

بسم تعالی



میدان ها و امواج

پروژه نهایی

امیرحسین زاهدی ۹۹۱۰۱۷۰۵

پاییز ۱۴۰۲

تمرین یکم:

الف) در این بخش از تمرین اول یک دی الکتریک به ضخامت 0.9375 سانتی متر با ضریب گذردهی نسبی قرار داده شده است. موج به این دی الکتریک برخورد می کند و با توجه به فرکانس برخورد، رفتار متفاوتی در میزان بازتاب یا عبور از خود نشان خواهد داد. ابتدا به صورت تئوری امیدانس دیده شده از سطح برخورد با عایق را بدست آورده و سپس ضریب بازتاب را از روی آن حساب می کنیم. در نهایت فرکانس تطبیق را با توجه به ضخامت دی الکتریک می یابیم. توقع است که در فرکانسی تطبیق اتفاق افتد که 0.9375 سانتی متر، ربع طول موجش باشد.

$$\epsilon_r = 2.25 \quad d = 0.9375 \text{ cm}$$

نمونه موج الکتریکی با امیدانس η و ضخامت d دهوا

$$\Rightarrow Z_{in} = \eta \frac{\eta_0 + j\eta \tan(kd)}{\eta + j\eta_0 \tan(kd)} \quad \Rightarrow \eta = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{\eta_0}{1.5} \Rightarrow$$

$$d = 0.9375 \times 10^{-3} \Rightarrow Z_{in} = \frac{\eta_0}{1.5} \frac{1 + j \frac{1}{1.5} \tan(kd)}{\frac{1}{1.5} + j \tan(kd)} =$$

$$\frac{\eta_0}{1.5} \frac{(\frac{1}{1.5} - \frac{j \tan^2(kd)}{2.25}) - j \tan(kd) \times \frac{1.5}{1.5}}{\frac{1}{1.5} + \tan^2(kd)} \Rightarrow Z_{in} = \eta_0 \frac{0.428 - 0.751 \tan^2(kd) - j \frac{\tan(kd)}{1.591}}{0.428 + 1.5 \tan^2(kd)}$$

$$\Rightarrow kd = \frac{2\pi f}{c} d = \frac{2\pi f d}{c} \Rightarrow \Gamma = \frac{Z_{in} - \eta_0}{Z_{in} + \eta_0}$$

آنگونه بر حسب f تعیین کرد، Z_{in} بدست می آید و سپس ضریب بازتاب Γ بدست می آید.

$$\tan(kd) = 0 \Rightarrow kd = n\pi \Rightarrow \frac{2\pi f d}{c} = n\pi \Rightarrow$$

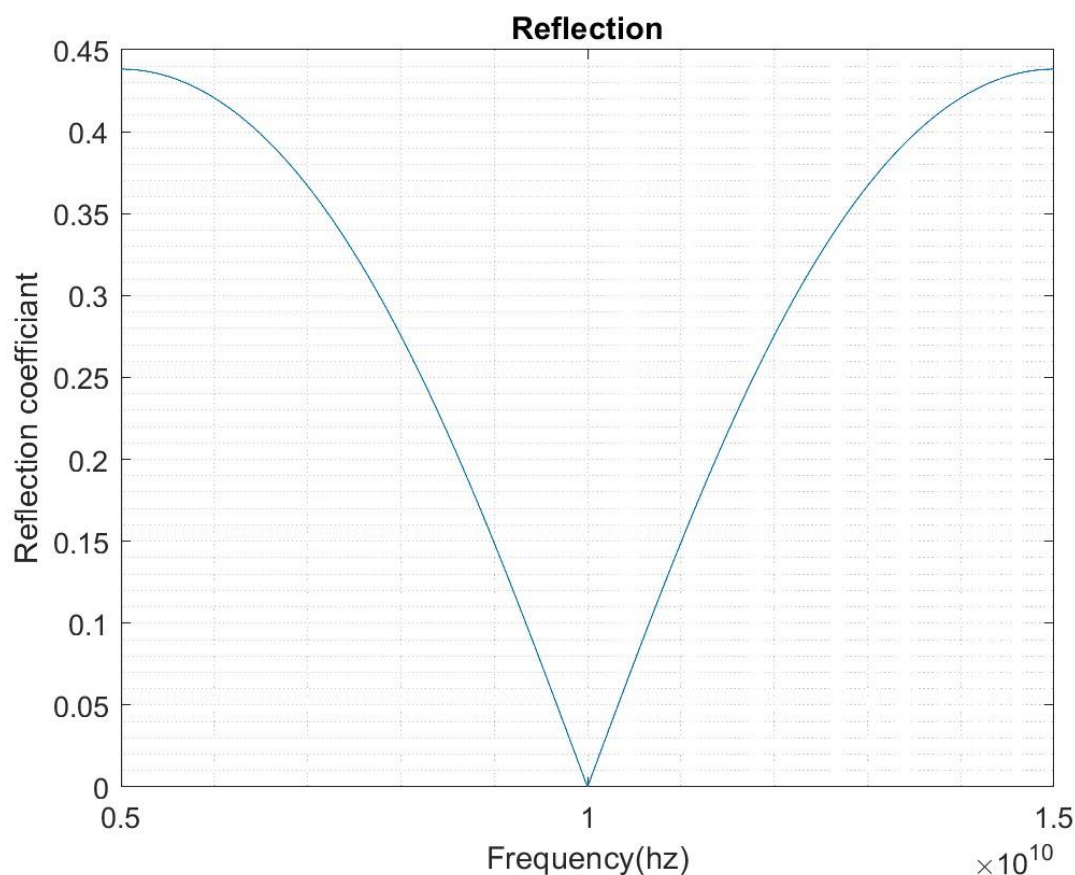
$$f = \frac{n\pi c}{2\pi d} \Rightarrow f = \frac{nc}{2d} \Rightarrow f = 14 \times 10^9 \times n$$

توقع نمائیم که فرکانس های هارمونیک های ۱۴ گانه هرگز تطابق اتفاق نیفتد. به عبارتی تطبیق زمانی رخ می دهد که اندازه d برابر نصف طول موج باشد. 0.9375 mm نصف طول موج برای فرکانس 14 GHz است.

متن بالا البته ایراد دارد زیرا که باید جای C ، $C/1.6$ قرار داده شود زیرا که اپسیلون محیط 2.56 است. به همین دلیل فرکانس تطبیق در مسئله بالا 10 گیگاهرتز است. در متن بالا اشتباه 16 گیگ حساب شده اما فرایندش درست است. با شبیه سازی ها نیز نشان می دهیم که 10 گیگاهرتز فرکانس تطبیق است.

حال با استفاده از نرم افزار متلب، همان محاسبات را انجام داده و سپس در بازه فرکانسی گفته شده ضریب بازتاب را رسم می کنیم. البته در متلب از ۰ تا ۲۰ گیگاهرتز را رسم کردیم تا تطبیق را نیز مشاهده کنیم.

```
% Part 1
d = 9.375 * 10^-3;
mu0 = 120*pi;
epsilon = 2.56;
c = 3*10^8 / epsilon^0.5;
mu = mu0/epsilon^0.5;
f = linspace(5*10^9, 15*10^9, 10000);
Zin = @(f) mu*(mu0 + 1i*mu*tan(2*pi*f*d/c))/(mu + 1i*mu0*tan(2*pi*f*d/c));
reflection = @(f) (Zin(f)-mu0)/(Zin(f)+mu0);
```

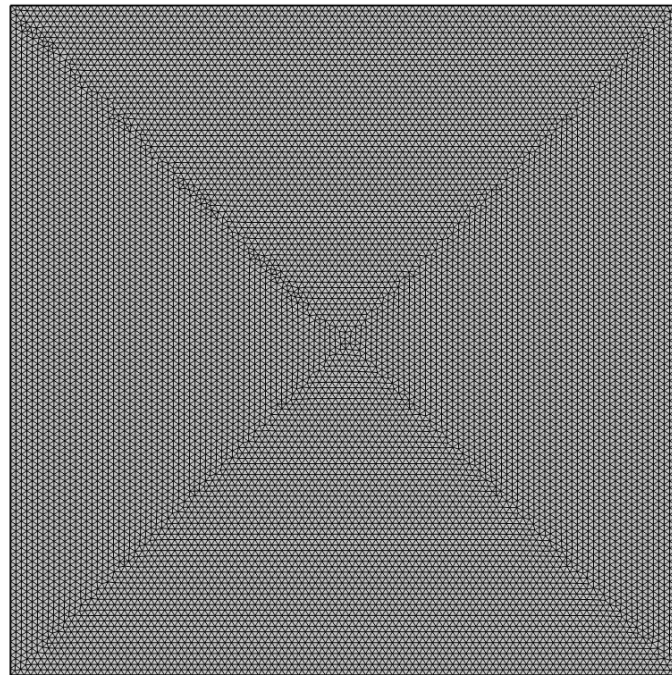


می بینیم که در فرکانس ۱۰ گیگاهرتز مینیمم بازتاب اتفاق افتاده است. در این فرکانس، ضخامت عایق یک چهارم طول موج است. البته همچنین می بینیم که در ۵ و ۱۵ گیگ نیز مکس بازتاب اتفاق افتاده.

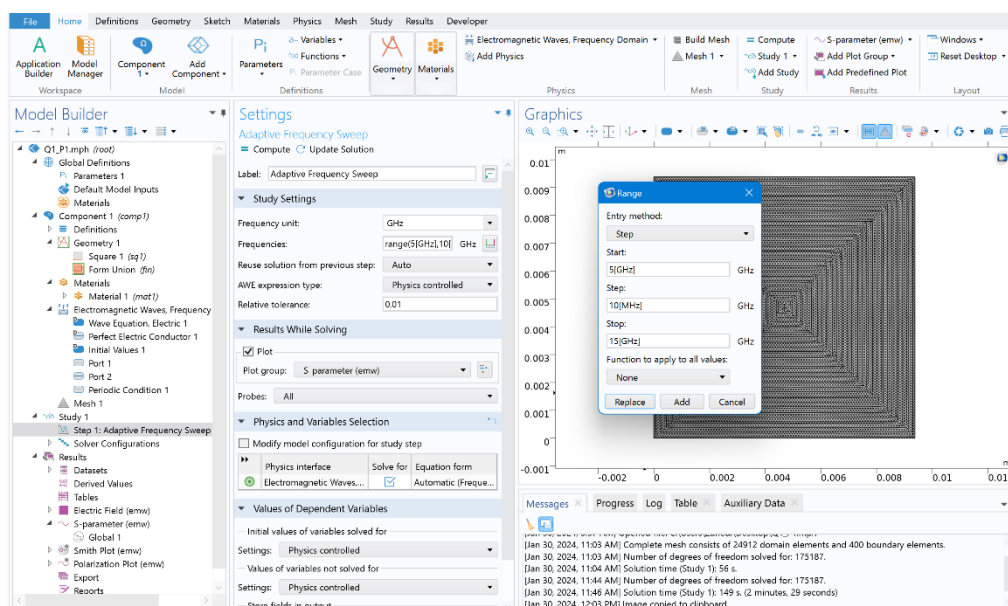
حال به سراغ نرم افزار کامسول می رویم.

ابتدا محیط و پارامترهای مورد مطالعه را تعیین می کنیم. سپس پارامترهای اندازه دی الکتریک را تعیین می کنیم و آن را می سازیم. برای آن متریال با ضریب گذردهی نسبی ۲.۵۶ تعیین می کنیم. مش را نیز تعریف می کنیم تا دی الکتریک تکمیل شده باشد.

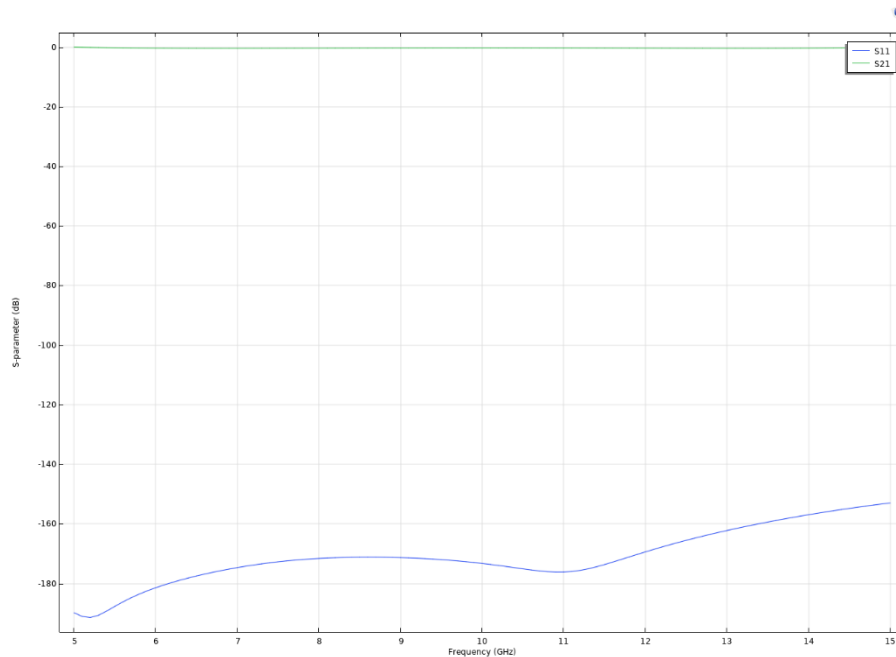
در مرحله بعد شرایط مرزی و پورت ها را تعیین می کنیم. پورت سمت چپ ورودی و پورت سمت راست خروجی است. شرایط مرزی بالا و پایین نیز پریودیک هستند و بر روی موج اثرگذار نیستند. در نهایت دی الکتریک به شکل زیر درمیاید.



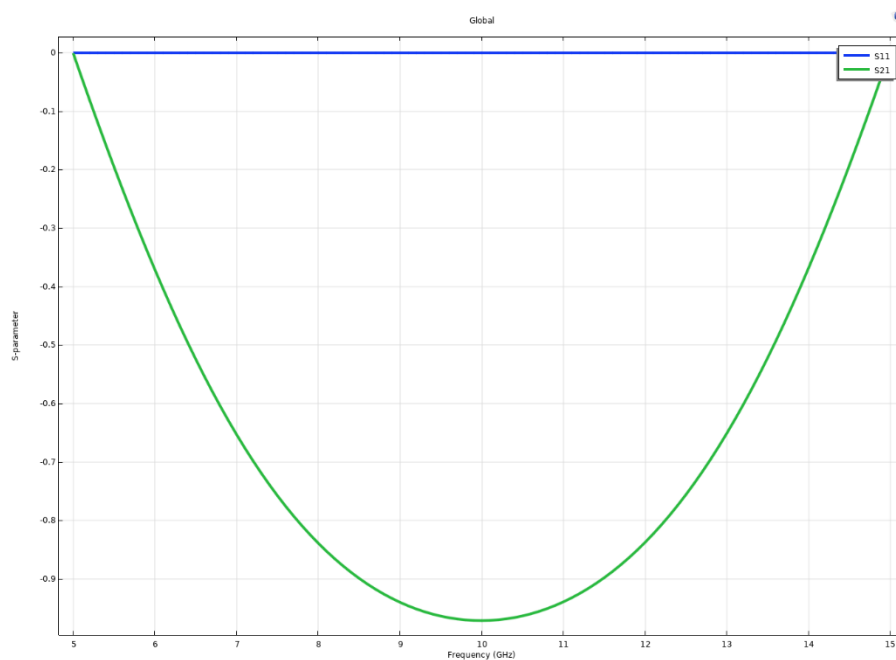
پس از تعیین شرایط فیزیکی، شرایط مطالعه را تعیین می کنیم. بازه فرکانسی سوییچ را ۵ الی ۱۵ گیگاهرتز با گام های ۱۰ مگا هرتز تعیین می کنیم.



پس از آن که همه چیز تعیین شد compute می کنیم و خروجی های S_{11} و S_{21} را در این بازه فرکانس مشاهده می کنیم. این دو مورد در حالت dB به صورت زیر هستند.



در حالت معمولی و غیر لوگاریتمی به شکل زیر هستند.



نمیدانم چرا نمودارها به خصوص S_{11} اطلاعات خوبی نمی دهند، با اینکه همه موارد بارها چک شده است. اما از نمودار دوم این برداشت را می شود که به لحاظ اندازه در ۱۰ گیگ، بیشترین میزان انتقال توان اتفاق افتاده است که نشان از کمترین میزان بازتاب دارد.

ب) اینبار در نظر می گیریم که محیط بعدی گذردهی نسبی ۴ داشته باشد. محاسبات را برای دی الکتریک با ضخامت ربع طول موج ۱۰ گیگاهرتز انجام می دهیم.

$$\eta_0 \rightarrow \left| \begin{array}{c} \epsilon_r = 2 \\ \eta_1 \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} \epsilon_r = 4 \\ \eta_2 \end{array} \right| \Rightarrow Z_{in} = \eta_1 \frac{\eta_2 + j \eta_1 \tan(\beta d)}{\eta_1 + j \eta_2 \tan(\beta d)} \Rightarrow$$

$$\eta_1 = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{\eta_0}{\sqrt{2}}, \quad \eta_2 = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{\eta_0}{2}$$

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow d = \lambda/2 \Rightarrow \beta d = \pi/2 \Rightarrow$$

$$\tan((\pi/2)\pi) = \infty \Rightarrow Z_{in} = \frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{(\frac{\eta_0}{\sqrt{2}})^2}{\frac{\eta_0}{2}} = \eta_0$$

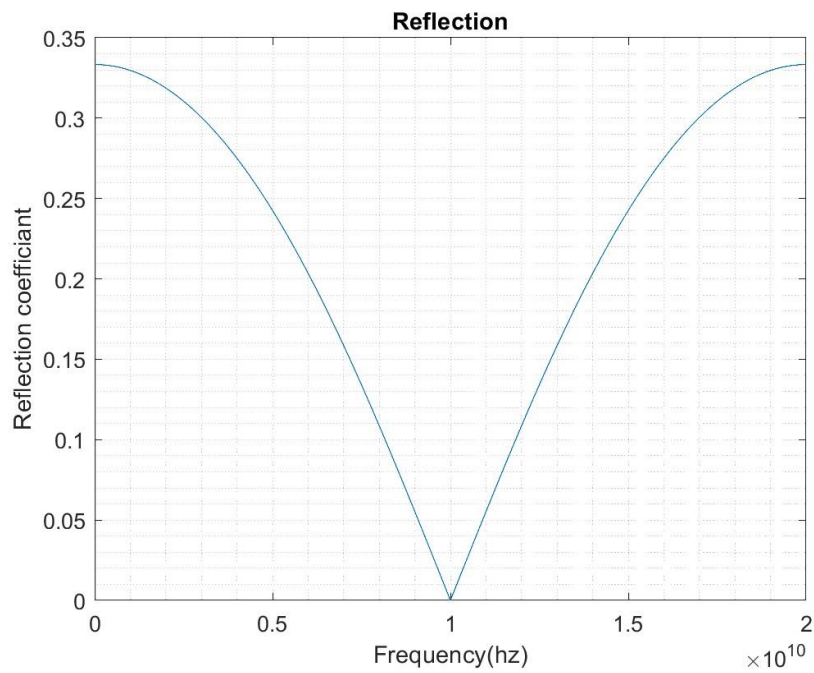
$$\Rightarrow \Gamma = \frac{Z_{in} - \eta_0}{Z_{in} + \eta_0} = 0$$

اینست به معنی ضریب بازتاب در ۱۰ گیگاهرتز
 ضخامت یاق در فرکانس ۱۰ GHz
 احتمالاً آرازه تا ۲۰ گیگاهرتز ضریب بازتاب را در ۱۰ گیگاهرتز

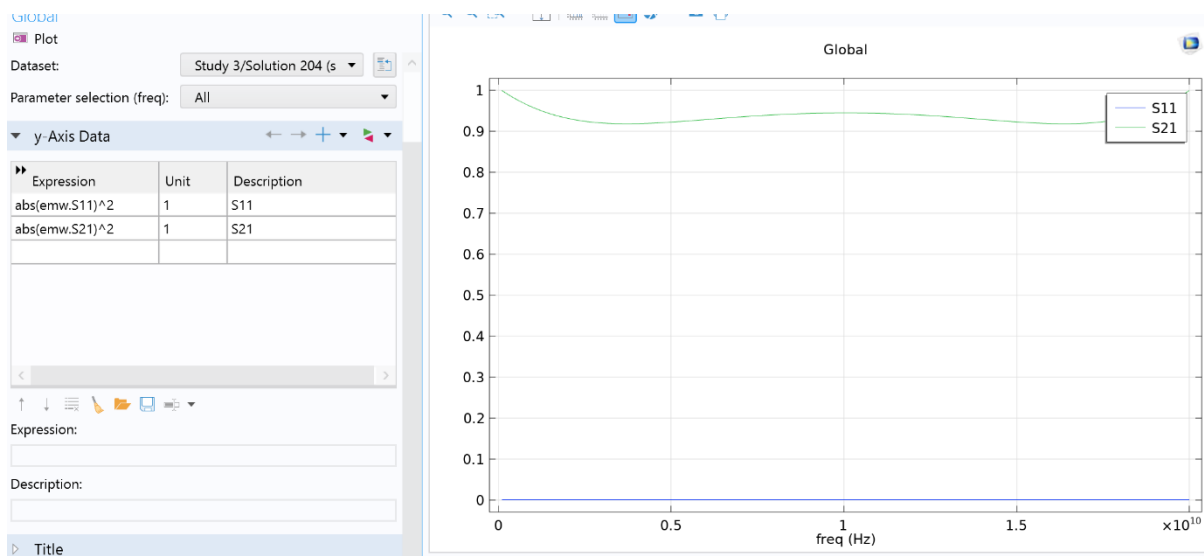
مشاهده می کنیم که در ۱۰ گیگاهرتز ضریب بازتاب ۰ می شود.

حال در متلب نیز اجرا می کنیم.

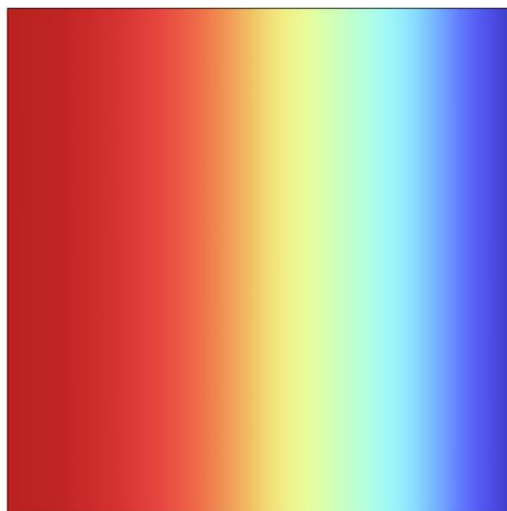
```
% Part 2
mu0 = 120*pi;
epsilon = 2;
c = 3*10^8 / epsilon^0.5;
mu = mu0/epsilon^0.5;
mu2 = mu0/2;
d = 0.25*c/10^10;
f = linspace(0*10^9, 20*10^9, 10000);
Zin = @(f) mu*(mu2 + 1i*mu*tan(2*pi*f*d/c))/(mu + 1i*mu2*tan(2*pi*f*d/c));
reflection = @(f) (Zin(f)-mu0)/(Zin(f)+mu0);
```



در کامسول نیز در این رنج رسم می کنیم اما به نظر می آید که مثل بخش قبل ایراد دارد.



برای ۱۰ گیگاهرتز نیز میدان به شکل زیر است.



ج) محاسبات تئوری به شکل زیر هستند.

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

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

$$\eta_i = \frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_i}}$$

$$\epsilon_L = \Sigma, \quad N = 3$$

$$\Rightarrow \Gamma_0 = \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0} = \frac{\eta_L - \eta_0}{\eta_L + \eta_0} \Rightarrow \boxed{\epsilon_1 = \epsilon_L = \Sigma} \Rightarrow$$

$$\Gamma_n = 2^{-N} C_n^N \times \frac{-1}{r} \Rightarrow \Gamma_1 = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} = \frac{-1}{4} \times \frac{3!}{2! \times 1!} = -1/2 \Rightarrow$$

$$\frac{\eta_2 - \eta_{1/2}}{\eta_2 + \eta_{1/2}} = -1/2 \Rightarrow 2\eta_2 - \eta_0 = -\eta_2 - \frac{\eta_0}{2} \Rightarrow \eta_2 = \eta_0/4 \Rightarrow \boxed{\epsilon_2 = 16}$$

$$\Gamma_2 = \frac{\eta_3 - \eta_2}{\eta_3 + \eta_2} = \frac{\eta_3 - \eta_{1/4}}{\eta_3 + \eta_{1/4}} = \frac{-1}{12} \times \frac{3!}{1! \times 2!} = -1/2 \Rightarrow$$

$$2\eta_3 - \eta_{1/2} = -\eta_3 - \eta_{1/4} \Rightarrow 3\eta_3 = \eta_{1/4} \Rightarrow \eta_3 = \eta_0/12 \Rightarrow$$

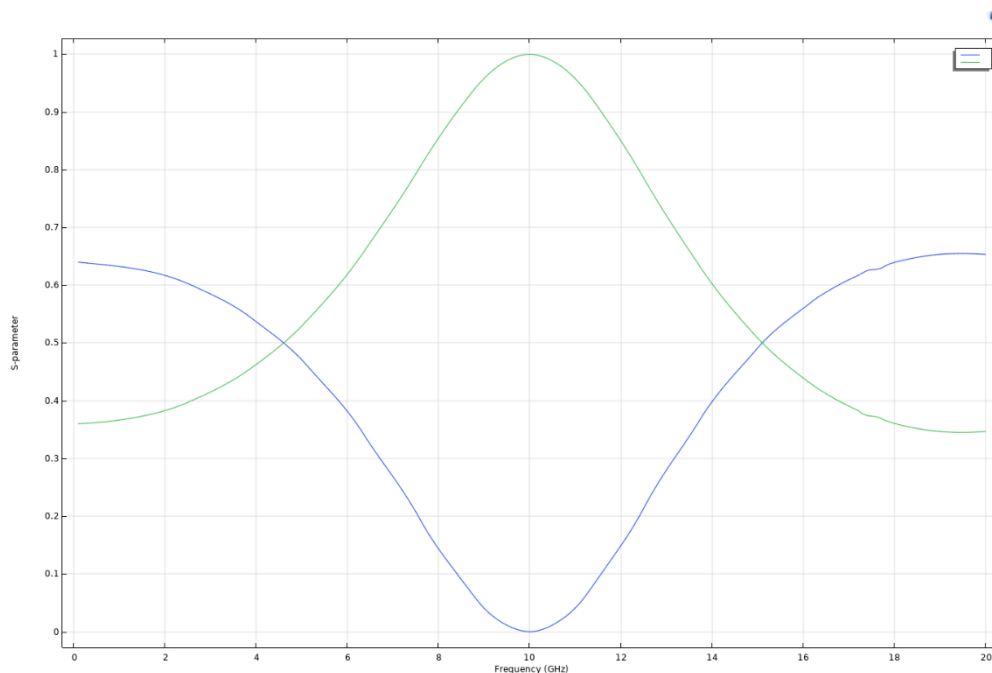
ضریب گذردهی سینی هر ۳ لایه را حساب می‌کنیم.

$$\boxed{\epsilon_3 = 144}$$

با استفاده از نرم افزار کامسول و طراحی سه لایه مطرح شده نیز بازتاب را بدست می آوریم.

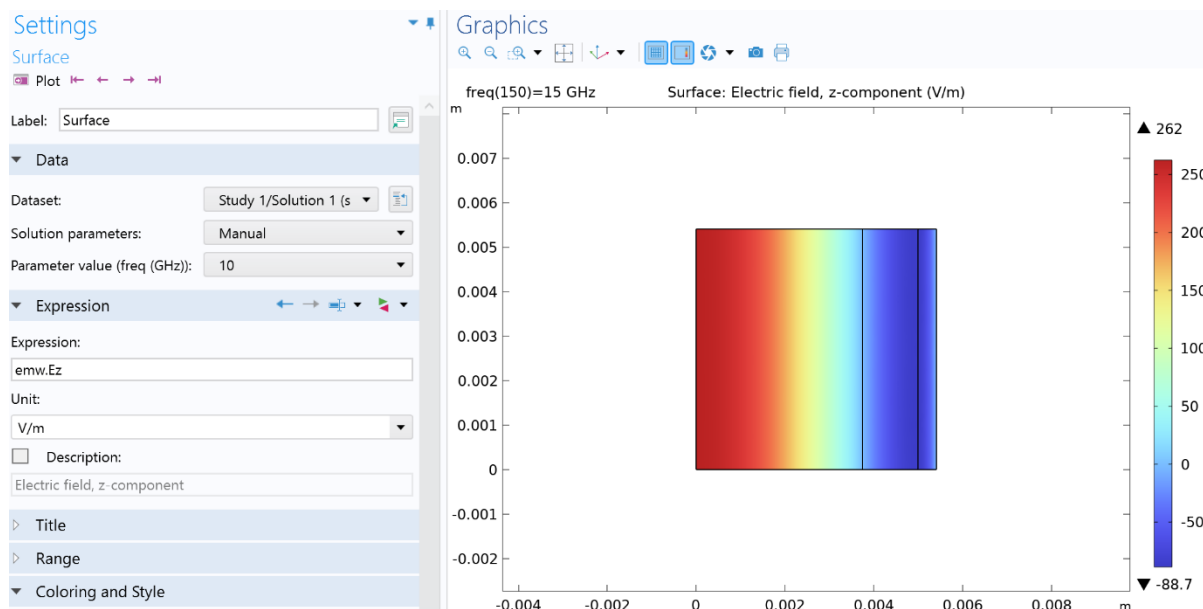
با استفاده از اپسیلون بدست آمده از هر لایه، ضخامت آن ها را نسبت به طول موج ربع چهارم تعیین می کنیم و لایه ها را در کنار هم می کشیم.

خروجی را با استفاده از سوییپ فرکانس در بازه ۰.۱ الی ۲۰ گیگاهرتز بدست می آوریم.

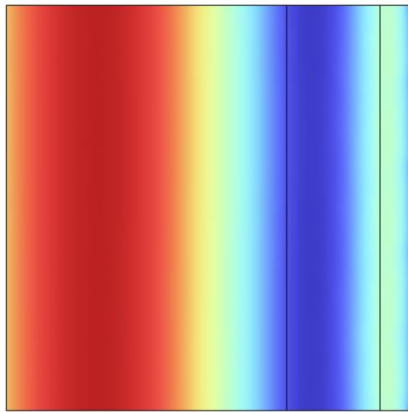


با استفاده از توان بدست آمده از S_{11} و S_{21} نمودار بالا رسم شده است. نتیجه بسیار خوبی بدست آمده است که نشان می دهد در ۱۰ گیگاهرتز ضریب بازتاب به ۰ و ضریب انتقال به ۱ می رسد. این نتیجه به نسبت بخش قبلی بالاخره به درستی محتوای مرتبط با تئوری را انتقال می دهد. متأسفانه چون در بخش قبل نتیجه مناسبی بدست نیامد بعید میدانم مقایسه اش با بخش قبلی درست باشد، اما به صورت جداگانه دیده می شود که این روش با تئوری سازگاری دارد.

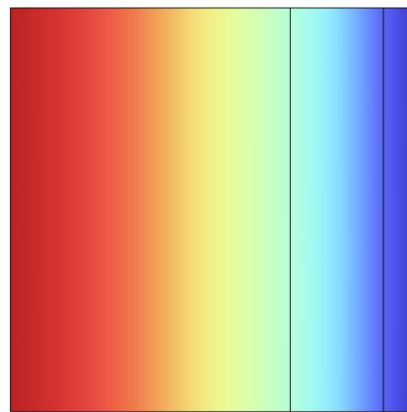
میدان های الکتریکی در ۱۰ گیگ و ۵ گیگ و ۱۸ گیگ:



۱۰ گیگاهرتز

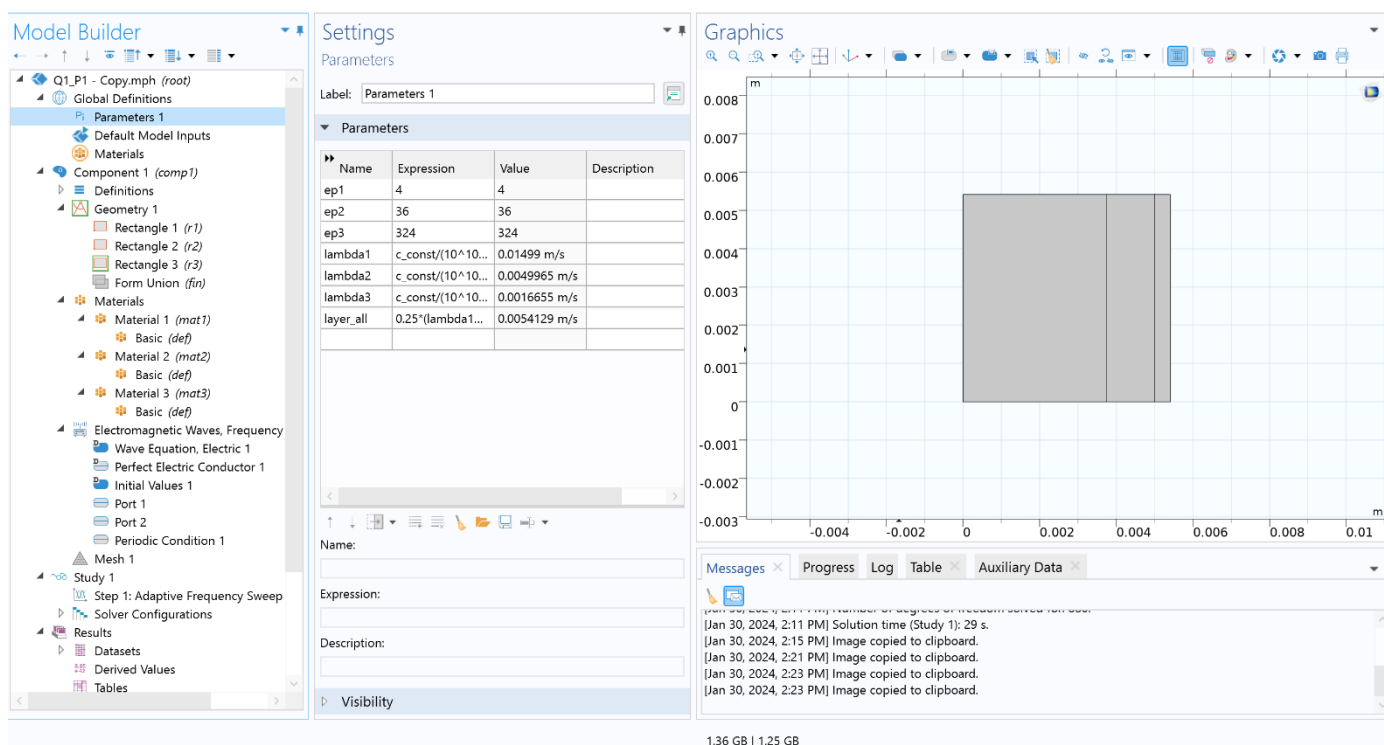


۱۸ گیگاهرتز



۵ گیگاهرتز

موارد دیگر:



تمرین دوم:

در این بخش قصد داریم که به وسیله لایه ای نازک از گرافیک کاری کنیم که صفحه PEC دیده نشود و موج بازتاب نشود. اینکار را به وسیله صفحه ای نازک در فاصله ربع طول موج از PEC انجام می دهیم. محاسبات تئوری به شرح زیر هستند.

در این مسئله چون سطح PEC است و حکم انعکال کوتاه را دارد و از این جهت کوتاه به وسیله دی الکتریک هوا به میزان ϵ_0 (دره شکر ایم) سطح دیده شده از صفحه گرافیتی برابر ده است.

$$\Rightarrow Z_{in} = \frac{\eta}{\tanh(\gamma d)} \Rightarrow d \ll \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \text{لایه بسیار نازک}$$

$$Z_{in} = \frac{\eta}{\gamma d} \Rightarrow \eta = \frac{1+j}{68}, \gamma = \frac{1+j}{8} \Rightarrow Z_{in} = \frac{1}{6d} \Rightarrow$$

آنها را می بینیم هیچ مربعی از تابش ندارد، باید داشته باشیم که $Z_{in} = \eta_0$

$$\Rightarrow \frac{1}{6d} = \eta_0 \Rightarrow d = \frac{1}{6\eta_0} = \frac{1}{120\pi}$$

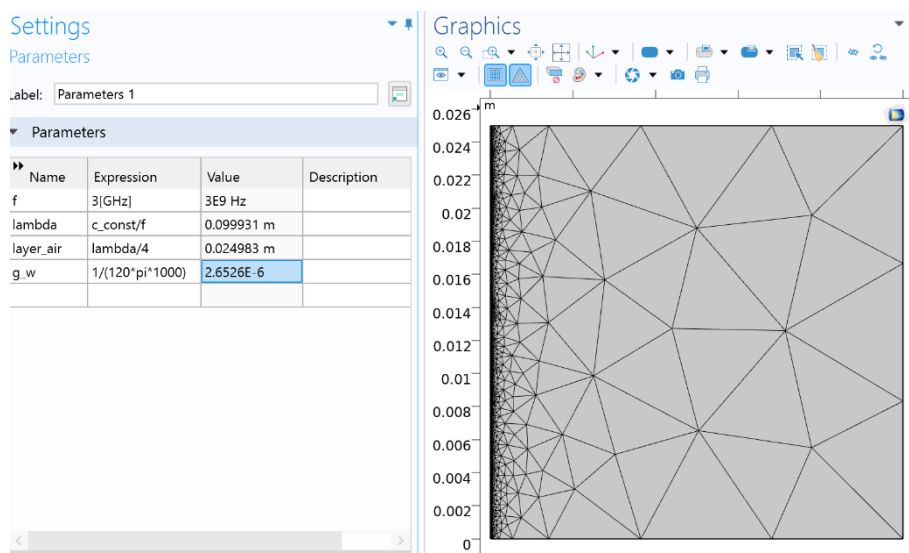
با توجه به کارگرافیت ضخامت d امر را داریم. کارگرافیت از لایه های کامپوزیت به دست می آوریم.

حال به سراغ نرم افزار می رویم و پیاده سازی می کنیم.

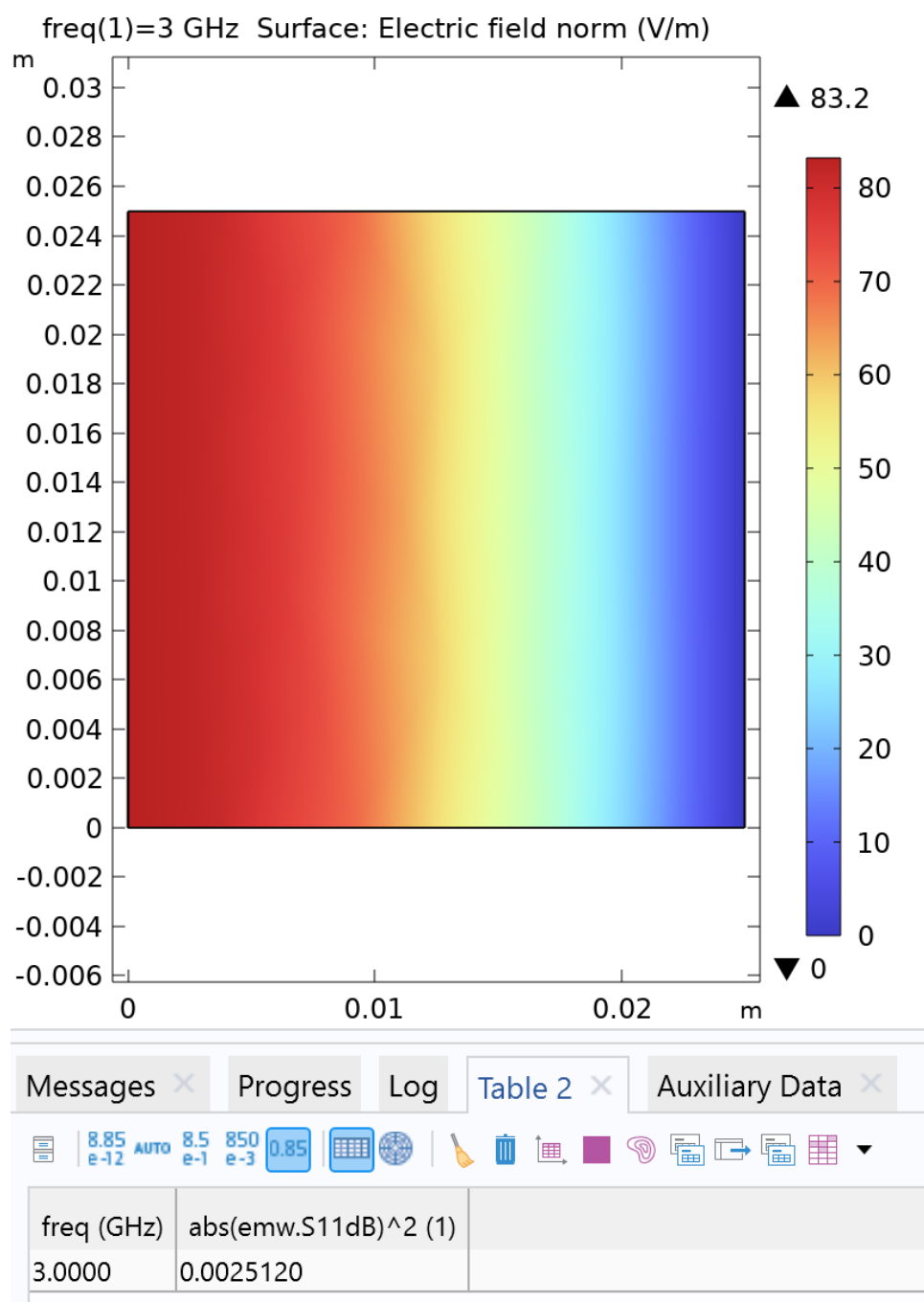
برای پیاده سازی گرافیت از لایبری استفاده می شود و ماده Graphite felt انتخاب می گردد. این ماده تمامی پارامترهای لازم برای شبیه سازی را به صورت تعیین شده دارد. رسانایی این ماده بر واحد طول ۱۰۰ زیمنس بر متر است. ضریب گذردهی آن نیز ۱ است.

بدست می آوریم که طبق پارامترهای گرافیت، این لایه با توجه به تقریب زده شده و نیازمند بسیار کوچکتر بودن از عمق نفوذ، باید در حدود ۲.۶۵ میکرومتر طول داشته باشد. این طول را در خود نرم افزار محاسبه کرده و شبیه سازی را انجام می

دهیم.



موج ۳ گیگاهرتز را تابش می کنیم و توان بازتاب شده را با استفاده از $\text{abs}(S_{11})^2$ مورد سنجش قرار می دهیم.



۰.۰۰۲۵ با توجه به تقریب زده شده در محاسبات، مقدار خیلی خوبی برای میزان توان بازتاب شده است. پس لایه محاسبه شده گرافیتی می تواند تا حد بسیار خوبی جلوی بازتاب شدن میدان الکتریکی توسط PEC را بگیرد.