

بهبود آنتن مبدل مد TEM-TE₁₁ با استفاده از پنجره تطبیق چند عایقی

سید جلیل سیدحسینی^۱، رمضانعلی صادقی زاده^{۲*}، هادی علی اکبریان^۳

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

(دریافت: ۹۶/۰۱/۱۹، پذیرش: ۹۶/۰۸/۰۱)

چکیده: اکثر منابع مولد امواج الکترومغناطیسی نظیر لامپ‌های الکترومغناطیسی موجی با مد TEM یا TM₀₁ در یک موج‌بر دایروی تولید می‌کنند. بهترین مد برای تابش به یک نقطه مشخص مد TE₁₁ می‌باشد. مبدل‌های مد متداول برای تبدیل مد TEM به مد TE₁₁ مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله مبدل مدی طراحی و ساخته شده است که مد TEM را به مد TE₁₁ تبدیل کرده و سپس توسط یک موج‌بر دهانه باز تشعشع می‌کند. به علت قابلیت ترکیب این مبدل با یک آنتن موج‌بری در انتهای آن، این مبدل مد مناسب استفاده در سیستم‌های فشرده می‌باشد. این آنتن مبدل مد به گونه‌ای طراحی و ساخته شده است که بتواند در توان‌های بالا کارایی داشته باشد. به همین دلیل باید هوای داخل آنتن را به میزان قابل قبولی تخلیه کرد. به منظور تخلیه هوای داخل آنتن استفاده از یک پنجره عایقی در دهانه آن ضروری می‌باشد ولی استفاده از یک پنجره عایقی تلفات برگشتی را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد. در این مقاله برای رفع این مشکل از دو پنجره عایقی موازی استفاده شده است. این آنتن در توان پایین برای بررسی پارامترهای آن اندازه‌گیری شده است. بیشینه مقدار بهره برابر ۸/۸ dB در فرکانس ۱/۴۸ GHz می‌باشد. نتیجه اندازه‌گیری این آنتن مقدار S₁₁ در فرکانس ۱/۴۸ GHz برابر ۱۸ dB- نشان می‌دهد. نتایج اندازه‌گیری شده، نتایج شبیه‌سازی را به خوبی تأیید می‌کند.

کلید واژه‌ها: آنتن مبدل مد، موج‌بر مبدل مد، آنتن قطاعی.

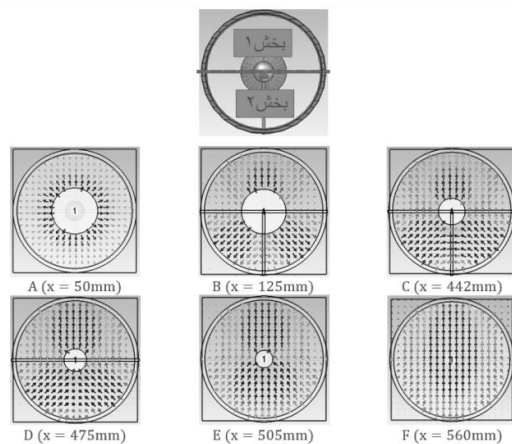
۱- مقدمه

اکثر منابع مولد امواج الکترومغناطیسی دارای خروجی با مد الکترومغناطیسی عرضی (TEM) و یا مد مغناطیسی عرضی (TM) می‌باشند [۱]. این مدها اگر از یک موج‌بر دایروی دهانه باز یا یک آنتن بوقی تشعشع کنند، پرتویی با مقدار صفر در محور اصلی^۱ (پرتو دونات‌شکل) خواهند داشت که این نوع پرتو برای تابش به یک نقطه خاص مناسب نمی‌باشد. مد مناسب برای تشعشع از دهانه یک موج‌بر دایروی و یا یک آنتن بوقی، مد TE₁₁ می‌باشد. پترن تشعشعی در این حالت دارای بیشینه تشعشع در محور اصلی می‌باشد [۲-۳]. هدف از این مقاله، طراحی و ساخت یک نوع مبدل مد می‌باشد که مد TEM از یک موج‌بر هم‌مرکز دایروی را به مد TE₁₁ از یک موج‌بر دایروی تبدیل و سپس به وسیله یک موج‌بر دایروی دهانه باز تشعشع می‌کند. به دلیل اتصال فشرده بخش تشعشعی به انتهای مبدل مد، این آنتن مبدل مد می‌تواند به عنوان یک سیستم فشرده مورد استفاده قرار گیرد. این مبدل مد می‌تواند با افزودن یک موج‌بر دایروی در ورودی (مبدل مد TEM-TM₀₁) برای مد ورودی TM₀₁ نیز مورد استفاده قرار گیرد و مد TM₀₁ را به مد TE₁₁ تبدیل کند.

در [۴] نوعی مبدل مد طراحی شده است که شامل یک موج‌بر دایروی با دو خم در طول آن می‌باشد که مد TM₀₁ را به مد TE₁₁ در یک موج‌بر دایروی تبدیل می‌کند. مشکل این نوع مبدل مد این است که دهانه‌های ورودی و خروجی مبدل در یک راستا قرار ندارند. این مشکل مانع از استفاده از این مبدل مد در سیستم‌های فشرده می‌شود. در [۵-۶] مبدل مد بیم‌گردان هم‌محور^۲ طراحی شده است. در تمامی ساختارهای این آنتن مبدل مد، بخشی از پنجره عایقی حذف می‌شود. این مسئله مانع تخلیه هوا و یا تزریق گاز داخل آن می‌شود؛ در نتیجه این آنتن برای مصارف توان بالا مناسب نمی‌باشد.

در این مقاله یک آنتن مبدل مد هم‌راستا، فشرده، با بازده بالا و با تحمل توان بالا طراحی و ساخته شده است. استفاده از ساختار دو پنجره عایقی به جای یک پنجره عایقی باعث کاهش چشم‌گیر تلفات برگشتی در فرکانس کاری شده است. در مرجع [۷] ایده چنین ساختاری توسط نویسندگان همین مقاله بدون ذکر تئوری استفاده از پنجره‌های عایقی آورده شده است. در آن پروژه خلل طراحی بخش ورودی نیز وجود دارد. در این مقاله این موضوع به طور کامل بررسی، تحلیل و همچنین روابط مربوطه به طور کامل آورده شده است. در بخش ۲ ساختار آنتن ارائه و سپس در بخش

* نویسنده پاسخگو: sadeghz@eetd.kntu.ac.ir



شکل (۲): آرایش میدان الکتریکی در طول آنتن مبدل مد به ترتیب در نواحی A, B, C, D, E, F

در شکل (۲) می‌توان فرایند تبدیل مد TEM به مد TE_{11} را مشاهده کرد. در ناحیه A مد TEM متقارن وارد آنتن مبدل مد می‌شود. در ناحیه B موج بر هم مرکز به سه موج بر قطاعی با زوایای 180° و 90° تقسیم شده است. موج بعد از ورود به این ناحیه وارد هر سه موج بر قطاعی می‌شود. ثابت فاز در هر موج بر قطاعی به وسیله (۱) به دست می‌آید.

$$\beta = \sqrt{\omega^2 \mu \epsilon - k_\rho^2} \quad (1)$$

که در آن β ثابت فاز، ω سرعت زاویه‌ای، μ نفوذپذیری، ϵ گذردهی و k_ρ توسط رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$J'_\nu(k_\rho a) Y'_\nu(k_\rho b) - J'_\nu(k_\rho b) Y'_\nu(k_\rho a) = 0 \quad (2)$$

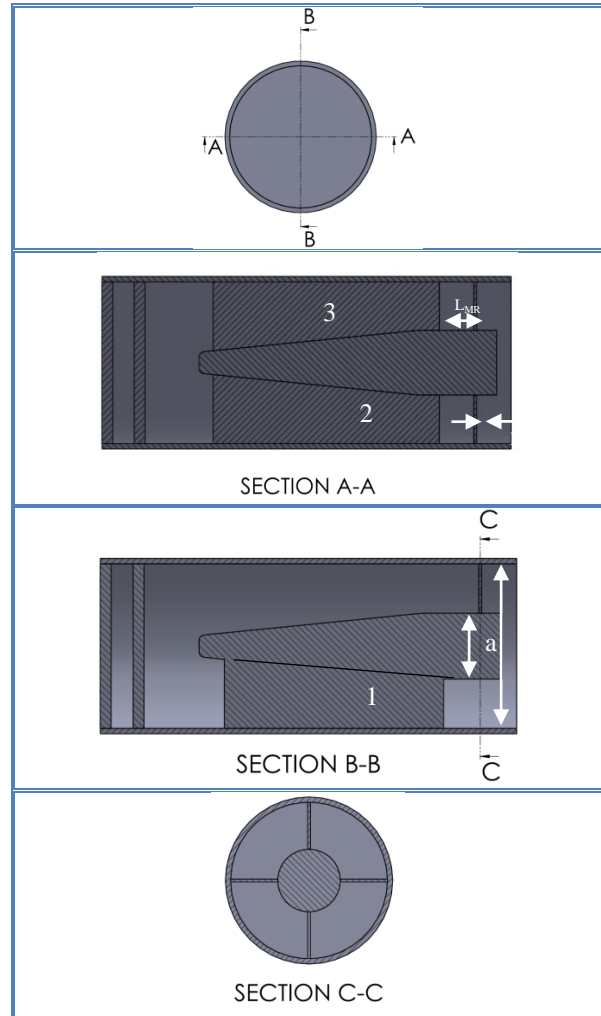
که در آن a و b به ترتیب شعاع هسته و بدنه موج بر قطاعی می‌باشند. J'_ν و Y'_ν نیز به ترتیب نشان دهنده مشتق توابع بسل^۱ و نیومن^۲ مرتبه ν ام می‌باشند [۸]. در این آنتن مبدل مد، ν می‌تواند دو مقدار ۱ و ۲ را داشته باشد. مقدار $\nu = 1$ مربوط به موج بر قطاعی با زاویه 180° و $\nu = 2$ مربوط به موج بر قطاعی با زاویه 90° می‌باشد.

در بخش ۱ مد TE_{11} و در بخش ۲ مد TE_{21} تحریک خواهد شد. میدان الکتریکی بخش ۲ در ناحیه C نسبت به ناحیه B به میزان 180° اختلاف فاز پیدا می‌کند. در ناحیه C بخش ۱ و بخش ۲ هم‌فاز می‌شوند. در ناحیه D تیغه تحتانی حذف شده و دو موج بر قطاعی با زاویه 180° وجود خواهد داشت.

تمامی فرایند تبدیل مد در ناحیه‌های B تا C رخ می‌دهد؛ بنابراین طول تیغه تحتانی در تبدیل مد مؤثر خواهد بود. طول این تیغه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(\beta_1 - \beta_2) \times L_1 = (2n - 1)\pi \quad (3)$$

۳ طراحی شده است. نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در بخش ۴ نشان داده شده است. در پایان در بخش ۵ نتیجه‌گیری آورده شده است.



شکل (۱): ساختار نهایی آنتن مبدل مد TE_{11} -TEM از سه نمای برش خورده

۲- طراحی

ساختار آنتن مبدل مد TE_{11} -TEM در شکل (۱) نشان داده شده است. این آنتن مبدل مد از سه تیغه فلزی که با نام‌های ۱، ۲ و ۳ نشان داده شده است برای تبدیل مد استفاده می‌کند. این تیغه‌ها یک موج بر هم مرکز را به دو موج بر قطاعی با زاویه 90° درجه و یک موج بر قطاعی با زاویه 180° درجه تقسیم می‌کند. دو میله در پشت تیغه‌های ۲ و ۳ و یکی در بالای لبه تیغه ۱ برای کاهش تلفات برگشتی قرار داده شده است. به این میله‌ها، میله‌های تطبیق (MR) می‌گویند [۳]. طول تیغه‌ها متفاوت بوده و بستگی به فرکانس و ابعاد موج بر دارد. در انتهای موج بر مد TE_{11} تشعشعی می‌کند.

1- Bessel Function
2- Neumann Function

ضخامت تیغه‌ها نیز برابر ۴ میلی‌متر می‌باشد. این مقدار به‌منظور دستیابی به مقاومت مکانیکی قابل قبول تعیین شده است. مقدار قابل قبول برای ورودی این میدل مد این است که موج ورودی به‌طور کامل در مد TEM قرار داشته باشد. این مورد با توجه به ابعاد و فرکانس مد ورودی تعیین می‌شود. برای بررسی این موضوع باید به‌صورت زیر عمل کرد؛ بنابراین داریم:

$$k_c = \frac{2}{a+b} \quad (5)$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر تساوی بالا برقرار باشد امکان تحریک مد دوم در یک موج‌بر هم‌مرکز دایروی (TE₁₁) وجود خواهد داشت. ارتباط بین فرکانس قطع با رابطه بالا به‌صورت زیر می‌باشد:

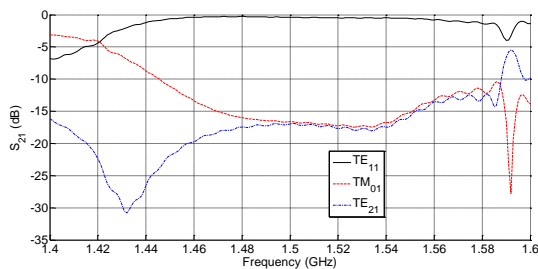
$$f_c = \frac{ck_c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}}$$

که در آن c نشان‌دهنده سرعت نور در فضای آزاد می‌باشد. [۱۰]. حال با توجه به مقادیر آنتن میدل مد داریم:

$$k_c = \frac{2}{a+b} = 12.70$$

$$f_c = \frac{ck_c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} = 607[\text{MHz}]$$

این رابطه نشان می‌دهد که اگر فرکانس کاری برابر یا بیشتر از ۶۰۷ مگاهرتز باشد امکان تحریک مدهای بالاتر از TEM در موج‌بر دایروی هم‌مرکز وجود دارد. حال با توجه به اینکه فرکانس کاری برابر ۱/۵ گیگاهرتز می‌باشد پس بدیهی است که مدهای بالاتر تحریک می‌شوند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که با توجه به مطالب ذکر شده بازده مد TE₁₁ در خروجی نسبت به سایر مدهای تحریک شده مقدار قابل قبولی می‌باشد. در شکل زیر نمودار S₂₁ برای سه مد اول ایجاد شده در خروجی نشان داده شده است.



شکل (۴): نمودار S₂₁ برای سه مد اول

مقادیر محاسبه شده توسط نرم‌افزار CST برای β_1 و β_2 به‌صورت زیر می‌باشد.

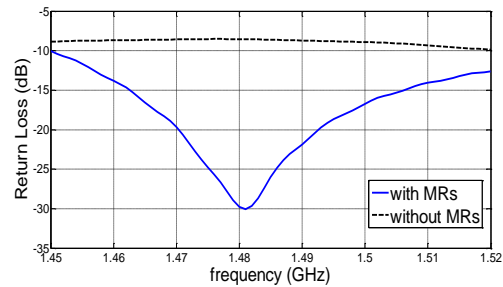
$$\beta_1 = 28.63 \text{ rad/m}$$

$$\beta_2 = 18.74 \text{ rad/m}$$

بنابراین طبق (۳) طول تیغه تحتانی محاسبه می‌گردد.

که در آن β_1 و β_2 به ترتیب برابر ثابت فاز در موج‌برهای قطاعی 180° و 90° می‌باشند [۹]. در حالت $n = 1$ کمترین طول را می‌توان برای تیغه تحتانی به دست آورد. در ناحیه E تیغه‌ها حذف می‌شود و اصطلاحاً مد TE₁₁ هم‌مرکز^۳ وجود خواهد داشت. در نهایت در ناحیه F هسته موج‌بر نیز حذف خواهد شد و مد TE₁₁ وجود خواهد داشت. در طول هسته موج‌بر از شیب ملایمی استفاده شده است که باعث کاهش تلفات برگشتی می‌شود؛ همچنین از وجود لبه‌های نوک‌تیز نیز جلوگیری می‌کند.

نکته مهم این است که وجود لبه تیغه‌های هادی در مسیر موج باعث افزایش چشم‌گیر تلفات برگشتی می‌شود. برای جلوگیری از این مشکل باید موجی با دامنه برابر و با اختلاف‌فاز 180° نسبت به موج برگشتی از لبه تیغه‌ها به وجود آید تا این موج، موج برگشتی از لبه تیغه‌ها را در ورودی خنثی کرده و تلفات برگشتی را کاهش دهد. این عمل با قراردادی میله‌هایی (میله‌های تطبیق) در مسیر حرکت موج و در پشت تیغه‌ها انجام می‌گیرد. شکل (۳) نتیجه استفاده از این ساختار را نشان می‌دهد.



شکل (۳): تلفات برگشتی آنتن در دو حالت با و بدون استفاده از میله‌های تطبیق

محاسبه ابعاد این میله‌ها در بخش ۴ توضیح داده شده است.

آنتن طراحی شده دارای سه تیغه و سه میله تطبیق می‌باشد. این آنتن در فرکانس ۱/۴۸ GHz با ورودی TEM کار می‌کند. بیشینه هسته و بدنه آنتن به ترتیب برابر ۹۰ و ۲۲۵ میلی‌متر می‌باشد. طبق رابطه زیر ابعاد ورودی به‌گونه‌ای است که امپدانس ۵۰ اهم را ایجاد می‌کند.

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \ln \frac{b}{a} = 60 \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \ln \frac{b}{a} \quad (4)$$

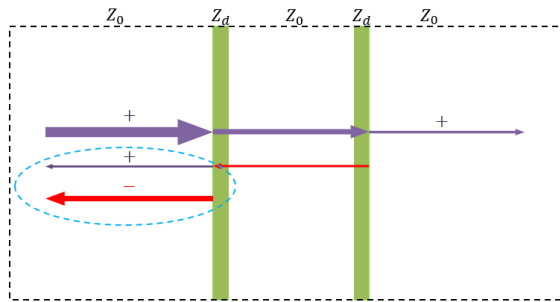
که در رابطه بالا μ_r و ϵ_r به ترتیب نشان‌دهنده ضریب نفوذپذیری و ضریب گذردهی عایق می‌باشد. این دو مقدار در اینجا برابر ۱ می‌باشد. همچنین مقادیر a و b نیز به ترتیب نشان‌دهنده شعاع بیشینه هسته و شعاع داخلی بدنه آنتن می‌باشد. همان‌طور که گفته شد این دو مقدار به ترتیب برابر ۹۰ و ۲۲۵ میلی‌متر می‌باشند. با جایگذاری در رابطه بالا به امپدانس ۵۰ اهم خواهیم رسید.

می تواند از رابطه زیر به دست آید.

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda_g} 2t = \frac{2\pi\sqrt{\epsilon_r}}{\lambda_0} 2t = \frac{2\pi f\sqrt{\epsilon_r}}{c} 2t = 2\pi \quad (۶)$$

که در آن f فرکانس موج، ϵ_r ضریب گذردهی الکتریکی عایق، c سرعت نور در فضای آزاد و t ضخامت عایق می باشد. ضریب ۲ در مقدار $2t$ که در آن نشان دهنده ضخامت عایقی می باشد به دلیل این می باشد که موج باید دو بار مسیر عایقی را طی کند. این رابطه نشان می دهد که موج عبوری وارد شونده به فضای آزاد سمت چپ، که از فحه عایقی با ضخامت t دو بار عبور کرده است با موج اولیه تابیده شده به صفحه عایقی هم فاز خواهد بود. در نتیجه با موج بازتابیده شده اول در فاز قرینه خواهد بود.

حال برای کاهش تلفات برگشتی باید دامنه موج بازگشت داده شده از سطح با ضریب برگشتی مثبت را افزایش داد. این کار می تواند با جلوگیری از تلف بیهوده آن در صفحه عایقی اتفاق افتد. به همین منظور می توان بخشی از قسمت عایقی را حذف کرد. در شکل (۷) این موضوع نشان داده شده است.



شکل (۷): نمایش ساختار فیلتر با دو پنجره عایقی

اکنون با حذف قسمت وسط صفحه عایقی در واقع دو پنجره عایقی حاصل شده است که ضخامت هر یک می تواند دلخواه باشد. البته باید در مواردی که هوای داخل آنتن یا موج بر باید توسط پمپ خلأ تخلیه گردد باید به تحمل مکانیکی پنجره عایقی در برابر فشار هوا توجه شود. اکنون با استفاده از (۶) داریم:

$$\frac{2\pi f\sqrt{\epsilon_r}}{c} 2t = 2\pi \rightarrow t = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_r}} = 69 \text{ mm}$$

پس از بهینه سازی به وسیله نرم افزار مقدار t برابر ۶۰ میلی متر به دست آمد. این مقدار در واقع مجموع مقادیر فاصله در پنجره از یکدیگر و ضخامت آن ها می باشد.

۴- نتایج

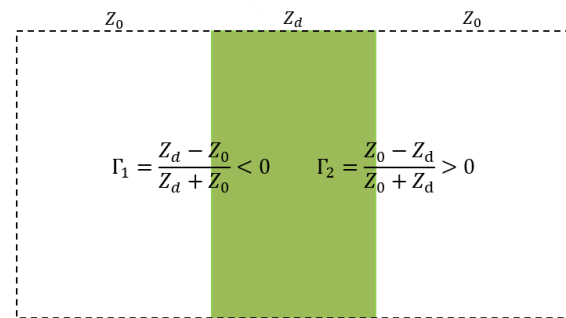
نتایج شبیه سازی آنتن در دو حالت با و بدون میله های تطبیق در شکل (۳) نشان داده شده است. در حالت بدون میله های تطبیق در فرکانس کاری مقدار S_{11} بیشتر از ۹- دسی بل می باشد. در

$$L_1 = \frac{(2n-1)\pi}{(\beta_1 - \beta_2)} = 0.317 [m] = 317 [mm], \quad n = 1$$

طول تیغه های L_2 و L_3 نباید کمتر از مقدار محاسبه شده برای L_1 باشد. طول این تیغه ها برابر ۳۵۰ میلی متر انتخاب شده است. طول هسته و بدنه آنتن نیز به ترتیب ۴۷۰ و ۵۷۰ میلی متر انتخاب شده است. ضخامت بدنه آنتن نیز برابر ۷/۵ میلی متر انتخاب شده است. ساختار کامل شده آنتن در شکل (۱) نشان داده شده است.

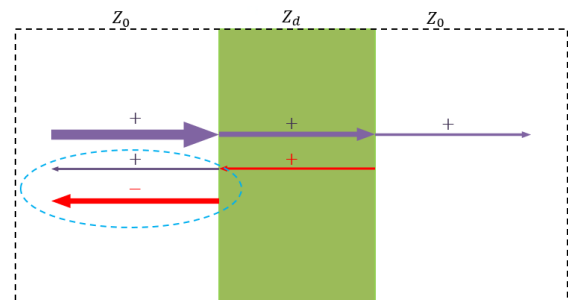
۳- اضافه کردن فیلتر چند عایقی

برای بررسی تأثیر فیلتر عایقی بر تلفات برگشتی، ابتدا تأثیر موج بر یک صفحه عایقی با ضخامت مشخص را بررسی می کنیم. با توجه به اینکه با ورود موج به محیط عایقی امپدانس آن کاهش می یابد؛ بنابراین در سطح ورود موج به عایق ضریب برگشتی منفی و در سطح ورود موج از عایق به فضای آزاد ضریب برگشتی مثبت خواهد بود. در شکل (۵) این موضوع نشان داده شده است.



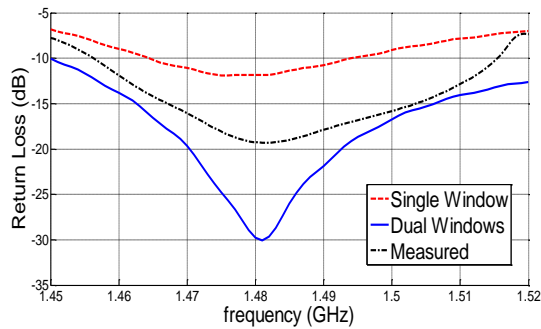
شکل (۵): نمایش علامت موج برگشتی از صفحه عایقی

حال اگر موجی با دامنه فرضی مثبت به صفحه عایقی برخورد کند مقداری از آن با دامنه منفی برمی گردد و مقداری وارد صفحه عایقی می شود. پس از برخورد موج عبوری به سطح مشترک عایق و هوا مقداری از آن برمی گردد. این موج به دلیل مثبت بودن ضریب برگشتی بدون تغییر در علامت وارد فضای آزاد سمت چپ می شود. این موج با موج برگشتی اول در فازهای قرینه قرار دارند و یکدیگر را تا حدودی خنثی می کنند. این دو موج با دایره نقطه چین در اطرافشان مشخص شده اند. این موارد در شکل (۶) نشان داده شده است.



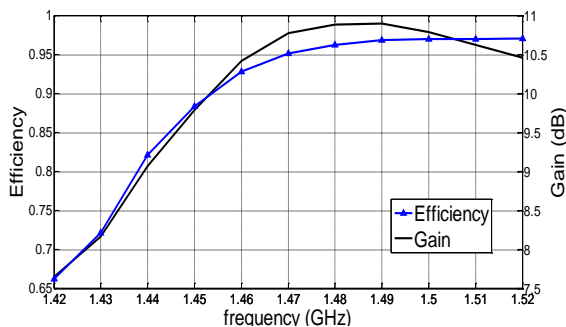
شکل (۶): نمایش امواج در برخورد با صفحه عایقی

مقدار ضخامت عایق برای ایجاد دو موج قرینه در ورودی



شکل (۱۰): نمودار شبیه‌سازی شده S_{11} در حالت استفاده از یک پنجره و دو پنجره عایقی. مقدار اندازه‌گیری شده S_{11} در حالت استفاده از دو پنجره عایقی

نتایج نشان می‌دهد که در حالت استفاده از دو پنجره عایقی به جای یک پنجره عایقی، مقدار S_{11} تا حدود -30 دسی‌بل کاهش پیدا می‌کند. نتایج اندازه‌گیری شده تلفات برگشتی نشان دهنده مقدار S_{11} حدود -19 dB در فرکانس کاری می‌باشد. در این حالت، بازده کل شبیه‌سازی شده آنتن از 87% تا 97% افزایش پیدا می‌کند. آنتن نهایی در توان پایین اندازه‌گیری شده است. شکل (۱۱) نشان دهنده نمودار شبیه‌سازی شده بهره و بازده برحسب فرکانس می‌باشد.



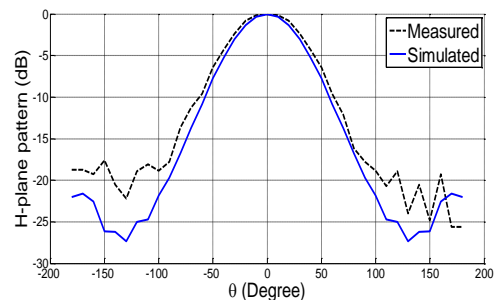
شکل (۱۱): نمودار شبیه‌سازی شده بهره و بازده آنتن برحسب فرکانس

مقدار اندازه‌گیری شده بهره در فرکانس $1/48$ گیگاهرتز برابر $8/8$ دسی‌بل می‌باشد. مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری باهم شباهت زیادی دارند. شکل (۱۲) آنتن ساخته شده را در حال اندازه‌گیری تلفات برگشتی نشان می‌دهد.

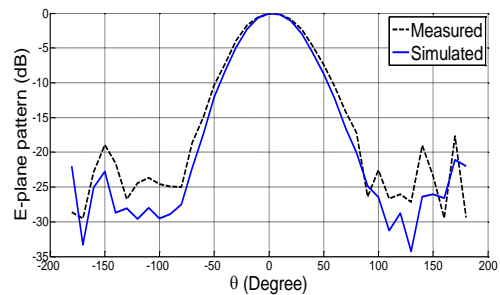


شکل (۱۲): اندازه‌گیری تلفات برگشتی آنتن

حالت استفاده از میله‌های تطبیق مقدار S_{11} حدود $-18/8$ دسی‌بل می‌باشد. شعاع و فاصله میله‌های تطبیق از لبه تیغه‌ها به ترتیب باید برابر ضخامت تیغه‌ها و برابر ربع طول موج باشد. البته مقادیر دقیق به وسیله بهینه‌سازی و شبیه‌سازی به دست می‌آید. مقدار به دست آمده برای شعاع هر میله R_{MR} برابر 4 میلی‌متر و فاصله میله‌های تطبیق از لبه تیغه‌ها L_{MR} برابر 48 میلی‌متر می‌باشد. بهره شبیه‌سازی شده برابر $10/3$ دسی‌بل می‌باشد. شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب الگوی تشعشعی آنتن را در فرکانس $1/48$ گیگاهرتز در دو صفحه E و H نشان می‌دهد.



شکل (۸): الگوی تشعشعی آنتن در صفحه H و در فرکانس $1/48$ گیگاهرتز



شکل (۹): الگوی تشعشعی آنتن در صفحه E و در فرکانس $1/48$ گیگاهرتز

این آنتن به گونه‌ای طراحی شده است که تحمل توان‌های بالا را داشته باشد، به همین منظور می‌توان هوای داخل آنتن را تا حد قابل قبولی تخلیه کرد؛ بنابراین استفاده از یک پنجره عایقی برای تخلیه هوا و یا تزریق احتمالی گاز به داخل آنتن ضروری می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری نشان می‌دهد که استفاده از یک پنجره عایقی در مسیر موج باعث افزایش تلفات برگشتی می‌شود. برای حل این مشکل از دو پنجره عایقی استفاده شده است. این دو پنجره به صورت فیلتر عمل کرده و در فرکانس کاری موج را بدون تضعیف عبور می‌دهند. مجموع ضخامت و فاصله دو پنجره عایقی از یکدیگر باید برابر نصف طول موج در داخل عایق باشد. مقادیر دقیق ضخامت و فاصله دو پنجره عایقی با بهینه‌سازی محاسبه شده است که به ترتیب برابر 15 و 30 میلی‌متر می‌باشد. شکل (۱۰) مقدار S_{11} آنتن را در حالت استفاده از یک و دو پنجره عایقی نشان می‌دهد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک آنتن توان بالا با قابلیت تبدیل مد TEM به TE_{11} طراحی، شبیه سازی، ساخته و اندازه گیری شده است. این آنتن در فرکانس ۱/۴۸ GHz طراحی شده است. با استفاده از دو پنجره عایقی به جای یک پنجره، تلفات برگشتی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. طول نهایی آنتن برابر ۵۷۰ mm می باشد.

۶- مراجع

- [1] C. W. Yuan, Y. W. Fan, H. H. Zhong, Q. X. Liu, and B. L. Qian, "A novel mode-transducing antenna for high-power microwave application," IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol. 54, No. 10, pp. 3022-3025, 2006.
- [2] A. Chittora, J. Mukherjee, S. Singh, and A. Sharma, "Dielectric Loaded TM_{01} to TE_{11} Mode Converter for S-band Applications," IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 22, No. 4, pp. 2057-2062, 2015.
- [3] Y. W. Fan, H. H. Zhong, C. W. Yuan, Z. Q. Li, T. Shu, H. W. Yang, Y. Wang, and L. Luo, "Investigation of a 1.2-GHz Magnetically Insulated Transmission Line Oscillator," IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 39, No. 1, pp. 540-544, 2011.
- [4] L. G. Shen and Z. J. Juan, "Converters for the TE_{11} mode generation from TM_{01} vircator at 4GHz," Chin.Phis.Lett, Vol. 18, NO. 9, pp. 1285-1287, 2001.
- [5] 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.
- [6] 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. 36, No. 6, pp. 1391-1397, 2010.
- [7] S. J. Hosseini, R. A. Sadeghzadeh & H. Aliakbarian, "A TEM- TE_{11} mode-transducing sectoral antenna by using dual dielectric window," International Journal of Electronics Letters, pp. 1-10, 2017.
- [8] M. Abrishamian, "Ch3. Circular cylinder," in Advanced electromagnetic waves, Tehran, K. N. Toosi University of Technology, pp. 54-56, 2012.
- [9] C. W. Yuan, Q. X. Liu, H. H. Zhong, and B. L. Qian, "A novel TEM— TE_{11} mode converter," IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 15, No. 8, pp. 513-515, 2005.
- [10] David M. Pozar, "Microwave Engineering," Hoboken, John Wiley & Sons, fourth edition, pp. 54-132, 2012.

**An Improved TEM-TE₁₁ Mode-Transducing Sectoral Antenna Using
Dual Dielectric Window**

S. Jalil Seyedhoseini, R. A. Sadeghzadeh*, H. Aliakbarian

K. N. Toosi University of Technology

(Received: 08/04/2017, Accepted: 23/10/2017)

Abstract

Most of microwave sources, such as electromagnetic tubes, generate circular TEM or circular TM₀₁ mode. The best radiating mode of cylindrical waveguides is circular TE₁₁ mode. Therefore, mode transducers are used to convert circular TEM or circular TM₀₁ to circular TE₁₁ mode. In this paper, designing and fabricating of a mode transducer that convert circular TEM to circular TE₁₁ mode are investigated. The combination of this mode transducer with an open-ended waveguide antenna makes it suitable for compact usages. The mode transducer antenna is designed to handle high power and therefore its internal area is closed by the help of a dielectric window to become vacuum. Mode conversion is carried out by changing the phase velocity of each mode-transducing section. The maximum achieved gain of this antenna is 8.8 dB in 1.48 GHz frequency. An optimized dual dielectric window at the end of the waveguide improves the antenna matching. The measured results are in a good agreement with simulation results.

Keywords: Mode-Transducing Antenna, Waveguide Mode-Conversion, Sectoral Antenna

* Corresponding author E-mail: sadeghz@eetd.kntu.ac.ir