



به نام خدا



دانشگاه تهران
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
آزمایشگاه آنتن

پروژه نهایی

نام و نام خانوادگی	حمیدرضا علی اکبری خویی
شماره دانشجویی	810196514
تاریخ ارسال گزارش	4/4/1400

فهرست

3	..... مقدمه ای از آنتن های میکرواستریپ
4	..... طراحی قدم به قدم آنتن میکرواستریپ
4	..... طراحی آنتن میکرواستریپ با پچ مستطیلی
7	..... HFSS در طراحی
9	..... : S11
10	..... : Gain
10	..... : Gain 3D
10	..... : VSWR
11	..... : Z parameter
11	..... نتایج

مقدمه ای از آنتن های مایکرواستریپ

آنتن های مایکرواستریپ جدیداً پدیدار گشته اند که اتفاقاً به خاطر مزایای متفاوتی همچون وزن کم و طراحی راحت بر روی برد چاپی و ... منجر به این شده است که اینگونه آنتن ها کاربرد بسیاری داشته باشند. برای استفاده از این آنتن ها هم در گوشی های تلفن همراه و وسایل الکترونیک دیگر که نیاز به آنتن های حجم کم دارند استفاده میشود.

ویژگی های ساختاری آنتن ها به شرح زیر است:

- ضخامت زیر لایه H که متناسب با طول موج معمولاً انتخاب میشود که بین 0.03 تا 0.05 برابر طول موج است.
- ضخامت لایه مسی استفاده شده هم بسیار کوچکتر از طول موج است که البته اینجا اثر چندانی نداشت و به همین خاطر یک صفحه گرفتیم.
- ابعاد مستطیلی آنتن تشعشع کننده هم باید به گونه ای انتخاب بشود که در بازه زیر بیفتاد:

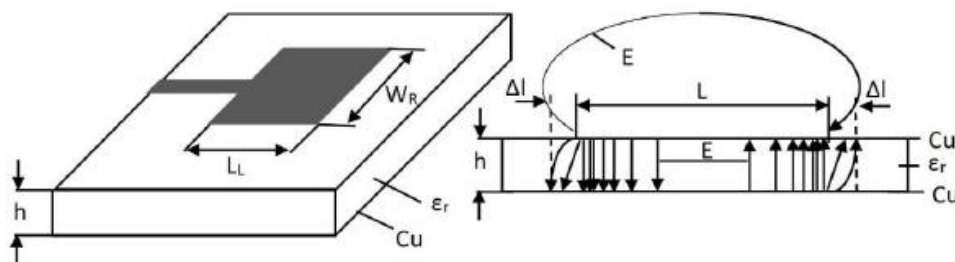
$$\frac{\lambda_0}{3} < L < \frac{\lambda_0}{2}$$

متداول ترین نوع این آنتن ها دایروی و مستطیلی و دایپلی و یا مربعی هستند، البته انواع دیگری نیز وجود دارد که با توجه به نیاز در طراحی میتواند گنجانده شود. در این آنت ها معمولاً لبه های کناری تشعشع نمیکند و لبه های جلویی و عقبی نقش تشعشع را ایفا میکنند. دلیل تشعشع وجود میدان بین صفحه پچ و زمین است که در نهایت با استفاده از نا پیوستگی موجود از لایه دی الکتریک و پچ، از طریق لبه های مذکور تشعشع میکنند. جهت افزایش امواج میتوان عرض سطح تشعشع را افزایش داد.

مقدار طول موج موثر در الکتریک به شرح مقابل است $\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$

با استفاده از افزایش ضخامت لایه تشعشع و یا کاهش ثابی دی الکتریک میتوان امواج در این آنتن را بهبود بخشید.

مطابق شکل زیر میدان E در جهت جریان تعریفی برای پورت است و میدان H عمود بر میدان E میباشد.

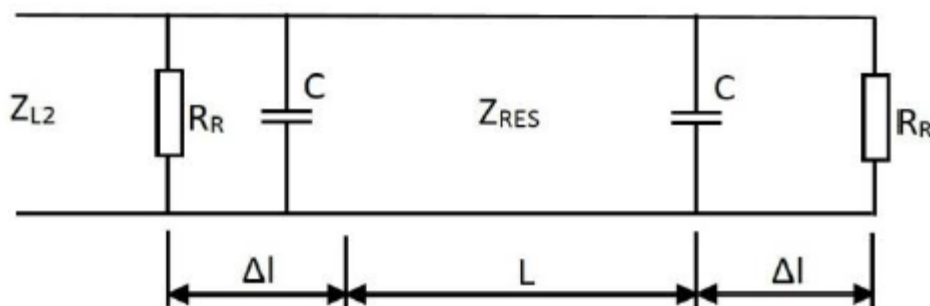


همچنین امپدانس آنتن با عرض ورودی آنتن ارتباط دارد، و با افزایش عرض امپدانس کاهش میابد. رابطه میدان های الکتریکی تشعشی آنتن به شرح زیر است:

$$E_{\theta} = \frac{\sin\left(\frac{kwsin\theta sin\phi}{2}\right)}{\frac{kwsin\theta sin\phi}{2}} \cos\left(\frac{kL}{2} sin\theta cos\phi\right) cos\phi$$

$$E_{\phi} = - \frac{\sin\left(\frac{kwsin\theta sin\phi}{2}\right)}{\frac{kwsin\theta sin\phi}{2}} \cos\left(\frac{kL}{2} sin\theta cos\phi\right) cos\phi sin\theta$$

برای رفتار خازنی لبه های آنتن که باعث تشعشع میشود و همچنین مقاومت تشعشعی میتوان از مدل زیر استفاده کرد:



طراحی قدم به قدم آنتن مایکرواستریپ

1. انتخاب عنصر تشعشع کننده و روابط تحلیلی برای این عنصر و انتخاب آن توسط پارامترهای همچون باند فرکانسی عرض پرتو، شکل الگو تشعشعی ابعاد طرح و پلاریزاسیون موردنیاز.
2. انتخاب زیر لایه که بر حسب استفاده میتوانند ضریبی بین 2.2 تا 12 داشته باشند.
3. انتخاب شبکه تغذیه، چرا که در فرکانس تشدید ایجاد شده، باید تطبیق امپدانس ایجاد شود تا توان برگشتی به منبع تغذیه نداشته باشیم. این جعبه تطبیق باید تطبیق بین مقاومت 50 اهم خط استاندارد و مقاومت ورودی آنتن که توسط خود نرم افزار HFSS یا PICCAD استخراج میشد انجام بگیرد.

طراحی آنتن مایکرواستریپ با پچ مستطیلی

جدول زیر نشان میدهد که آنتن طراحی شده چه ویژگی هایی باید داشته باشد:

فرکانس مرکزی	پهنای باند	بهره	VSWR	زیر لایه
9GHz	>5%	4dB	2:1	FR-4

$$\frac{\Delta f}{f_0} = 5\% \rightarrow \Delta f = 450\text{MHz}, \rightarrow \lambda_0 = \frac{1}{30}$$

$$\text{if it was square: } W = L = 0.49 \times \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \cong 7.7\text{mm}$$

بنده با استفاده از مقاله موجود در اینترنت که فرکانس مشابه و نه دقیق بنده بوده آنتن را طراحی کردم و از این مقاله اتصافه کردم و مقدار ضخامت را 3.2 میلیمتر در نظر گرفتم و در نهایت طبق گفته که یک نقطه شروع مناسب در عرض بازه 0.45 تا 0.49 طول موج است، من مقادیر 7.1 تا 7.7 میلیمتر را بازه ای برای طول آنتن در نظر گرفتم و برای عرض هم با استفاده از نرم افزار PCCAD بازه برای عرض آنتن متناظر با بازه ای که برای ابتدا و انتهای طول در نظر گرفته شده است بدست آوردمو در نهایت با Optimetrics و انجام بهینه سازی در دو مرحله که مرحله دوم zooming بازه اول بود، به جواب رسیدم.

بازه متناظر برای عرض که به بهینه ساز دادم به طریق زیر است:

Rectangular Probe-Fed Microstrip Antenna Analysis (Carver model)

Antenna Parameters . . .

Patch length (cm) 0.71 Patch width (cm) 0.3

Substrate thickness (cm) 0.32 Dielectric constant 4.4

Dielectric loss tangent . . 0.002 Probe-to-edge dist. (cm) . 0.0

Pattern type: Polar; E/H; Step=0.1 **Select**

Compute

Resonant freq. (GHz) . . . 9.138 Input resistance (ohms) . 1478.7

Bandwidth 6.6 % Efficiency 97.6 %

Directivity (dB) 5.8

Save Patterns . . .

☒ E-plane
☐ H-plane

Save as . . .

Plot Patterns . . .

☒ E-plane
☒ H-plane

Plot

این شکل بالا، نشان میدهد که عرض معادل برای حد اقل بازه 3 میلیمتر است و برای حد اکثر بازه داریم:

Rectangular Probe-Fed Microstrip Antenna Analysis (Carver model)

Antenna Parameters . . .

Patch length (cm) 0.77 Patch width (cm) 1

Substrate thickness (cm) 0.32 Dielectric constant 4.4

Dielectric loss tangent . . 0.002 Probe-to-edge dist. (cm) . 0.0

Pattern type: Polar; E/H; Step=0.1 **Select**

Compute

Resonant freq. (GHz) . . . 9.006 Input resistance (ohms) . 15679.2

Bandwidth 1.9 % Efficiency 91.6 %

Directivity (dB) 5.9

Save Patterns . . .

☒ E-plane
☐ H-plane

Save as . . .

Plot Patterns . . .

☒ E-plane
☒ H-plane

Plot

که نشان میدهد حد اکثر هم 1 سانتی متر است.

در نهایت با اپتیمایزیکس که در گام های یک میلیمتری از 3 میلیمتر تا 10 میلیمتر برای عرض و برای طول هم با گام 0.1 میلیمتر از بازه 7.1 تا 7.7 میلیمتر جست جو کردم تا به یک نقطه مطلوب برسم که در نهایت نقطه مطلوب نقطه ی:

به عرض 8 میلیمتر و طول 7.2 میلیمتر بود. در این نقطه بود که رزونانس مورد نظر دقیقاً بر روی 9 گیگاهرتز قرار داشت و همچنین آنتن نیز خاصیت مستطیلی داشت. و همچنین مقادیر نیز در بازه مذکور اولیه که باید طول در بازه:

$$\frac{\lambda_0}{3} < L < \frac{\lambda_0}{2}$$

باشد نیز رعایت شده است.

حال باید شبکه تغذیه طراحی شود، برای این کار دوباره به نرم افزار PCCAD و مقدار امپدانس مذکور برای طول و عرض بدست آمده را حساب میکنیم:

Rectangular Probe-Fed Microstrip Antenna Analysis (Carver model)

Antenna Parameters . . .

Patch length (cm) . . . .	.72	Patch width (cm) . . . . .	.8
Substrate thickness (cm)	.32	Dielectric constant	4.4
Dielectric loss tangent . .	0.002	Probe-to-edge dist. (cm) .	0.0
Pattern type:	Polar; E/H; Step=0.1		Select

Compute

Resonant freq. (GHz) . . .	7.417	Input resistance (ohms) .	155.6
Bandwidth	28.0 %	Efficiency	99.4 %
Directivity (dB)	5.5		

Save Patterns . . .

☒ E-plane
☐ H-plane

Save as . . .

Plot Patterns . . .

☒ E-plane
☒ H-plane

Plot

طبق نتیجه بدست آمده باید مقاومت 155.6 اهم را با مقاومت خط 50 اهم تطبیق دهیم که باید میانگین هندسی بگیریم:

$$\sqrt{155.6 \times 50} \cong 88.204$$

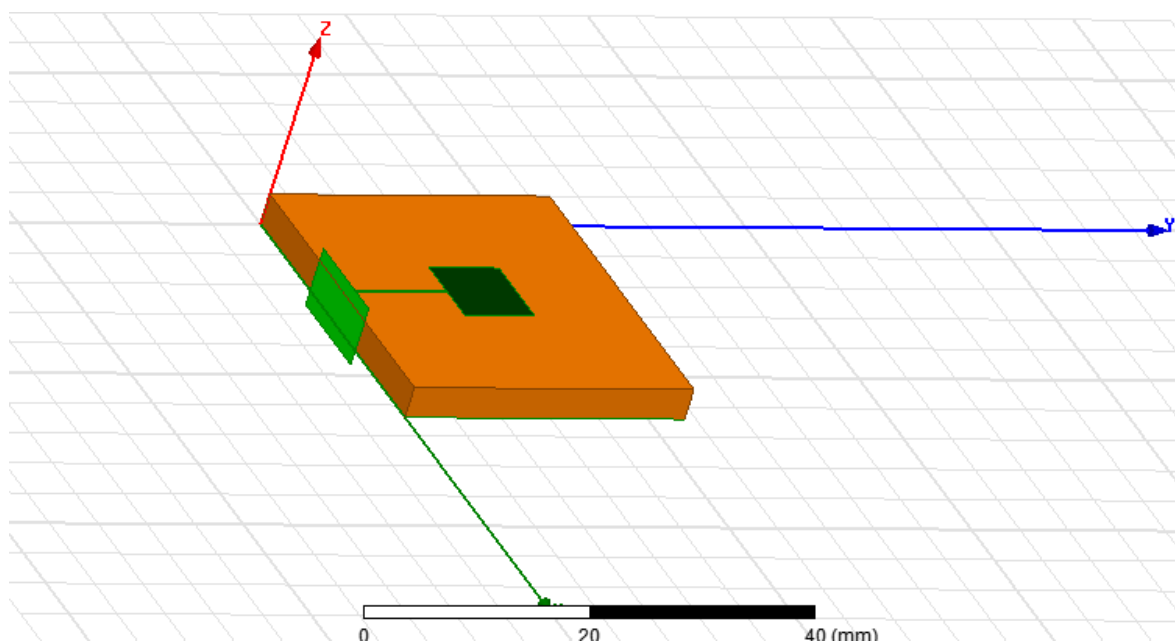
حال برای طراحی طول خط، به نرم افزار txline میرویم:

Microstrip | Stripline | CPW | CPW Ground | Round Coaxial | Slotline | Coupled MSLine | Coupled Stripline			
Material Parameters			
Dielectric	GaAs	Conductor	Copper
Dielectric Constant	4.4	Conductivity	5.88E+07 S/m
Loss Tangent	0.002	AWR	
Electrical Characteristics		Physical Characteristic	
Impedance	88.204 Ohms	Physical Length (L)	186.498 mil
Frequency	9 GHz	Width (w)	154.485 um
Electrical Length	90 deg	Height (H)	10 mil
Phase Constant	18999.2 deg/m	Thickness (T)	1 um
Effective Diel. Const.	3.09045		
Loss	12.4145 dB/m		

طبق شکل بالا، مقدار طول و عرض را مشخص میکند که در مدل این مقادیر را اعمال میکنیم.

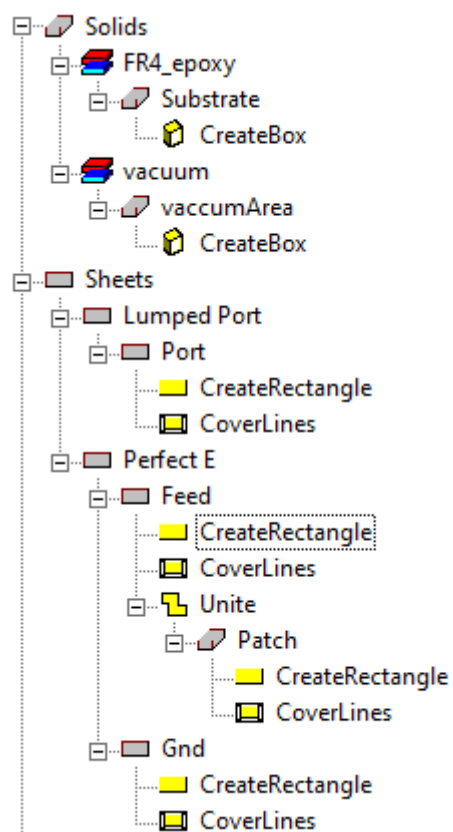
طراحی در HFSS

شکل کلی ساختار به صورت زیر است:



لازم به ذکر است که برای استفاده از قابلیت اپتیماژیشن موجود در نرم افزار، تمامی طراحی شکل ها به صورت وابسته به هم تعیین شده است و همگی بر اساس طول و عرض پچ طراحی شده است. اندازه Ground هم به گونه ای است که حد اقل دو برابر اندازه پچ باشد.

نوار طراحی به صورت زیر است:



در قسمت اپتیماژیشن، بازه های مذکور را وارد کردم:

Sweep Definitions | Table | General | Calculations | Options

Sync #	Variable	Description
	w	Linear Step from 3mm to 10mm, step=1mm
	L	Linear Step from 7.1mm to 7.7mm, step=0.1mm

Add...
Edit...
Delete

بعد در قسمت ایجاد sweep مقدار بازه را به صورت زیر تعیین کردم:

General | Defaults

Sweep Name: ☒ Enabled

Sweep Type:

Frequency Setup

Type:

Start:

Stop:

Count:

3D Fields Save Options

☒ Save Fields

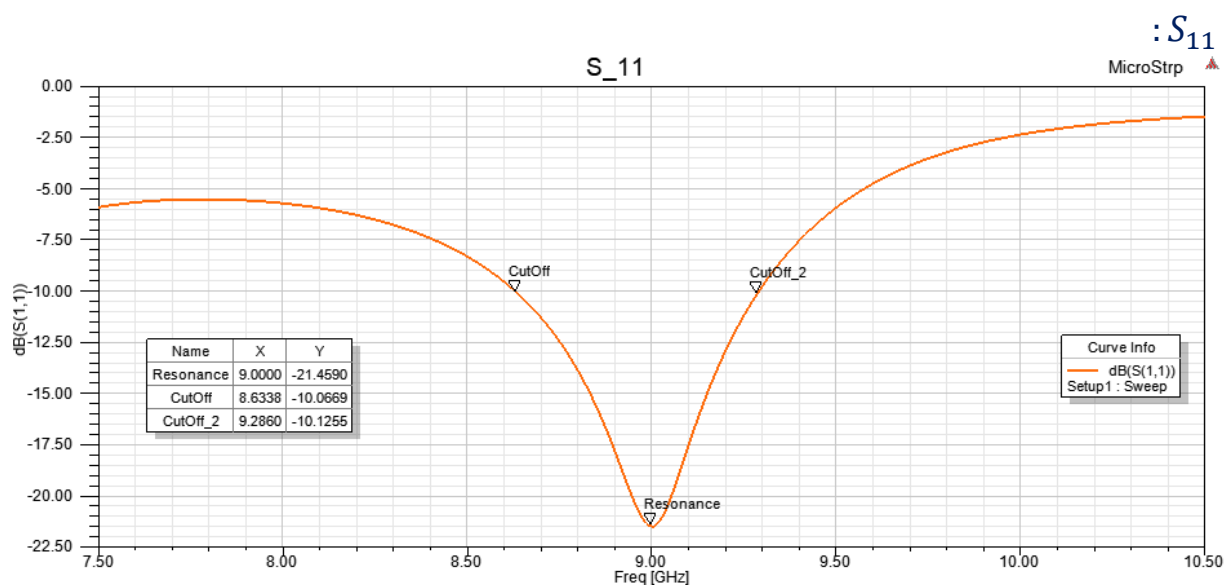
☐ Save radiated fields only

☐ Generate fields at solve time (All Frequencies)

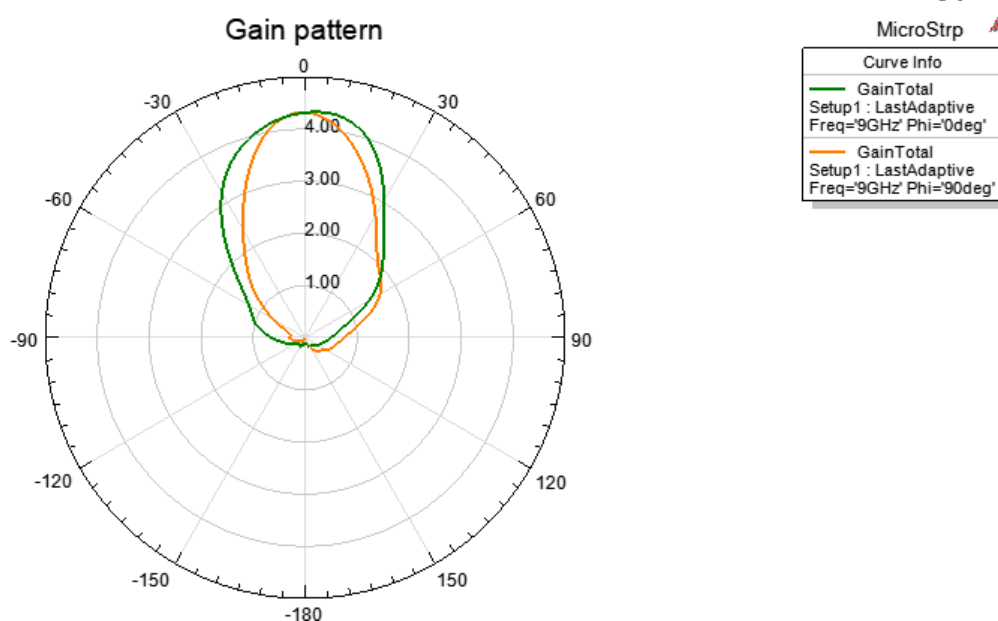
#	Frequency
---	-----------

طراحی در بازه 7.5 تا 10.5 صورت می‌گرفت و خود نرم افزار اگر در این بازه همگرایی صورت نمی‌گرفت اطلاع میداد تا آنها از بازخورد نهایی حذف شوند. و طول بازه را به مقدار کافی زیاد کردم که اگر هیچ کدام از مدل های ایتیمایز شده دقیقا فرکانس رزونانس 9 گیگا هرتز نداشته باشند بتوان مقدار رزونانس آنها را دید و با استفاده از تغییر طول و عرض پچ به فرکانس رزونانس دلخواه رسید.

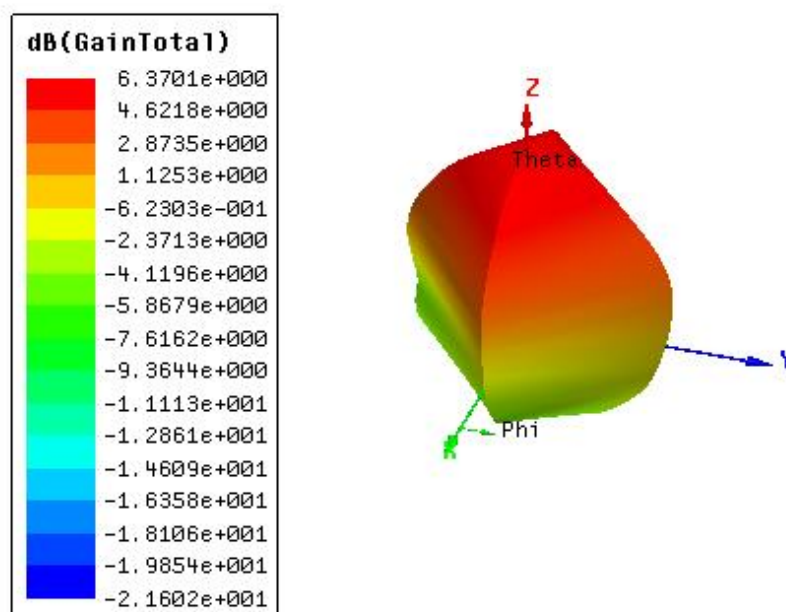
شکل های خروجی های گفته شده به صورت زیر است:



:Gain

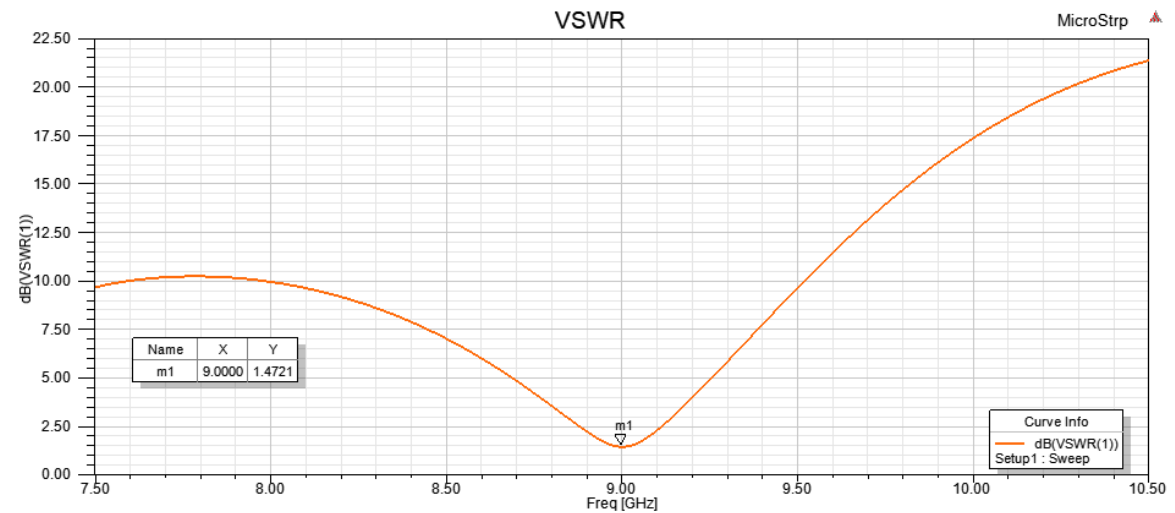


:Gain 3D

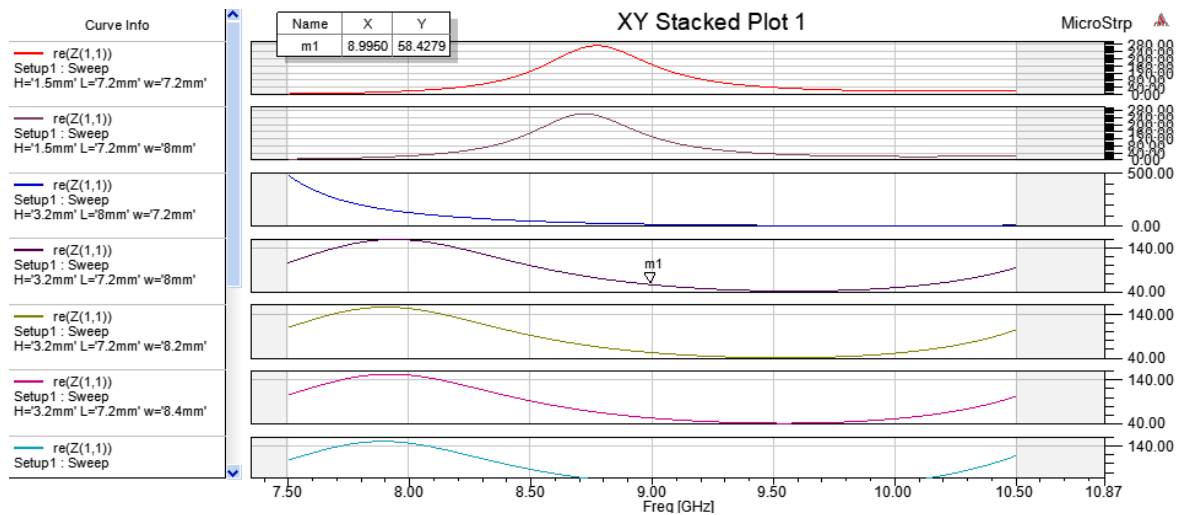


:VSWR

با توجه به شکل زیر مقدار VSWR بسیار نزدیک مقدار تعیین شده برای طراحی است.



:Z parameter



مقادیر Z برای هر یک از مدل های ایتیمایز شده را مشاهده میکنید که برای مدل انتخاب شده طبق نشان گر گذاشته شده در فرکانس 9 گیگاهرتز مقدار 58 اهم را نشان میدهد که تا حد خوبی مطلوب است.

نتایج

در شبیه سازی انجام شده نتایج به شرح زیر است:

- مقدار پهنای باند حدودا 650 مگا هرتز هست که در حقیقت بالای 5 درصد است (7.2%)
- مقدار بهره 6.37 dB است که از مقدار تعیین شده اولیه بیشتر است.
- مقدار VSWR 1.47 است که نزدیک به مقدار تعیین شده است.
- مقدار امپدانس ورودی 50 اهم است.