

طراحی و ساخت آنتن کاسگرین با بهره ۳۷ dB در طیف موج میلی متری

سمانه ابراهیمی^{۱*}، سید حسین محسنی ارمکی^۲، علیرضا عرفانیان^۳

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲ و ۳-استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

(تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۰۶، تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۶/۰۳)

چکیده: سیستم‌های موج میلی متری دارای باند فرکانسی گسترده‌ای می‌باشند. آنتن‌های بازتابنده، به دلیل پوشش فرکانسی وسیع و بهره و بازدهی بالا، گزینه مناسبی برای استفاده در این سیستم‌ها هستند. در این مقاله، مشخصات آنتن‌های بازتابنده سهموی و اصول طراحی آن‌ها ارائه شده است. برای این منظور، ابتدا هندسه بازتابنده سهموی بررسی و سپس مراحل طراحی آنتن کاسگرین و تغذیه آن مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، بر اساس طراحی ارائه شده، یک آنتن کاسگرین در طیف موج میلی متری شبیه‌سازی و پیاده‌سازی شده است. با توجه به حساسیت بالای بازتابنده کاسگرین به قرار گرفتن مرکز فاز آنتن تغذیه در نقطه کانونی، سعی شده است که مراکز فاز یکسانی در صفحات E و H به دست آید. نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار CST، بهره ۳۷٫۲۷ dB را برای آنتن نشان داده است. نتایج اندازه‌گیری آنتن کاسگرین ساخته شده و نتایج شبیه‌سازی از تطابق خوبی برخوردار بوده و عملکرد مناسبی را در پهنای فرکانسی ۳۰ تا ۴۰ گیگاهرتز ارائه نموده است.

واژه‌های کلیدی: بازتابنده دوگانه، آنتن تغذیه بوقی، بازتابنده کاسگرین، آنتن موج میلی متری

۱- مقدمه

به منظور بهبود عملکرد آنتن‌های بازتابنده برای ردیابی ماهواره‌ای و ارتباطات، از ساختار دو بازتابنده استفاده می‌شود. استفاده از یک بازتابنده ثانویه که معمولاً با عنوان زیربازتابنده^۱ یا زیربشقاب^۲ اشاره می‌شود، درجه آزادی بیشتری را برای دستیابی به عملکرد خوب در کاربردهای مختلف، به دست می‌دهد. برای توصیف دقیق عملکرد آن، روش‌های پرآش باید مورد استفاده قرار بگیرند، تا پرآش از لبه‌های زیربازتابنده به خصوص وقتی که قطرش کوچک است، وارد محاسبات شود [۳].

در این مقاله، کلیات ضروری آنتن‌های بازتابنده بیان خواهد شد. این مباحث شامل هندسه این آنتن‌ها و معادلات مربوط به آن است. همچنین روش تحلیل این بازتابنده‌ها با استفاده از تئوری نور هندسی (GO)^۳ و نور فیزیکی (PO)^۴ بیان خواهد شد سپس تشریح روند طراحی یک آنتن کاسگرین در باند Ka ارائه می‌گردد. این آنتن با استفاده از نرم افزار CST شبیه‌سازی شده و نتایج آن با تحلیل به دست آمده با روش‌های GO و PO مقایسه می‌گردد. نهایتاً با تطابق نتایج ساخت و شبیه‌سازی، صحت روش طراحی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

امواج الکترومغناطیسی در طیف موج میلی متری (فرکانس ۳۰-۳۰۰ GHz) دارای ویژگی‌های خاصی هستند. این امواج، دارای باند فرکانسی قابل استفاده گسترده‌تری نسبت به امواج در باند مایکروویو و پایین‌تر می‌باشند. یکی از ویژگی‌های خاص این باند، طراحی تجهیزات در ابعاد کوچک و وزن اندک می‌باشد [۱]. آنتن‌های بازتابنده، بهره و بازدهی بالایی دارند و از آنجا که مستقل از وابستگی فرکانسی هستند، می‌توانند باند فرکانسی وسیعی را پوشش دهند. آنتن‌های بازتابنده، تا به حال تأثیرات قابل توجهی در نجوم، سنجش از راه دور، رادار، سلاح‌ها و ابزار پزشکی داشته‌اند و همیشه در ارتباطات بدون سیم پرکاربرد بوده‌اند [۲].

آنتن‌های بازتابنده بدون شک پرکاربردترین آنتن‌های سمت‌گرا هستند. دلیل این موضوع، هزینه نسبتاً کم در ساخت و نگهداری، ماهیت غیر تشدیدی و پهنای باند وسیع، سمت‌گرایی بسیار بالا و قابلیت تشعشع توان بالای آن‌ها است. این آنتن‌ها حجم زیادی از تحقیقات مربوط به آنتن‌ها را تاکنون به خود اختصاص داده‌اند.

1. Sub reflector
2. Sub dish
3. Geometrical Optic
4. Physical Optic

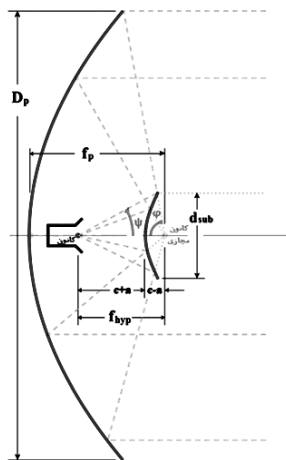
* ایمیل نویسنده پاسخگو: Sm.Ebrahimi86@gmail.com

۲- هندسه سطح بازتابنده

ابتدا میدان منعکس شده به وسیله سطح سهموی، روی صفحه‌ای که از نقطه کانونی عبور می‌کند (صفحه دهانه) محاسبه می‌گردد. منابع معادل روی این صفحه شکل می‌گیرند. در نهایت، از این میدان یا منبع معادل جهت محاسبه الگوی تشعشعی استفاده می‌گردد. این روش برای محاسبه الگوهای تشعشعی بازتابنده‌های کروی و سهموی، با استفاده از روش‌های عددی کارا، استفاده می‌شود [۳].

۴- ساختار کاسگرین

ساختار هندسی کاسگرین که در شکل (۲) نشان داده شده است، شامل محدوده یک سهمی گون برای بشقاب اصلی و محدوده‌ی هذلولی گون برای زیربازتابنده می‌باشد. یکی از دو کانون هذلولی، نقطه کانون حقیقی سیستم است که در مرکز تغذیه قرار گرفته است؛ دیگری، نقطه کانون مجازی است که در کانون هذلولی قرار دارد. در نتیجه، تمام بخش‌های یک موج از نقطه کانون حقیقی سرچشمه می‌گیرد و سپس از هر دو سطح بازتابنده، فواصل مساوی را تا یک صفحه در جلو آنتن طی می‌کند.

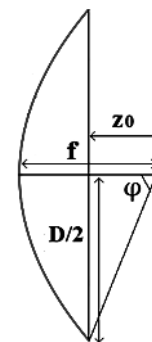


شکل (۲). شکل هندسی کاسگرین [۵].

۴-۱- مبانی طراحی آنتن کاسگرین

طراحی آنتن بشقابی کانون اصلی^۲، نسبتاً ساده است: ابتدا یک تغذیه که به‌طور کامل (نه بیشتر) بازتابنده سهموی را روشن کند، انتخاب می‌شود، سپس موقعیت مرکز فاز تغذیه در نقطه کانونی سهمی تعیین می‌شود. آنتن کاسگرین یک بازتابنده ثانویه هذلولی را، که به‌عنوان یک آینه برای انعکاس موقعیت تغذیه به عقب و سمت بازتابنده اصلی عمل می‌کند، به این آرایش اضافه می‌کند. مشکل

سطح بازتابنده سهموی با چرخش یک سهمی حول محورش شکل می‌گیرد. طراحی بر اساس روش‌های نوری انجام می‌گیرد و هرگونه تغییر شکلی از لبه جسم منعکس‌کننده (پراش‌ها) وارد محاسبات نمی‌شود. در هندسه بازتابنده، دانستن روابطی که پارامترهای مختلف آن را به هم مرتبط می‌کند - هم از جهت طراحی و هم از جهت تحلیل - با اهمیت است. پارامترهای یک بازتابنده مطابق شکل (۱)، قطر دهانه D ، کانون f ، زاویه بازشدگی φ و عمق سهموی $(f-z_0)$ هستند.



شکل (۱). پارامترهای هندسی بازتابنده سهموی [۳].

با توجه به شکل (۱) نیم‌زاویه بازشدگی آنتن از نقطه کانونی، مطابق رابطه ذیل قابل محاسبه است [۳]:

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{D}{2z_0} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{1}{2} \left(\frac{f}{D} \right)}{\left(\frac{f}{D} \right)^2 - \frac{1}{16}} \right) \quad (1)$$

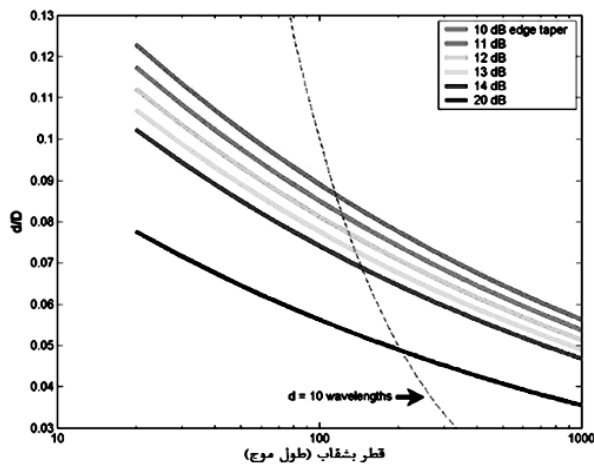
۳- تحلیل بازتابنده‌های سهموی

برای تحلیل بازتابنده‌ها دو روش متفاوت وجود دارد: روش اول، استفاده از توزیع جریان الکتریکی روی سطح بازتابنده بر مبنای نور فیزیکی است و به نام روش توزیع جریان شناخته می‌شود. در این روش، با فرض آن که توزیع جریان الکتریکی (توزیع جریان واقعی) روی سطح بازتابنده مشخص است، میدان‌های ناشی از آن قابل محاسبه می‌باشد [۴]. روش دوم، بر مبنای نور هندسی و نظریه منابع معادل^۱ است که روش توزیع دهانه نام دارد. در روش توزیع دهانه،

که در آن، E کاهش دامنه روشنایی در لبه، به صورت نسبت زیر است:

$$E = 10^{\left(\frac{\text{taper in dB}}{10}\right)} \quad (3)$$

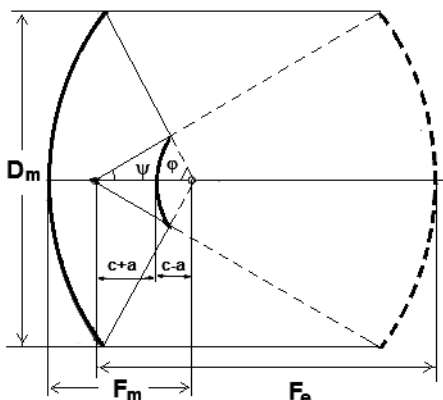
با در نظر گرفتن سطح کاهشی روشنایی در لبه بشقاب، منتج از شکل (۳)، رابطه فوق در شکل (۴) رسم شده است. با استفاده از منحنی شکل (۴) می توان d/D بهینه را (نسبت قطر بازتابنده ثانویه به قطر بشقاب)، با توجه به سطح کاهشی بهینه روشنایی بازتابنده اصلی به دست آورد.



شکل (۴). اندازه بهینه بازتابنده ثانویه کاسگرین [۵].

۳-۱-۴- سهمی معادل

مفهومی که در تفهیم و پیش بینی عملکرد یک آنتن کاسگرین مفید است، مفهوم سهمی معادل است. با روش سهمی معادل، بازتابنده اصلی و زیربازتابنده با یک سطح کانونی کننده معادل که در شکل (۵) با خط چین رسم شده است، جایگزین می شود.

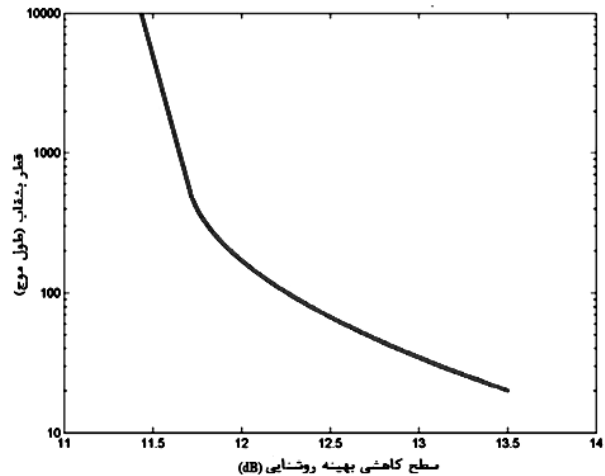


شکل (۵). مفهوم سهمی معادل [۶]

اصلی، یافتن بازتابنده ثانویه ای است که بازتابنده اصلی را به تغذیه تطبیق دهد، چون هذلولی یک منحنی واحد نیست، بلکه یک خانواده از منحنی ها با فواصل کانونی و انحنای مختلف است. مقدار انحنا "خروج از مرکز" نام دارد. از این خانواده، باید هذلولی واحدی که سهمی را با تغذیه تطبیق دهد پیدا شود؛ به طوری که تمام طول های مسیر نشان داده شده در شکل (۲) یکسان باقی بمانند [۵].

۴-۱-۱- روشنایی بهینه لبه بازتابنده

پراش از لبه بازتابنده ها، عامل عمده تلفات در بشقاب های کوچک است. به منظور حداقل نمودن اثر پراش، چگالی توان تابشی در لبه ها بایستی حداقل ۱۰ dB کمتر از چگالی توان تابشی در مرکز بشقاب باشد. کنترل توزیع توان از مرکز بازتابنده تا لبه مطابق یک فرآیند تدریجی صورت می گیرد که الگوی تشعشعی آنتن تغذیه متاثر از فرآیند مذکور است. به عبارت دیگر، پهنای زاویه ای ۱۰ dB یا بیشتر آنتن تغذیه منطبق بر لبه های بازتابنده می گردد. شکل (۳) پهنای پرتو آنتن تغذیه، متناسب با توان روشنایی بهینه کاهش یافته را بر حسب قطر بازتابنده نشان می دهد.



شکل (۳). پهنای پرتو آنتن تغذیه با توجه به دامنه روشنایی کاهش یافته بهینه در لبه [۵].

۴-۱-۲- اندازه بهینه بازتابنده ثانویه

جهت کاهش تلفات ناشی از پراش، نسبت قطر بازتابنده فرعی به قطر بازتابنده اصلی دارای مقدار بهینه ای است که از رابطه ذیل تبعیت می نماید [۵]:

$$\frac{d_{sub}}{D_p} = \left[\frac{\cos^4\left(\frac{\psi}{2}\right)}{(4\pi)^2 \sin\phi} \cdot E \cdot \frac{\lambda}{D_p} \right]^{1/5} \quad (2)$$

نیم‌زاویه برای روشن کردن یک f/d مشخص (l موثر تغذیه)، از رابطه ذیل پیروی می‌کند [۵]:

$$\psi = 2 \tan^{-1} \left(\frac{1}{4 \cdot \frac{f}{d}} \right) \quad (۶)$$

برای تنظیم این زاویه برای روشنایی بهینه انتخاب‌شده از شکل (۳)، داریم:

$$\psi' = \psi \cdot \sqrt{\frac{\text{taper in dB}}{10}} \quad (۷)$$

تا زاویه روشنایی برای روشنایی بهینه مورد نظر تصحیح شود.

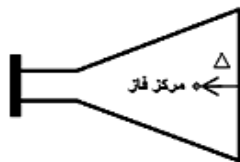
با این حال، رابطه مذکور برای روشنایی لبه طبیعی از تضعیف فضا، که در بشقاب‌های عمیق قابل توجه است و در آن فاصله کانون تا لبه بسیار بیشتر از آن نسبت به رأس است، به کار نمی‌رود. برای $f/D = ۲۵$ ، فاصله لبه تا کانون دو برابر کانون تا رأس است، بنابراین تضعیف فضایی (S.A.) طبق قانون عکس-مجذور، ۶ dB است. رابطه کلی جهت تضعیف فضایی به شرح ذیل است:

$$S.A. = 20 \cdot \log \left(\frac{2}{1 + \cos \psi} \right) \quad (۸)$$

حال می‌توان زاویه روشنایی تنظیم‌شده، برای دریافت روشنایی بهینه مورد نظر از آنتن تغذیه را محاسبه کرد:

$$\psi' = \psi \cdot \sqrt{\frac{\text{taper in dB} - S.A. \text{ dish}}{10 - S.A. \text{ feed}}} \quad (۹)$$

یکی از نکات بسیار مهم در طراحی آنتن‌های کاسگرین، تعیین مرکز فاز آنتن تغذیه می‌باشد. موقعیت مرکز فاز روی محور بوق، طبق شکل (۶)، فاصله Δ از دهانه به سمت داخل بوق تعریف می‌شود.



شکل (۶). موقعیت مرکز فاز آنتن تغذیه [۸].

این سطح می‌تواند به عنوان بشقاب بازتابنده به کار رود که باید یک موج مسطح واردشونده را به طرف نقطه کانون حقیقی جمع کند. بنابراین، مجدداً آنتن یک طرح بشقاب تکی معمولی خواهد شد، اما در این حالت با همان تغذیه، بشقاب اصلی متفاوتی خواهد داشت.

معادلات زیر، روابط بین سهمی معادل و پارامترهای آنتن کاسگرین را نشان می‌دهند [۶]:

$$\frac{1}{4} \frac{Dm}{F_e} = \tan \frac{1}{2} \psi \quad (۴)$$

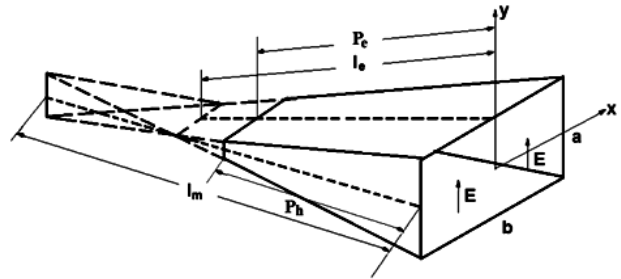
$$\pm \frac{F_e}{F_m} = \frac{\tan \frac{1}{2} \phi}{\tan \frac{1}{2} \psi} = \frac{c+a}{c-a} \quad (۵)$$

یکی از کاربردهای مفهوم سهمی معادل، تعیین تغییر تدریجی دامنه در دهانه اصلی آنتن است. برای یک آنتن بشقاب تکی معمولی، روشنایی به‌وسیله الگوی تشعشع تغذیه، که توسط یک مشخصه تضعیف فضا^۱ که تابع ساده‌ای از نسبت F/D است، تعیین می‌شود. برای آنتن کاسگرین نسبت F/D ، اکنون نسبت فاصله کانونی معادل به قطر بشقاب اصلی F_e/D_m خواهد بود. به عبارت دیگر، روشنایی دقیقاً نظیر همان است، که باید طی یک بشقاب تکی که فاصله کانونی معادل دارد و با همان تغذیه روشن شده وجود داشته باشد. f/d ، F_e/D_m مجازی یا موثر تغذیه نام دارد.

۴-۱-۴- آنتن تغذیه

گام بعدی، انتخاب آنتن تغذیه است. مهم‌ترین مشخصات آنتن تغذیه که متأثر از هندسه بازتابنده است، پهنای پرتو و مرکز فاز می‌باشد. آنتن‌های تغذیه تنوع زیادی دارند که با توجه به ابعاد کوچک در طیف موج میلی‌متری و حساسیت ساخت، گزینه مناسب، آنتن‌های بوقی هستند. آنتن تغذیه، بازتابنده ثانویه را روشن می‌کند. آنتن تغذیه با پهنای بیم وسیع نسبت به آنتن با بیم باریک در فاصله نزدیکتری از بازتابنده فرعی قرار می‌گیرد. در مرجع [۷] آنتن‌های تغذیه با ساختار بوقی متفاوتی همراه با محاسبه بازدهی بشقاب بر حسب نسبت f/d مشخص شده‌اند. برای f/d حداکثر بازدهی، بشقابی است که به وسیله تغذیه بهتر روشن می‌شود. از آنجا که بشقاب‌های کانون اصلی، معمولاً حداکثر بازدهی را با ۱۰ dB روشنایی لبه دارند، فرض می‌شود که بهترین f/d برای تغذیه نیز جایی است که روشنایی را با حدود ۱۰ dB روشنایی لبه فراهم می‌کند.

آنچه مسلم است باید مرکز فاز تغذیه در کانون بازتابنده قرار گیرد تا امواج بازگشتی در صفحه دهانه بازتابنده هم‌فاز باشند. جابه‌جا شدن مرکز فاز تغذیه از کانون می‌تواند اثرات بسیار سوئی بر کارکرد بازتابنده داشته باشد که شامل کاهش سمتگرایی و افزایش سطح گلبرگ فرعی می‌شود. در عمل، مراکز فاز آنتن‌های بوقی استاندارد در صفحات E و H مستقل از هم هستند. برای آنکه مراکز فاز تغذیه در دو صفحه بر هم منطبق شوند، باید الگوی تغذیه در این دو صفحه - حداقل در زاویه‌ی بازشدگی دهانه بازتابنده- نزدیک به هم باشند. در شکل (۷) آنتن بوق مستطیلی به همراه سیستم مختصات و چگونگی امتداد یافتن دیواره‌های آن برای I_e و I_m مشاهده می‌شود.



شکل (۷). بوق مستطیلی [۸].

مرکز فاز در صفحه E به صورت زیر به دست می‌آید [۸].

$$\Delta_e(\theta, \varphi = 90^\circ) = \quad (10)$$

$$l_e \left\{ 1 - \frac{a \cos \frac{\pi}{2} \left(\frac{a}{2v_e} \right)^2 C \left(\frac{a}{2v_e} \right) + \sin \frac{\pi}{2} \left(\frac{a}{2v_e} \right)^2 S \left(\frac{a}{2v_e} \right)}{C^2 \left(\frac{a}{2v_e} \right) + S^2 \left(\frac{a}{2v_e} \right)} \right\}$$

با

$$v_e = \left(\frac{l_e \lambda}{2} \right)^{1/2}$$

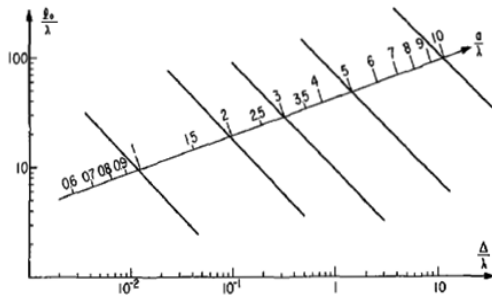
$$U_1 = \frac{v_m}{b} + \frac{b}{2v_m}$$

$$W_1 = \frac{v_m}{b} - \frac{b}{2v_m}$$

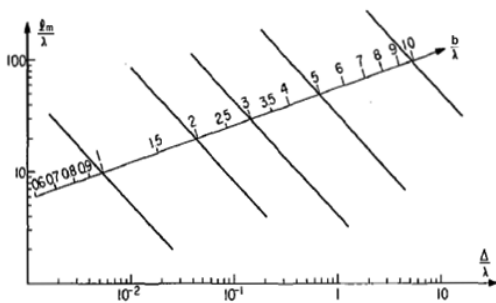
$$v_m = \left(\frac{l_m \lambda}{2} \right)^{1/2}$$

که در آن‌ها، $S(\cdot)$ تابع سینوسی فرسئل و $C(\cdot)$ تابع کسینوسی فرسئل است.

طراحی آنتن برای به دست آوردن مراکز فاز یکسان در صفحات اصلی، با استفاده از این معادلات امکان پذیر می‌باشد. این معادلات به صورت عددی ارزیابی شده و نتایج رسم آن‌ها، در شکل (۸) مشاهده می‌شود. از شکل (۸-الف) با دانستن مقادیر a ، I_e و Δ تعیین می‌شود.



(الف)



(ب)

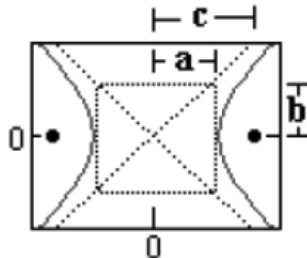
شکل (۸). الف) مرکز فاز برای الگوی صفحه E آنتن بوقی، ب) مرکز فاز برای الگوی صفحه H آنتن بوقی [۸].

و در صفحه H رابطه (۱۱) را به صورت زیر به دست می‌آوریم:

$$\Delta_h(\theta, \varphi = 0^\circ) = l_m \left\{ 1 + \frac{[W_1 \cos \frac{\pi}{2} U_1^2 - U_1 \cos \frac{\pi}{2} W_1^2] [C(U_1) - C(W_1)] + [U_1 \sin \frac{\pi}{2} W_1^2 - W_1 \sin \frac{\pi}{2} U_1^2] [-S(U_1) + S(W_1)]}{[C(U_1) - C(W_1)]^2 + [-S(U_1) + S(W_1)]^2} \right\} \quad (11)$$

$$a = \frac{c}{e}$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} \quad (17)$$



شکل (۹). هندسه پارامترهای هذلولی [۵]

۵- طراحی آنتن کاسگرین

طراحی آنتن کاسگرین در این مقاله برای یک بشقاب به قطر ۳۰ سانتی متر و $f/d=0.4$ در فرکانس مرکزی ۳۵ GHz انجام گرفته است. مقدار روشنایی بهینه توان تشعشعی در لبه بشقاب مطابق شکل (۳)، ۱۲/۹۹ dB استخراج شده است. نسبت f/d مؤثر تغذیه برای روشن کردن سهمی معادل، ۱/۳۴ می باشد. نیم زاویه روشنایی تغذیه بوقی (Ψ) مطابق رابطه (۶)، 21.13° درجه محاسبه می شود. این زاویه با در نظر گرفتن تضعیف فضایی از رابطه (۹)، $\Psi^2 = 21.59^\circ$ می باشد. زاویه Ψ همان نیم زاویه روشنایی برای آنتن کاسگرین با $f/d=0.4$ است. طراحی آنتن تغذیه بوقی بر مبنای پهنای پرتو ۱۰ dB، ۲۱/۵۹ درجه، انجام می گیرد. از آنجا که آنتن های بوقی معمولاً مراکز فاز یکسانی ندارند، سعی می کنیم با استفاده از ابعاد تقریبی در دسترس و روابط (۱۰) و (۱۱)، آنتن را دوباره برای مراکز فاز یکسان طراحی کنیم. برای این که طراحی آنتن از لحاظ ساخت امکان پذیر باشد باید همزمان رابطه $P_e = P_h$ نیز برقرار باشد. ابعاد آنتن تغذیه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱). مشخصات آنتن تغذیه

موجبر WR-۲۸	نوع تحریک
۳۰-۴۰ GHz	بسامد کاری
۲۲,۴۳mm	طول دهانه بوق
۱۷,۱۴۲mm	عرض دهانه بوق
۵۵,۲۶mm	ارتفاع بوق
۱mm	ضخامت بدنه
مس	جنس
۴,۴۱mm	مرکز فاز تقریبی

سیس Δ معین شده، در شکل (۸-ب) برای تعیین b توسط یک I_m داده شده، استفاده می شود.

برای ساخت فیزیکی بوق هرمی، ابعاد و از شکل (۷) به وسیله روابط ذیل قابل محاسبه است [۳]:

$$P_e = (b - b') \left[\left(\frac{l_e}{b} \right)^2 - \frac{1}{4} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

$$P_h = (a - a') \left[\left(\frac{l_m}{a} \right)^2 - \frac{1}{4} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

مقادیر فوق باید با هم برابر باشند. a' و b' ابعاد متناظر موجبر می باشند.

بنابراین، ابعاد آنتن باید با سعی و خطا، برای رسیدن به یک تعادل، بین یکسان بودن Δ در صفحات E و H از روابط (۱۰ و ۱۱)، و برقرار بودن رابطه $P_e = P_h$ به دست آید.

۴-۱-۵- هندسه بازتابنده ثانویه

موقعیت تغذیه باید طوری باشد که زاویه بسط داده شده توسط بازتابنده ثانویه، Ψ باشد، درحالی که محل قرار گرفتن تغذیه در یکی از کانون های هذلولی باشد و کانون اصلی بشقاب، روی کانون دیگر قرار بگیرد. بنابراین، فاصله کانونی هذلولی (فاصله بین دو کانون) به صورت زیر است [۵]:

$$f_{hyp} = 0.5 \cdot d_{sub} \cdot (\cot(\psi') + \cot(\phi)) \quad (14)$$

بازتابنده ثانویه باید روشنایی را از f/d مؤثر تغذیه به F_p/D_p برای بشقاب تغییر شکل دهد، با یک ضریب بزرگنمایی M :

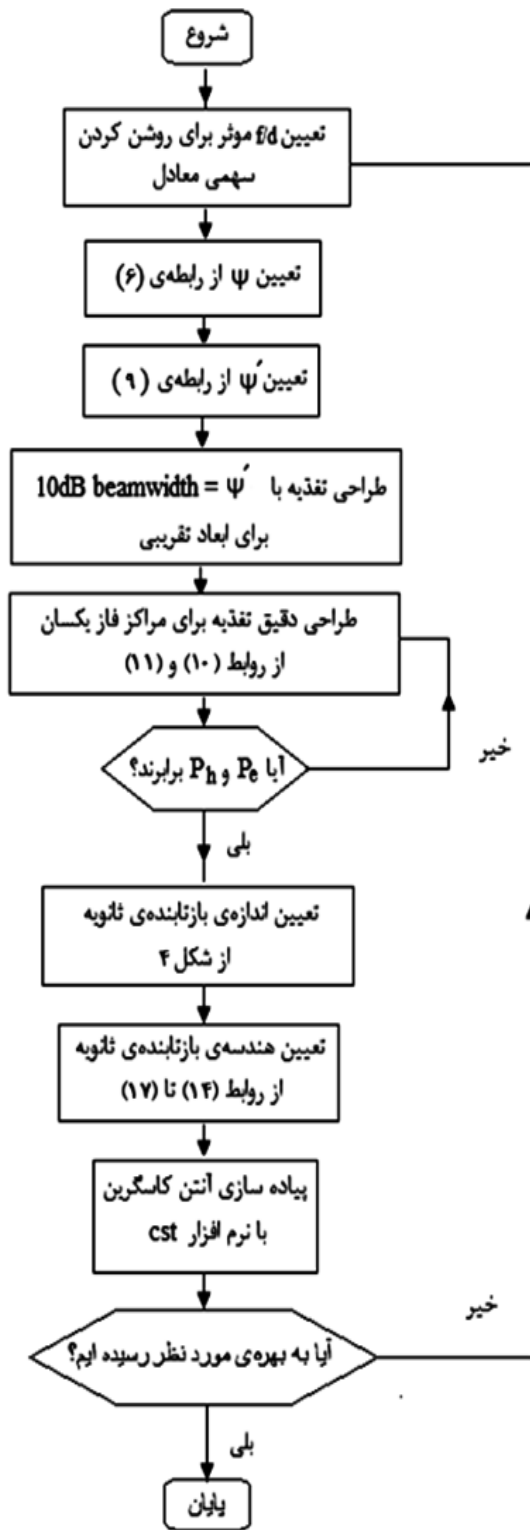
$$M = \frac{effective\ feed\ f / d}{f_p / D_p} \quad (15)$$

این نیاز به یک هذلولی با خروج از مرکز e دارد:

$$e = \frac{M + 1}{M - 1} \quad (16)$$

در نهایت، پارامترهای هذلولی (نشان داده شده در شکل (۹)) به صورت زیر محاسبه می شوند [۵]:

$$c = \frac{f_{hyp}}{2}$$



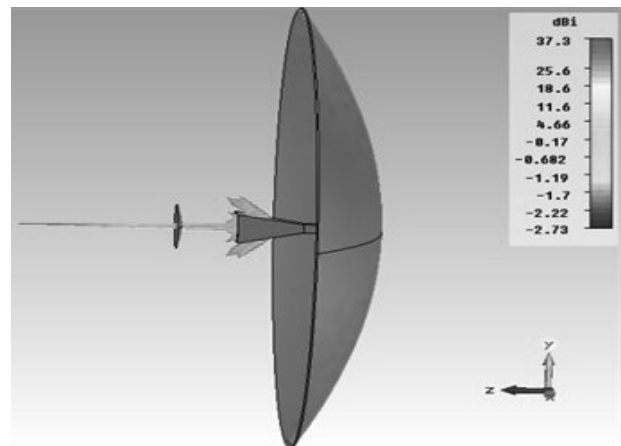
شکل (۱۱). جریان کار طراحی آنتن کاسگرین

نسبت قطر بازتابنده ثانویه به بازتابنده اصلی (d/D) مطابق شکل (۴)، مقدار ۱/۱ انتخاب می شود. بنابراین قطر بازتابنده ثانویه ۳cm است. پارامترهای هذلولی (بازتابنده ثانویه) از روابط (۱۴) تا (۱۷) محاسبه می شوند. این پارامترها در جدول (۲) ارائه شده اند.

جدول (۲). مشخصات آنتن کاسگرین

مقدار	پارامتر
۳۰۰mm	قطر بازتابنده اصلی
۰/۴	f/d بازتابنده
۱/۳۴	f/d معادل تغذیه بوقی
۱۲۰mm	فاصله کانونی بازتابنده
۶۴ درجه	نیم زاویه روشنایی بازتابنده (φ)
۲۱/۱۳ درجه	نیم زاویه روشنایی تغذیه بوقی (Ψ)
۱۲/۹۹dB	کاهش بهینه روشنایی
۴۵/۲mm	فاصله کانونی زیربازتابنده
۱/۸۸	خروج از مرکز هذلولی
۳/۲۸	بزرگنمایی M زیربازتابنده
۱۲mm	a
۱۹/۱mm	b
۲۲/۶mm	c

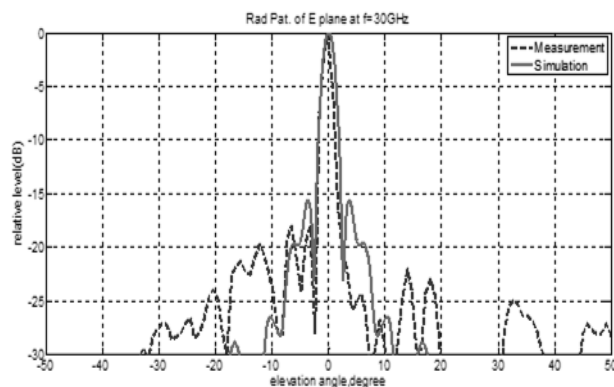
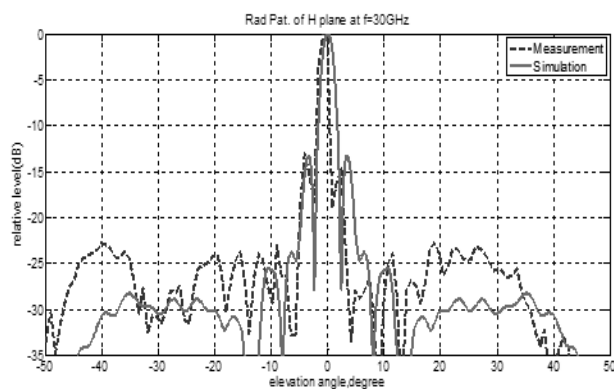
آنتن کاسگرین را در نرم افزار CST شبیه سازی کرده و بهره آنتن را به دست می آوریم (شکل (۱۰)). اگر بهره مورد نظر به دست آمده باشد طراحی تمام است، در غیر این صورت، عملیات را تکرار می کنیم. این الگوریتم در جریان کار شکل (۱۱) آورده شده است.



شکل (۱۰). شمای آنتن کاسگرین



شکل (۱۴). شمای آنتن ساخته شده در آزمایشگاه

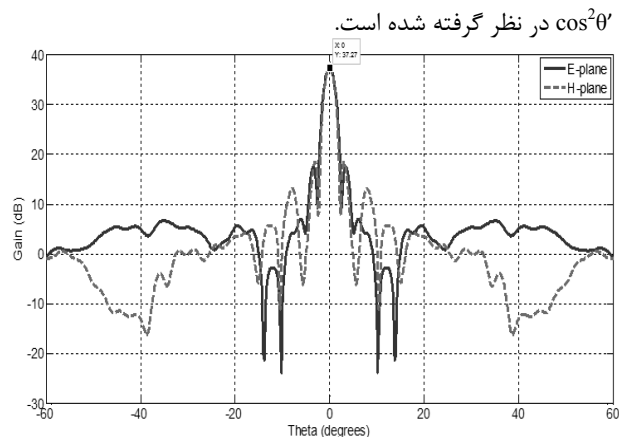


شکل (۱۵). مقایسه نتایج شبیه سازی و اندازه گیری شده آنتن در باند

فرکانسی ۳۰-۴۰ GHz

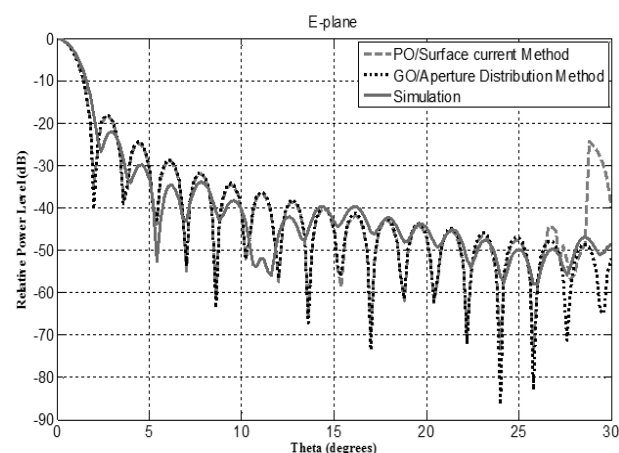
شکل (۱۲) آنتن کاسگرین شبیه سازی شده در نرم افزار CST و الگوی تشعشی حاصل از آن را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، بهره آنتن ۳۷/۲۷ dB به دست آمده است.

در نمودار شکل (۱۳)، الگوی آنتن در صفحه E توسط نرم افزار CST، با روش های توزیع دهانه و توزیع جریان پیاده سازی شده در MATLAB مقایسه شده است. تابع بهره استفاده شده برای تغذیه $\cos^2\theta'$ در نظر گرفته شده است.



شکل (۱۲). الگوی تشعشی حاصل از شبیه سازی آنتن در فرکانس

۳۵ GHz



شکل (۱۳). مقایسه نتایج شبیه سازی کاسگرین با نرم افزار CST و

روش های توزیع جریان و دهانه

۶- نتایج ساخت آنتن

شمای آنتن کاسگرین پیاده سازی شده در آزمایشگاه در شکل (۱۴) مشاهده می شود. مقایسه نتایج شبیه سازی و اندازه گیری شده آنتن در باند فرکانسی ۳۰-۴۰ GHz در شکل (۱۵) آورده شده است.

مطابق الگوهای تشعشی شکل (۱۵) که در فرکانس های متفاوتی اندازه گیری و شبیه سازی شده است، خطاهایی بین دو نتیجه

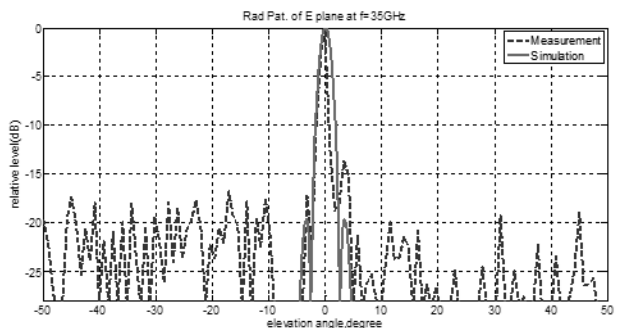
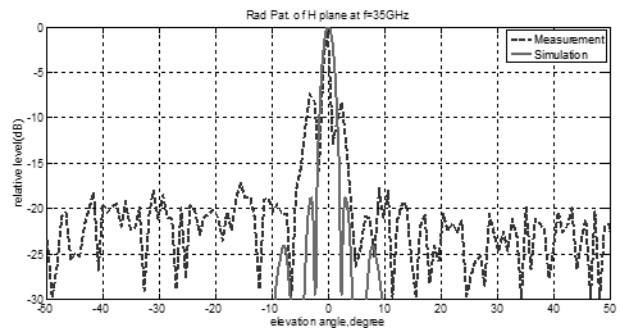
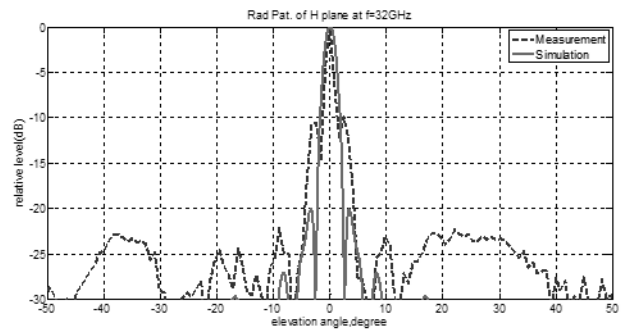
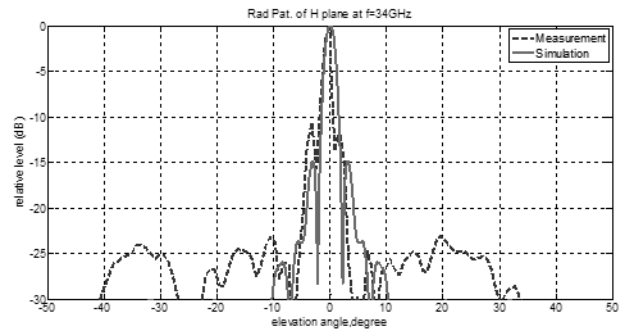
قابل مشاهده است که دو علت مهم آن مطابق شرح ذیل است: اول آنکه آنتن بازتابنده به ویژه در طیف موج میلی متری باید با ابزارهای نوری تنظیم و مراکز کانونی آن منطبق شود که آنتن ساخته شده در این مقاله با ابزارهای معمولی آزمایشگاه تنظیم شده است. دومین علت، خطای سیستم نمونه برداری و اندازه گیری اطلاعات الگوی تشعشعی است که دقت نمونه برداری زاویه ای حداقل، باید یک دهم پهنای پرتو آنتن باشد. سیستم نمونه بردار آنتن ساخته شده دارای دقت ۰٫۷ درجه بوده که عامل عمده تفاوت بین نتایج شبیه سازی و اندازه گیری می باشد. با توجه به موارد فوق بهره ای آنتن در فرکانس ۳۵ GHz، ۳۵ dB اندازه گیری شده است.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله، ابتدا هندسه بازتابنده ها و روش های تحلیل توزیع دهانه و توزیع جریان بیان شد. سپس به استخراج روابط مورد نیاز برای طراحی آنتن کاسگرین پرداخته شد و با استفاده از روند طراحی بیان شده، یک آنتن کاسگرین به همراه تغذیه بوقی هر می آن در فرکانس ۳۵ GHz طراحی و شبیه سازی گردید و بهره ۳۷٫۲۷ dB به دست آمد. در نهایت، آنتن طراحی شده، در آزمایشگاه پیاده سازی و نتایج ساخت با نتایج حاصل از شبیه سازی در فرکانس های مختلف، مورد مقایسه قرار گرفت. بهره آنتن در فرکانس ۳۵ GHz، ۳۵ dB به دست آمده است. با استفاده از تغذیه طراحی شده، یک سیستم باند وسیع طراحی شد که در فرکانس ۳۰-۴۰ GHz عملکرد خوبی دارد.

۸- مراجع

- [1] Teshirogi, Tasuku, and Tsukasa Yoneyama, eds. Modern millimeter-wave technologies. Ios Press, 2001.
- [2] Y. Rahmat-Samii and A. Densmore, "A history of reflector antenna development: Past, present and future," Proc. IEEE Microwave and Optoelectronics Conference, 2009.
- [3] C. A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design," America, Wiley interscience, 2005.
- [4] O. Zandi, "Design And Simulation Of Q-band Parabolic Reflector Antenna," Electronic Industries, vol. 2, no.1, pp. 53-79, 2011.



ادامه شکل (۱۵). مقایسه نتایج شبیه سازی و اندازه گیری شده آنتن در باند

فرکانسی ۳۰-۴۰ GHz

- [5] P. Wade, "Multiple Reflector Dish Antennas," [online] : Available at http://www.w1ghz.org/antbook/conf/Multiple_reflector_antennas.pdf, 2004.
- [6] Z. Emami, "Antennas, Structure and Applications," Publications of the Islamic Republic of Iran Broadcasting, 1989.
- [7] Wade, Paul. Parabolic Dish Feeds - Performance Analysis, The W1GHZ Online Microwave Antenna Book, 1998, Chapter 11.
- [8] Muehldorf and I. Eugen, "The phase center of horn antennas," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on 18.6, pp. 753-760, 1970.

Design and Implementation of Cassegrain Antenna with 37dB Gain in Millimeter Wave Spectrum

S. Ebrahimi^{*}, S. H. Mohseni Armaki, A. Erfaniyan

M. Sc. of Malek-Ashtar University

(Receive: 2014/12/27, Accept: 2015/08/25)

Abstract

Millimeter wave systems have a wide frequency band. Reflector antennas are a good choice for use in these systems, due to the broad frequency coverage, high efficiency and gain. In the present paper parabolic reflector antenna characteristics and their design principles have been provided. For this purpose, first geometry of the parabolic reflector is inspected, and then design process of Cassegrain antenna and its feed have been discussed. Based on it, the design of a Cassegrain antenna has been done with its feed. Due to the high sensitivity of Cassegrain reflector to the placing of phase center of the feedhorn antenna at focusing point of the reflector, it has been tried to obtain equal phase centers at E and H-planes. After the simulation of antenna by CST MWS, the gain of the antenna is obtained 37.27dB. In the current study a broadband Cassegrain system designed and implemented by using designed feed antenna that operate well in 30-40GHz.

Keywords: Dual reflector, Feedhorn antenna, Cassegrain reflector, Millimeter wave antenna

^{*} Corresponding Author Email: Sm.Ebrahimi86@gmail.com