

به نام خدا

پروژه اول آزمایشگاه طراحی و ساخت میکروویو و نوری

«آشنایی با تطبیق در مدارات موجبری»

تاریخ آخرین ویرایش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲

نیمسال دوم سال تحصیلی ۱۴۰۰-۱۴۰۱

مقدمه

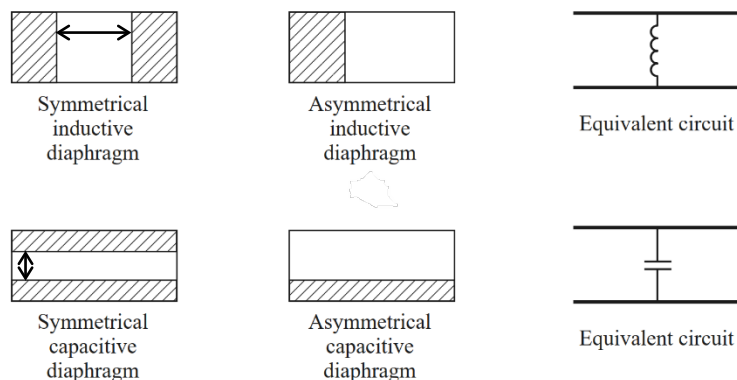
موجبرهای فلزی توخالی یکی از محیط‌های انتشار امواج الکترومغناطیسی هستند. در این موجبرها امکان انتشار امواج با مود TEM وجود ندارد. اولین مود انتشاری، مود TE_{10} است. با توجه به عدم امکان تعریف ولتاژ و جریان در چنین محیط انتشاری، نمی‌توان برای آن مدل گسترده‌ی خط انتقال در نظر گرفت. در عین حال می‌توان در یک خط انتقال فرضی، تناظری بین میدان‌های E_y و H_x این مود و ولتاژ و جریان برقرار کرد و مدارهای موجبری را با متناظر خط انتقالی آن‌ها نمایش داد. حسن این کار استفاده از روش‌هایی است که قبلاً برای تطبیق امپدانس با خطوط انتقال بکار می‌بردیم و می‌توانند در اینجا نیز به کمک ما بیایند.

برای آگاهی از نحوه‌ی متناظرسازی مدل خط انتقالی به کتاب مهندسی میکروویو پوزار (فصل ۴ بخش ۱ ویرایش چهارم) مراجعه نمایید.

در ادامه به شرح پروژه خواهیم پرداخت.

معرفی چند ناپیوستگی

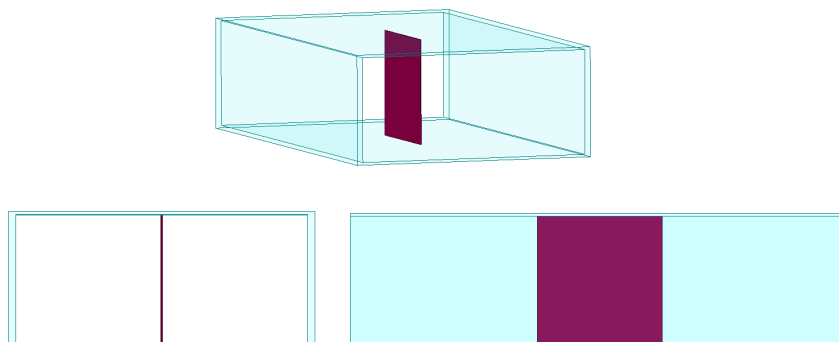
در درس مهندسی میکروویو، با روزه‌های سلفی و خازنی به عنوان یک ناپیوستگی در موجبرهای مستطیلی آشنا شده‌اید. شکل این روزه‌ها و معادل مداری آن‌ها در مدل خط انتقال متناظر، به صورت شکل ۱ است.



شکل ۱: روزه‌های سلفی و خازنی در موجبر مستطیلی

در این پروژه، از روزه‌های متقارن استفاده خواهیم کرد و فاصله‌ی مشخص روی شکل ۱ را عرض روزه می‌نامیم. برای هر شخص، نوع روزه و عرض آن مشخص شده است. در آزمایش‌هایی که در ادامه تعریف می‌شوند، هر فرد باید از روزه‌ی خود استفاده کند.

یک ناپیوستگی دیگر که در این پروژه از آن استفاده خواهید کرد، تیغه‌ی فلزی عمودی صفحه‌ی E^1 است. این ناپیوستگی به صورت شکل ۲ است.

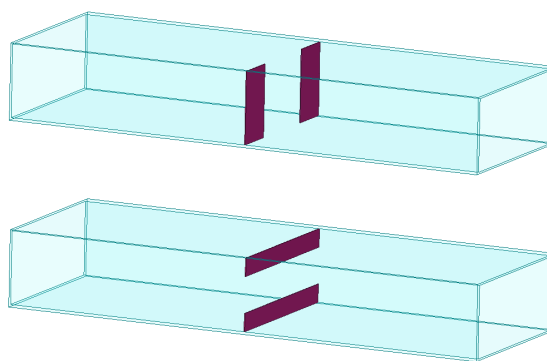


شکل ۲: تیغه‌ی عمودی صفحه‌ی E

همانطور که در شکل واضح است، این تیغه‌ی نازک دقیقاً در وسط ضلع بزرگتر موجبر در صفحه‌ی E قرار می‌گیرد. درجه‌ی آزادی طراحی شما، عرض این تیغه است. در ادامه، به شرح آزمایش‌هایی که باید انجام دهید، پرداخته‌ایم.

آزمایش شماره ۱

در ساختار یک موجبر $WR90$ ، روزنه‌ی خود را به شکل زیر بسازید. تمامی روزنه‌ها و تیغه‌ها، از ورقه‌های مسی به ضخامت $100\mu m$ ساخته می‌شوند. لذا در شبیه‌سازی خود این ضخامت را در نظر بگیرید.



شکل ۳: آزمایش روزنه‌های سلفی و خازنی به صورت دو دهانه‌ای

الف) طرفین این مدار موجبری به ژنراتور و بار منطبق بسته می‌شوند. با فرض اینکه موجبر و روزنه‌ها از مس ساخته شده‌اند، مدل مناسب شبیه‌سازی را ایجاد کنید.

ب) پاسخ فرکانسی افت عبوری و افت بازگشتی را در بازه‌ی فرکانسی 8-12GHz رسم نمایید.

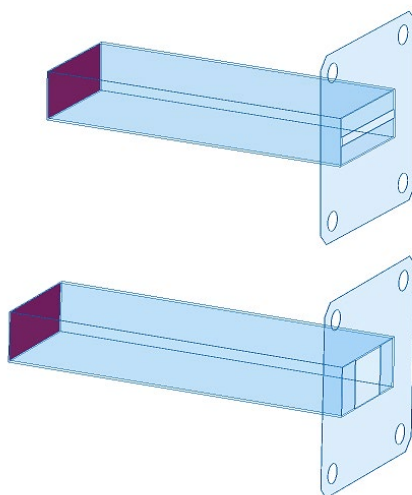
ج) با کمک منحنی‌های در اختیار S_{11} و S_{21} ، اقدام به استخراج مدل مداری روزنه‌ی خود کنید. در این مدل مداری، فرض کنید که امپدانس مشخصه‌ی مدل خط انتقالی متناظر برابر 50Ω باشد.

¹ E-plane Post

توجه: در روند پیدا کردن مدل مداری، باید با کمک de-embedding، طول بخش‌های اضافه را جبران کنید تا ادمیتانس اشتباه محاسبه نکنید. توجه کنید که طول بازوهای اضافه باید حداقل ۹۰ درجه باشد تا دامنه‌ی میرا نشده‌ی مودهای دیگر، در محاسبات پارامترهای پراکندگی، خطای قابل توجهی ایجاد نکنند.

آزمایش شماره ۲

در این آزمایش، روزنه‌ی خود را در انتهای یک موجبر WR90 قرار دهید. برای این منظور، یک ورقه‌ی مسی که روزنه‌ی هر فرد روی آن ایجاد شده است ساخته خواهد شد و به کمک فلنج^۲، این ورقه به انتهای موجبر WR90 اضافه خواهد شد. روزنه خود را به شکل زیر به موجبر WR90 اضافه کنید:



شکل ۴: روزنه در انتهای یک موجبر به عنوان آنتن

- در دهانه‌ی مشخص، باید Port قرار دهید. ابعاد فلنج در انتهای دستور کار مشخص شده است.
- (الف) ضریب انعکاس موجبر با انتهای باز همراه با فلنج و روزنه خود را برای فرکانس داده شده اندازه‌گیری کنید (باید با شرط مرزی جذبی برای تابش و با کمک de-embedding این کار را انجام دهید).
- (ب) پس از اندازه‌گیری Γ_L انتهای موجبر همراه فلنج و روزنه در فرکانس داده شده، می‌توانیم برای خروجی دهانه‌ی باز موجبر، یک مدل مداری پیدا کنیم. با استفاده از Γ_L اندازه‌گیری شده، مدل مداری این ساختار را پیدا کنید. مشابه آزمایش قبلی، فرض کنید که امپدانس مشخصه‌ی مدل خط انتقالی متناظر برابر 50Ω باشد.
- (ج) نتیجه این آزمایش را با آزمایش ۱ مقایسه کرده و دلیل تفاوت مقدار ادمیتانس محاسبه شده را دقت توضیح دهید. آیا نتیجه‌ی بدست آمده مورد انتظارتان است؟
- (د) الگوی تشعشعی بهره‌ی تحقق‌یافته‌ی^۳ آنتن موجبری با انتهای باز به همراه روزنه و فلنج را در صفحات E و H به dB رسم نموده و عرض پرتو^۴ی آن را محاسبه نمایید.

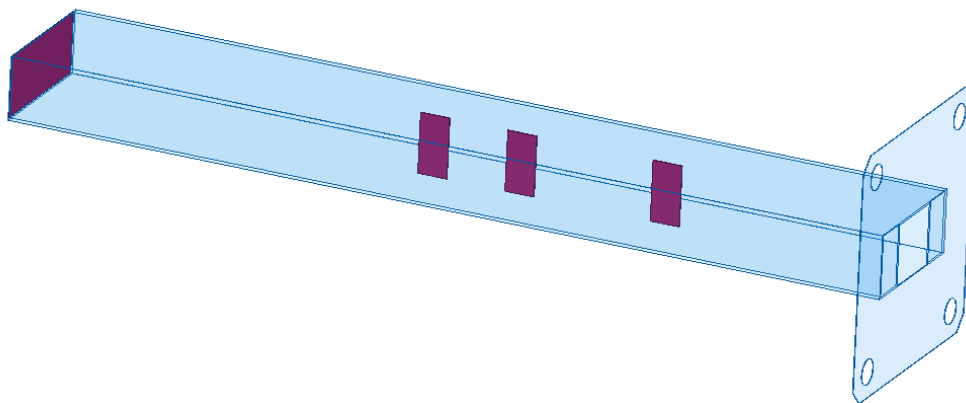
² Flange

³ Realized Gain Pattern

⁴ Beamwidth

آزمایش شماره ۳

در این آزمایش، با قرار دادن حداقل یک تیغه فلزی عمودی E-plane، می‌خواهیم آنتن ساخته‌شده توسط انتهای باز موجبر را تطبیق کنیم. برای این منظور، مانند شکل زیر، هندسه مورد نظر خود را طراحی کنید. طول این موجبر را 150 mm بگیرید و تیغه‌های مسی را با ضخامت $100\ \mu\text{m}$ بسازید.



شکل ۵: تطبیق انتهای باز موجبر WR90 به همراه فلنج و روزنه با چند تیغه

الف) به این منظور لازم است ابتدا ضریب انعکاس موجبر با انتهای باز همراه با فلنج و روزنه را برای فرکانس داده شده اندازه‌گیری کنید (باید با شرط مرزی جذبی برای تشعشع با کمک de-embedding این کار را انجام دهید).

ب) محل بار دیده‌شده در دهانه‌ی موجبر را در نمودار اسمیت مشخص کرده و به کمک روش تطبیق تک استابی که در دروس قبلی با آن آشنا شده‌اید، فاصله‌ی تیغه از دهانه‌ی خروجی موجبر و ادمیتانس مورد نیاز برای تطبیق آن را تعیین کنید. در این طراحی، سعی و خطا قبل قبول نبوده و باید به دقت و با استفاده از نمودار اسمیت تمامی مراحل را طی کنید. به خاطر فرایند ساخت خلاقانه‌ای که برای این ساختار در نظر گرفته شده است، محدودیتی روی محل تیغه ندارید.

ج) حال ادمیتانس مورد نیازتان را توسط تیغه‌ی عمودی پیاده‌سازی کنید. برای این منظور، ادمیتانس این تیغه را برحسب عرض آن در نرم افزار HFSS رسم کرده و مقدار عرض مطلوب خود را انتخاب کنید. سعی و خطا برای تعیین عرض تیغه قابل قبول نیست (توجه می‌کنیم که باز هم باید de-embedding مناسب انجام داد تا در محاسبات ادمیتانس خطا نداشته باشیم).

- توجه: در اندازه‌گیری این ادمیتانس، می‌توانید از روش‌های مختلفی مثل آزمایش‌های تک‌دهانه‌ای و یا دو دهانه‌ای استفاده کنید. از هر روشی استفاده می‌کنید، باید جزئیات روش خود را به دقت شرح دهید.

د) پس از طراحی تیغه، پاسخ فرکانسی مجموعه را در بازه‌ی 8-12GHz رسم نموده و پهنای باند 15dB را گزارش نمایید.

ه) (اختیاری) با افزودن چند تیغه‌ی دیگر، سعی کنید که آنتن خود را در پهنای باند بیشتری تطبیق کنید. پهنای باند 15dB ساختار خود را گزارش کنید. توجه کنید که مانند قسمت‌های قبل، سعی و خطا مجاز نیست و باید روند طراحی خود را به دقت توضیح دهید.

د) الگوی تشعشعی بهره‌ی تحقق‌یافته‌ی^۵ آنتن موجبری با انتهای باز (آزمایش ۲) و آنتن تطبیق‌شده را در صفحات E و H به dB رسم نموده و عرض پرتوی^۶ دو آنتن را مقایسه نمایید. آیا تطبیق پارامترهای تابشی آنتن را تحت تاثیر قرار داده است؟ توضیح دهید.

- توجه: در تمامی قسمت‌های قبل، پس از طراحی نهایی، می‌توانید با تغییر بسیار کم پارامترهای طراحی‌شده، به بهینه‌سازی پاسخ خود پردازید. قاعدتا این کار ایرادی ندارد و سعی و خطای صرف بدون طراحی اولیه قابل قبول نیست.

- نقشه‌ی هندسی دیافراگم(های) طراحی شده را با فرمت زیر ارسال نمایید:

StudentID_EXP3_1.dwg روزنه‌ی خود که روی خروجی قرار می‌گیرد:

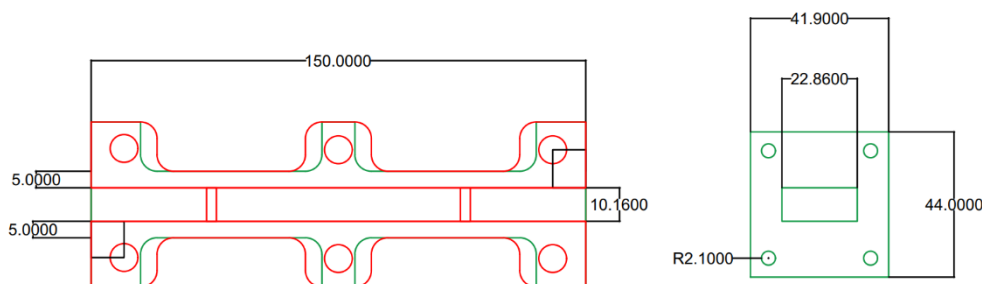
StudentID_EXP3_2.dwg تیغه طراحی شده به روش تک استاب:

StudentID_EXP3_3.dwg تیغه طراحی شده به روش چند استاب:

چند نکته

- برای ساخت این ساختار، یک موجبر WR90 که از $x = a/2$ بریده شده است را استفاده می‌کنیم. تیغه‌ی طراحی شده‌ی شما بین این دو قسمت پیچ خواهد شد. لذا سعی کنید که تیغه را به فرمتی که روی سامانه قرار گرفته است طراحی کنید.

- لازم است طراحی ورقه‌های مسی دارای روزنه و تیغه خود را در قالب داده شده با نرم‌افزار AutoCAD کشیده و تحویل دهید تا پس از ساخت، در حضور خودتان (در صورت رفع محدودیت‌ها) پاسخ فرکانسی S_{11} و S_{21} اندازه‌گیری شوند. نمونه‌ای از شکل روزنه‌ی معتبر و تیغه‌ی مناسب در سامانه برای شما قرار داده شده است. - ابعاد فلنج و موجبر به صورت زیر هستند. فایل AutoCAD این ساختار نیز در سامانه قرار گرفته است.



شکل ۶: ابعاد موجبر و فلنج آن؛ همه طول‌ها به mm هستند و قطر سوراخ‌ها گزارش شده است.

⁵ Realized Gain Pattern

⁶ Beamwidth

شما باید لایه‌ی قرمز رنگ را برای ساخت تیغه‌های صفحه‌ی E طراحی کنید و مانند شکل ۶، تیغه‌های خود را قرار دهید. همچنین دهانه‌ی فلنج نیز به شکل ۶ است که باید روزنه‌های خود را به شکل آن با ابعاد مناسب روزنه، طراحی کنید.