

## طراحی و ساخت یک مبدل مد COBRA اصلاح شده با ساختار لنز پیوسته

سید جلیل سید حسینی<sup>۱</sup>، رمضانعلی صادقی زاده<sup>۲\*</sup>، سمیه چمانی<sup>۳</sup>

۱- کارشناسی ارشد، ۲- استاد، ۳- استادیار، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

(دریافت: ۹۶/۰۳/۱۸، پذیرش: ۹۶/۱۲/۲۲)

**چکیده:** بسیاری از منابع توان بالای مایکروویو در خروجی موج بر دایروی خود مد  $TM_{01}$  تولید می کنند که به دلیل پرتو دونات شکل، برای تابش مناسب نیستند. برای حل این مشکل از آنتن چرخاننده بیم هم محور (COBRA) استفاده می شود که مد  $TM_{01}$  را به مد  $TE_{11}$  تبدیل می کند. شکل مرسوم این مبدل بسته به نوع قطبش مورد نیاز، از ۱ تا ۴ پله گسسته در ساختار لنز خود استفاده می کند. حداقل تعداد این پله ها برای ایجاد قطبش دایروی، ۳ است. در این مقاله یک ساختار لنز پیوسته که در حالت حدی معادل بی نهایت پله است، به عنوان مبدل COBRA بهبود یافته، پیشنهاد شده است. به علاوه، استفاده از یک عدسی محدب علاوه بر افزایش استحکام، بهره آنتن را نیز به میزان ۱ dB افزایش می دهد. سطح گلبرگ فرعی در این ساختار در مقایسه با ساختارهای متداول COBRA با قطبش دایروی که شامل ۳ یا چهار پله هستند، بهبود قابل ملاحظه ای یافته است. همچنین پهنای امپدانس و پهنای باند نسبت محوری این آنتن، در حدود ۳ GHz می باشد. نتایج شبیه سازی و ساخت شباهت قابل قبولی باهم دارند.

### کلید واژه ها: مبدل مد، موج بر دایروی، لنز دی الکتریک، قطبش دایروی

#### ۱- مقدمه

اکثر منابع تولید امواج الکترومغناطیسی توان بالا، خروجی ای با مد متقارن  $TEM$  یا  $TM_{0n}$  دارند. در صورتی که این دو مد در ورودی یک آنتن بوقی قرار گیرند، الگوی تابشی به شکل دونات (دارای صفر در جهت محور اصلی) تولید می کند که در بسیاری از موارد مطلوب نیست؛ بنابراین، معمولاً به دنبال ایجاد مد  $TE_{11}$  هستیم که در محور اصلی بیشینه تشعشع را داشته باشد.

مبدل های متنوعی برای تبدیل مد متقارن  $TEM$  یا  $TM_{0n}$  به مد  $TE_{11}$  پیشنهاد شده است. اکثر مبدل های مد موجود دارای ساختاری پیچیده بوده و محدودیت های فراوانی از قبیل توان و فرکانس دارند. یک نوع مبدل مد که از ایجاد یک خم در طول موج بر دایروی به وجود می آید دارای قطبش خطی می باشد که به دلیل عدم تطابق محورهای خروجی و ورودی آن معمولاً در سامانه های فشرده<sup>۱</sup> غیر قابل استفاده می باشد. در مقاله [۴-۱] این نوع مبدل مورد استفاده قرار گرفته است. مبدل مد COBRA متداول، دارای یک سوراخ قطاعی در دهانه آن می باشد که برای استفاده در سامانه های توان بالا به دلیل نیاز به تخلیه هوای داخل

آنتن، نامناسب است [۵-۶]. همچنین سطح لوب های فرعی در این آنتن بالاست [۷-۸]. برای حل مشکل باز بودن بخشی از پنجره آنتن در [۹-۱۴] با پر کردن بخش خالی توسط یک دی الکتریک نازک مشکل تخلیه هوای آنتن در توان های بالا برطرف شده است؛ اما مشکل بالا بودن سطح لوب های فرعی همچنان باقی است. در آنتن ولاسوف نیز می توان مد  $TM_{01}$  را به مد  $TE_{11}$  تبدیل نمود ولی به دلیل انحراف در لوب اصلی نسبت به محور اصلی، این مبدل مد در بسیاری از کاربردها غیر قابل استفاده می باشد. همچنین در آن موج خروجی قطبش خطی دارد. در مقاله [۱۵-۱۶] آنتن ولاسوف مورد استفاده قرار گرفته است و نتایج آن در هر دو مقاله نشان دهنده انحراف حدود ۳۰ درجه در لوب اصلی الگوی تشعشعی می باشد. در این دو مقاله این مسئله با استفاده از بازتابنده تا حدودی برطرف شده است که البته باعث افزایش حجم آنتن مبدل مد شده است. همچنین در این نوع ساختارها میزان لوب فرعی بسیار بیشتر از آنتن مبدل مد ساخته شده در این مقاله می باشد. برخی از مبدل های مد در ساختارشان از موج برهای قطاعی استفاده شده است. این نوع ساختارها علاوه بر کاهش چشمگیر بیشینه توان قابل تحمل توسط آنتن مبدل مد، پهنای باند بسیار کمی دارند. علاوه بر این، نمی توانند موجی با قطبش دایروی داشته باشند [۱۷-۱۸]. در شکل (۱) شش ساختار از آنتن COBRA با تعداد پله های مختلف

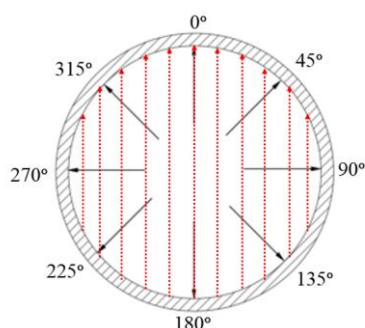
\* نویسنده پاسخگو: sadeghz@eedt.kntu.ac.ir

سرعت قسمت‌های مختلف موج باعث ایجاد چرخش میدان‌های دهانه آنتن و تغییر مد و تبدیل قطبش از خطی به دایروی می‌شود. برخلاف ظاهر نسبتاً پیچیده بخش دی‌الکتریک آنتن، ساخت آن توسط دستگاه‌های مکانیکی (CNC) بسیار ساده است. شکل ۳ لنز دی‌الکتریک ساخته شده (مبدل مد COBRA) بعلاوه لنز محدب) را از دو نمای متفاوت نشان می‌دهد.



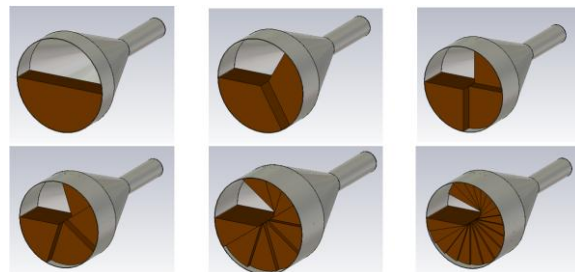
شکل (۳): لنز ساخته شده از تفلون در دو نمای مختلف

برای بررسی چگونگی عملکرد آنتن مبدل مد به شکل (۴) توجه کنید. شکل (۴)، میدان‌های الکتریکی را در یک موج‌بر دایروی نشان می‌دهد که در مد  $TM_{01}$  تحریک شده است. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است برای هم‌فاز کردن و هم‌راستا کردن این میدان‌ها باید هر قسمت از آن را به میزانی که کنار آن نوشته شده است دوران دهیم. این کار که با استفاده از تفاوت  $\beta$  تفلون و هوا با استفاده از طول‌های مختلف عایق انجام می‌شود باعث هم‌فاز شدن میدان‌ها در دهانه یک موج‌بر دایروی تحریک شده با مد  $TM_{01}$  می‌شود.



شکل (۴): نمایش میزان دوران میدان‌های الکتریکی در دهانه موج‌بر دایروی که با مد  $TM_{01}$  تحریک شده است (خطوط مشکی توپر مد ورودی  $TM_{01}$  و خطوط نقطه‌چین قرمز مد نهایی  $TE_{11}$ )  
برای تحلیل بهتر چگونگی عملکرد آن باید به این موضوع

نشان داده شده است. در این مقاله، از یک ساختار لنز پیوسته که معادل یک COBRA با بینهایت پله است به همراه یک لنز متعادل کننده<sup>۱</sup> محدب در خروجی آنتن بوقی استفاده شده است.

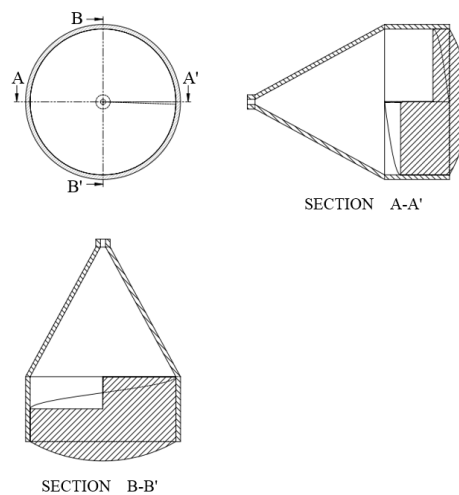


شکل (۱): شش ساختار متفاوت از آنتن مبدل مد COBRA با تعداد پله‌های مختلف

در آنتن مبدل مد پیشنهادی، علاوه بر ساختار ساده، سطح لوب فرعی، پهنای باند امپدانس و پهنای باند قطبش دایروی آن بسیار مناسب است. می‌توان با تخلیه هوای داخل این ساختار، از آن به عنوان یک مبدل مد توان بالا استفاده کرد. این ساختار قابلیت طراحی در فرکانس‌های مختلف با سطح توان مختلف را دارد.

## ۲- ساختار آنتن

شکل (۲) نشان‌دهنده ساختار آنتن در سه نمای مختلف می‌باشد. این آنتن از یک آنتن بوقی ساده با تغذیه  $TM_{01}$  به همراه لنز نشان داده شده در شکل (۳) تشکیل شده است.



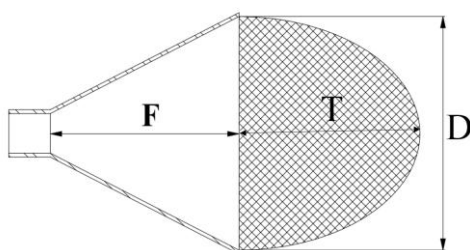
شکل (۲): ساختار آنتن در سه نما

همان‌طور که مشاهده می‌شود، ساختار این آنتن مانند یک آنتن بوقی ساده می‌باشد که مد  $TM_{01}$  در آن تحریک می‌شود. تنها تفاوت آن با سایر آنتن‌های بوقی، وجود یک دی‌الکتریک با ساختار خاص می‌باشد که با رسیدن موج به آن با تغییر در

رابطه (۵) برای محاسبه بیشینه ضخامت دی الکتریک این آنتن می‌باشد. شعاع آن نیز توسط ابعاد آنتن محاسبه می‌گردد. در این آنتن برای افزایش بهره آنتن در قسمت تخت لنز از عدسی بیضوی استفاده شده است. افزودن این بخش علاوه بر افزایش بهره به میزان 1dB به دلیل جبران خطای فاز، موجب افزایش قابل ملاحظه استحکام مکانیکی آنتن می‌شود. با این افزایش ضخامت، از پاره شدن بخشی از لنز به دلیل تخلیه هوای داخل آنتن جلوگیری می‌شود. به وسیله رابطه (۶) می‌توان ابعاد عدسی را محاسبه کرد [۱۹].

$$\frac{T}{D} = \frac{\frac{F}{D}}{n-1} \sqrt{\left[1 + \frac{1}{\left(\frac{2F}{D}\right)^2}\right] - 1} \quad (6)$$

که در آن،  $n = \sqrt{\epsilon_r}$



شکل (۶): ساختار عدسی بیضوی [۱۷]

### ۳- طراحی آنتن

این آنتن در فرکانس ۷/۲ GHz طراحی شده است؛ بنابراین، می‌توان بیشینه طول لنز آنتن را مطابق رابطه (۵) به دست آورد. برای این منظور باید طبق رابطه (۷) طول موج را حساب کرد.

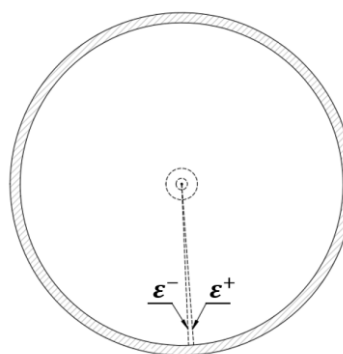
$$\lambda_0 = \frac{c}{f} = 41.66 \text{ mm} \quad (7)$$

که در رابطه بالا، c سرعت نور در فضای آزاد و f فرکانس موج اعمال شده به آنتن می‌باشد. در این طراحی از تفلون به دلیل در دسترس بودن و داشتن پارامترهای مکانیکی (مثل استقامت مکانیکی) و الکتریکی مناسب (مثل داشتن ولتاژ شکست الکتریکی بالا) به عنوان دی الکتریک در ساخت لنز آنتن استفاده شده است که ضریب گذردهی الکتریکی آن برابر است با  $\epsilon_r = 2.1$ ؛ بنابراین داریم:

$$h = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r} - 1} = 92.75 \text{ mm}$$

با ضخامت به دست آمده لنزی ساخت شد که بیشینه ضخامت آن برابر ۹۲/۷۵ mm و کمترین آن برابر ۲ mm (در حالت ایده آل این مقدار باید صفر باشد اما در عمل ضخامت صفر معنا ندارد)

توجه داشت که اگر در پله به وجود آمده در پنجره دی الکتریک آنتن، به میزان صفر حدی به سمت چپ و راست حرکت کنیم فاز موج به میزان  $2\pi$  تغییر می‌کند. حال اگر بیشینه ضخامت لنز را با  $\epsilon^+$  و کمینه آن را با  $\epsilon^-$  نشان دهیم، می‌توان روابط ۱ تا ۵ را به دست آورد. شکل (۵) گویای این موضوع است:



شکل (۵): تغییرات ضخامت دی الکتریک آنتن (لنز از نمای روبرو)

بنابراین، داریم:

$$\varphi_{\epsilon^+} - \varphi_{\epsilon^-} = 2\pi \quad (1)$$

که در آن،  $\varphi_{\epsilon^+}$  فاز بخش  $\epsilon^+$  و  $\varphi_{\epsilon^-}$  فاز بخش  $\epsilon^-$  می‌باشد. اگر به طور تقریبی ضخامت دی الکتریک در بخش  $\epsilon^-$  را برابر صفر در نظر بگیریم مقدار فاز آن برابر است با:

$$\varphi_{\epsilon^-} = \beta h \quad (2)$$

که در آن،  $\beta$  ثابت انتشار بر حسب rad/meter و h بیشینه ضخامت دی الکتریک می‌باشد. با توجه به این که تمامی مسیر حرکت موج در دی الکتریک می‌باشد برابر است با:

$$\varphi_{\epsilon^+} = \beta h \sqrt{\epsilon_r} \quad (3)$$

با جایگزینی روابط بالا در رابطه (۱) داریم:

$$\beta h \sqrt{\epsilon_r} - \beta h = 2\pi$$

که در آن،  $\epsilon_r$  ضریب گذردهی الکتریکی دی الکتریک می‌باشد.

$$h = \frac{2\pi}{\beta(\sqrt{\epsilon_r} - 1)}$$

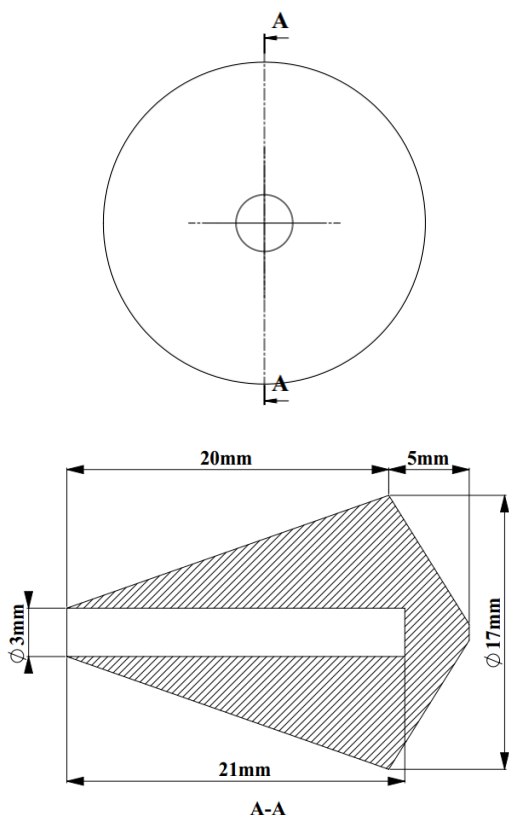
با توجه به این که:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} \quad (4)$$

داریم:

$$h = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r} - 1} \quad (5)$$

نتیجه تست در شکل زیر آورده شده است.



شکل (۹): ابعاد قطعه مخروطی متصل به هسته کانکتور



شکل (۱۰): لنز آنتن و چگونگی قرارگیری آن در نگاه‌دارنده

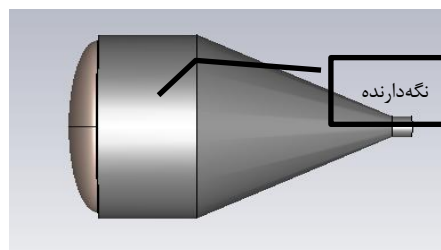


شکل (۱۱): حد واسط بین کانکتور و لنز

همان‌طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، میزان تلفات برگشتی آنتن در پهنای باند تقریباً  $4/3$  GHz ( $11-6/7$  GHz) قابل قبول می‌باشد. البته در مبدل‌های مد تنها این پارامتر پهنای باند را تعیین نمی‌کند.

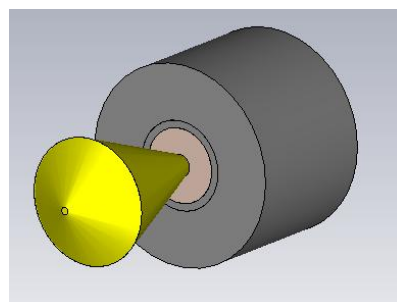
می‌باشند. قطر این لنز با توجه به قطر آنتن برابر  $225$  mm می‌باشد.

همچنین قسمت قاب نگاه‌دارنده لنز آنتن نیز به اندازه بیشینه ضخامت لنز می‌باشد. طول قسمت مخروطی آن برابر  $200$  mm فرض و به قطر استاندارد کانکتور N (ضخامت هسته کانکتور استاندارد برابر  $3$  mm و قطر هادی خارجی آن برابر  $10$  mm می‌باشد) ختم می‌شود. شکل زیر نشان‌دهنده آنتن می‌باشد:



شکل (۷): نمای کامل شده از آنتن در محیط CST

همان‌طور که توضیح داده شد، لنز متعادل کننده محدب (عدسی بیضوی) به طول  $20$  mm در انتهای لنز برای افزایش بهره و همچنین بالا بردن مقاومت مکانیکی لنز می‌باشد. (مطابق رابطه (۶)) از ساختار نشان داده‌شده در شکل (۸) در مرکز کانکتور برای تولید مد  $TM_{01}$  پهن باند استفاده شده است [۲۰]:



شکل (۸): مخروط کوچک متصل شده به هسته کانکتور در درون آنتن برای تولید مد  $TM_{01}$  پهن باند

ابعاد این قطعه کوچک در شکل (۹) نشان داده شده است:

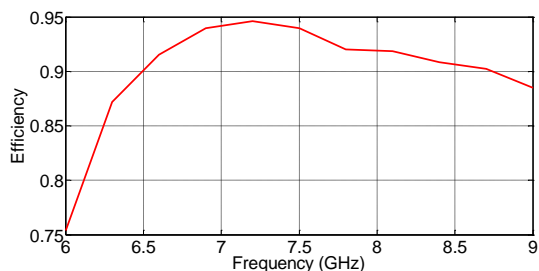
#### ۴- نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری

این آنتن توسط نرم‌افزار CST نسخه  $2014$  شبیه‌سازی و بهینه‌سازی شده است. در ساخت نیز، بدنه آنتن به دلیل سبک بودن از جنس آلومینیوم انتخاب شده است. شکل (۱۰) نشان‌دهنده لنز آنتن و چگونگی قرارگیری آن در نگاه‌دارنده می‌باشد.

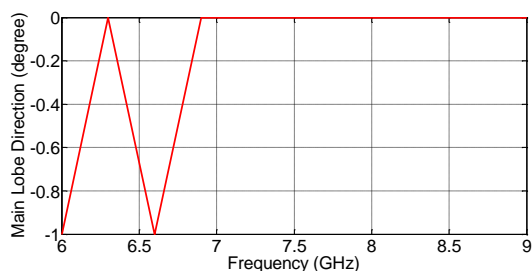
شکل (۱۱) بخش مخروطی آنتن ساخته‌شده را نشان می‌دهد. این بخش حد واسط بین کانکتور و لنز می‌باشد.

شکل (۱۲) نشان‌دهنده  $S_{11}$  آنتن می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ساختار لنز تأثیری بر روی تلفات برگشتی ندارد.

یکی دیگر از پارامترهای مهم در مبدل مدها، میزان انحراف از بیم اصلی است. در شکل (۱۶)، نمودار انحراف لوب اصلی از محور اصلی رسم شده است. همان طور که مشاهده می شود میزان این انحراف در کل پهنای باند بسیار کم و در فرکانس کاری برابر صفر است (این نمودار با رسم الگوی تشعشعی آنتن در فرکانس های مختلف و بررسی انحراف بیم اصلی از محور اصلی به دست آمده است).

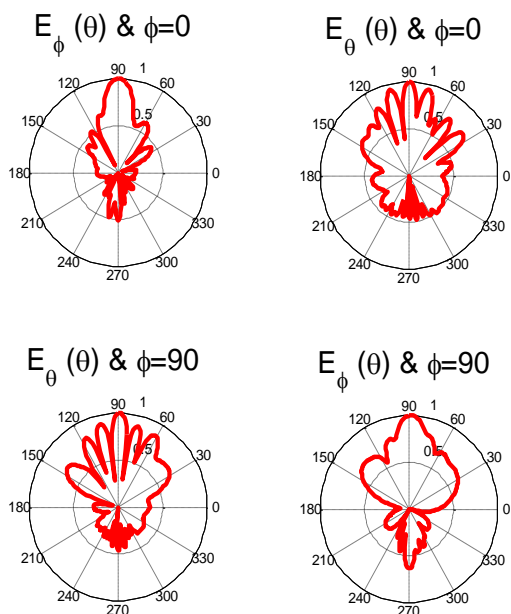


شکل (۱۵): نتایج شبیه سازی بازده آنتن

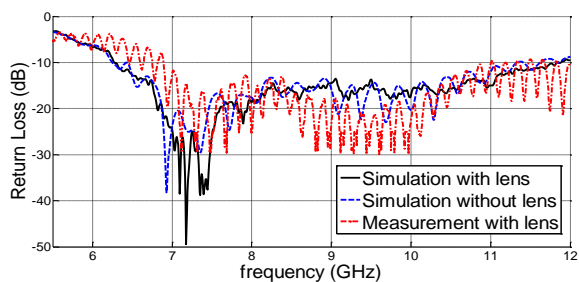


شکل (۱۶): نتیجه شبیه سازی انحراف لوب اصلی از محور اصلی

الگوی تشعشعی آنتن در فرکانس ۷/۲ GHz شبیه سازی و اندازه گیری شد. الگوی تشعشعی شبیه سازی و اندازه گیری شده به ترتیب در شکل های (۱۷ و ۱۸) رسم شده اند.

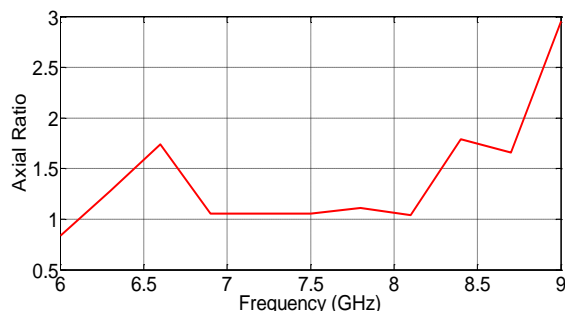


شکل (۱۷): الگوی تشعشعی شبیه سازی شده



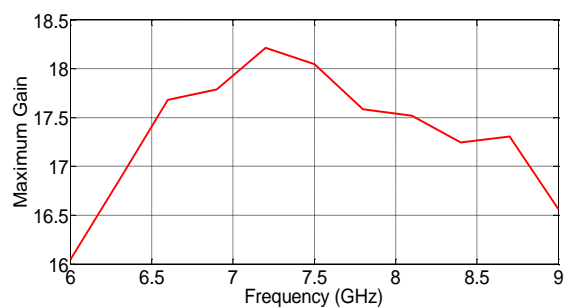
شکل (۱۲): تلفات برگشتی آنتن

شکل (۱۳) نسبت محوری شبیه سازی شده در جهت محور اصلی را نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود، در محدوده فرکانسی وسیعی قطبش دایروی خواهد بود. با توجه به این که هدف از استفاده از مبدل های مد انتقال بیشینه توان از دیواره های موجر به مرکز آن می باشد، پس زاویه صفر در مبدل های مد از اهمیت زیادی برخوردار می باشد؛ بنابراین وجود قطبش دایروی در این زاویه دارای اهمیت می باشد. چراکه سایر گلبه ها اهداف ناخواسته ای را تحت تأثیر قرار می دهند.



شکل (۱۳): نسبت محوری شبیه سازی شده در جهت محور اصلی

در شکل (۱۴) می توان بیشینه بهره آنتن را بر حسب فرکانس مشاهده کرد. همان طور که مشاهده می گردد، این آنتن طوری طراحی شده است که بیشینه بهره در فرکانس ۷/۲ GHz رخ دهد.



شکل (۱۴): بیشینه بهره شبیه سازی شده

شکل (۱۵)، نشان دهنده بازده آنتن می باشد. همان طور که ملاحظه می کنید بازده کل آنتن (با در نظر گرفتن تلفات فلز و دی الکتریک) در فرکانس کاری بیش از ۹۴٪ می باشد.

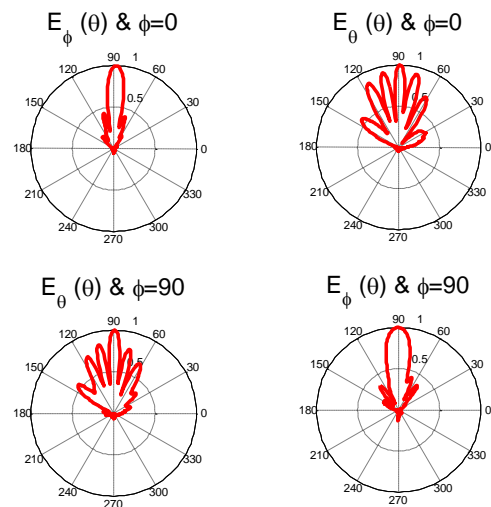
عایقی می‌شود. برای کنترل این موضوع معمولاً در فرکانس‌های بالا استفاده می‌شود. البته قابل ذکر است که با توجه به جدول ارائه شده، میزان گلبیگ فرعی در این آنتن، در مقایسه با سایر آنتن‌های مشابه کمتر می‌باشد. در واقع می‌توان گفت که این آنتن بهینه‌ترین حالت از مبدل مد COBRA بوده که گلبیگ‌های فرعی بزرگی دارد.

جدول (۱): مقایسه آنتن این مقاله با مبدل‌های مد مشابه

شماره مرجع	بیشینه بهره	لوب فرعی	قطبش
8	13.5	-15	خطی
	10.7	7	دایروی
	10.3	8	دایروی
11	27.8	22	دایروی
7	17	11	خطی
	13	7	دایروی
9	13.5	-8	خطی
	11	7	دایروی
10	25	22	دایروی
12	26	23	دایروی
13	24.98	20	دایروی
	25.4	21	دایروی
14	27	25	دایروی
آنتن پیشنهادی	18.4	11	دایروی

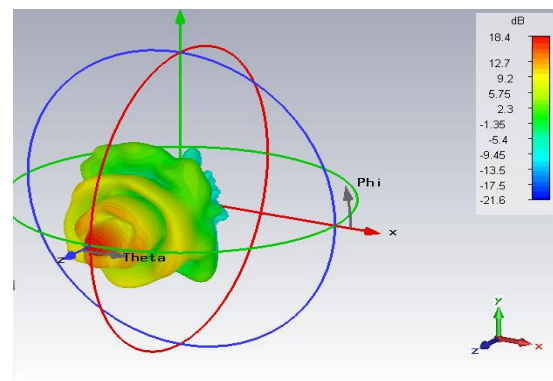
## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، هدف ساخت یک آنتن مبدل مد با طراحی جدید می‌باشد که در فرکانس ۷/۲ GHz مد ورودی  $TM_{01}$  را به مد  $TE_{11}$  با قطبش دایروی تبدیل کند. میزان تلفات برگشتی آنتن در پهنای باند تقریباً ۴/۳GHz (۶/۷-۱۱) قابل قبول می‌باشد. پهنای باند آنتن‌های مبدل مد برخلاف سایر آنتن‌ها فقط تابع میزان تلفات برگشتی در محدوده فرکانسی مشخصی، نمی‌باشد. بلکه آنتن باید بتواند در تمامی فرکانس‌هایی که در آن‌ها میزان تلفات برگشتی قابل قبول است، عمل تبدیل مد را انجام دهد. این موضوع با بررسی میزان انحراف بیم اصلی از محور اصلی آنتن تعیین می‌شود. در این پروژه، با توجه به دایروی بودن قطبش آنتن، علاوه بر دو شرط فوق باید بتواند در بازه موردنظر قطبش دایروی خود را حفظ کند. این موضوع با بررسی میزان نسبت محورها برحسب فرکانس مشخص می‌شود؛ بنابراین در این پروژه باید در بازه ۶-۹ GHz هم میزان تلفات برگشتی قابل قبول باشد، هم میزان انحراف از بیم اصلی ناچیز باشد و هم نسبت محورها زیر مقدار استاندارد (۳) باشد. طول نهایی این آنتن برابر ۳۰۰ mm می‌باشد. در مقایسه با آنتن‌های مشابه،



شکل (۱۸): الگوی تشعشی اندازه‌گیری شده

در شکل (۱۹) اندازه الگوی تشعشی سه‌بعدی شبیه‌سازی شده آنتن نشان داده شده است.



شکل (۱۹): اندازه الگوی تشعشی سه‌بعدی شبیه‌سازی شده

## ۵- مقایسه با کارهای موجود

مقایسه بهره و سطح لوب فرعی بر آنتن‌هایی با ساختار COBRA در جدول (۱) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، آنتن مبدل مد پیشنهادی در این مقاله در مقایسه با دیگر مبدل‌های مد که قطبش دایروی تولید می‌کنند، نسبت لوب فرعی به اصلی بهتر دارد.

با توجه به اینکه در مبدل‌های مد با ساختارهای مشابه این پروژه، ابعاد آنتن در مقایسه با فرکانس بزرگ می‌باشد، بنابراین احتمال تحریک شدن مدهای بالاتر و در نتیجه وجود گلبیگ‌های فرعی بزرگ در الگوی تشعشی وجود دارد. حال با توجه به وجود نقاط شکست در ساختار، این موضوع غیرقابل کنترل می‌باشد. این مسئله‌ای است که تمامی آنتن‌هایی با ساختار مشابه دارند و می‌توان گفت که وجود گلبیگ‌های فرعی ناشی از ساختار مبدل مد ندارد و ناشی از ابعاد موج‌بر می‌باشد. استفاده از این ساختار در فرکانس‌های پایین باعث افزایش حجم و وزن لنز

- [10] S. H. Lee, J. Ahn, Y. J. Yoon, and W. S. Lee, "Design and numerical simulation of miniaturised COBRA lens horn," *Electronics Letters*, vol. 43, no. 22, 2007.
- [11] J. Ahn, S. H. Lee, Y. J. Yoon, and W. S. Lee, "Miniaturization Technique of COBRA lens Horn Using a Modified Lens with Curved Surfaces," *IEEE*, 2007.
- [12] S. H. Min, H. C. Jung, G. S. Park, J. Ahn, S. H. Lee, Y. J. Yoon, J. Kim, J. H. Choi, and J. So, "Mode conversion of high-power electromagnetic microwave using coaxial-beam rotating antenna in relativistic backward-wave oscillator," *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 38, no. 6, pp. 1391-1395, 2010.
- [13] S. H. Lee, J. Ahn, Y. J. Yoon, and J. H. So, "Study on COBRA Lens Horn for Miniaturization and Improvement of Pattern," *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference*, 2006.
- [14] H. C. Jung, S. H. Min, G. S. Park, J. An, S. H. Lee, Y. J. Yoon, J. Y. Kim, J. H. Choi, J. H. So, and M. Petelin, "Transmission of gigawatt-level microwave using a beam-rotating mode converter in a relativistic backward wave oscillator," *Physics Letters*, 2010.
- [15] H. M. El Misilmani, M. Al-Husseini, and K. Y. Kabalan, "Improved Vlasov Antenna with Curved Cuts and Optimized Reflector Position and Shape," *International Journal of Antennas and Propagation*, pp. 1-12, 2015.
- [16] H. M. El Misilmani, M. Al-Husseini, K. Y. Kabalan, and A. El-Hajj, "Optimized Reflector Position for Vlasov Antennas," *Progress In Electromagnetics Research Symposium Proceedings*, pp. 139-143, 2013.
- [17] S. J. Hosseini, R. A. Sadeghzadeh, and H. Aliakbarian, "A TEM-TE<sub>11</sub> Mode-Transducing Sectoral Antenna by Using Dual Dielectric Window," *International Journal of Electronics Letters*, pp. 1-10, 2017.
- [18] S. J. Seyedhoseini, R. A. Sadeghzadeh, and H. Aliakbarian, "An Improved TEM-TE<sub>11</sub> Mode-Transducing Sectoral Antenna Using Dual Dielectric Window," *Journal of Applied Electromagnetics*, vol. 4, no. 2, pp. 44-50, 2016 (In persian).
- [19] T. A. Milligan, "Modern Antenna Design," Hoboken, John Wiley & Sons, second edition, 2005.
- [20] A. Chittora, S. Singh, A. Sharma, and J. Mukherjee, "Design of Wideband Coaxial-TEM to Circular Waveguide TM<sub>01</sub> Mode Transducer" 10th European Conference on Antennas and Propagation, 2016.

سطح لوب فرعی این آنتن کاهش یافته است. علاوه بر این از دیدگاه مکانیکی ساخت چنین لنزی ساده بود و استحکام مکانیکی بالایی در مقابل فشار از خود نشان می دهد. به همین دلیل می توان از این آنتن به عنوان مبدل مد توان بالا در لامپ های الکترومغناطیسی نیز استفاده کرد.

## ۷- منابع

- [1] L. G. Shen and Z. J. Juan, "Converters for the TE<sub>11</sub> Mode Generation from TM<sub>01</sub> Vircator at 4GHz," *Chinese Physical Society*, Vol. 18, No. 9, pp. 1285-1287, 2001
- [2] S. Yang and H. Li, "Optimization of Novel High-Power Millimeter-Wave TM<sub>01</sub>-TE<sub>11</sub> Mode Converters," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 45, no. 4, pp. 552-554, 1997.
- [3] B. M. Lee, W. S. Lee, Y. J. Yoon, and J. H. So, "X-band TM<sub>01</sub>-TE<sub>11</sub> mode converter with short length for high power," *Electronics Letters*, vol. 40, no. 18, 2004.
- [4] G. S. Ling and J. J. Zhou, "Design of Mode Converters for Generating the TE<sub>11</sub> Mode from TM<sub>01</sub> Vircator at 4GHz," *International Journal of Electronics*, vol. 89, no. 12, pp. 925-930, 2002.
- [5] C. W. Yuan, Q. X. Liu, H. H. Zhong, and B. L. Qian, "A novel TEM-TE<sub>11</sub> mode converter," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 15, no. 8, pp. 513-515, 2005.
- [6] A. Chittora, J. Mukherjee, S. Singh, and A. Sharma "Dielectric loaded TM<sub>01</sub> to TE<sub>11</sub> mode converter for S-band applications," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 22, no. 4, pp. 2057-2063, 2015.
- [7] C. C. Courtney, T. M. Veety, J. Tate, and D. E. Voss, "Design and measurement of COBRA lens antenna prototypes for HPM effects testing applications," *Sensor and Simulation Notes*, Note 492, pp. 2-18, 2004.
- [8] C. C. Courtney, D. E. Voss, and M. Thomas, "Design and numerical simulation of the response of a coaxial beam-rotating antenna lens," *Sensor and Simulation Notes*, Note 449, pp. 2-16, 2000.
- [9] C. C. Courtney, "Design and numerical simulation of coaxial beam-rotating antenna lens," *Electronics Letters*, vol. 38, no. 11, 2002.

---

**Design and Fabrication of A Modified COBRA Mode Converter with the Continuous Lens Structure**

**S. J. Seyed Hoseini, R. Sadeghzadeh<sup>\*</sup>, S. Chamani**

**K. N. Toosi University of Technology**

(Received: 08/06/2017, Accepted: 13/03/2018)

**Abstract**

*Most of high power microwave generators produce a  $TM_{01}$  mode in their circular waveguide output. This makes them improper due to its doughnut shaped pattern. To overcome this problem, the Coaxially Beam Rotating Antenna (COBRA) is used which transforms  $TM_{01}$  mode to  $TE_{11}$ . The conventional structure of COBRA, depending on the required polarization type, consists of 1-4 discrete steps. The minimum number of steps to create circular polarization is 3. In this paper, a modified COBRA including a continuous tapering which mimics an infinite number of steps has been proposed. In addition, using a convex lens increases the gain up to 1dB. Compared to conventional circular polarized COBRA with 3 or 4 steps, this structure has significantly improved the side lobe level. Furthermore, impedance and axial ratio bandwidths of this antenna are 3GHz. The experimental test results are in a good agreement with the computer simulations.*

**Keywords:** Mode Transformer, Circular Waveguide, Dielectric Lens, Circular Polarization

---

<sup>\*</sup> Corresponding author E-mail sadeghz@eetd.kntu.ac.ir