

«بسمه تعالی»

نام و نام خانوادگی: محمدمتین میرزابابایی

شماره دانشجویی: 400102114

درس میدان ها و امواج

گزارش کار تمرین شبیه سازی

تاریخ: 1402/11/09

سوال 1:

(الف)

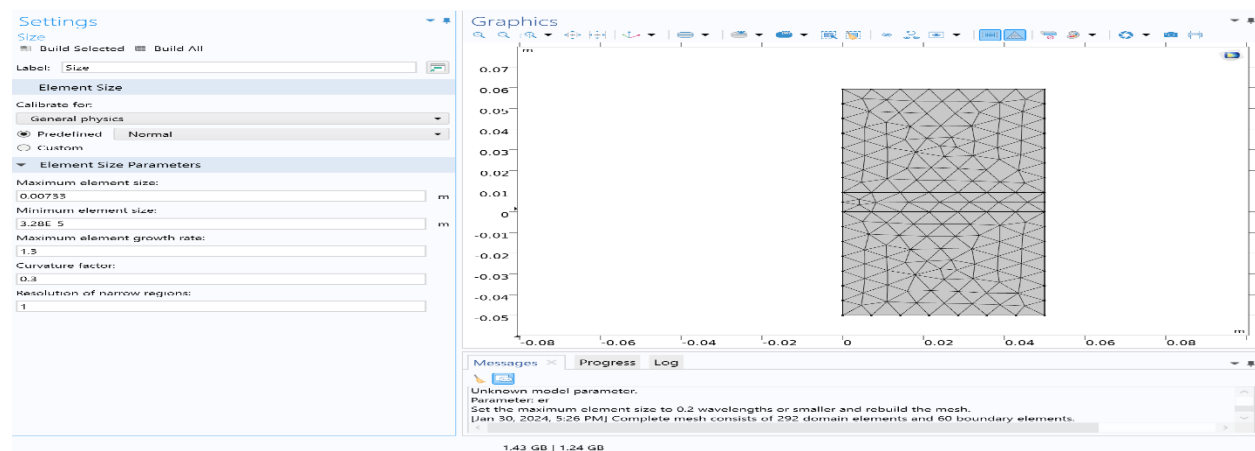
به کمک نرم افزار کامسول، ابتدا پارامترهای مورد نیاز را تعریف می کنیم:

- زاویه تابش صفر
- گذردهی الکتریکی داده شده در سوال
- طول و عرض محیط ها

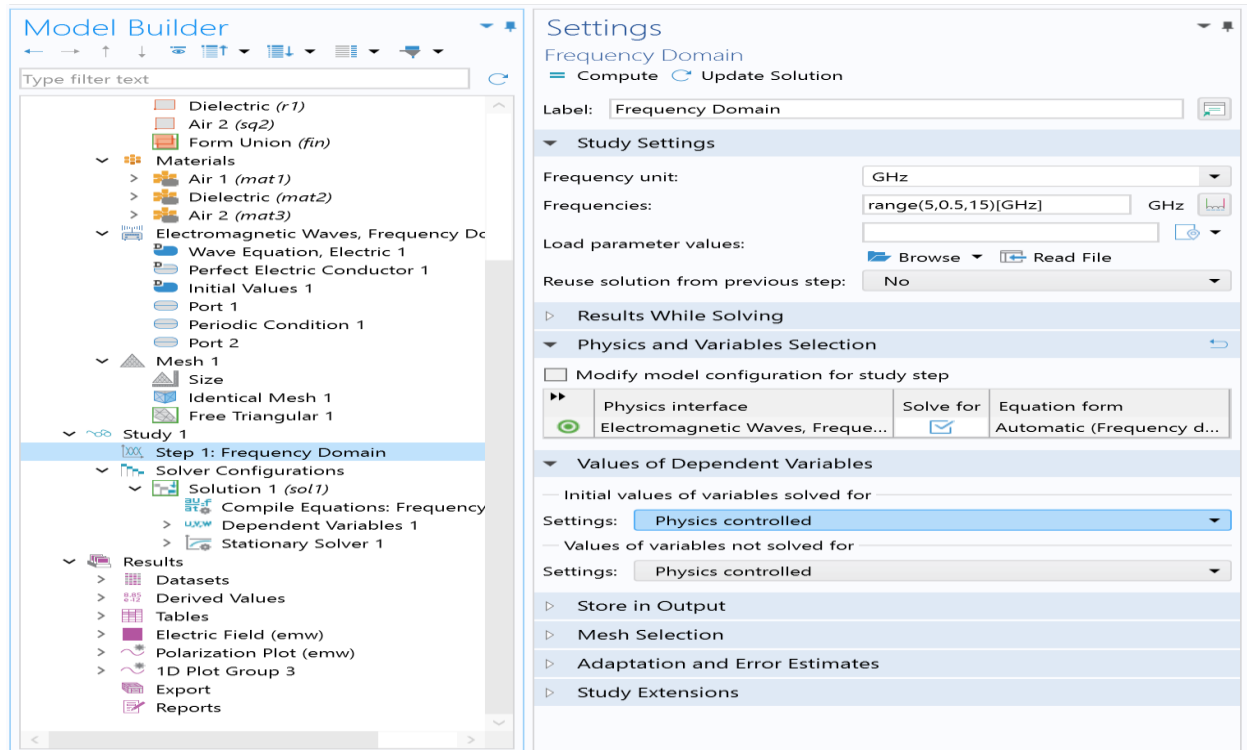
Name	Expression	Value	Description
er_dielect...	2.56	2.56	
d	0.9375[cm]	0.009375 m	
theta_in	0[deg]	0 rad	
w	5[cm]	0.05 m	

دو ناحیه مربعی برای هوا با طول و عرض دلخواه و منطقی w انتخاب کرده و یک ناحیه با طول d و عرض w برای دی الکتریک خود لحاظ می کنیم و متریا ل مناسب به آن ها نسبت می دهیم.

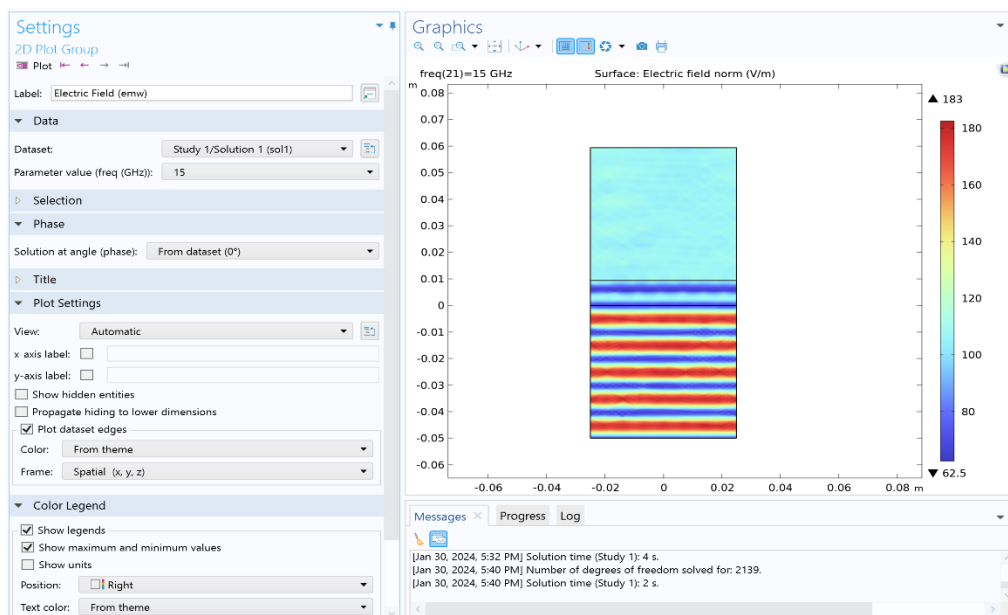
مش بندی را نیز همانند زیر انجام می دهیم:



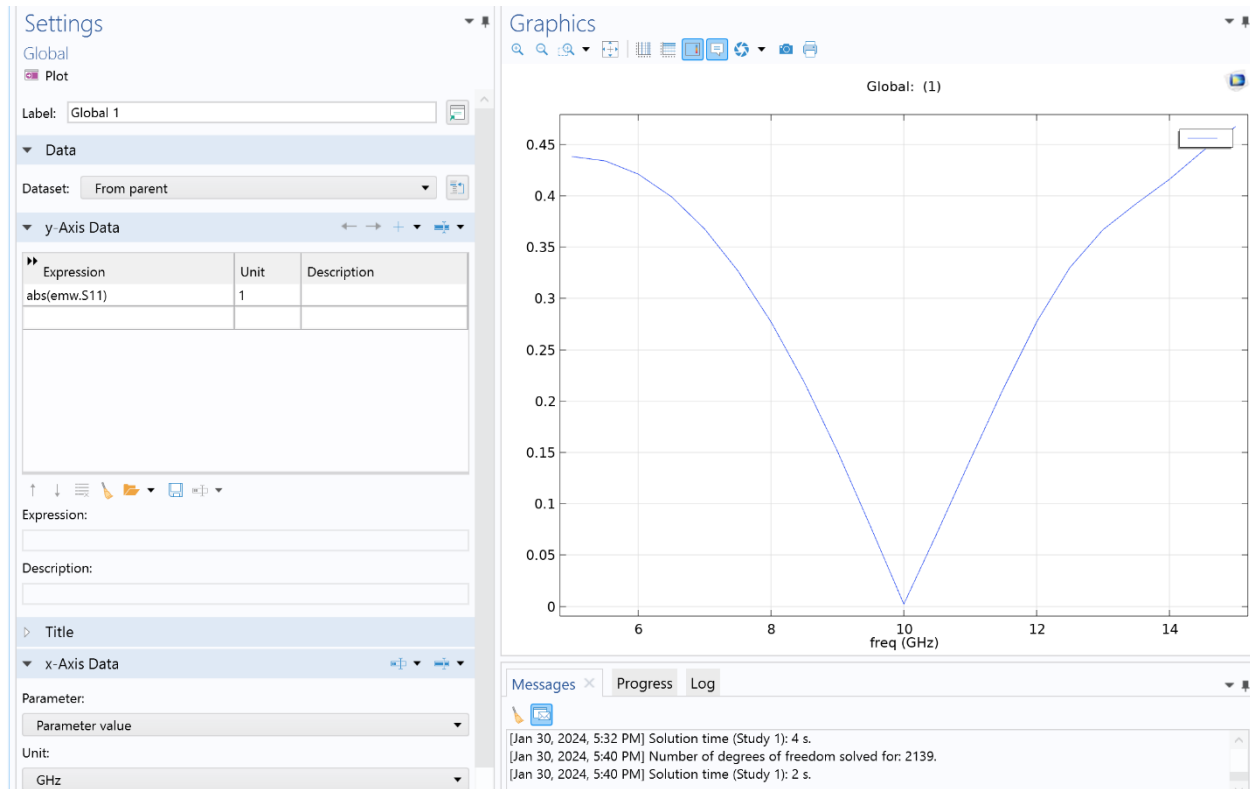
سپس روی فرکانس از 5 گیگاهرتز تا 15 گیگاهرتز با گام 0.5 سویپ انجام می دهیم تا تغییرات ضریب انعکاس را پیدا کنیم.



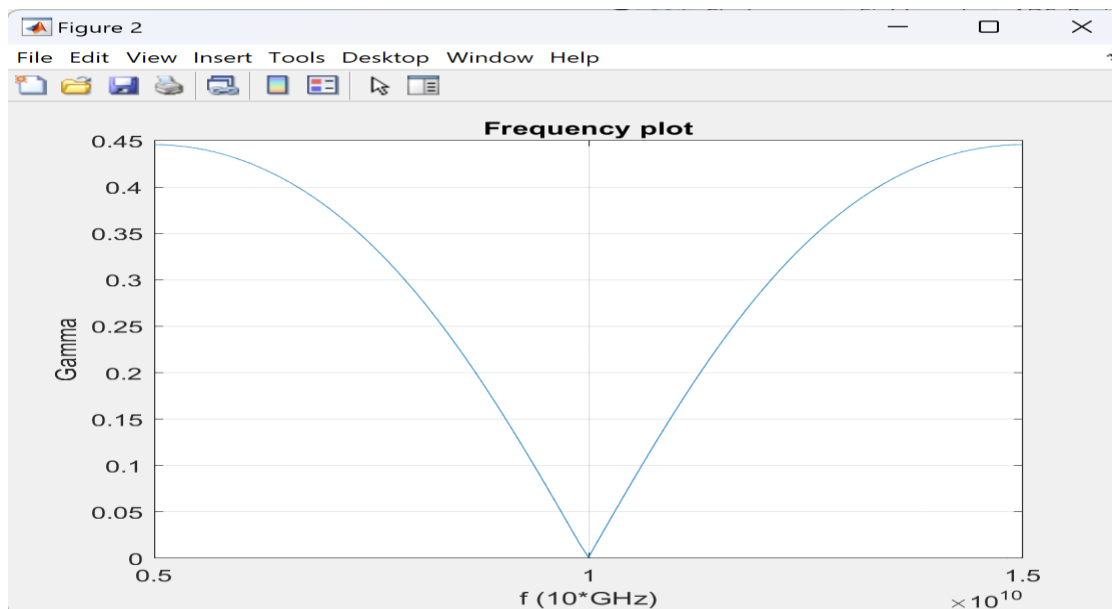
نرم میدان الکتریکی در فرکانس 15 گیگاهرتز شکلی همانند زیر دارد که قابل انتظار بود.



حال اندازه ضریب انعکاس را رسم می کنیم:

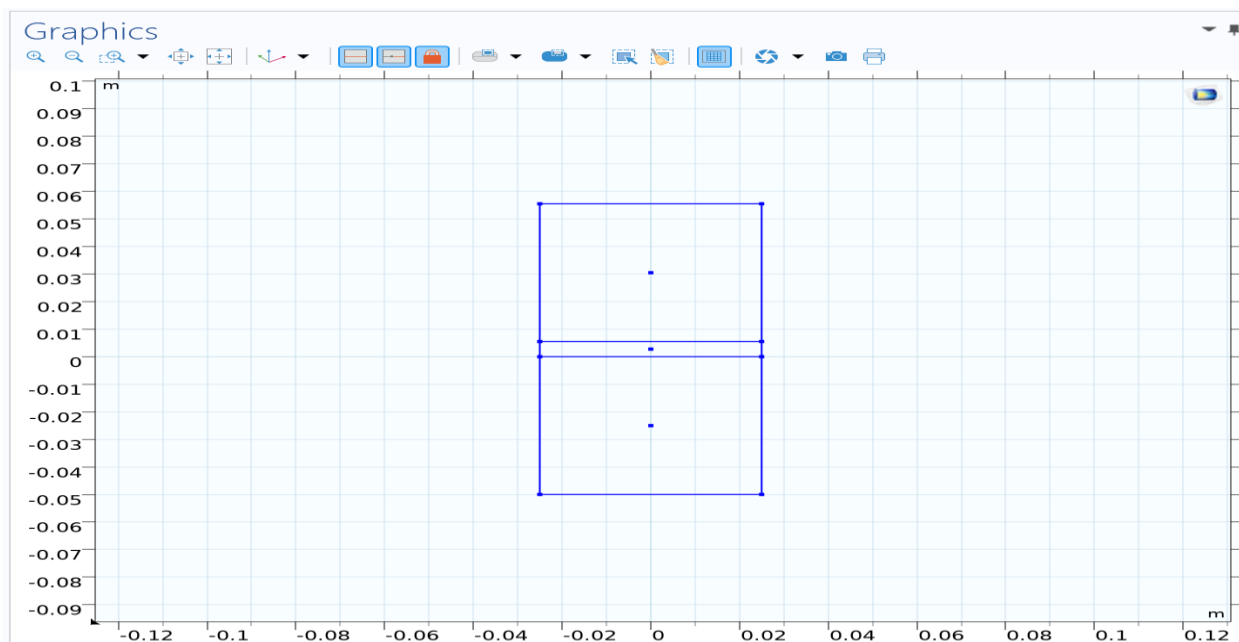


به کمک کد متلبی که ضمیمه نیز شده است: (نتایج تئوری و عملی همخوانی دارند)



(ب)

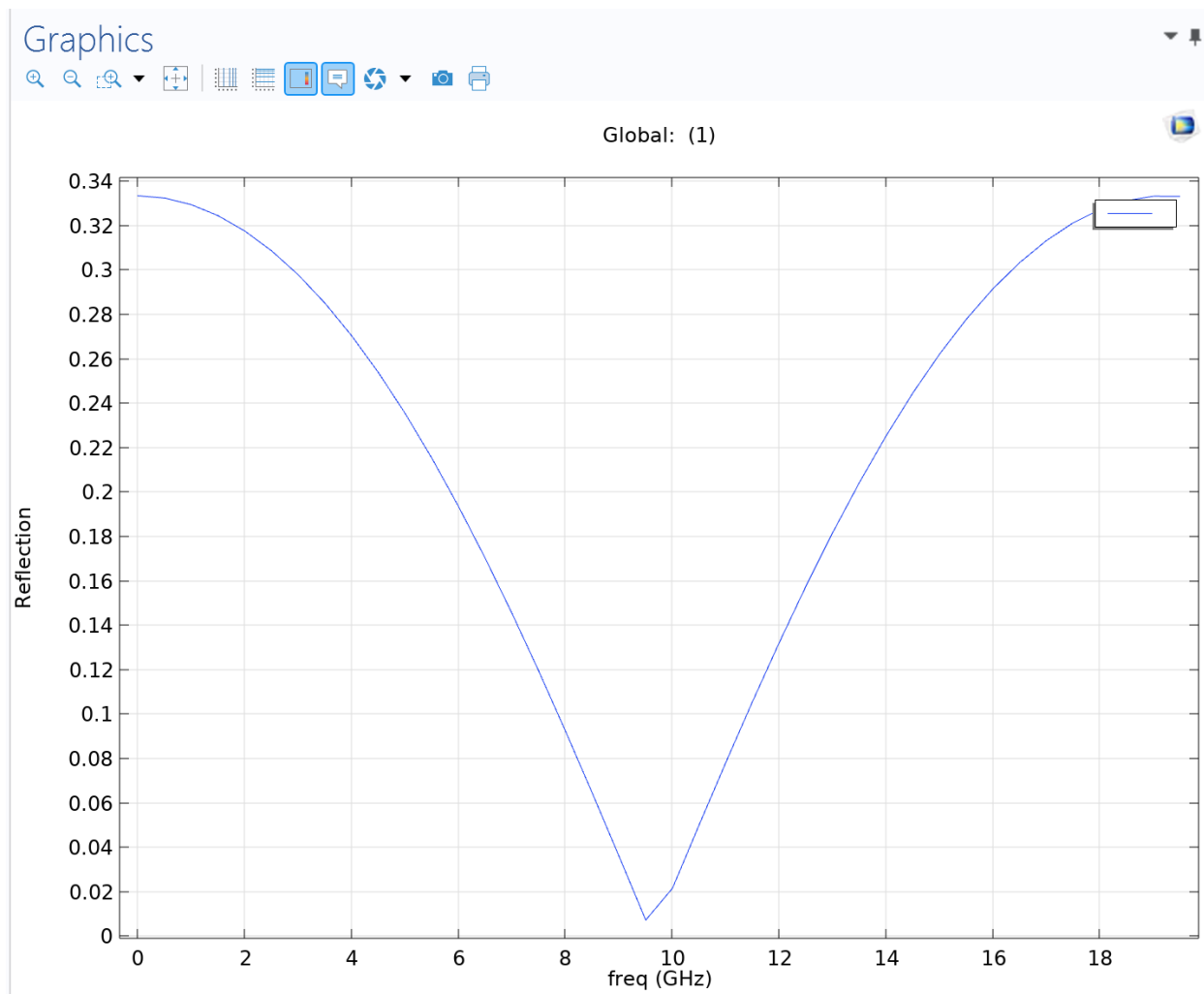
شرایط گفته شده در قسمت ب را روی قسمت الف لحاظ کرده و بررسی می‌کنیم آیا صحیح است یا خیر.
برای این منظور ضریب های گذردهی 2 ناحیه هوا 2 و دی الکتریک را به نحو خواسته شده تغییر می‌دهیم و با توجه به فرکانس ده گیگاهرتز، ربع طول موج را حساب کرده و به عنوان d قرار می‌دهیم. (مبدل ربع موج)



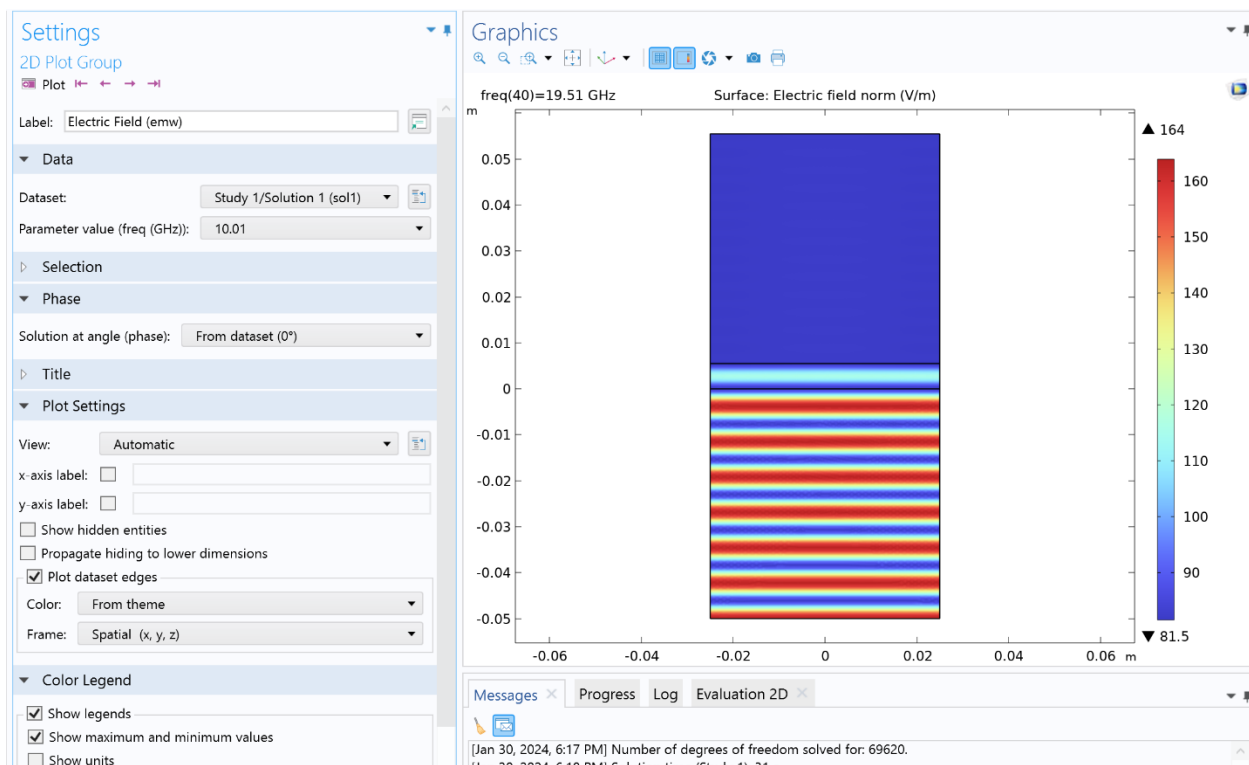
پارامتر ها را به این شکل تغییر داده و متریا ل ها را نیز اصلاح می‌کنیم:

Settings			
Parameters			
Label:		Parameters 1	
Parameters			
Name	Expression	Value	Description
theta_in	0[deg]	0 rad	
er	2	2	
eL	4	4	
e0	1	1	
d	0.55[cm]	0.0055 m	
w	5[cm]	0.05 m	

تغییرات فرکانسی برای ضریب انعکاس را در بازه صفر تا 20 گیگاهرتز بررسی می‌کنیم:



مشاهده می‌شود، در فرکانس نزدیک به 1 گیگاهرتز ضریب انعکاس خیلی کوچک و نزدیک صفر می‌شود، بنابراین ادعای انجام شده صحیح است. اکنون شکل میدان الکتریکی متناظر در فرکانس مرکزی 10 گیگاهرتز نشان می‌دهیم:



از نظری تئوری:

$$l = \frac{c}{4\sqrt{2} * 10^{10}}$$

$$\beta = \beta_0 n = \frac{2\pi f \sqrt{\epsilon_r}}{c}$$

$$\beta l = \frac{\pi}{2} \frac{f}{10^{10}}$$

$$Atf = 10GHz: \beta l = \frac{\pi}{2}$$

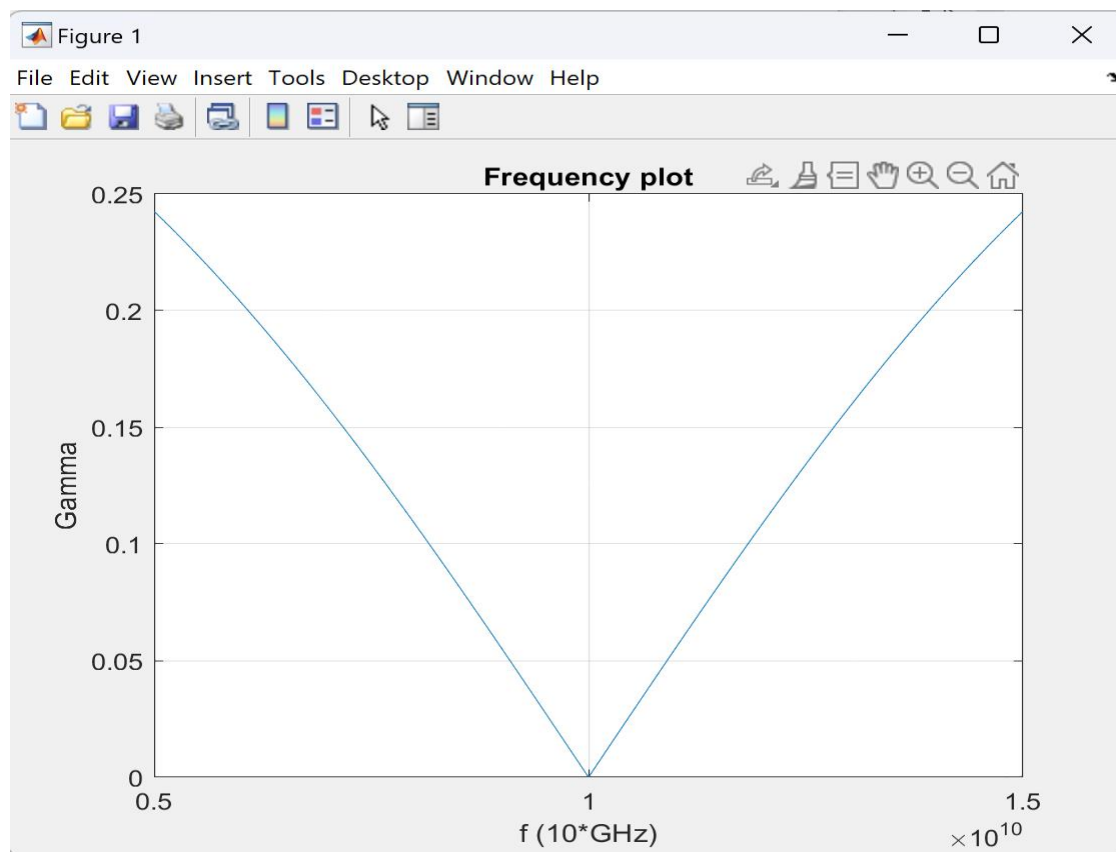
بنابراین زاویه الکتریکی ناحیه میانی 90 درجه بوده و بنابراین یک مبدل ربع موج است:

$$Z_{in} = \frac{\left(\frac{Z_0}{2}\right)^2}{Z_0 * \frac{Z_0}{2}} = Z_0$$

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} = 0$$

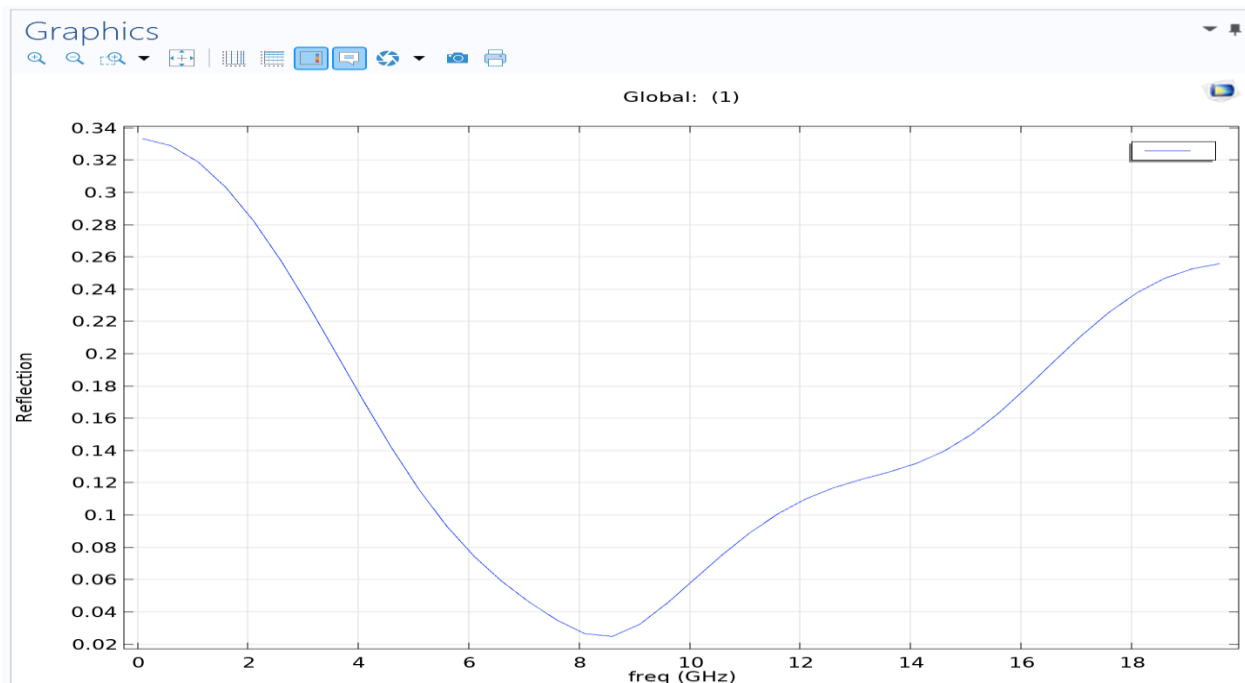
بنابراین در فرکانس گفته شده، این مبدل ربع موج گامای صفر دارد.

نتیجه کد متلب:

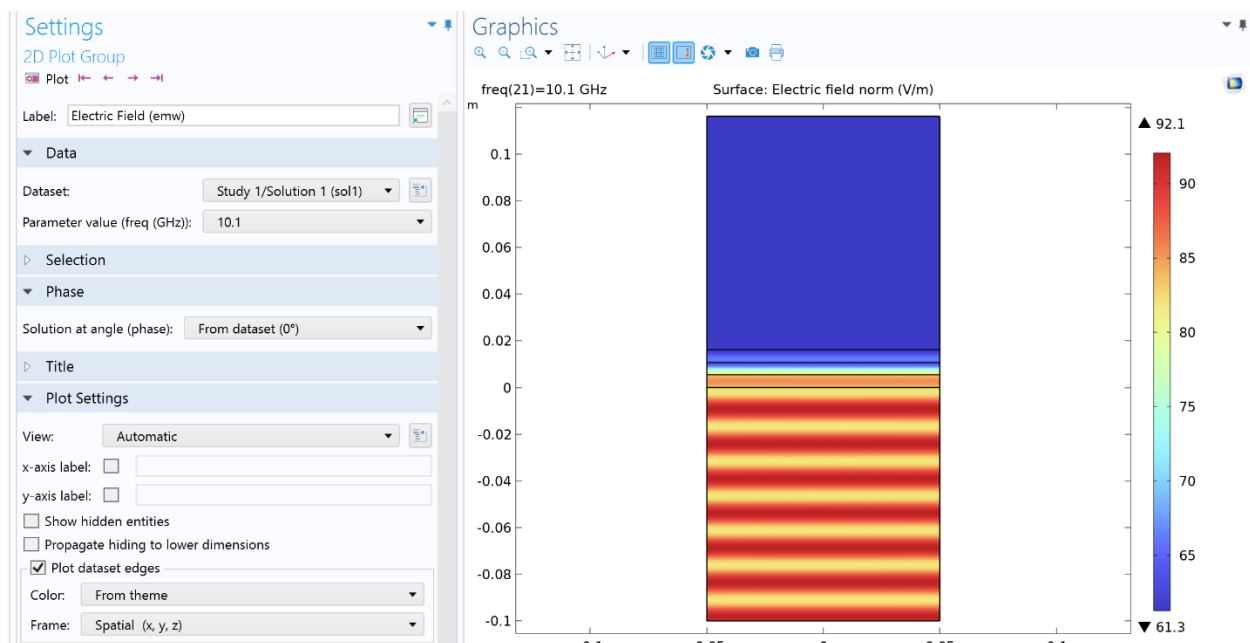


(ج)

ابتدا به شکل تئوری ضرایب شکست را از حل چندمعادله بدست می آوریم، سپس ضخامت لایه ها با توجه به این موضوع بدست می آوریم. مشابه قسمت های قبلی عمل کرده و نتیجه همانند زیر می شود:



مشاهده می‌شود که این نمودار هموار تر بوده و یک نقطه عطف نیز دارد. این پاسخ فرکانسی دیگر تیز (Sharp) نبوده و هموار تر است. شکل میدان الکتریکی نیز در فرکانس مرکزی به شرح زیر است:



راه حل تئوری برای یافتن ضرایب شکست:

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

$$C_n^N = \frac{N!}{(N-n)!n!}$$

$$\text{For } N = \mu, \quad C_n = \frac{\mu!}{(\mu-n)!n!} = \frac{\mu!}{n!(\mu-n)!}$$

$$P_0 = \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0} = \frac{1 - \eta_0}{1 + \eta_1} \quad P_1 = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} = \frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_1 + \eta_0}$$

$$P_\mu = \frac{\eta_\mu - \eta_r}{\eta_\mu + \eta_r} = \frac{\eta_r - \eta_\mu}{\eta_r + \eta_\mu} \quad P_{\mu-1} = \frac{\eta_\mu - \eta_r}{\eta_\mu + \eta_r}$$

$$P_\mu = \frac{\eta_\mu - \sqrt{\epsilon}}{\eta_\mu + \sqrt{\epsilon}} = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1-r}{1+r} \right) C_\mu$$

$$\rightarrow \eta_\mu \approx 1.18$$

$$\rightarrow P_r = \frac{\eta_r - 1.18}{\eta_r + 1.18} = -\frac{r}{1.5} = \frac{-1}{\lambda} \rightarrow \eta_r \approx 1.15$$

$$\rightarrow P_1 = \frac{\eta_1 - 1.15}{\eta_1 + 1.15} = \frac{-1}{\lambda} \rightarrow \eta_1 \approx 1.12$$

$$\rightarrow \boxed{\eta_1 \approx 1.12, \eta_r \approx 1.15, \eta_\mu \approx 1.18}$$

$$\therefore \text{let } \eta_\epsilon = \sqrt{\epsilon_L} = r$$

سوال 2:

به کمک نرم افزار کامسول، ابتدا پارامتر های مورد نیاز را تعریف می کنیم:

Name	Expression	Value	Description
theta_in	0[deg]	0 rad	
sigma	330	330	
f	3[GHz]	3E9 Hz	
w	5[cm]	0.05 m	
d	2.5[cm]	0.025 m	
d_graphite	10[mm]	0.01 m	
er_graphite	10	10	

فرکانس کاری را از مرتبه گیگا تعیین می کنیم. برای خوش شدن محاسبات، فرکانس را 3 گیگاهرتز در نظر می گیریم:

$$f = 3 \text{ GHz}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8}{3 * 10^9} = 0.1 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

دی الکتریک وسط را مبدل ربع موج اختیار می کنیم یعنی:

$$d = \lambda / 4 = 2.5 \text{ cm}$$

زاویه تابش را نیز صفر لحاظ می کنیم. همچنین طبق منابع، رسانایی گرافیت را که از 330 زیمنس شروع می شود، 330 زیمنس قرار دادیم. گذردهی نسبی الکتریکی گرافیت را نیز طبق منابع همان 10 قرار دادیم.

3 ناحیه مستطیلی مورد بررسی شامل هوا، دی الکتریک و گرافیت داریم که عرض تمامی آنها را $w = 5 \text{ cm}$ دلخواه می گیریم.

جنس و متريال آن ها نيز به شرح زير است:

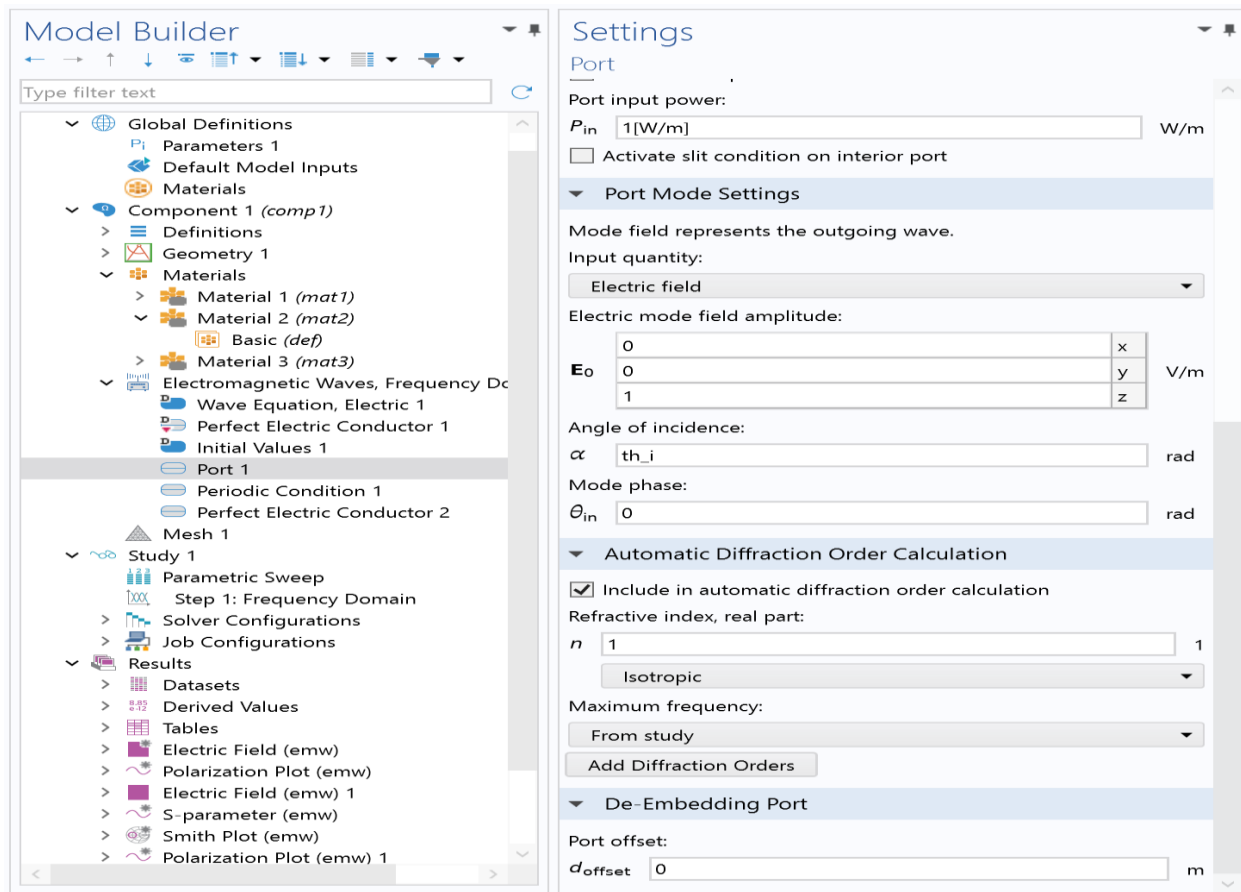
The screenshot shows the Model Builder on the left and the Settings window for Material 1 on the right. In the Model Builder, the tree structure includes: Q2.mph (root) > Global Definitions > Parameters 1 > Default Model Inputs > Materials > Component 1 (comp1) > Definitions > Geometry 1 > Materials > Material 1 (mat1). The Settings window for Material 1 shows: Label: Material 1, Name: mat1, Geometric entity level: Domain, Selection: Manual. The Material Contents table is as follows:

Property	Variable	Value	Unit
Relative permittivity	epsilo...	1	1
Relative permeability	mur_i...	1	1
Electrical conductivity	sigma...	0	S/m

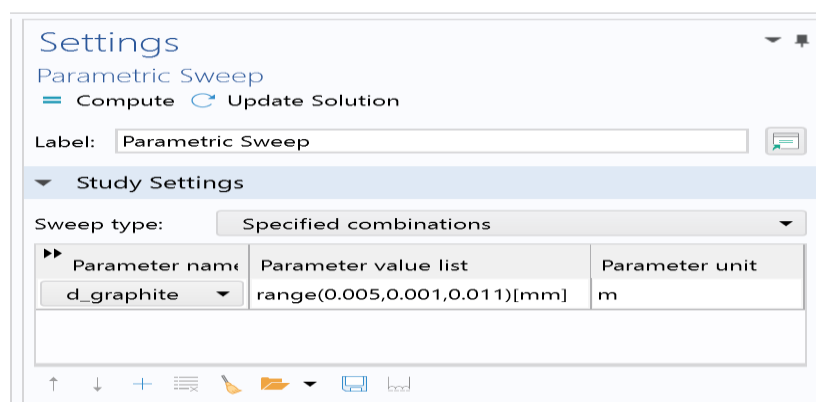
The screenshot shows the Model Builder on the left and the Settings window for Material 2 on the right. In the Model Builder, the tree structure includes: Q2.mph (root) > Global Definitions > Parameters 1 > Default Model Inputs > Materials > Component 1 (comp1) > Definitions > Geometry 1 > Materials > Material 2 (mat2). The Settings window for Material 2 shows: Label: Material 2, Name: mat2, Geometric entity level: Domain, Selection: Manual. The Material Contents table is as follows:

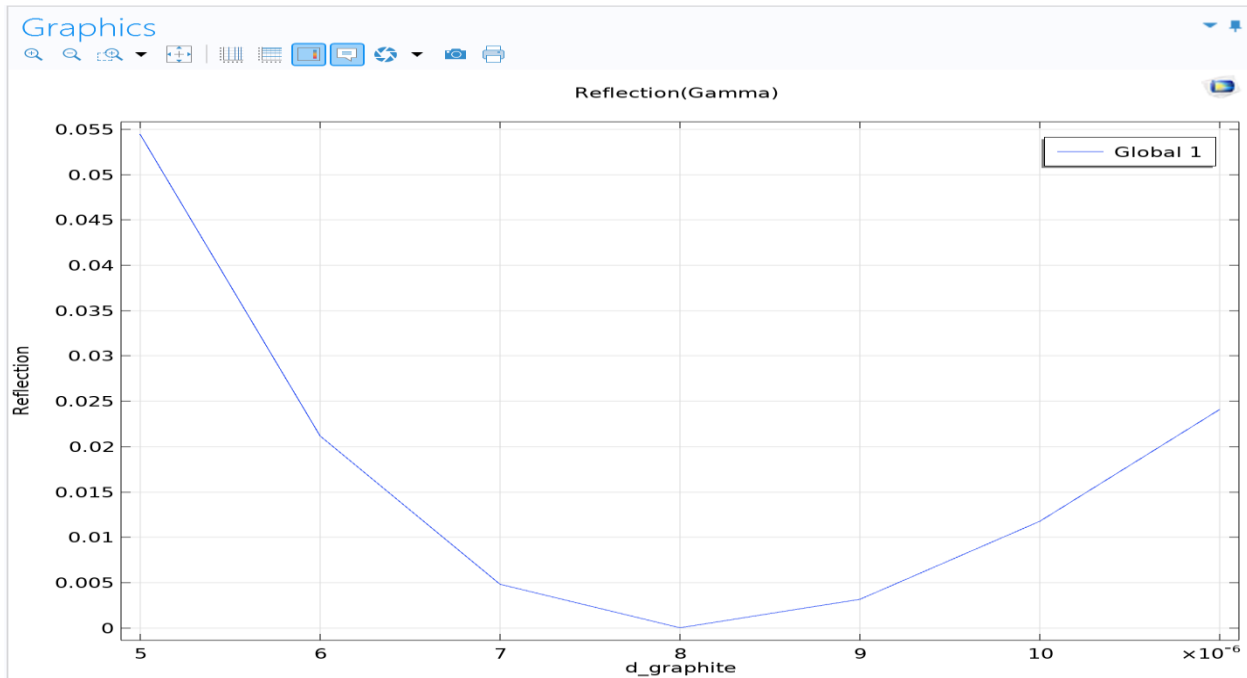
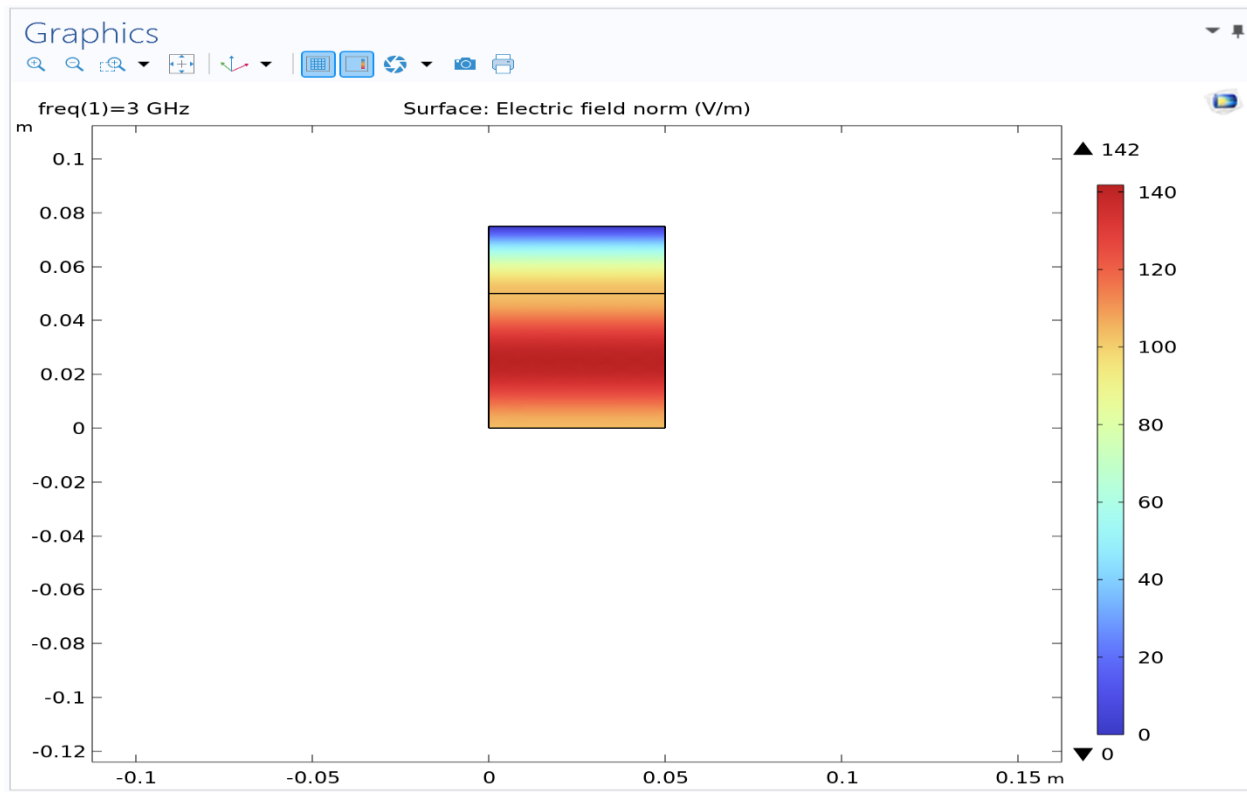
Property	Variable	Value	Unit
Relative permittivity	epsilo...	er	1
Relative permeability	mur_i...	1	1
Electrical conductivity	sigma...	sigma	S/m

سپس فيزيک و نوع حل، شرايط مرزى را تعيين ميکنيم. براى اين کارت پورت تعريف کرده و براى ناحيه آخر PEC مى گذاريم. همچنين براى جدار هاى شرايط مرزى تکرار شونده قرار مى دهيم:



از آنجایی که d_graphite ای را می‌خواهیم که به ازای آن انعکاس صفر شود، باید روی این پارامتر سوییچ انجام دهیم:





مشاهده میکنیم در این شرایط (فرکانس و ..) به ازای $d_{\text{graphite}} = 8\mu\text{m}$ انعکاس صفر بوده و شرایط مدنظر برای داشتن یک Salisbury absorber وجود دارد.

سوال 3:

برای سهولت یافتن مقادیر مناسب B و X که به تطبیق امپدانسی بار و خط انتقال منجر شود، از ابزاری (Tool) در نرم افزار ADS به کمک نمودار اسمیت (Smith Chart) استفاده می کنیم. به این طریق که:

1) ما می توانیم این بار را با یک شبکه LC به مرکز نمودار Smith هماهنگ کنیم. از ابزار نمودار Smith استفاده کنید تا مؤلفه و ارزش دقیق شبکه LC را تعیین کنید.

2) در پنجره ی شماتیک، بر روی 'ابزارها' کلیک کنید، سپس به 'نمودار Smith' بروید.

3) فرکانس طراحی و مقاومت مشخصه را به ترتیب به 3 گیگاهرتز و 50 اهم تنظیم کنید. سپس بر روی 'تعریف ترمینیشن های شبکه منبع/بار' کلیک کرده و مقادیر مقاومت منبع و بار را وارد کنید، سپس آنها را فعال کنید. با فشار دادن 'تایید' به نمودار Smith بازگشته و مشاهده خواهید کرد که نقطه بار به عنوان یک مربع کوچک و نقطه منبع در وسط نمایان می شود.

4) در پالت سمت چپ، گزینه 'خازن شانت' را انتخاب کنید. ماوس را به سمت نمودار Smith حرکت دهید، یک دایره به عنوان تأثیر کپیسیتور ظاهر خواهد کرد و می توانید مقصد مناسب این منحنی را مشخص کنید. اطمینان حاصل کنید که انتهای منحنی در دایره مقاومت 50 اهم قرار دارد.

5) در گام بعدی، از 'اندازه گیری تراز' استفاده کنید تا به وسط نمودار بازگردید. حالا شبکه هماهنگ کننده تنظیم شده است و می توانید آن را در قسمت راست 'نمودار شبکه' مشاهده کنید.

6) بر روی هر یک از مؤلفه های شبکه هماهنگ کننده کلیک کنید و مقادیر هر مؤلفه را خوانده و ثبت کنید. سپس ابزار نمودار Smith را ببندید.

7) در پنجره شماتیک، یک شبکه هماهنگ کننده متناظر با مقادیر به دست آمده بسازید.

8) شبیه سازی را در فرکانس 3 گیگاهرتز اجرا کنید، شما خواهید دید که بار به مقاومت 50 اهم هماهنگ شده است.

9) حالا، برنامه فرکانس را از 1 گیگاهرتز تا 5 گیگاهرتز با 201 نقطه نمونه گیری تغییر دهید.

10) درست است، این اتفاق افتاده است چون در زمان طراحی شبکه هماهنگ کننده، ما فرکانس طراحی را به عنوان 3 گیگاهرتز مشخص کرده بودیم. برای هماهنگ سازی برای سایر فرکانس ها، شما باید مقادیر شبکه هماهنگ کننده را برای هر فرکانس جدید بهینه کنید.

حال مستندات آزمایش را داریم:

Freq (GHz)	Z0 (Ohms)	<input checked="" type="checkbox"/> Normalize
3	50	
Define Source/Load Network Terminations...		

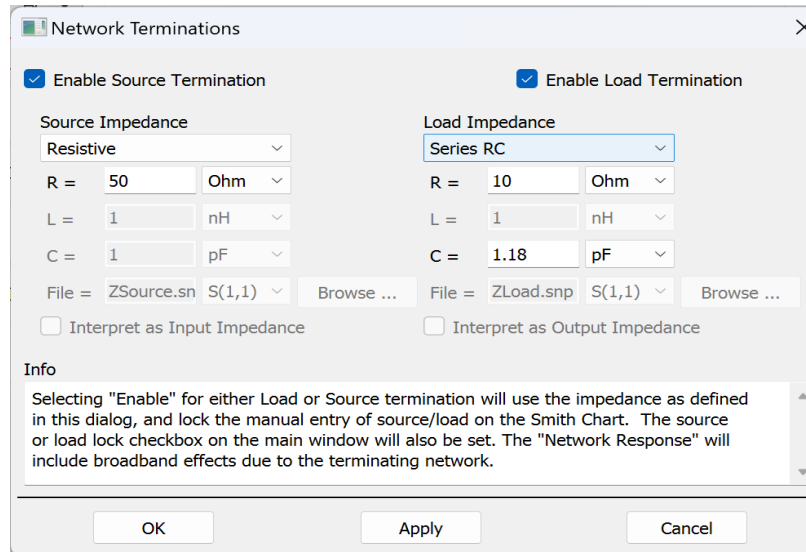
شکل 3.1 - نحوه مقدار دهی فرکانس و امپدانس مشخصه در ابزار نمودار اسمیت

- برای بار $Z = 10 - j45$:

$$Z_L = 10 - j45 = R_L - jX_C = R_L - j\frac{1}{C\omega}$$

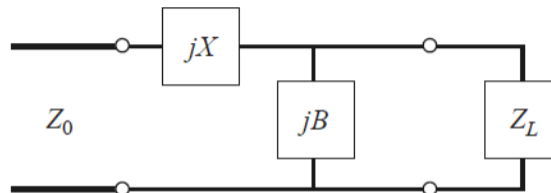
$$\text{So: } R_L = 10\Omega, C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi * 45} = 1.18 \text{ pF}$$

بنابراین داریم:

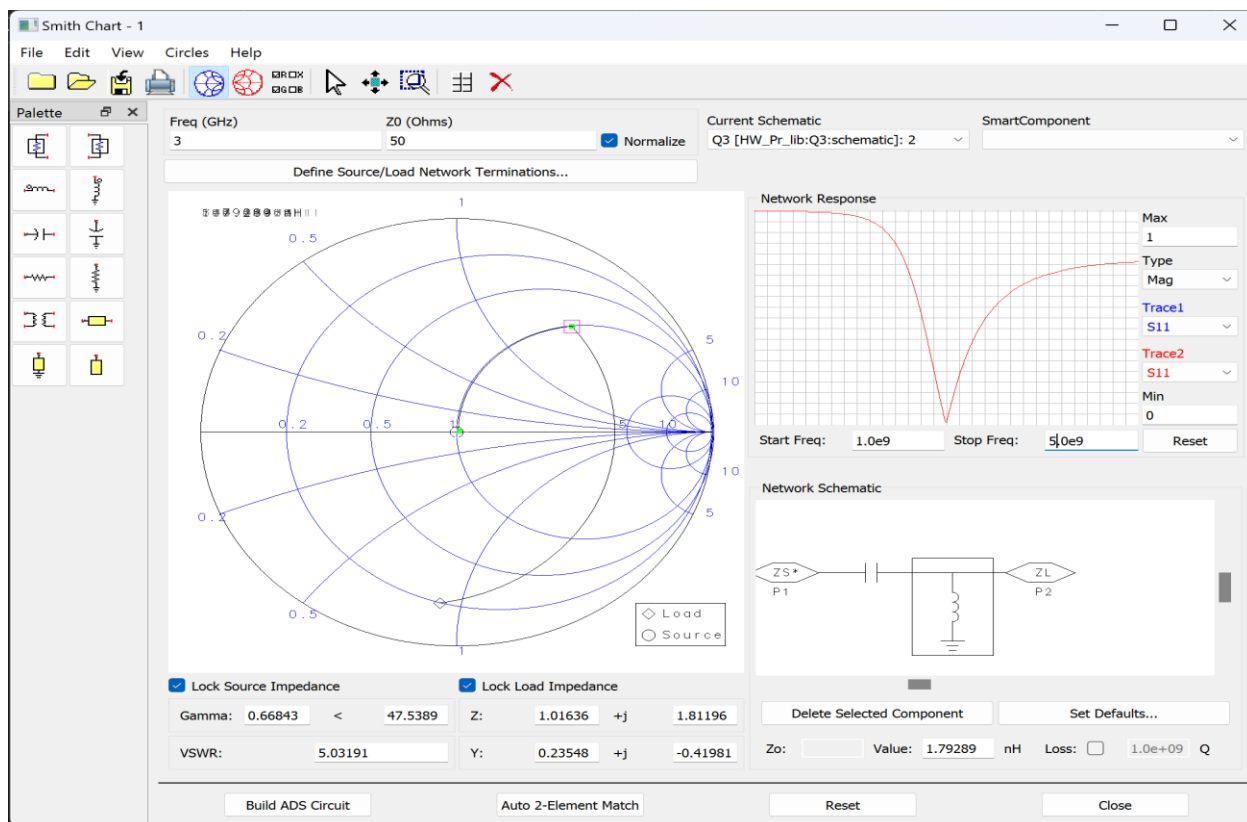


شکل 3.2- نحوه مقدار دهی سورس و لود

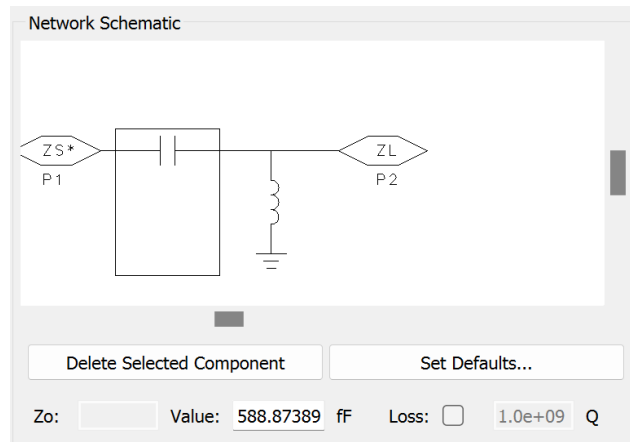
حال باید تطبیق را به کمک نمودار اسمیت و طبق فرآیند گفته شده انجام دهیم، به این صورت که می‌خواهیم با المان های LC خودمان را روی دواير به مرکز برسانیم. ابتدا برای ساختار زیر بررسی می‌کنیم:



از 4 جایگشت مختلف برای سلف و خازن جایگشت زیر کاملاً مناسب است، زیرا اولاً نمودار پاسخ شبکه (Network Response) که درایه S_{11} ماتریس می‌باشد (ضریب انعکاس)، در فرکانس 3 گیگاهرتز صفر شده است و ثانیاً مقادیر L و C المان‌ها نامنفی هستند. در این جایگشت، از سمت بار، ابتدا یک سلف موازی (شانت) و یک خازن سری قرار گرفته‌اند.



شکل 3.3 - نمودار اسمیت و دیاگرام ضریب انعکاس در بازه 1 تا 5 گیگاهرتزی



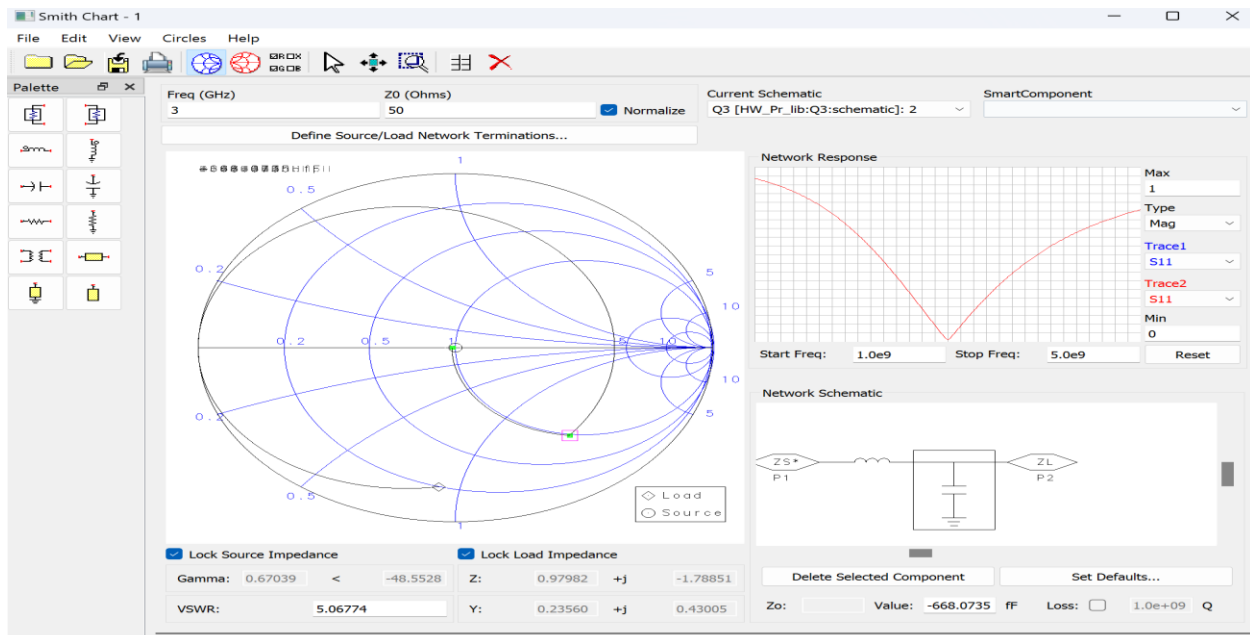
شکل 3.4 - تعیین مقدار X

با توجه به شکل 3.3 و 3.4، مقادیر X و B در این حالت قابل استخراج هستند:

$$L = 1.8 \text{ nH} \Rightarrow B = L\omega = 1.8 * 2\pi * 3 = 32.4 \Omega$$

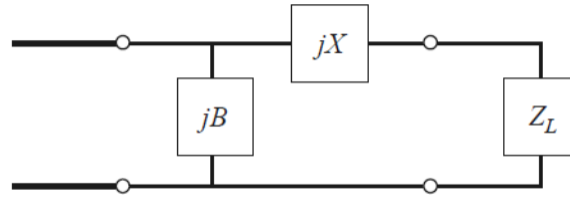
$$C = 588.8 \text{ fF} \Rightarrow X = -\frac{1}{C\omega} = -\frac{1}{2\pi * 3 * 588.8 * 10^{(-6)}} = 94.35 \Omega$$

در صورتی که المان اول از سمت بار (المان شانت) را خازن بگذاریم، همواره حداقل یکی از مقادیر L یا C منفی می‌شوند! و این یعنی تطبیق امکان پذیر نیست! یا در بهترین حالت به همان جواب های بالا می‌رسیم.

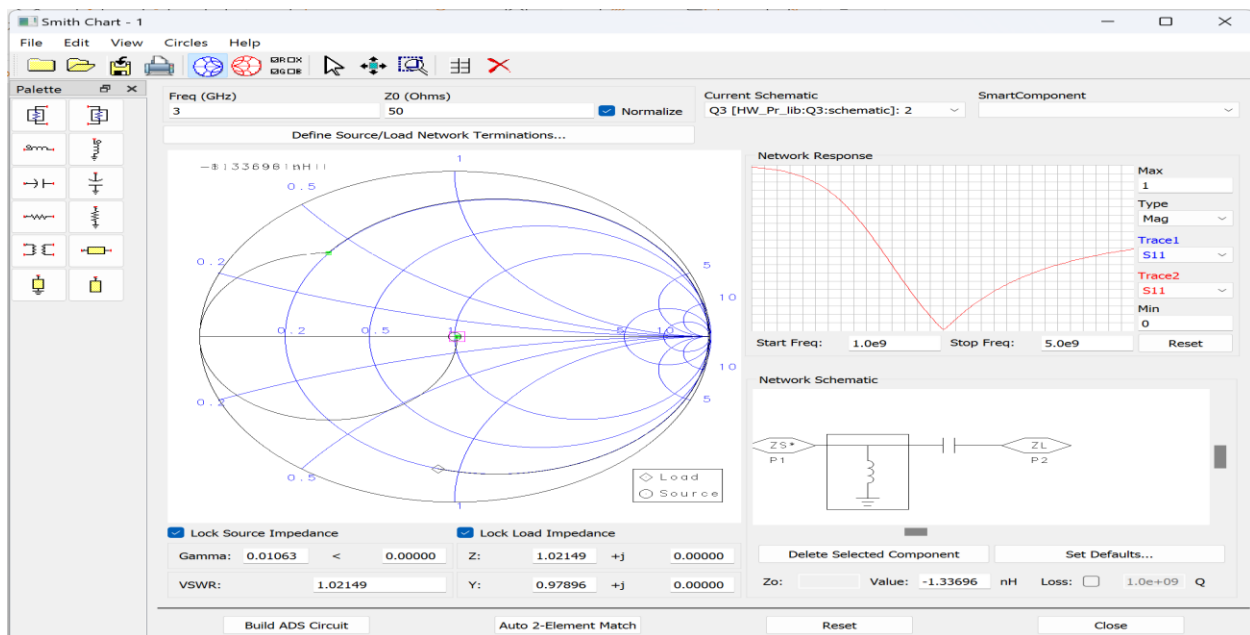


شکل 3.5 - منفی شدن مقدار C در این حالت

حال برای ساختار زیر بررسی می‌کنیم:

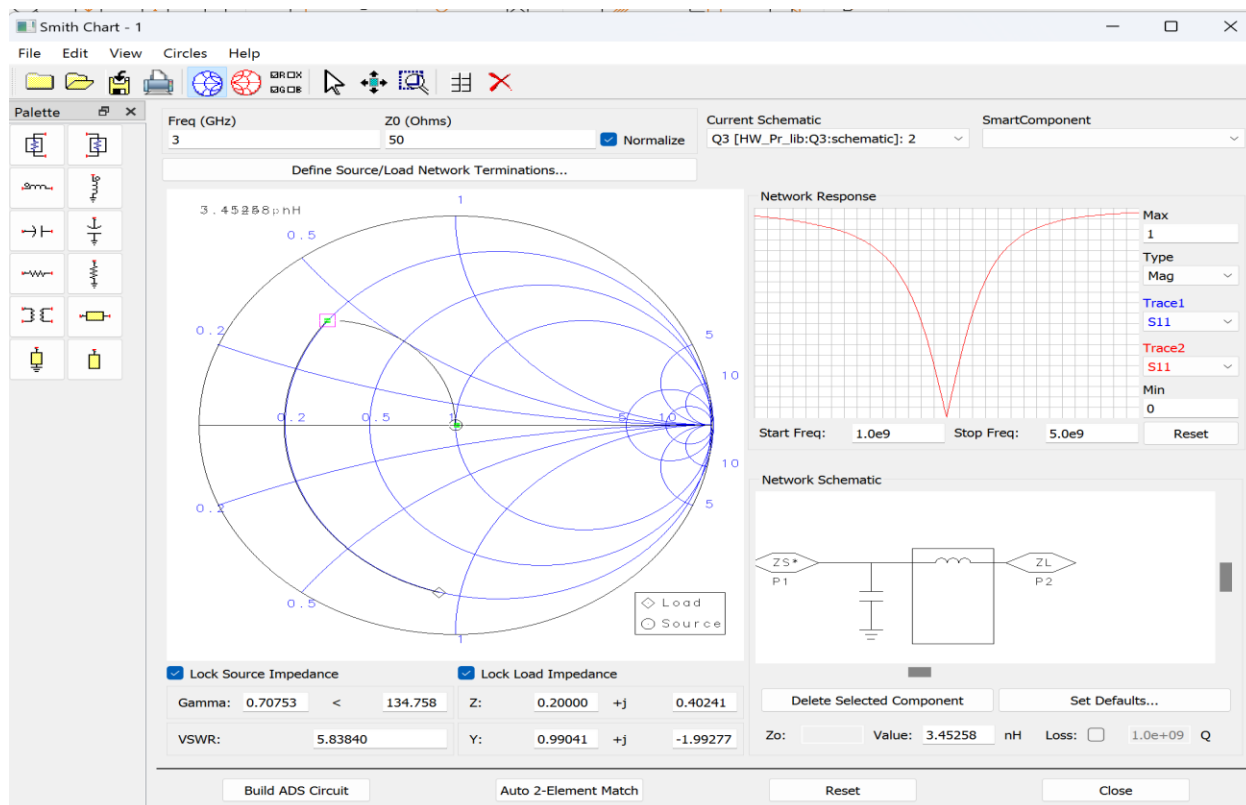


مشابه ساختار قبلی، در اینجا نیز در یک حالت تطبیق داریم و در دیگری خیر. در حالت زیر مقادیر منفی درآمده و در نتیجه تطبیق امکان پذیر نیست.

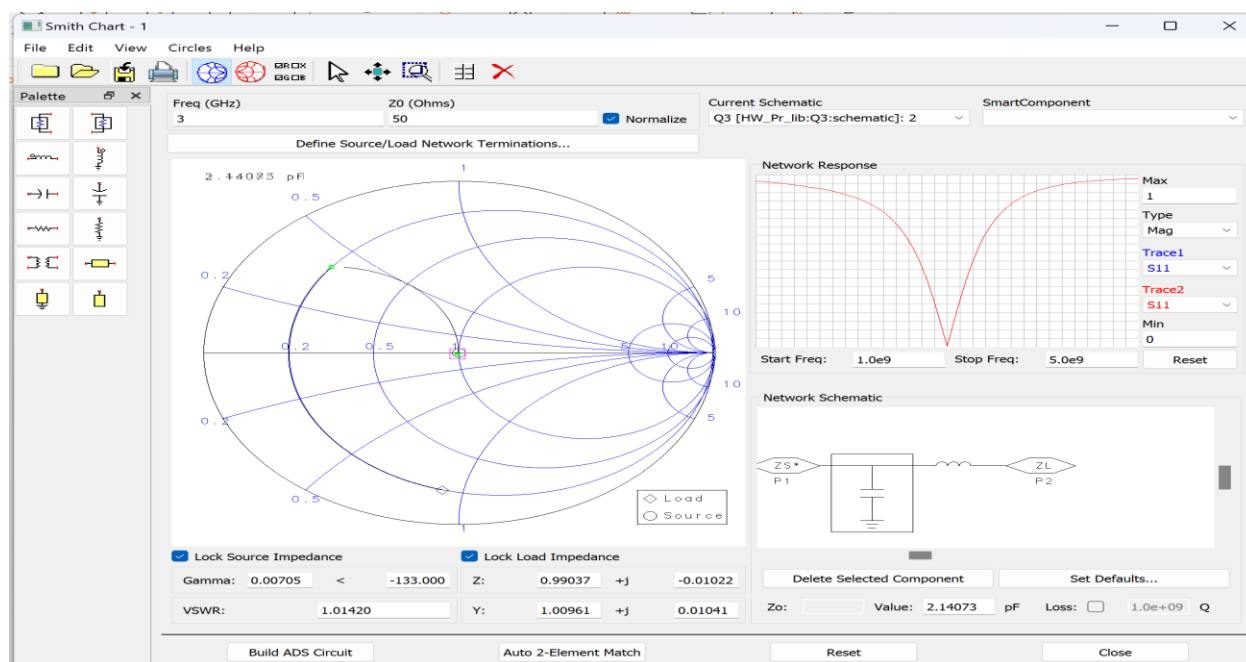


شکل 3.6 - منفی شدن مقدار L در این حالت

امار در صورتی که از سمت لود، ابتدا سلف بصورت سری و سپس خازن به صورت موازی قرار گیرد، تطبیق امکان پذیر است:



شکل 3.7 - نمودار اسمیت و دیاگرام ضریب انعکاس در بازه 1 تا 5 گیگاهرتزی و یافتن X



شکل 3.8 - نمودار اسمیت و دیاگرام ضریب انعکاس در بازه 1 تا 5 گیگاهرتزی و یافتن B

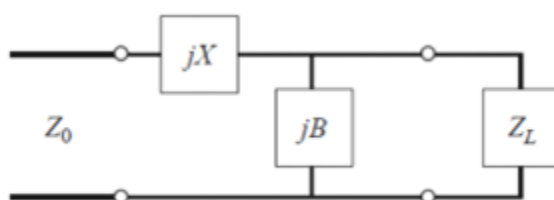
بنابراین، مقادیر X و B در این حالت قابل استخراج هستند:

$$L = 3.45 \text{ nH} \Rightarrow B = L\omega = 3.45 * 2\pi * 3 = 62.1 \Omega$$

$$C = 2.14 \text{ pF} \Rightarrow X = -\frac{1}{C\omega} = -\frac{1}{2\pi * 3 * 2.14 * 10^{(-3)}} = 25.96 \Omega$$

- برای بار $Z = 75 - j100$:

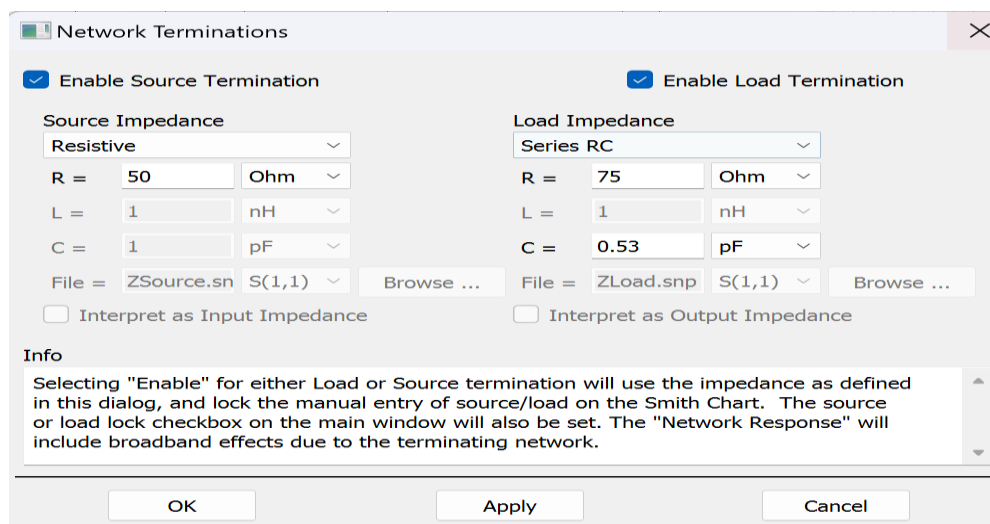
روند قبلی را ادامه می‌دهیم. ابتدا برای ساختار زیر بررسی می‌کنیم:



$$Z_L = 75 - j100 = R_L - jX_C = R_L - j\frac{1}{C\omega}$$

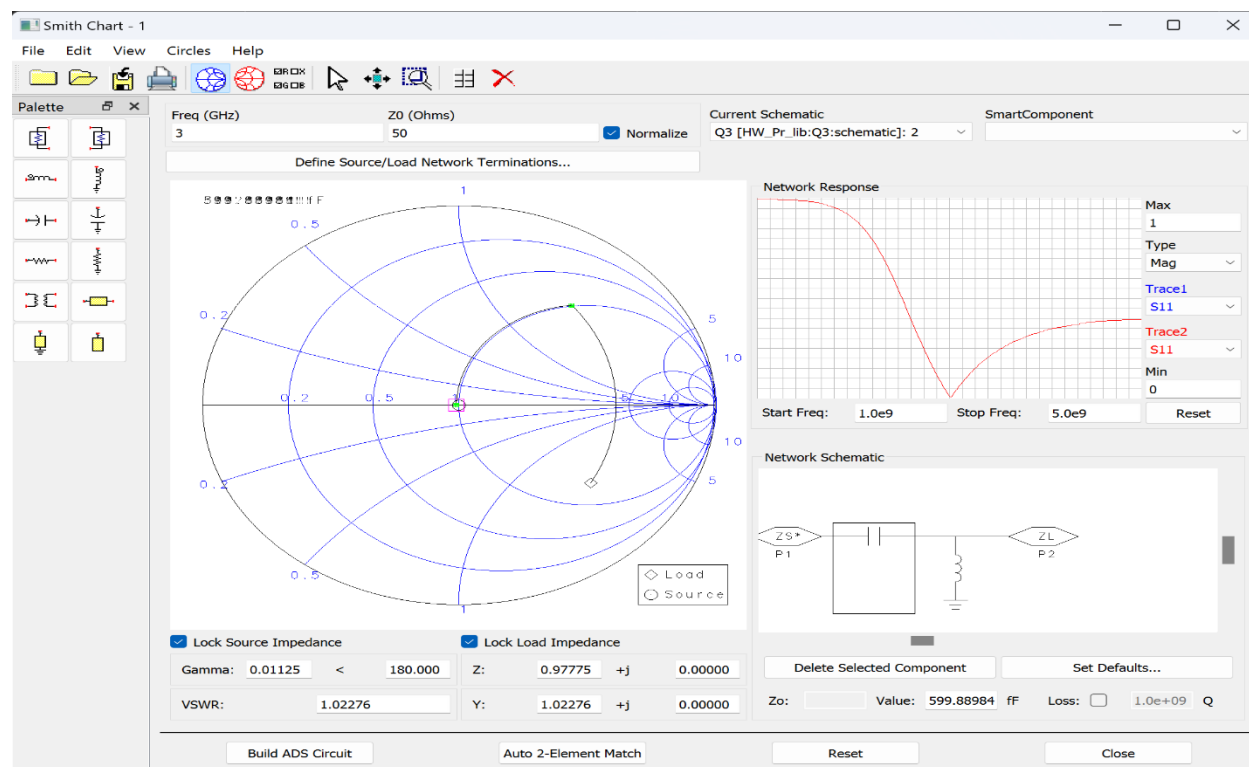
$$\text{So: } R_L = 75\Omega, C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi * 100} = 0.53 \text{ pF}$$

بنابراین داریم:

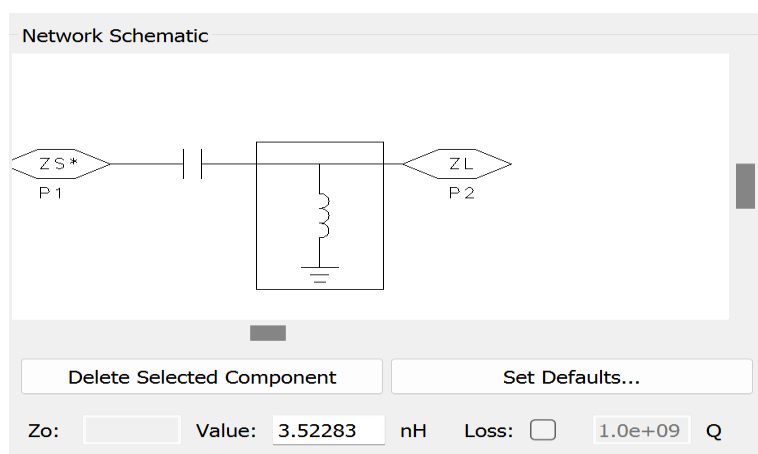


شکل 3.9- نحوه مقدار دهی سورس و لود

از 4 جایگشت مختلف برای سلف و خازن جایگشت زیر کاملاً مناسب است، زیرا اولاً نمودار پاسخ شبکه (Network Response) که درایه S_{11} ماتریس می‌باشد (ضریب انعکاس)، در فرکانس 3 گیگاهرتز صفر شده است و ثانیاً مقادیر L و C المان‌ها نامنفی هستند. در این جایگشت، از سمت بار، ابتدا یک سلف موازی (شانت) و یک خازن سری قرار گرفته‌اند.



شکل 3.10 - نمودار اسمیت و دیاگرام ضریب انعکاس در بازه 1 تا 5 گیگاهرتزی



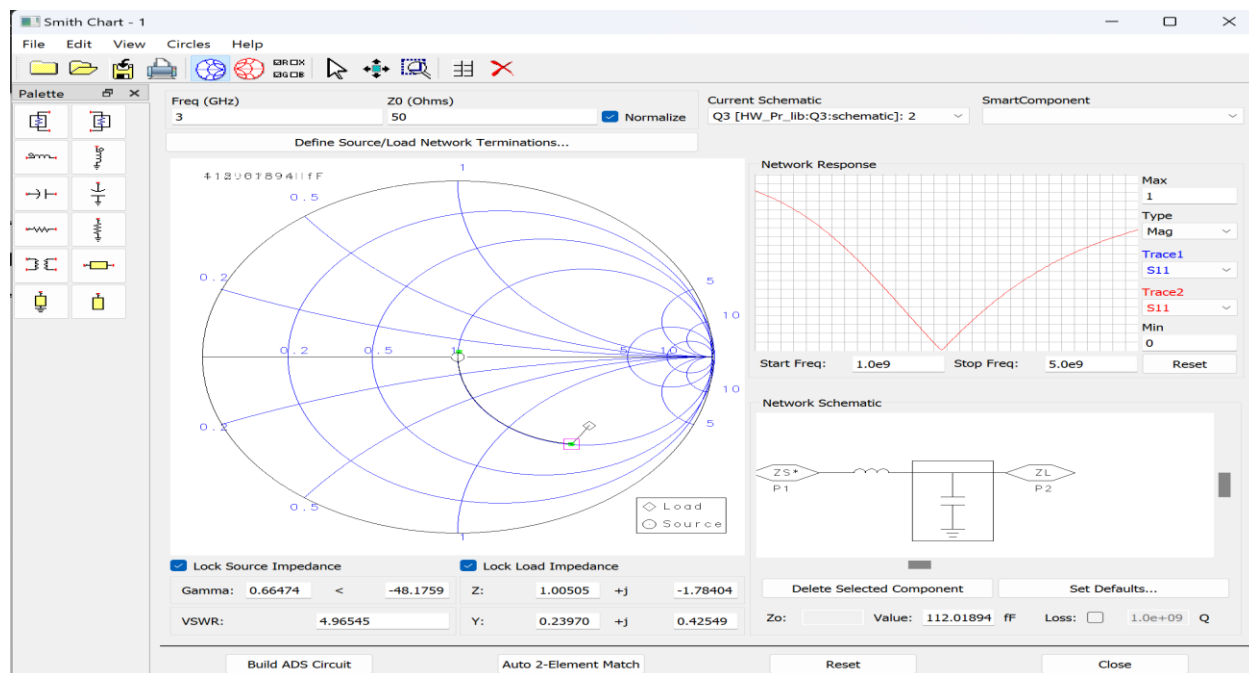
شکل 3.11 - تعیین مقدار B

با توجه به شکل 3.3 و 3.4، مقادیر X و B در این حالت قابل استخراج هستند:

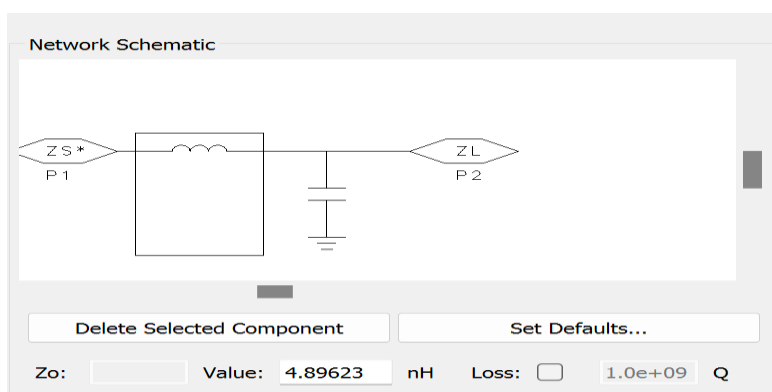
$$L = 3.52 \text{ nH} \Rightarrow B = L\omega = 3.52 * 2\pi * 3 = 63.36 \Omega$$

$$C = 599.8 \text{ fF} \Rightarrow X = -\frac{1}{C\omega} = -\frac{1}{2\pi * 3 * 599.8 * 10^{(-6)}} = 92.62 \Omega$$

در صورتی که المان اول از سمت بار (المان شانت) را خازن بگذاریم، باز هم می‌توانیم تطبیق داشته باشیم!

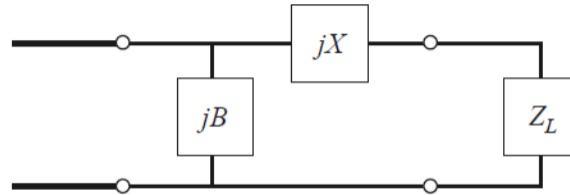


شکل 3.12 - نمودار اسمیت و دیاگرام ضریب انعکاس در بازه 1 تا 5 گیگاهرتزی و یافتن B

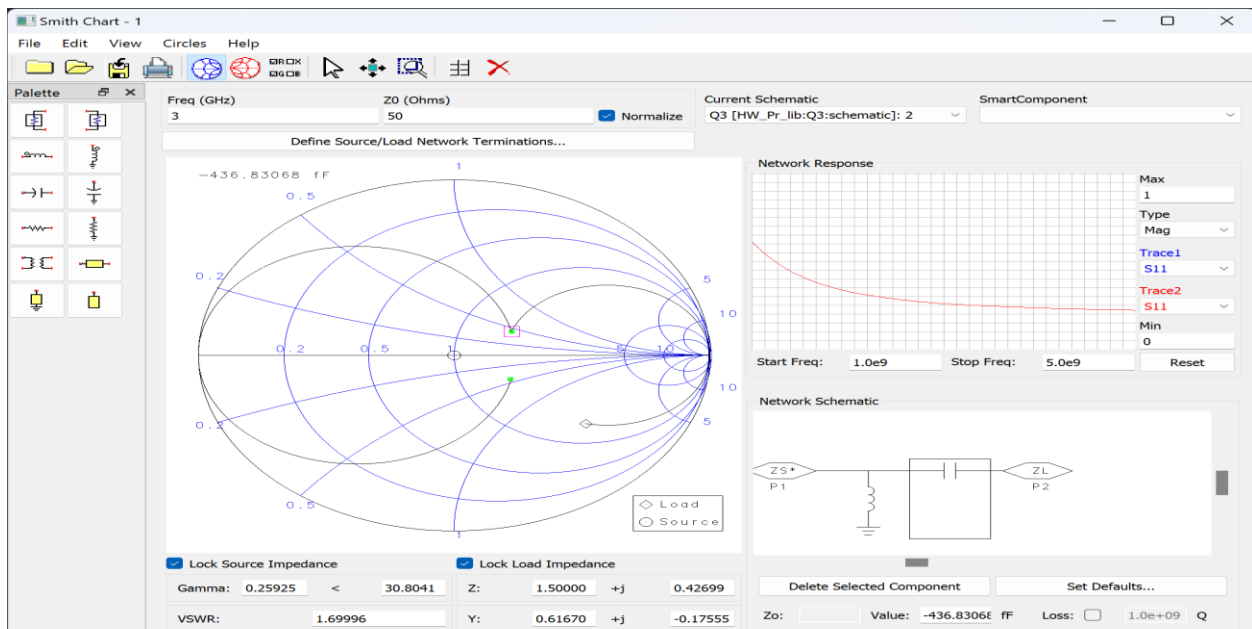


شکل 3.13 - تعیین مقدار B

حال برای ساختار زیر بررسی می‌کنیم:

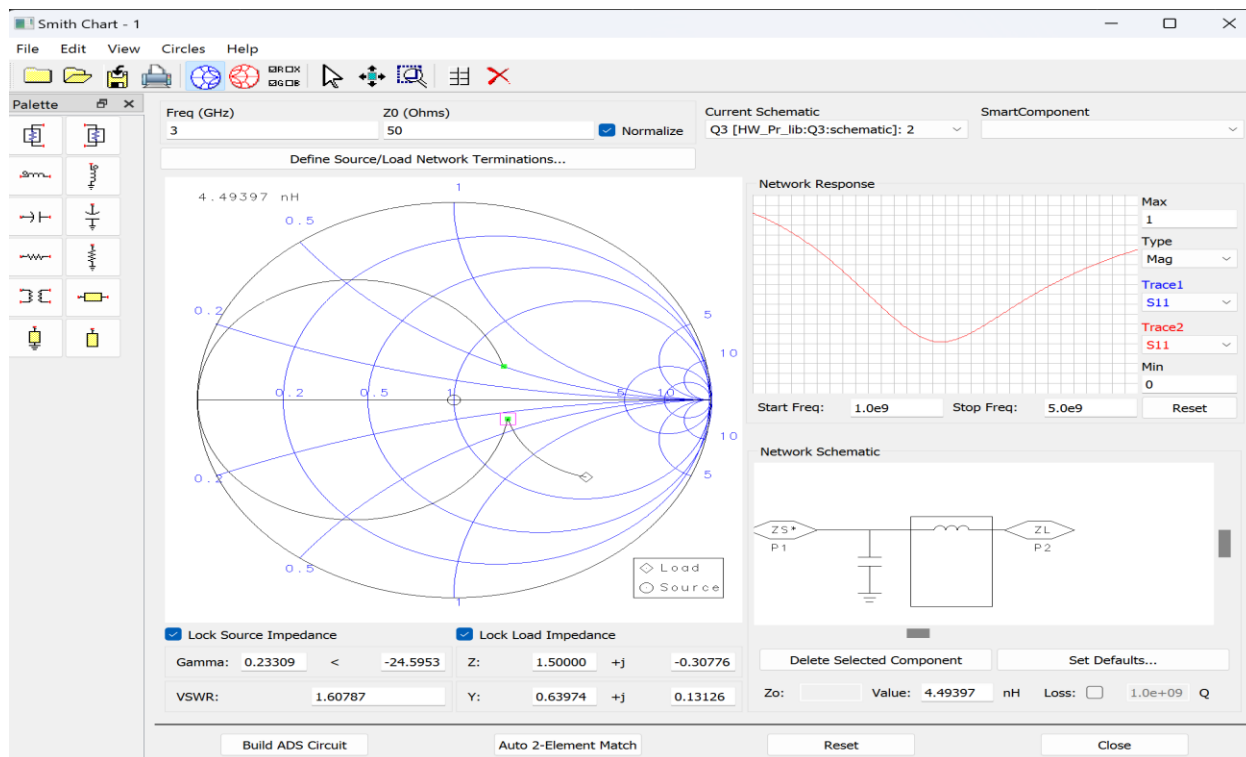


اگر خازن اول سری کنیم و سپس سلف موازی، با توجه هندسه مسئله ثابت می‌شود که تطبیق غیرممکن است!



شکل 3.14 - غیرممکن بودن تطبیق

اگر سلف اول سری کنیم و سپس خازن موازی، در این حالت نیز! با توجه هندسه مسئله ثابت می‌شود که تطبیق غیرممکن است!

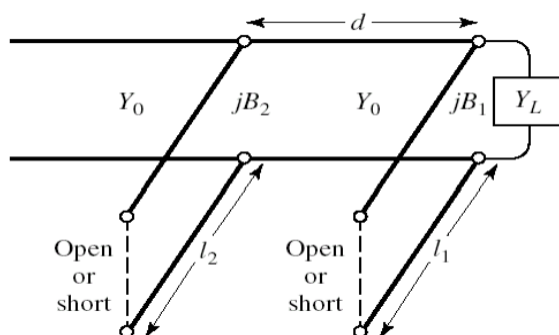


شکل 3.15 - غیرممکن بودن تطبیق

سوال 4:

در این سوال قصد داریم به کمک یک ساختار Double Stub Matching بار $Z_L = 100 - j100 \Omega$ را با یک منبع تغذیه با مقاومت داخلی 75Ω با استفاده از خطوط با امپدانس مشخصه 75Ω هم تطبیق دهیم.

مجدداً به دیاگرام اسمیت روی می آوریم. در ابتدا باید پارامترهای طراحی را تعیین کنیم. اولین چیزی که در این زمینه تعیین می شود فرکانس تطبیق است که آن را $f_0 = 2GHz$ تعیین می کنیم. حال توپولوژی خط انتقال مد نظر را نشان می دهیم:



شکل 4.1 - خط انتقال تطبیق شده با تکنیک double Stub Matching

یکی دیگر از پارامترهای طراحی مقدار d است. این مقدار را برابر یک هشتم طول موج در نظر می گیریم:

$$\text{Assume } d = \frac{\lambda}{8}$$

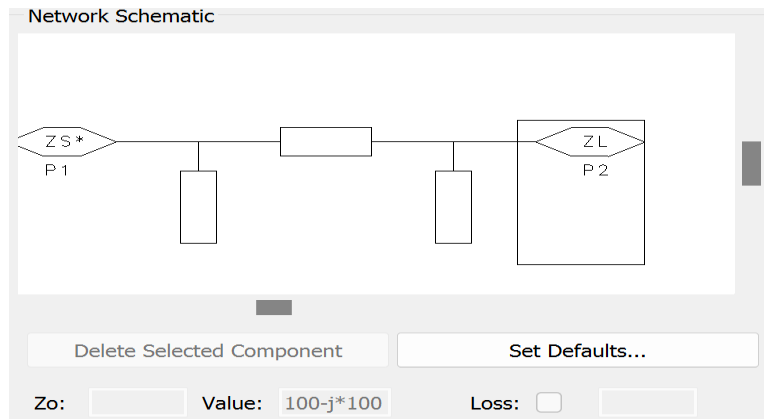
از آنجایی که در انتخاب اتصال کوتاه یا مدار باز بودن Stub ها نیز توسط سوال مخیر هستیم، در اینجا هر دو را مدار باز در نظر می گیریم. مطابق دستورات گفته شده در سوال سوم عمل می کنیم اما دیگر برای تطبیق از المان های سلف و خازن استفاده نمی کنیم بلکه از Stub ها و خط استفاده می کنیم.

ابتدا فرکانس تطبیق و امپدانس مشخصه خط رو تعیین می کنیم:

Freq (GHz)	Z0 (Ohms)	<input checked="" type="checkbox"/> Normalize
2	75	
Define Source/Load Network Terminations...		

شکل 4.2 - تعیین فرکانس تطبیق و امپدانس مشخصه

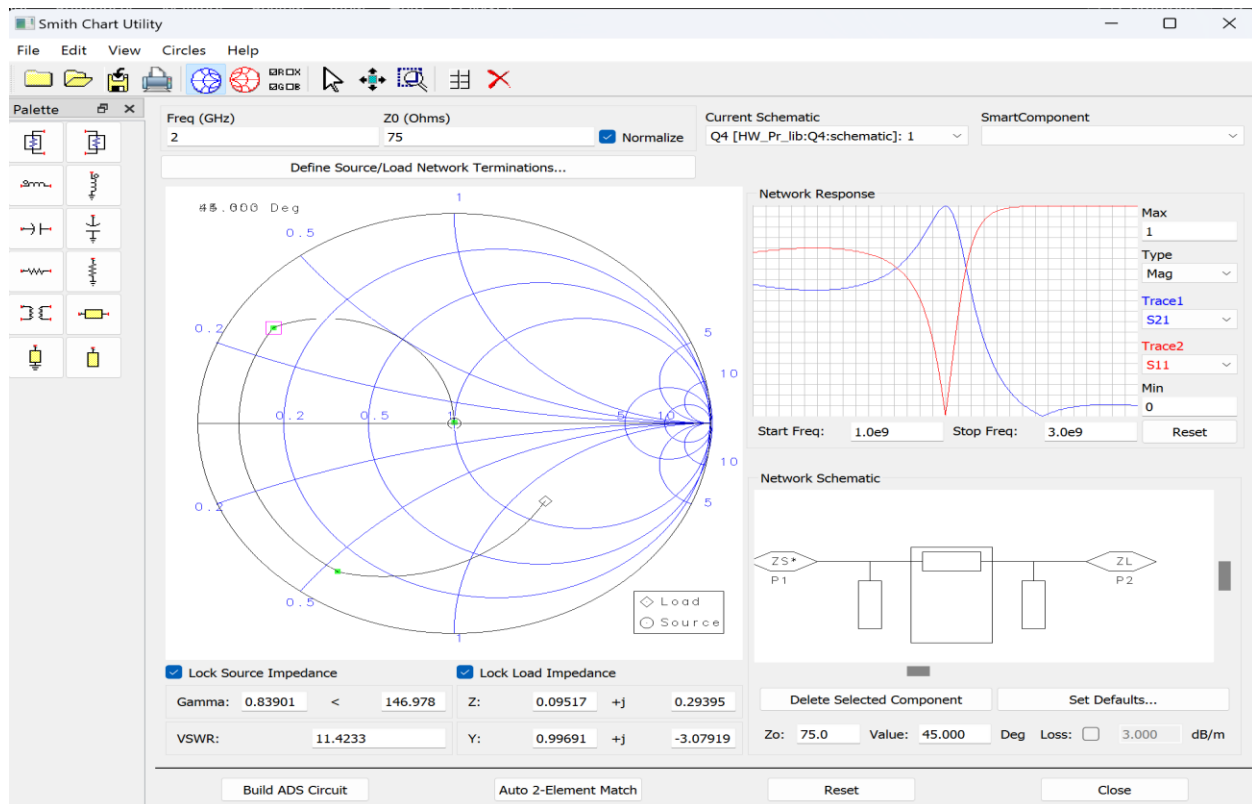
سپس مقدار امپدانس مشخصه بار را تعیین می کنیم:



شکل 4.3 - تعیین مقدار امپدانس بار

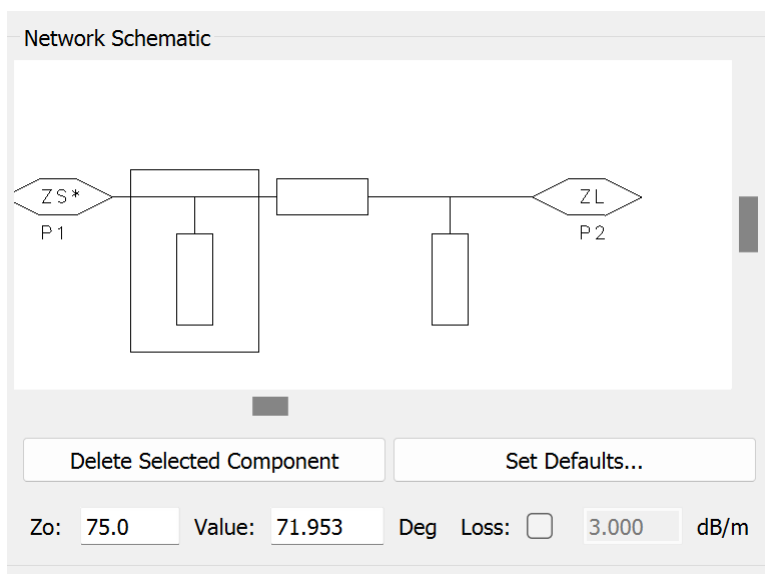
همچنین امپدانس مشخصه تمام خطوط و Stub ها را روی مقدار 75Ω ست می کنیم. همچنین از آنجایی که می خواهیم خط ما بین دو Stub یک خط $d = \frac{\lambda}{8}$ باشد، طول الکتریکی آن 45° درجه خواهد بود. این بدین معنی است که در بخشی از مسیر بر روی دیاگرام اسمیت باید 45° درجه حول آن بچرخیم.

اولین حالت تطبیق به کمک دو Stub مدار باز دیاگرام اسمیت و ضریب انعکاسی/انتقالی همانند شکل زیر دارد.

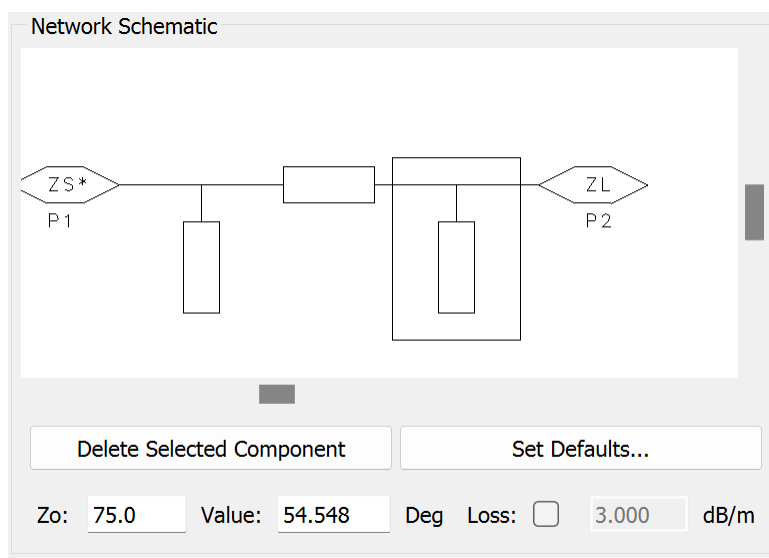


شکل 4.4 - نمایش دیاگرام اسمیت حالت اول تطبیق + دیاگرام انعکاس/انتقال + زاویه 45° درجه خط انتقال

اکنون زاویه الکتریکی Stub ها و در نتیجه طول آن ها برحسب طول موج بدست می آید.



شکل 4.5 - امپدانس مشخصه و زاویه الکتریکی Stub1



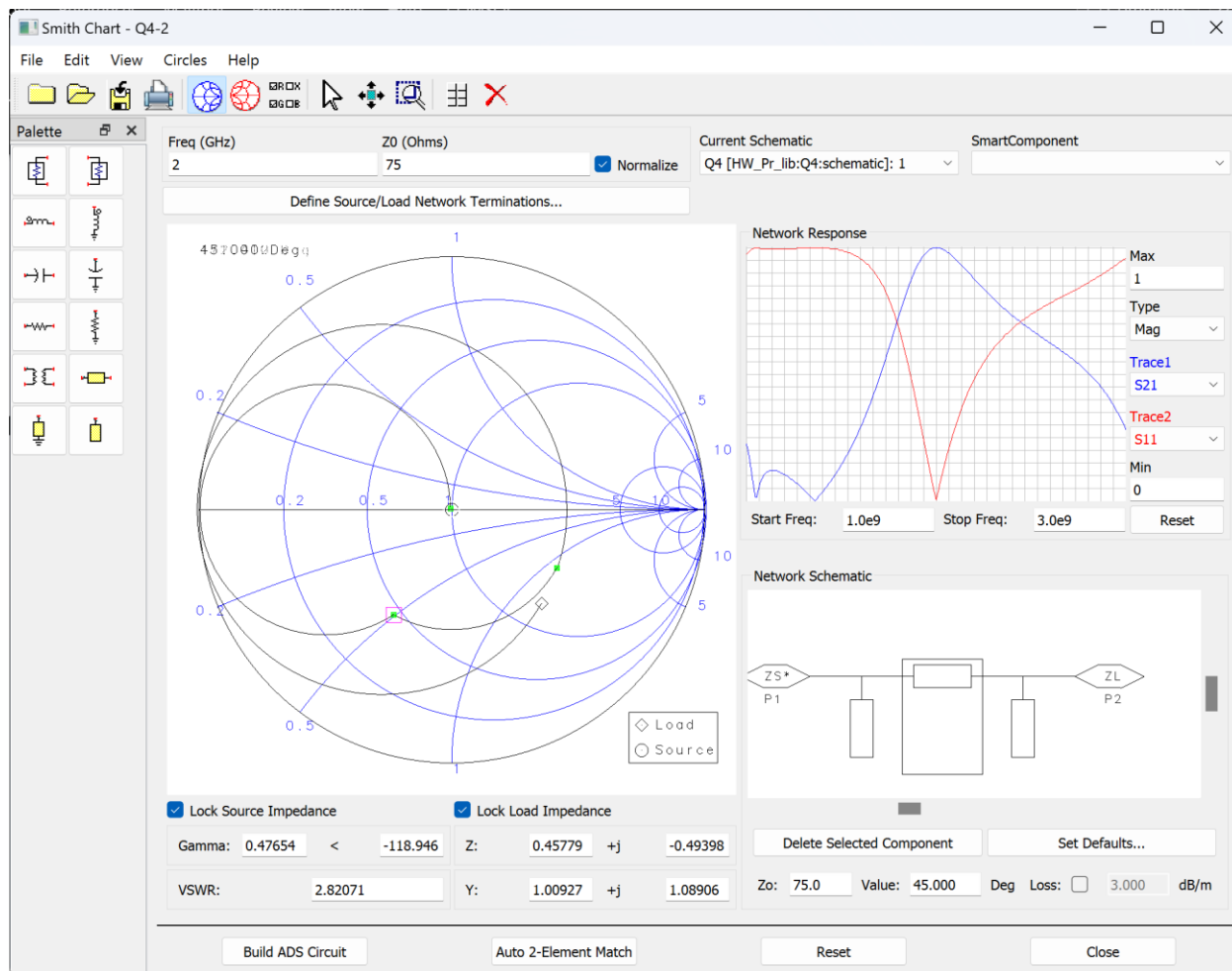
شکل 4.6 - امپدانس مشخصه و زاویه الکتریکی Stub2

تعیین طول Stub ها بر حسب طول موج λ :

$$Stub1: l_1 = 71.95 * \frac{\lambda}{360} = 0.2 \lambda$$

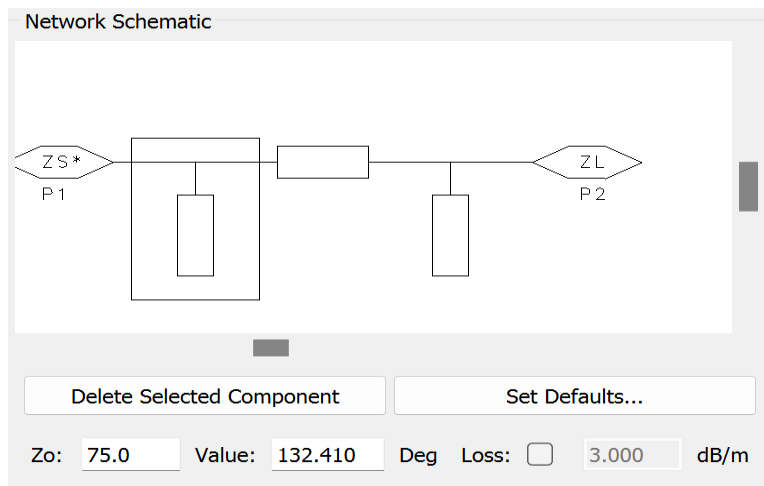
$$Stub2: l_2 = 54.54 * \frac{\lambda}{360} = 0.15 \lambda$$

دومین حالت تطبیق به کمک دو Stub مدار باز دیاگرام اسمیت و ضریب انعکاسی/انتقالی همانند شکل زیر دارد.

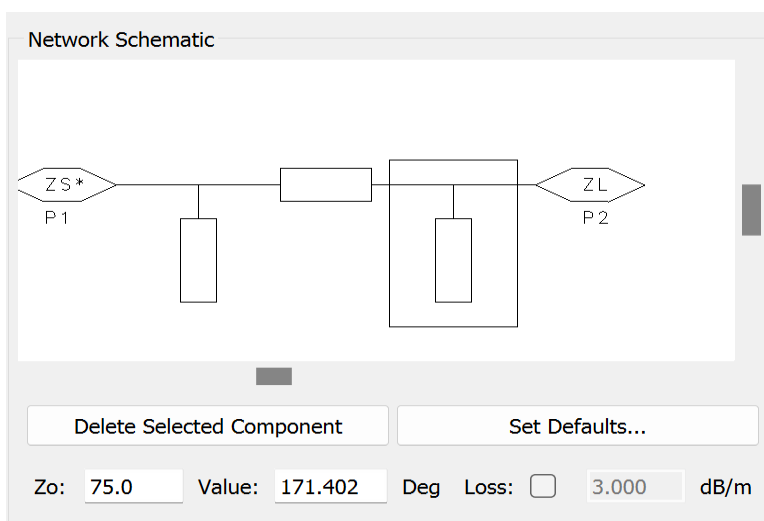


شکل 4.7 - نمایش دیاگرام اسمیت حالت دوم تطبیق + دیاگرام انعکاس/انتقال + زاویه 45 درجه خط انتقال

اکنون زاویه الکتریکی Stub ها و در نتیجه طول آن ها بر حسب طول موج بدست می آید.



شکل 4.8 - امپدانس مشخصه و زاویه الکتریکی Stub1



شکل 4.9 - امپدانس مشخصه و زاویه الکتریکی Stub2

تعیین طول Stub ها بر حسب طول موج λ :

$$Stub1: l_1 = 132.41 * \frac{\lambda}{360} = 0.367 \lambda$$

$$Stub2: l_2 = 54.54 * \frac{\lambda}{360} = 0.476 \lambda$$