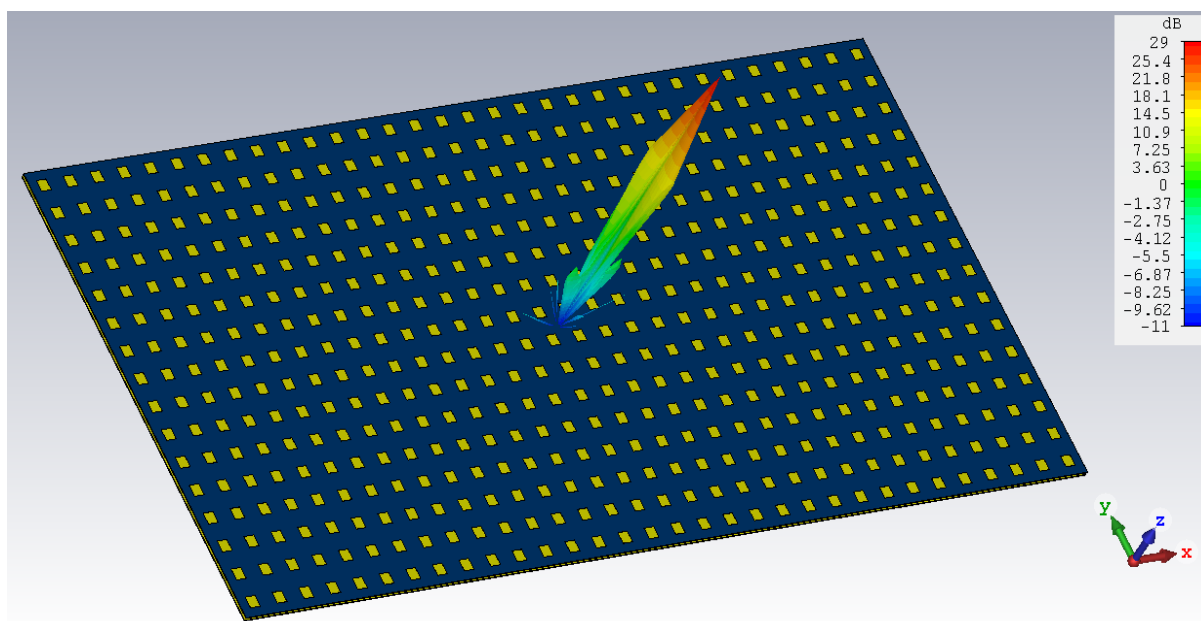
شکل (۴-۲۶) نمودار VSWR ساختار آرایه ی ۵۱۲ عنصری با توزیع غیر یکسان

پارامترهای پترن تشعشی در جدول (۳-۴) آمده است.

جدول (۳-۴) نتایج شبیه سازی آنتن آرایه ی ۵۱۲ عنصری با تزویج روزنه ای با توزیع غیر یکنواخت و هم فاز

HPBW E-plane (deg)	HPBW H-plane (deg)	F/B (dB)	SLL E-plane (dB)	SLL H-plane (dB)	گین (dB)	فرکانس (GHz)
۵/۳	۲/۶	۱۵/۵	-۲۲/۴	-۲۵	۲۸/۷	۱۲/۷۵
۵	۲/۴	۱۳/۴	-۲۳/۲	-۲۵/۱	۲۹/۱	۱۳/۵
۴/۸	۲/۳	۱۱	-۲۷/۶	-۲۵/۱	۲۸/۶	۱۴/۵

و نهایتاً در شکل (۴-۲۷) پترن سه بعدی آرایه ۱۶×۳۲ عنصری با توزیع غیر یکسان توان در فرکانس ۱۴ گیگاهرتز رسم شده است که گین آنتن در این فرکانس ۲۹ dB است:



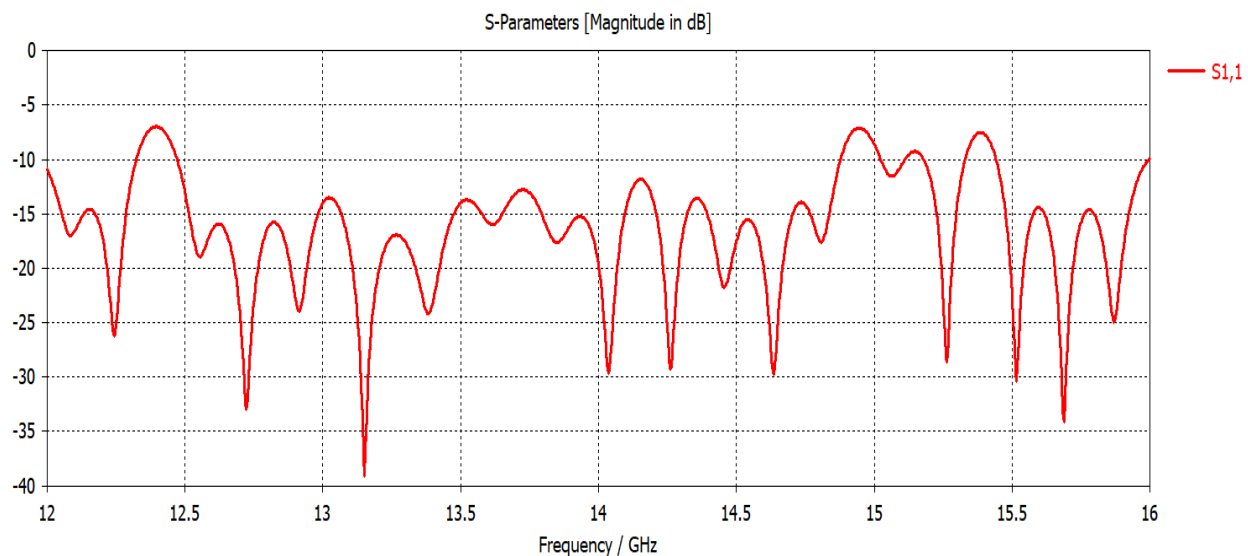
شکل (۴-۲۷) پترن تشعشی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با توزیع غیر یکسان دامنه به صورت سه بعدی در فرکانس ۱۴ گیگاهرتز

۴-۵ کاهش تشعشات Backlobe

توجه به کاهش تشعشات Backlobe در طراحی اکثر آنتن ها مسئله ای است که باید به آن توجه شود. چرا که به غیر از اتلاف انرژی تابشی و کاهش راندمان آنتن، در کاربردهای مختلف دفاعی، تجاری و فضایی در زمینه ی سطح Backlobe محدودیت وجود دارد. به عنوان مثال در کاربردهای تجاری و سیستم های ارتباطی این مسئله از آن

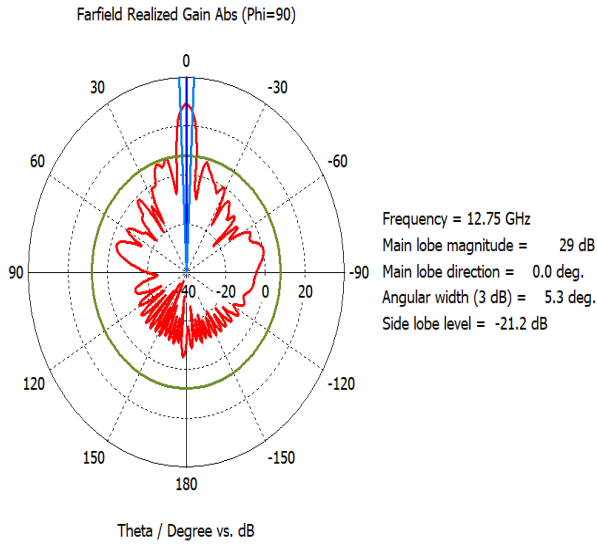
جهت مهم است که در زمینه ی نرخ جذب ویژه^۱ و بحث امن و سالم بودن آنتن، به حداقل رساندن Backlobe موضوعی بسیار مهم است. به طور مشابه برای آنتن های راداری و فضایی که نزدیک سطح زمین قرار می گیرند، اگر سطح Backlobe زیاد باشد، نتیجه این می شود که این تشعشعات از سطح زمین بازتاب می شوند و با سیگنال ورودی آنتن تداخل پیدا می کنند و عملکرد آنتن را پایین می آورند.

در این جا ما برای کاهش سطح Backlobe از یک صفحه ی بازتابنده استفاده کردیم که به عنوان زمین دوم محسوب می شود. برای اینکه بهترین عملکرد و بهترین کاهش Backlobe را در عین ثابت ماندن گلبرگ اصلی داشته باشیم، این صفحه تقریبا در فاصله ربع طول موج نسبت به زیرلایه ی تغذیه ی آنتن قرار می گیرد، زیرا هم پهنای باند امیدانسی ثابت بماند و تغییر نکند و هم گین آنتن مقداری افزایش یابد. که در این جا این فاصله تقریبا برابر است با ۵٫۵ mm . همان طور که نتایج آنتن در شکل (۴-۲۸) نشان شده است پهنای باند آنتن از ۱۲/۵ تا ۱۴/۸۵ گیگاهرتز است.

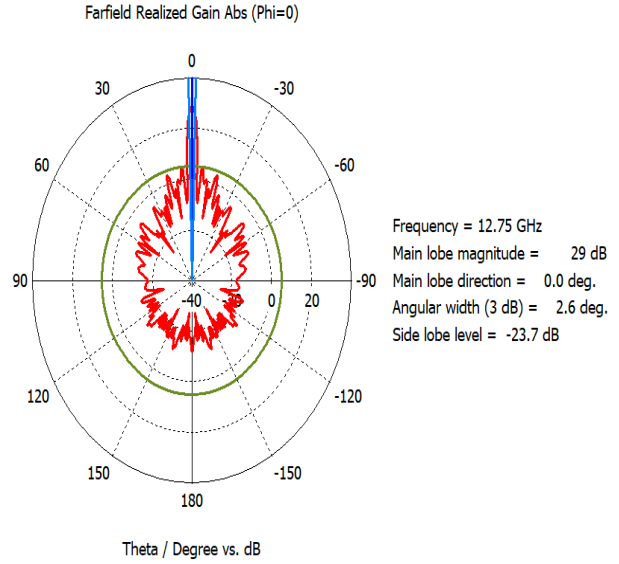


شکل(۴-۲۸) نمودار S11 ساختار کامل آرایه ی ۵۱۲ عنصری همراه با صفحه ی بازتابنده با توزیع غیر یکسان و غیر یکنواخت

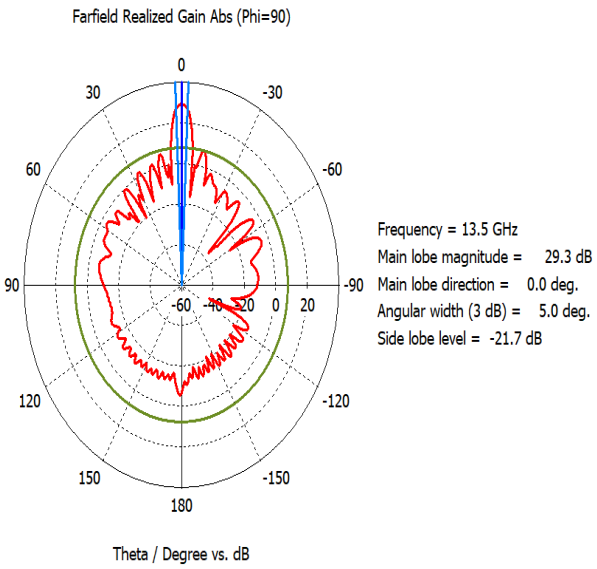
گین آنتن مقداری افزایش پیدا کرده و سطح Backlobe به میزان زیادی کاهش پیدا کرده است. پترن تشعشی آنتن در صفحات مختلف در شکل (۴-۲۹) و (۴-۳۰) رسم شده است.



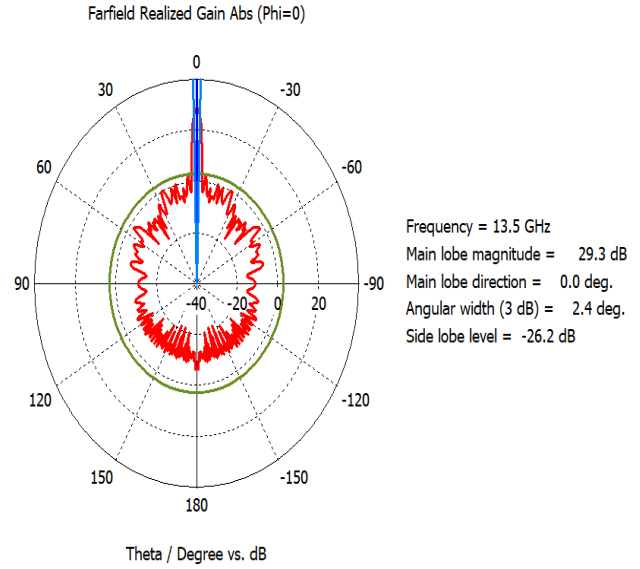
(ب)



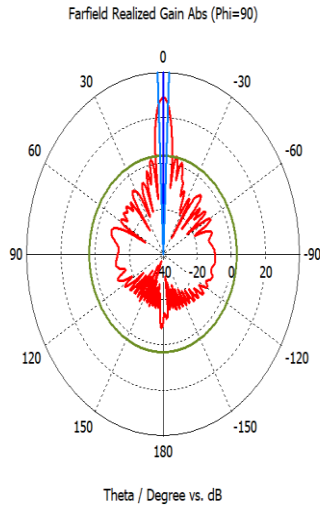
(الف)



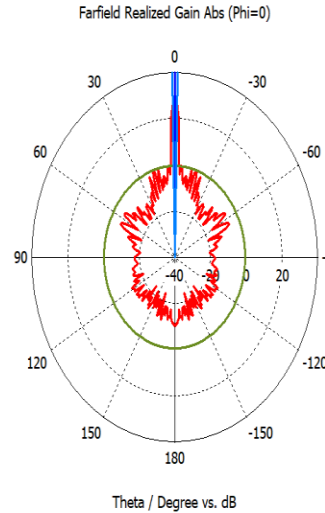
(د)



(ج)



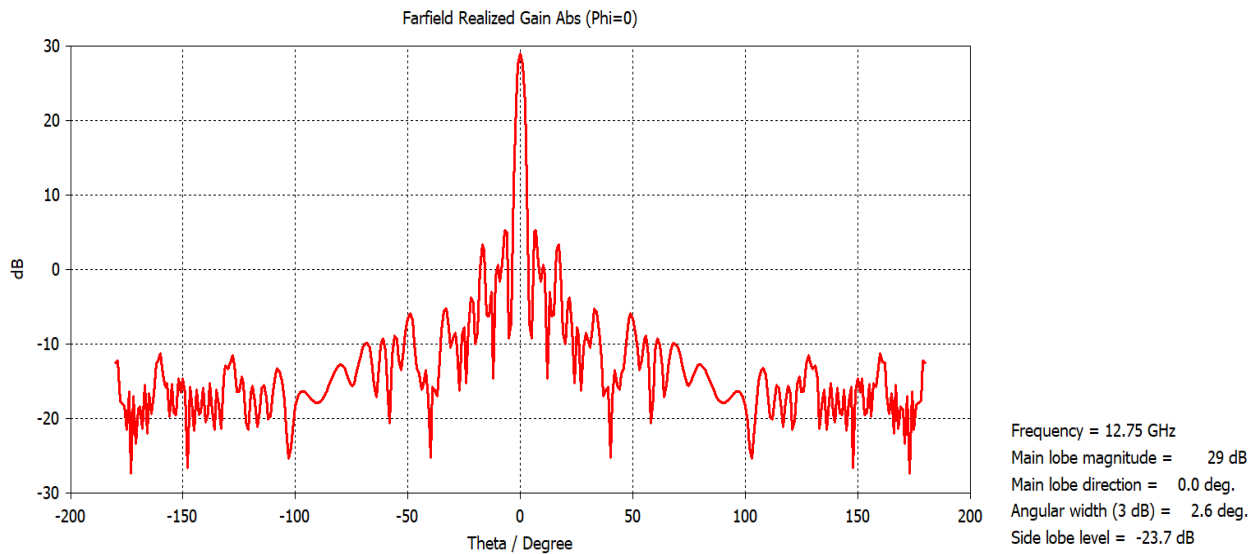
(ر)



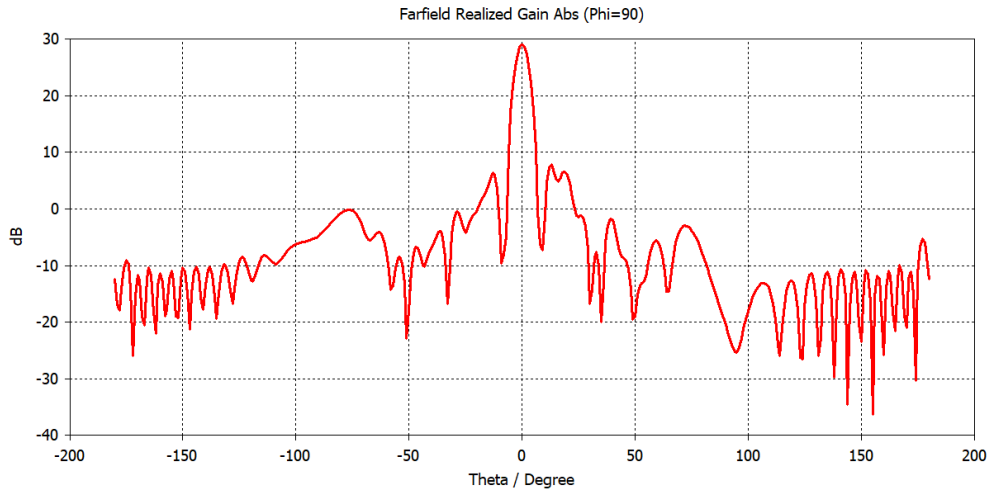
(ه)

شکل (۴-۲۹) پترن تشعشعی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با صفحه ی بازتابنده و توزیع غیریکنواخت و هم فاز در مختصات قطبی
 (الف) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (ب) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ج) فرکانس ۱۳/۵
 گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (د) فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ه) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$
 (ر) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$

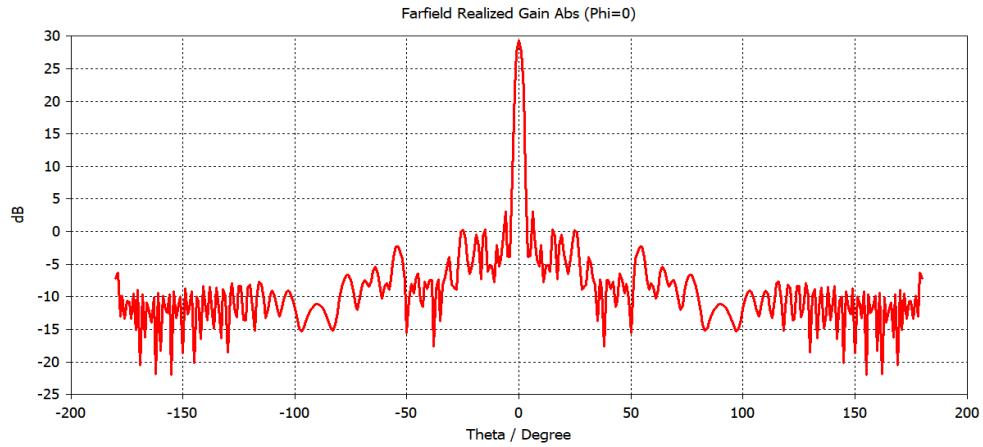
در شکل (۴-۳۰) نمودار پترن تشعشعی آنتن در صفحات $\Phi = 0$ و $\Phi = 90$ و به صورت دو بعدی در فرکانس های ۱۲/۷۵ ، ۱۳/۵ و ۱۴/۵ گیگاهرتز رسم شده است.



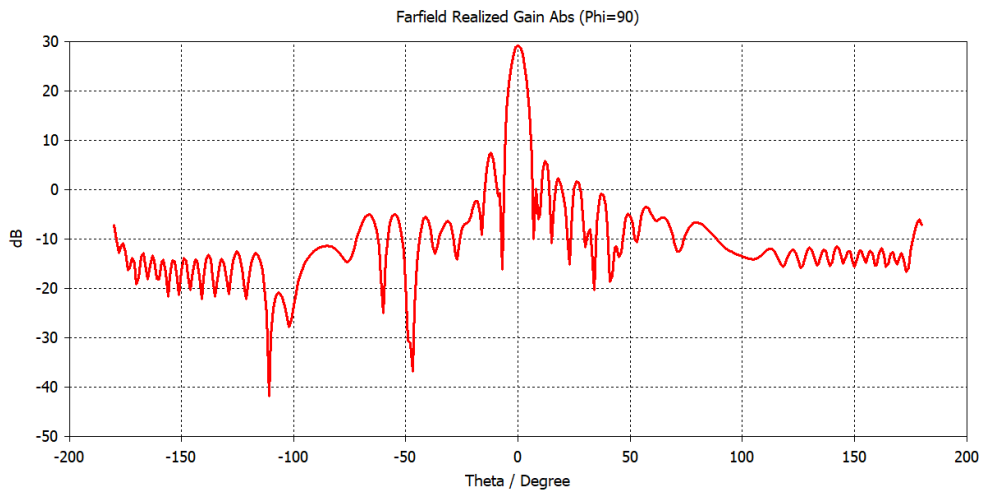
(الف)



(ب)

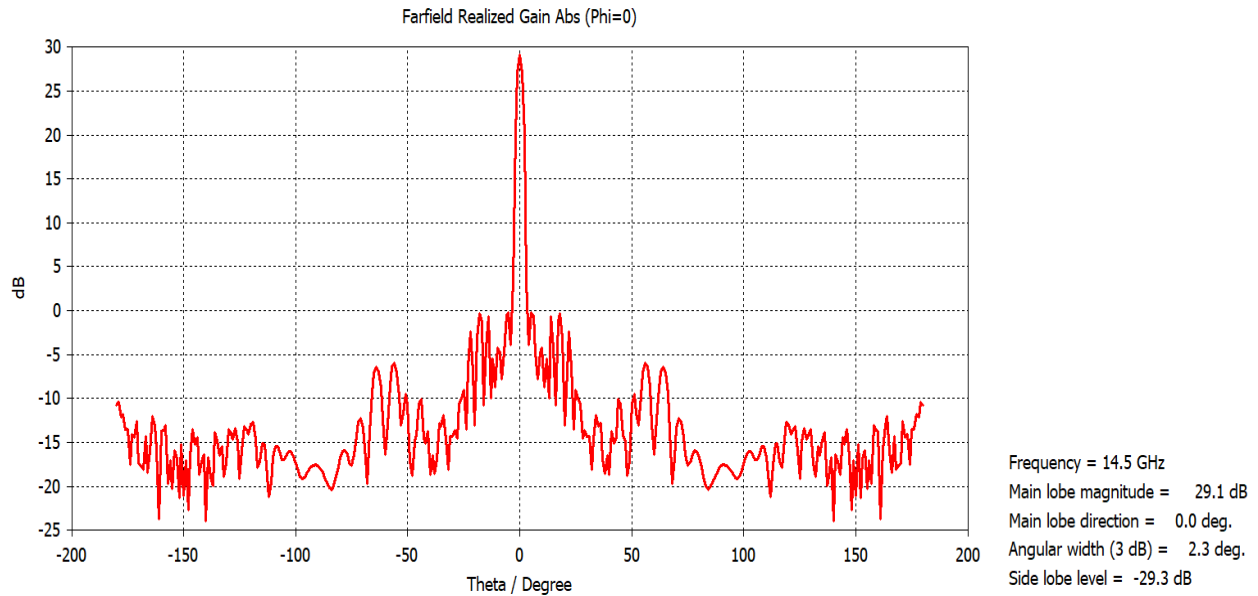


(ج)

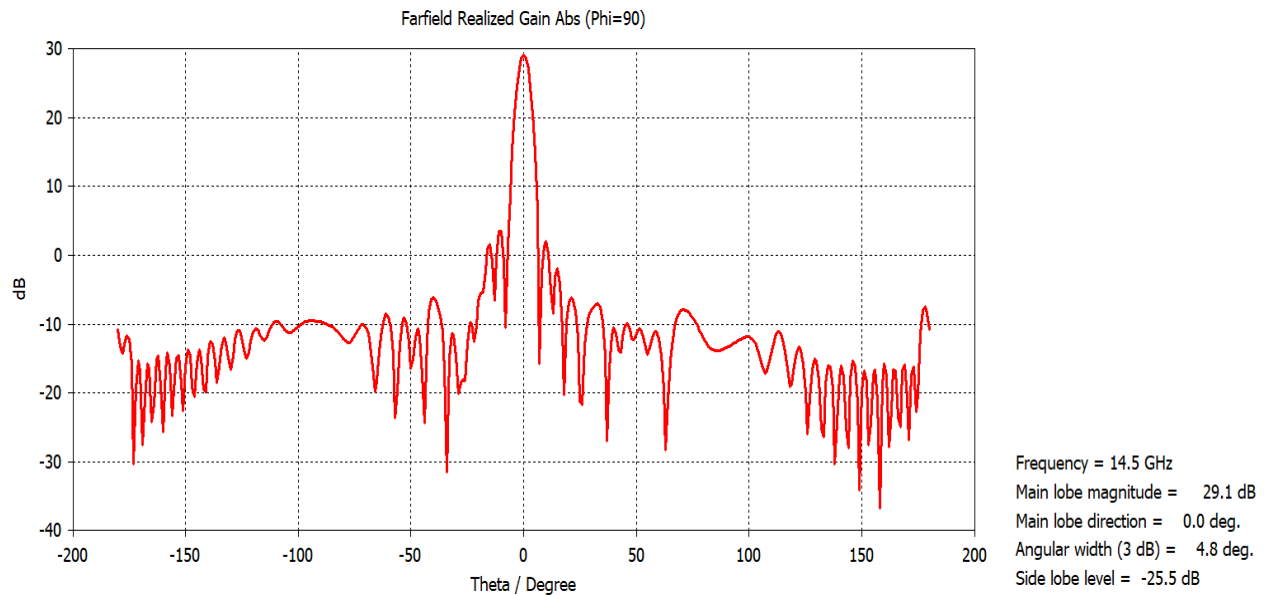


(د)

٨٠



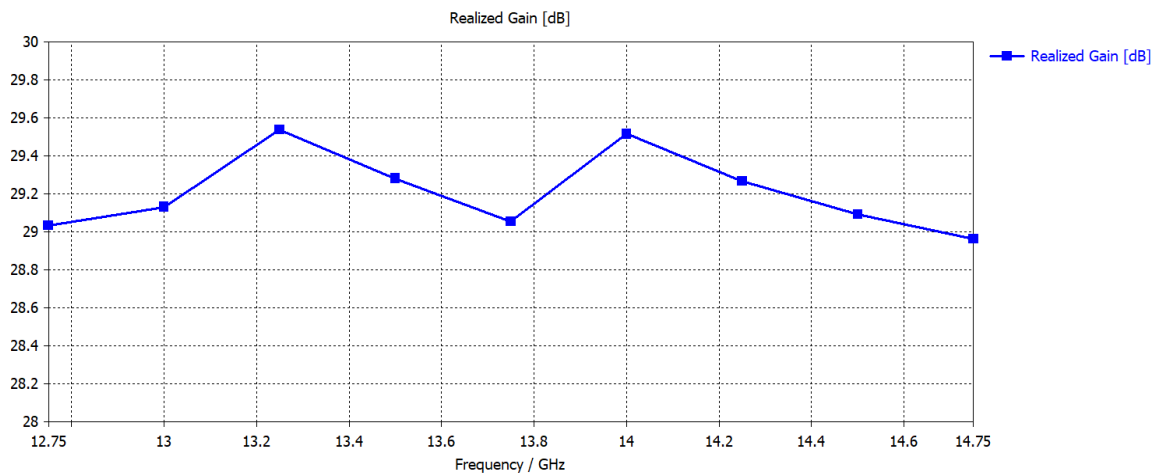
(ه)



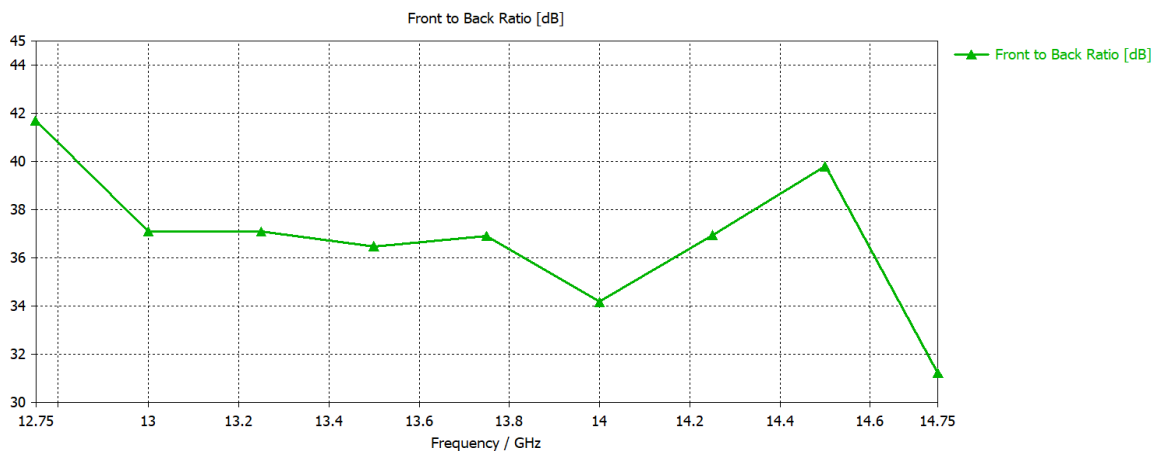
(ر)

شکل (۴-۳۰) پترن تشعشعی آنتن آرایه ۵۱۲ عنصری با صفحه ی بازتابنده و توزیع غیریکنواخت و هم فاز به صورت دو بعدی
 (الف) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (ب) فرکانس ۱۲/۷۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ج) فرکانس ۱۳/۵
 گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$ (د) فرکانس ۱۳/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$ (ه) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 0$
 (ر) فرکانس ۱۴/۵ گیگاهرتز و صفحه $\Phi = 90$

شکل (۴-۳۱) و (۴-۳۲) به ترتیب نمودارهای گین بر حسب فرکانس و F/B بر حسب فرکانس است. همان طور که مشخص است تغییرات گین در طول بازه ی فرکانسی تغییرات اندکی دارد که بسیار مطلوب است و همچنین سطح Backlobe به میزان زیادی کاهش پیدا کرده است.



شکل (۴-۳۱) نمودار گین بر حسب فرکانس



شکل (۴-۳۲) نمودار F/B بر حسب فرکانس

پارامترهای پترن تشعشعی در جدول (۴-۴) آمده است:

جدول (۴-۴) نتایج شبیه سازی آنتن آرایه ی ۵۱۲ عنصری با تزویج روزنه ای و صفحه ی بازتابنده با توزیع غیر یکنواخت و هم فاز

HPBW E-plane (deg)	HPBW H-plane (deg)	F/B (dB)	SLL E-plane (dB)	SLL H-plane (dB)	گین (dB)	فرکانس (GHz)
۵/۳	۲/۶	۴۱/۷	-۲۱/۲	-۲۳/۷	۲۹	۱۲/۷۵
۵	۲/۴	۳۶/۵	-۲۱/۷	-۲۶/۲	۲۹/۳	۱۳/۵
۴/۸	۲/۳	۳۹/۸	-۲۵/۵	-۲۹/۳	۲۹/۱	۱۴/۵

فصل پنجم:

نتیجه گیری و کارهای آینده

نتیجه گیری و کارهای آینده

نتیجه گیری

یک آنتن آرایه ای تزویج روزنه ای صفحه ای با ۵۱۲ عنصر $۱۶*۳۲$ تحلیل و شبیه سازی شد برای بازه ی فرکانسی ۱۲/۵ تا ۱۴/۸۵ گیگاهرتز در باند Ku که معادل ۱۷٪ پهنای باند است. ساختاری که طراحی شد دارای گین بالا و در حدود ۳۰ dB، سطح گلبرگ جانبی پایین که بین -۲۲ dB تا -۲۹ dB در دو صفحه ی E و H متغیر بوده، پهنای بیم نصف توان باریک در دو صفحه که گزینه بسیار مناسبی برای کاربردهای نظامی و راداری از جمله رادارهای FMCW و ردیاب است.

طراحی آرایه ابتدا با طراحی بهینه ی تک عنصر آنتن مایکرواستریپ تزویج روزنه ای شروع شد. سپس با طراحی آرایه ی کامل ۵۱۲ عنصری با تغذیه یکنواخت و هم فاز ادامه پیدا کرد که گین بیش از ۳۰ dB با میزان SLL در حدود -۱۳/۵ dB به دست آمد. در ادامه کار برای کاهش سطح گلبرگ جانبی از توزیع دامنه ی تیلور استفاده شد که برای تحقق آن از ساختار خط تغذیه مشترک استفاده شد و توان به صورت غیر یکسان ولی هم فاز بین عناصر تقسیم شد به طوری به عناصر وسط، بیش ترین میزان توان و عناصری کناری، کم ترین میزان توان را دریافت نمودند. در پایان کار برای کاهش سطح Backlobe از یک صفحه ی بازتابنده ی فلزی استفاده شد که F/B به بیش از ۳۰ dB رسید. نتایج شبیه سازی مطابق انتظار واقع شدند و نتایج مناسبی حاصل شد.

کارهای آینده

کارهای آینده باید شامل طراحی ساختار با همین مشخصات گین و SLL ولی به صورت فراپهن باند نیز باشد. افزایش بازده آرایه و همچنین طراحی ساختار به صورت آرایه فازی با زاویه اسکن وسیع و همچنین طراحی سایر اجزاء، شامل تغییر دهنده ی فاز فرا پهن باند نیز باید مورد توجه قرار بگیرد.

طراحی رادارهای اکتیو از جمله زمینه های مهم کار در این زمینه است.

ساختارهایی با بیم تغییر شکل یافته دارای کاربردهای خاص خود هستند و مورد توجه قرار هستند.

١. Bayderkhani, R., Hassani, H.R.: ‘Very-low-sidelobe printed tapered arcshaped wide-slot antenna array’, IET Microw. Antennas Propag., 2011, 5, (10), pp. 1143–1147
٢. Shakib, M.N., Islam, M.T., Misran, N.: ‘Stacked patch antenna with folded patch feed for ultra-wideband application’, IET Microw. Antennas Propag., 2010, 4, (10), pp. 1456–1461
٣. Azim, R., Islam, M.T., Misran, N.: ‘Ground modified double-sided printed compact UWB antenna’, Electron. Lett., 2011, 47, (1), pp. 9–11
٤. Mosalanejad, M., Brebels, S., Ocket, I. : ‘Millimeter wave cavity backed aperture coupled microstrip patch antenna’. 2016 10th European Conf. Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, 2016, pp. 1–5
٥. Siddiq, S.S., Karthikeya, G.S., Tanjavur, T. : ‘Microstrip dual band millimeter-wave antenna array for UAV applications’. 2016 21st Int. Conf. Microwave, Radar and Wireless Communications, Krakow, 2016, pp. 1–4
٦. Bilgic, M.M., Yegin, K.: ‘Wideband offset slot-coupled patch antenna array for X/Ku-band multimode radars’, IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett., 2014,13, pp. 157–160
٧. D. M. Pozar, “A Microstrip Antenna Aperture Coupled to a Microstrip Line”, Electronics Letters, Vol. 21, pp. 49-50, Jan 17, 1985.
٨. R. C. Hansen, Phased Array Antennas, Wiley, 1998.
٩. T. T. Taylor, “Design of Line Source Antennas for Narrow Beamwidth and Low Side Lobes,” IRE Trans. Antennas Propagat., Vol. AP-3, pp. 16–28, 1955.
١٠. A. K. Bhattacharyya, Phased Array Antennas, Wiley, 2006.
١١. M. Li, “Shaped Power Pattern Synthesis of a Linear Dipole Array by Element Rotation and Phase Optimization Using Dynamic Differential Evolution,” IEEE ANTENNAS AND WIRELESS PROPAGATION LETTERS, VOL. 17, NO. 4, APRIL 2018
١٢. N. Boskovic, “High Gain Printed Antenna Array for FMCW Radar at 17 GHz,” Serbia, Nis, October 14-17, 2015
١٣. Z. Y. Wei, “The Simulation Design of a Low-Side Lobe Level High Gain and Broadband Microstrip Patch Antenna Array,” Proceedings of ISAP, Okinawa, Japan, 2016.
١٤. G. C. Kang, H. Y. Lee, J. K. Kim, “Ku-Band High Efficiency Antenna with Corporate-Series-Fed Microstrip Array,” IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium, August 2003

۱۵. N. Bayat, H. R. Hassani, S. M. Ali Nezhad, "Sidelobe Level Reduction In Microstrip Patch antenna array," 2011 Loughborough Antennas & Propagation Conference, 14-15 November 2011
۱۶. A. K. Sahu, M. R. Das, "4×4 rectangular patch array antenna for bore sight application of conical scan S-band tracking radar, " Antenna Week (IAW), pp. 1 - 4, 2011.
17. M. I. Skolnik, "Radar Handbook," 3rd ed., McGraw-Hill, 2009.
18. C. A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition," John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, 2005.

Abstract

The purpose of this thesis is on the design and development of an aperture coupling microstrip array antenna with high gain, high bandwidth, low side-lobe level for FMCW radar.

A microstrip array antenna with high bandwidth, high gain and low side-lobe level, is a huge need for today and the future of industrial, military, and radar communication systems.

In designing such an array of substrate types, its thickness, the spacing between the elements, the feed lines, and their combination together, is important in obtaining a high gain, appropriate side-lobe level, bandwidth, mutual coupling is very important that consider the design of the structure. Work with optimally design of element started. Then, the complete 512 element array was fed to all the elements by feeding and distributing the same power and gain was obtained over 30 dB. To reduce the side-lobe level, the feed network is designed with Taylor distribution so that the specific range required for each element, which is different from the other elements, is obtained and also, all elements of the array are fed in phase. The elements that are in the middle of the array receive the most power and the elements that are in the besides of the array receive the least power.

This structure is designed with 512 elements in an array of 32×16 , and the operating frequency of the antenna is 12.5 to 14.9 GHz, equivalent to 17% of bandwidth in the Ku band. The gain of this antenna is 29 dB and gain variations over the entire frequency range is low, which is desirable and the side-lobe level also varies between -22 dB and -29 dB on both of the E-plane and H-plane. Finally, a metal reflector plate was used to lower the Backlobe level, reaching F/B levels above 30 dB. The overall dimensions of the antenna are 576 mm * 288 mm.

Keywords: Microstrip Antennas, Radar, Wideband, Aperture Coupling, High Gain, Side-Lobe Level, Nonuniform Distribution



Shahrood University of Technology

Faculty of Electrical and Robotics Engineering

MSc Thesis in Electromagnetic Wave and Field Engineering

**Design and Simulation of Microstrip Array Antenna in Ku Band for
FMCW Radar**

By: Mohammad Abesht

Supervisor:

Dr. Nima Azadi Tinat

September 2019