

به نام خدا



دانشکده‌ی مهندسی برق

تمرین شبیه سازی درس میدان‌ها و امواج

استاد درس:

دکتر مهدی احمدی بروجنی

دستیاران آموزشی:

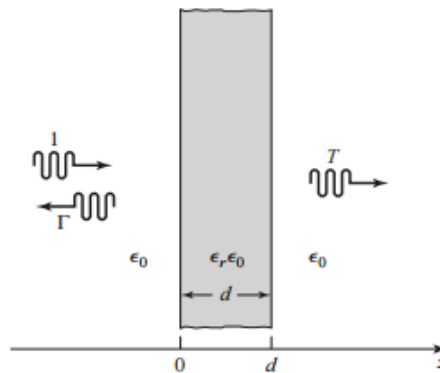
سید سروش طباطبایی نژاد

سید ابوالفضل محمدی قلعه‌سری

تمرین یک

در این تمرین قصد داریم برخورد یک موج تخت به یک ساختار و شرایط تطبیق را بررسی کنیم.

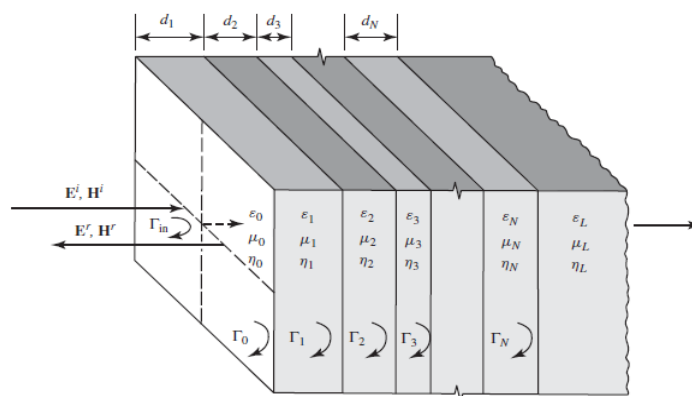
الف) مطابق شکل ۱، یک تیغه‌ی دی الکتریک بی تلف از دو طرف با هوا محصور شده است. با در نظر گرفتن $\epsilon_r = 2 \cdot 56$ و $d = 0.9375 \text{ cm}$ اندازه‌ی ضریب بازتاب را در بازه‌ی فرکانسی $5 \text{ GHz} - 15 \text{ GHz}$ رسم کنید. این کار را هم با شبیه‌سازی در نرم افزار *Comsol Multiphysics* و هم با کدنویسی در نرم افزار *Matlab* انجام دهید. رفتار این نمودار را با ذکر تئوری بصورت مختصر توضیح دهید.



شکل ۱

ب) در شکل ۱، اگر در سمت راست تیغه بجای هوا یک ماده‌ی بی تلف با ضریب گذردهی نسبی $\epsilon_L = 4$ وجود داشته باشد و طول تیغه برابر با ربع طول موجش در فرکانس 10 GHz باشد، با در نظر گرفتن $\epsilon_r = 2$ ، ضریب بازتاب صفر می‌شود. این ادعا را با استفاده از نرم افزار *Comsol Multiphysics* و هم با کدنویسی در نرم افزار *Matlab* با رسم اندازه‌ی ضریب بازتاب را در بازه‌ی فرکانسی $0 - 20 \text{ GHz}$ نشان دهید و تئوری آن را نیز بنویسید. شکل میدان الکتریکی یا مغناطیسی را در چند فرکانس مختلف، خصوصاً فرکانس مرکزی تطبیق نمایش دهید.

ج) در قسمت ب، در واقع محیط سمت راست را با محیط سمت چپ (هوا) تطبیق امپدانسی کرده‌ایم. ولی این تطبیق یک ایراد دارد. برای اصلاح این ایراد، مطابق شکل ۲، به جای یک تیغه‌ی عایقی در وسط، از چند تیغه‌ی عایقی (به تعداد N) با ضخامت ربع طول موج استفاده می‌شود.



شکل ۲

برای تحلیل ساختار فوق، می‌توان از یک تئوری با نام بازتاب‌های کوچک استفاده کرد که صرف نظر از جزئیات آن، رابطه‌ی زیر بر آن حاکم است.

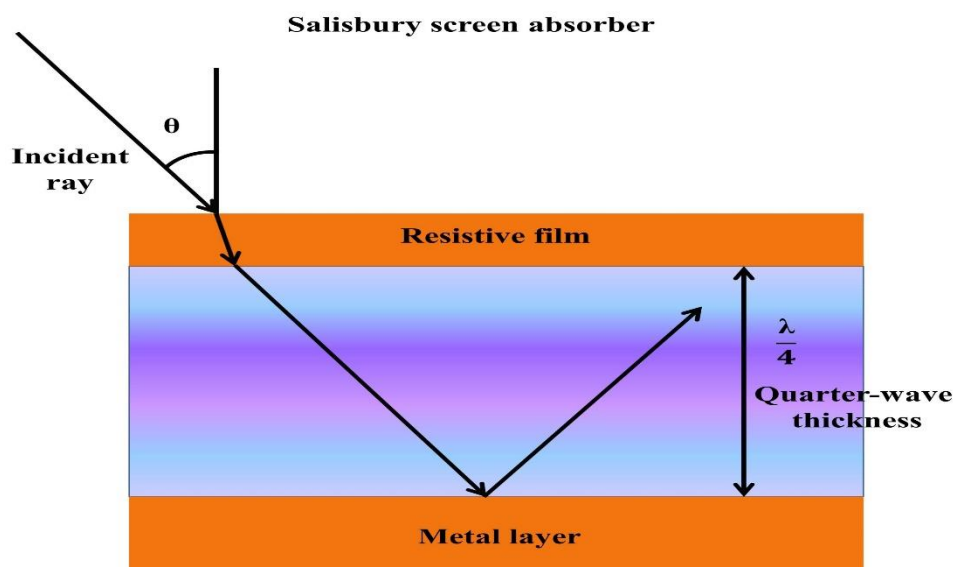
$$\Gamma_n = \frac{\eta_{n+1} - \eta_n}{\eta_{n+1} + \eta_n} = 2^{-N} \frac{\eta_L - \eta_0}{\eta_L + \eta_0} C_n^N$$

$$C_n^N = \frac{N!}{(N-n)!n!} \quad n = 0, 1, 2, \dots, N$$

با فرض غیر مغناطیسی بودن همه‌ی محیط‌ها، برای $N = 3$ و $\epsilon_L = 4$ ، ضریب دی الکتریک تیغه‌ها را بدست آورید. ساختار فوق را در نرم افزار *Comsol Multiphysics* در فرکانس 10GHz شبیه سازی کنید و اندازه‌ی ضریب بازتاب را در بازه‌ی فرکانسی $0 - 20\text{GHz}$ رسم کنید. نتیجه‌ی این بخش را با نتیجه‌ی بخش ب مقایسه کنید و شرح دهید که ساختار تطبیق چند لایه‌ای، چه ایرادی از ساختار تطبیق تک لایه‌ای را اصلاح کرده است. شکل میدان الکتریکی یا مغناطیسی را در چند فرکانس مختلف، خصوصاً فرکانس مرکزی تطبیق نمایش دهید.

تمرین دوم

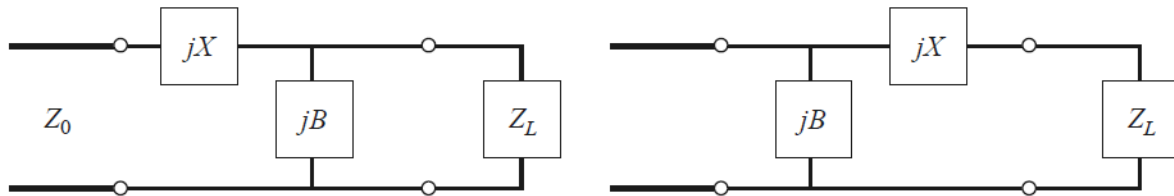
شکل ۳ را در نظر بگیرید. از این ساختار بعنوان جاذب در فرکانس‌های بالا استفاده می‌شود که از یک صفحه‌ی *PEC* (*Metal Layer*)، یک لایه‌ی دی الکتریک (هوا) با ضخامت ربع طول موج و یک لایه‌ی خیلی نازک تلفاتی (گرافیت) تشکیل شده است. یک موج تخت در فرکانس 3GHz بصورت عمود ($\theta = 0^\circ$) به این سطح برخورد می‌کند. با استفاده از نرم‌افزار *Comsol Multiphysics* ضخامت لایه‌ی گرافیت را طوری تعیین کنید که هیچ موجی بازتاب نشود. رسانندگی و ضریب گذردهی نسبی گرافیت را از کتابخانه‌ی مواد نرم افزار و یا یک مقاله‌ی علمی انتخاب کنید.



شکل ۳

تمرین سوم

در شکل ۴، اگر امپدانس مشخصه خطوط انتقال ۵۰ اهم باشد، با استفاده از نرم افزار ADS برای $Z_L = 75 - 100j$ و $Z_L = 10 - 45j$ مقادیر X و B و معادل سلف و خارن آنها را برای تطبیق در فرکانس ۳GHz محاسبه کنید و در نهایت اندازه‌ی ضریب بازتاب (dB) را بر حسب فرکانس در بازه‌ی ۱GHz – ۵GHz رسم کنید. دقت کنید که ممکن است برای بعضی حالت‌ها مدار تطبیق وجود نداشته باشد.



شکل ۴

تمرین چهارم

با استفاده از نرم افزار ADS و تکنیک *Double Stub Matching* بار $Z_L = 100 - 100j$ را به یک منبع تغذیه با مقاومت داخلی ۷۵ اهم تطبیق کنید. امپدانس مشخه‌ی تمام خطوط را ۷۵ اهم در نظر بگیرید. فاصله‌ی *Stub* ها از بار، طول آنها و همچنین مدار باز بودن و یا اتصال کوتاه بودن آنها جزو پارامترهای طراحی است.