



فهرست

۵.....	بخش اول : تحلیلی تلفات فلزی موجبر WR_112
۵.....	بخش دوم: شبیه سازی WR_112 و بدست آوردن مقدار ضریب تلفات
۸.....	بخش سوم: افزایش عرض موجبر و اثر آن بر ضریب تلفات
۹.....	بخش چهارم: بررسی مودهای منتشر شده در TallGuide
۱۱.....	بخش پنجم: اطلاعات کلی در مورد TallGuide
۱۲.....	بخش ششم: بررسی ایجاد خم در صفحه های E و H
۱۶.....	بخش هفتم : طراحی موجبر Twist
۱۷.....	بخش هشتم : طراحی ساختار گذر مناسب بین موجبر استاندارد و Tallguide
۲۰.....	مراجع



فهرست تصاویر

- شکل 1 - موجبر استاندارد WR-112 ۵
- شکل 2 - نمایش همگرا شدن پاسخ‌ها به صورت جدول ۶
- شکل 3 - نمایش همگرا شدن پاسخ‌ها به صورت نمودار ۶
- شکل 4 - تغییرات تلفات موجبر بر حسب تغییرات فرکانس ۷
- شکل 5 - افزایش عرض موجبر و اثر آن بر ضریب تلفات ۸
- شکل 6 - اطلاعاتی درباره‌ی Tallguide ۱۱
- شکل 7 - ایجاد خم در صفحه‌ی E ۱۲
- شکل 8 - ایجاد خم در صفحه‌ی H ۱۲
- شکل 9 - ایجاد خم ۹۰ درجه در صفحه E با شعاع 45 mm ۱۳
- شکل 10 - ایجاد خم ۹۰ درجه در صفحه H با شعاع 35 mm ۱۳
- شکل 11 - سویپ روی شعاع برای یافتن مقدار مناسب آن برای ایجاد خم در صفحه H ۱۴
- شکل 12 - سویپ روی شعاع برای یافتن مقدار مناسب آن برای ایجاد خم در صفحه E ۱۴
- شکل 13 - اطلاعات datasheet برای ایجاد خم مناسب ۱۵
- شکل 14 - شکل‌های datasheet برای ایجاد خم و twist مناسب ۱۵
- شکل 15 - موجبر Twist ۱۶
- شکل 16 - سویپ روی ارتفاع موجبر برای یافتن مقدار مناسب آن در حالت موجبر Twist ۱۶
- شکل 17 - ساختار گذر بین موجبر استاندارد و tallguide ۱۷
- شکل 18 - سویپ روی ارتفاع بخش گذر در حالتی که عرض tallguide ۳ برابر عرض موجبر استاندارد می‌باشد ۱۷
- شکل 19 - سویپ روی ارتفاع بخش گذر در حالتی که عرض tallguide ۲,۲ برابر عرض موجبر استاندارد می‌باشد ۱۸
- شکل 20 - بررسی ساختار گذر وقتی مجدداً در بخش انتهایی موجبر استاندارد قرار می‌دهیم ۱۸
- شکل 21 - سویپ روی ارتفاع بخش گذر در حالتی که در بخش انتهایی موجبر مجدداً از موجبر استاندارد استفاده شده است ۱۹

بخش اول: تحلیلی تلفات فلزی موجبر WR_112

با توجه به اینکه جنس موجبر WR_112 را مس و عایق داخل رو هم خلا در نظر گرفتیم:

$$\alpha_c = P_L / 2P \quad (\sigma \text{ (S/m)} = 5.96 \times 10^7)$$

فرکانس کاری موجبر استاندارد در بازه‌ی ۷ تا ۱۰ گیگاهرتز می‌باشد که در شبیه‌سازی این پروژه فرکانس مرکزی ۸٫۵ گیگاهرتز در نظر گرفته شده است. برای موجبر مستطیلی در مد TE₁₀ داریم:

$$P_L = \frac{1}{2\sigma\delta} \int H_t \cdot H_t^* dl = \frac{1}{2\sigma\delta} H_{10}^2 a \frac{f^2}{f_{c10}^2} \left[1 + \frac{2b}{a} \frac{f^2}{f_{c10}^2} \right] \quad \delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\sigma\mu}}$$

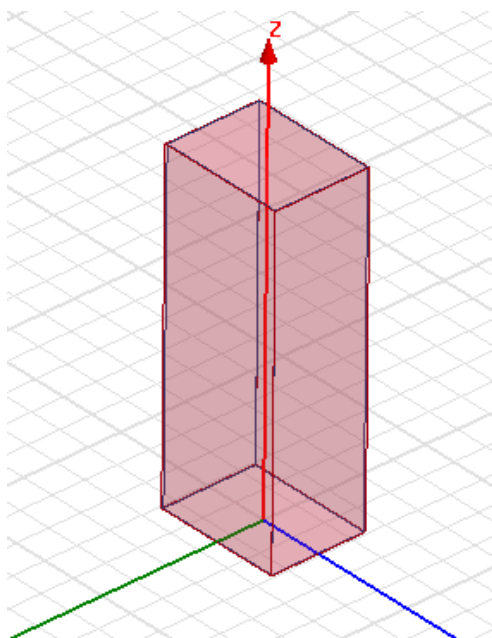
$$P = \frac{1}{2} Z_{w10} \int H_t \cdot H_t^* dl = \frac{1}{4} w \mu_0 \beta \frac{a^2}{\pi^2} ab H_{10}^2 \quad f_{c10} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}$$

ابعاد موجبر استاندارد WR-112 برابر با ۱۲٫۶۲×۲۸٫۵ می‌باشد. (فرکانس قطع نیز ۵٫۲۶ گیگاهرتز است.)

$$\Rightarrow \alpha_c = \frac{1}{\sigma\delta b\eta_0} \frac{f}{f_{c10}} \frac{\frac{f^2}{f_{c10}^2} + \frac{2b}{a}}{\sqrt{\frac{f^2}{f_{c10}^2} - 1}} \rightarrow (@f = 8.5\text{GHz}) \quad \alpha_c = 2.8 \times 10^{-4}$$

بخش دوم: شبیه سازی WR_112 و بدست آوردن مقدار ضریب تلفات

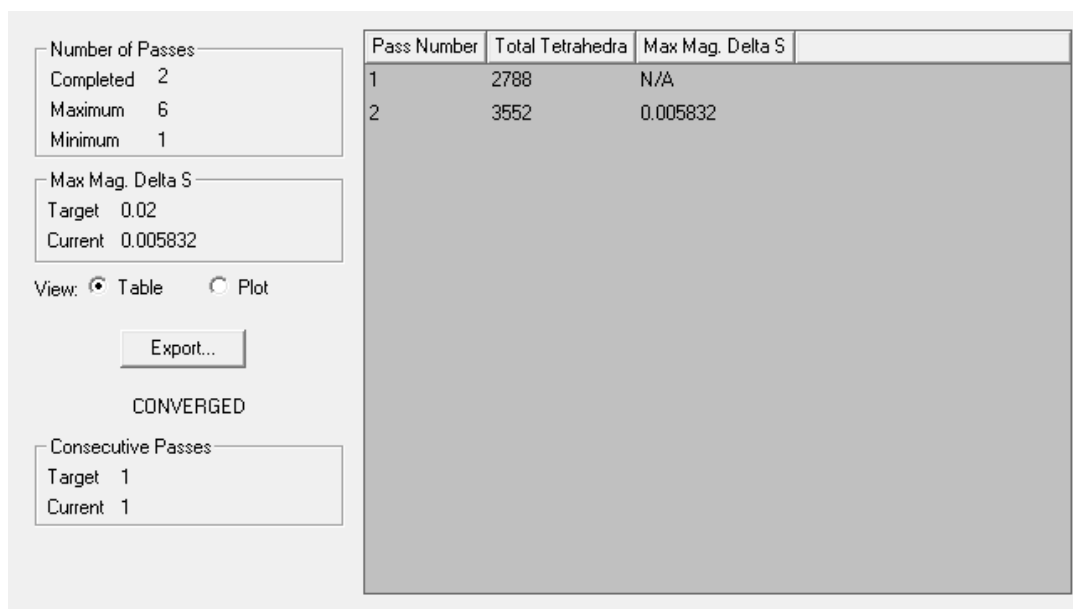
برای طراحی موجبر داخل برنامه hfss ابتدا یک مکعب مستطیل مخصوص هوا یا خلا داخل موجبر ایجاد شده و سپس مکعبی مخصوص خود موجبر و کمی بزرگتر (۲ میلیمتر) از جنس مس ایجاد کرده و از قسمت هوا کم شد.



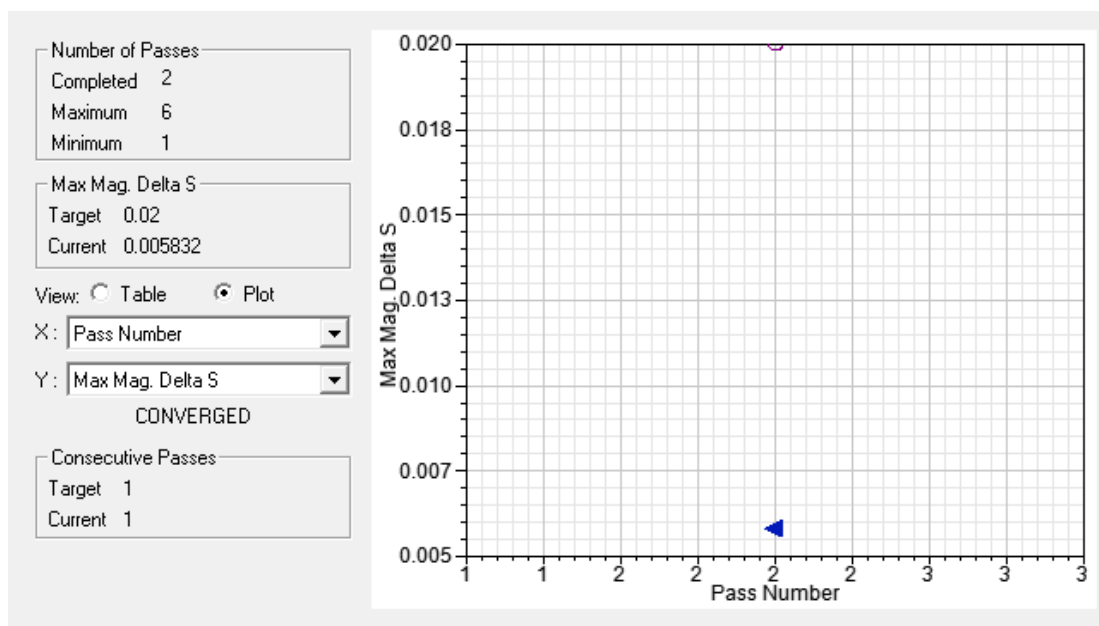
موجبر wr-112 مطابق شکل زیر می‌باشد.

شکل ۱ - موجبر استاندارد WR-112

با انجام شبیه‌سازی، حل معادلات مطابق شکل زیر converge می‌شود.

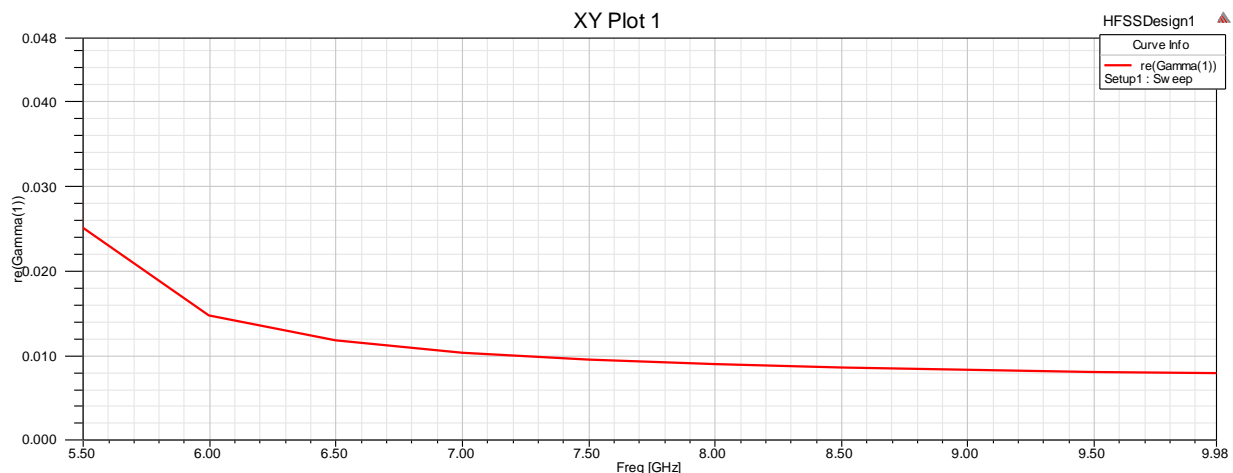


شکل ۲ - نمایش همگرا شدن پاسخ‌ها به صورت جدول



شکل ۳ - نمایش همگرا شدن پاسخ‌ها به صورت نمودار

برای بدست آوردن ضریب تلفات بخش حقیقی گاما را باید در بازه فرکانس کاری موجبر sweep کرد. نتایج شبیه سازی به شرح زیر است. (با افزایش فرکانس مقدار عمق نفوذ کاهش و نسبت فرکانس به فرکانس قطع افزایش میابد.)



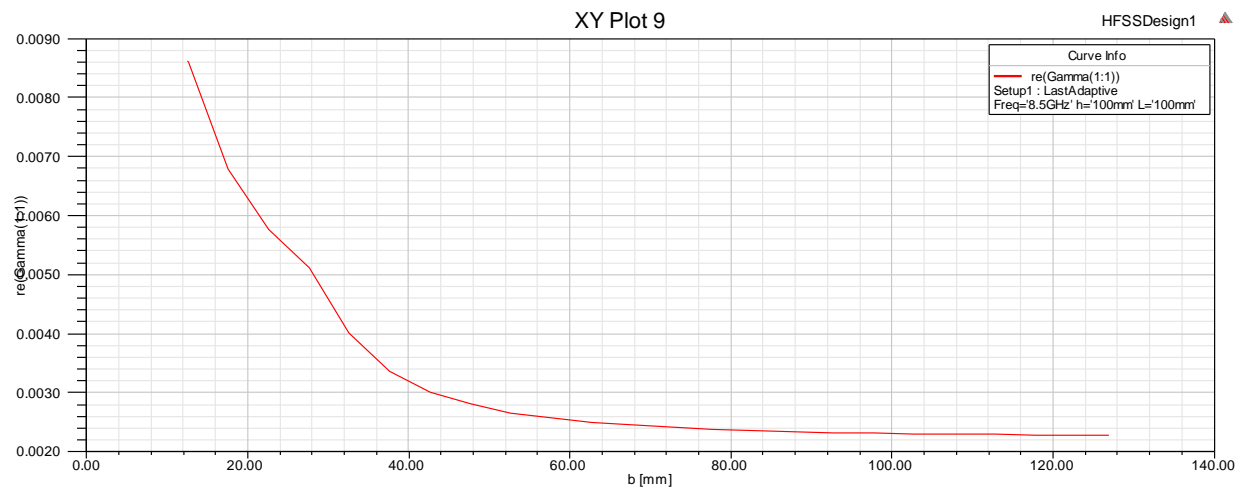
شکل 4 - تغییرات تلفات موجبر بر حسب تغییرات فرکانس

مقادیر دقیق این ضرایب نیز به صورت زیر است :

	Freq [GHz]	re(Gamma(1:1)) : Setup1 : Sweep
1	4.000000	71.564850
2	4.500000	57.049326
3	5.000000	34.177203
4	5.500000	0.025164
5	6.000000	0.014839
6	6.500000	0.011893
7	7.000000	0.010434
8	7.500000	0.009569
9	8.000000	0.009006
10	8.500000	0.008623
11	9.000000	0.008355
12	9.500000	0.008166
13	10.000000	0.008033

بخش سوم: افزایش عرض موجبر و اثر آن بر ضریب تلفات

با افزایش عرض موجبر، فرکانس قطع ثابت است اما ضریب تلفات کاهش میابد. در این بخش با sweep کردن عرض موجبر با استفاده از parameter sweep بخش optimetric این عمل انجام گرفت.



شکل 5 - افزایش عرض موجبر و اثر آن بر ضریب تلفات

شکل رسم شده نیز با تنظیم پلات روی last adaptive بدست آمد. مقادیر دقیق هم به شرح زیر است

	b [mm]	re(Gamma(1:1)) : Setup1 : LastAdaptive : Freq='8.5GHz'
1	12.620000	0.008623
2	12.680000	0.008593
3	17.680000	0.006780
4	22.680000	0.005766
5	27.680000	0.005119
6	32.680000	0.004013
7	37.680000	0.003376
8	42.680000	0.003022
9	47.680000	0.002806
10	52.680000	0.002666
11	57.680000	0.002571
12	62.680000	0.002503
13	67.680000	0.002454



14	72.680000	0.002417
15	77.680000	0.002388
16	82.680000	0.002366
17	87.680000	0.002348
18	92.680000	0.002334
19	97.680000	0.002322
20	102.680000	0.002312
21	107.680000	0.002304
22	112.680000	0.002297
23	117.680000	0.002291
24	122.680000	0.002286
25	126.800000	0.002283

بخش چهارم: بررسی مودهای منتشر شده در TallGuide

در این بخش با سه برابر کردن عرض موجبر استاندارد ، یک Tallguide خواهیم داشت. مودهای منتشر شده در آن بدلیل تغییر عرض دارای فرکانس قطع پایین‌تری خواهند بود و در فرکانس کاری ۸٫۵ گیگاهرتز ۴ مد اول منتشر میشوند.

$$f_c = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{n}{a}\right)^2 + \left(\frac{m}{b}\right)^2} \rightarrow$$

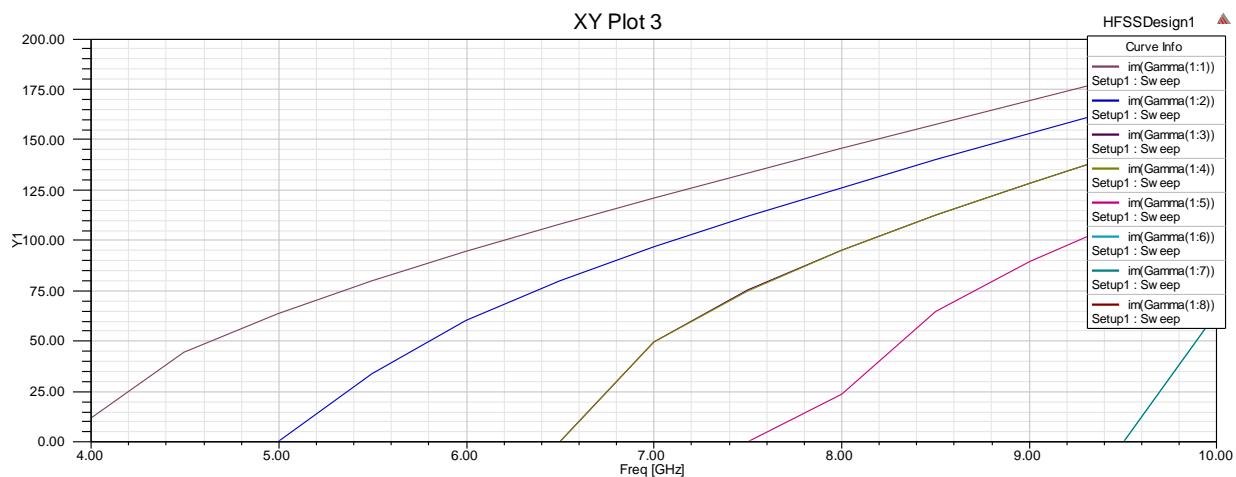
فرکانس های قطع محاسبه شده در جدول زیر آمده است. (n به صورت افقی زیاد میشود و m به صورت عمودی)

	0	1	2	3	4
0	0	3961965.1347 0682	7923930.269413 63	11885895.40412 04	15847860.53882 73
1	5263157.894 73684	6587715.7462 6313	9512597.013405 98	12999051.52627 00	16698967.47356 10
2	10526315.78 94737	11247243.743 6181	13175431.49252 63	15876959.20689 52	19025194.02681 20



3	15789473.68 42105	16278963.325 5011	17666243.23785 07	19763147.23878 94	22371011.66426 09
---	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

در این بخش نیز برای بررسی انتشار مدهای مختلف ، بخش موهومی گاما sweep فرکانسی شده است . نتایج شبیه سازی در hfss :



این در حالی است که در همین فرکانس در موجبر استاندارد فقط مد اول منتشر میشد.

برای WR_112 داریم :

	0	1
0	0	11885895
1	5263157	12999051
2	10526315	15876959

بخش پنجم: اطلاعات کلی در مورد TallGuide

این دسته از موجبرها Tallguide نامیده میشوند ، از آنجایی که عرض آن ها بزرگ شده است و تلفاتشان کمتر شده است مناسب برای مسافت های زیاد میباشد ، بنابراین در حالاتی که انتقال موج برای مسافت زیاد داریم از آن استفاده میکنیم.

Welcome to the Tallguide ®

Ultra low transmission loss Tallguide (TALLGUIDE ®) is a unique form of precision rectangular waveguide that **exhibits one tenth (1/10) the transmission line loss of standard WR type waveguide. For power users, Tallguide carries 5 times more power than ordinary waveguide.** Tallguide's virtual loss free transmission mode appeals to multi-mode waveguide technology where as many as 15 or more higher order modes may propagate. Tallguide has all necessary bends, twists and straight sections that are essential to lay out any waveguide run. A Tallguide run consists of transition units from standard waveguide into and out of Tallguide, H-plane bends, twists, straight sections and mode suppressor in-between. Tallguide enables the interfacility waveguide run distance, between the control room and transmitting antenna, to be specified for convenience. Tallguide is easy to install. Like waveguide, no special tools or alignments are necessary. Frequency range is 5 to 110 GHz.

شکل 6 - اطلاعاتی درباره‌ی Tallguide

طبق سایت <http://www.tallguide.com> تلفات به مقدار ۰٫۱ برابر و بیشترین توان قابل انتشار نیز به ۵ برابر افزایش میابد.

از Tallguide ها ، به طور نمونه ، برای انتقال موج بین اتاق کنترل و آنتن فرستنده استفاده میشود.

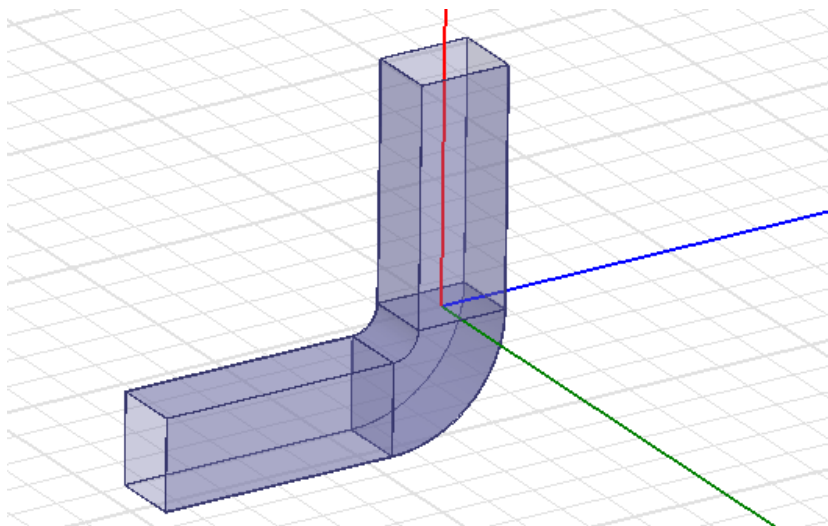
استفاده کلی آن در ایستگاه های ماهواره ای زمینی است که طی آن میتوان به طور کلی حدود ۲ برابر توان را بیشتر کرد و کمک میکند که آنتن کوچکتر داشته باشیم و توان ارسالی نیز بالاتر میرود.

مدل معادل Tallguide برای WR-112 مدل TG-170 میباشد.

<http://www.tallguide.com/tg170.html>

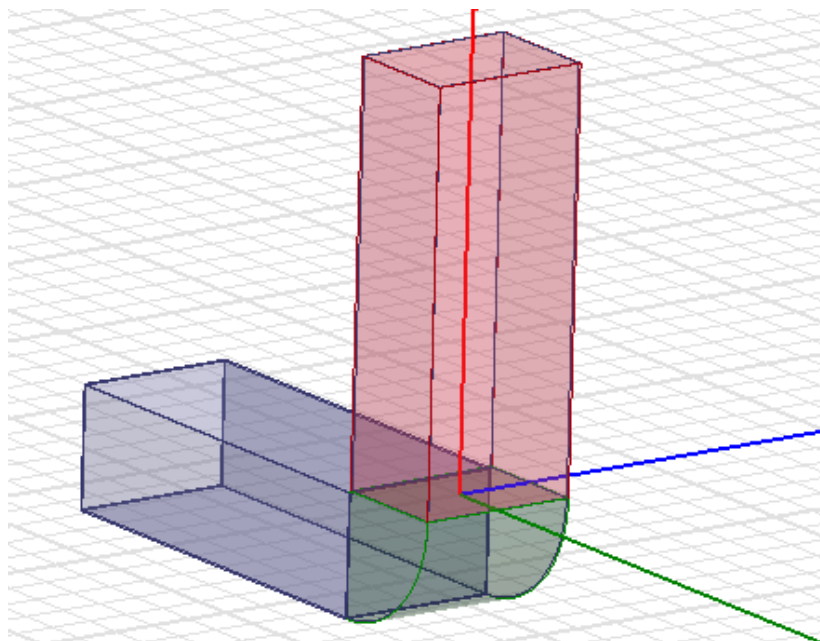
بخش ششم: بررسی ایجاد خم در صفحه های E و H

ایجاد خم در صفحه‌ی E: برای ایجاد این خم ابتدا یک مستطیل به اندازه سطح مقطع موجبر انتخاب شد و سپس با جابجایی آن و سویپ آن حول محور X خم لازم ایجاد شد. (راستای میدان E محور X است و راستای انتشار نیز محور Z است بنابراین برای ایجاد E-plane حول محور X سویپ شده است.)



شکل 7 - ایجاد خم در صفحه‌ی E

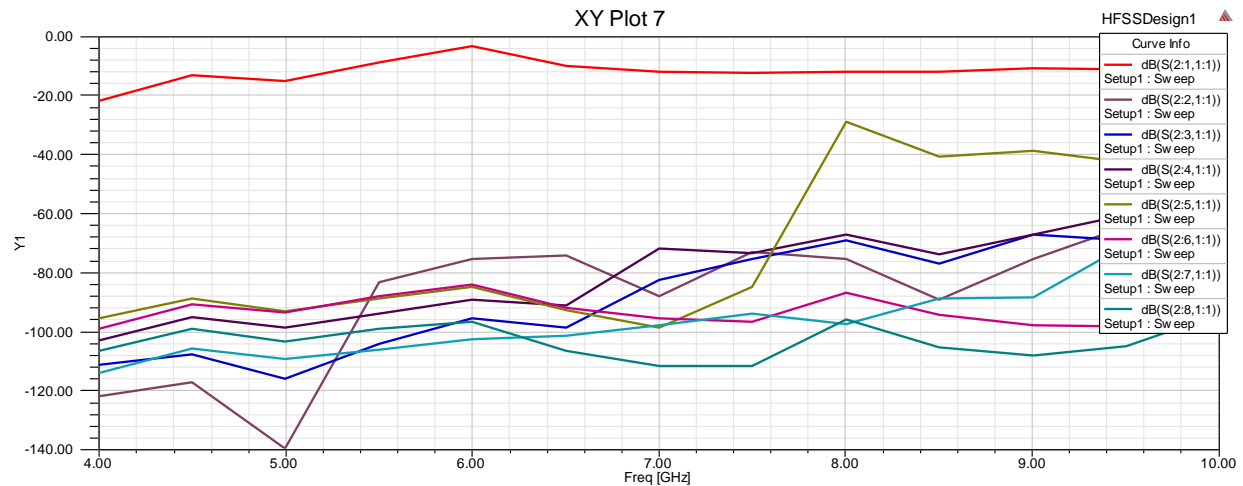
ایجاد خم در صفحه‌ی H: به همین ترتیب مانند قسمت قبل



شکل 8 - ایجاد خم در صفحه‌ی H

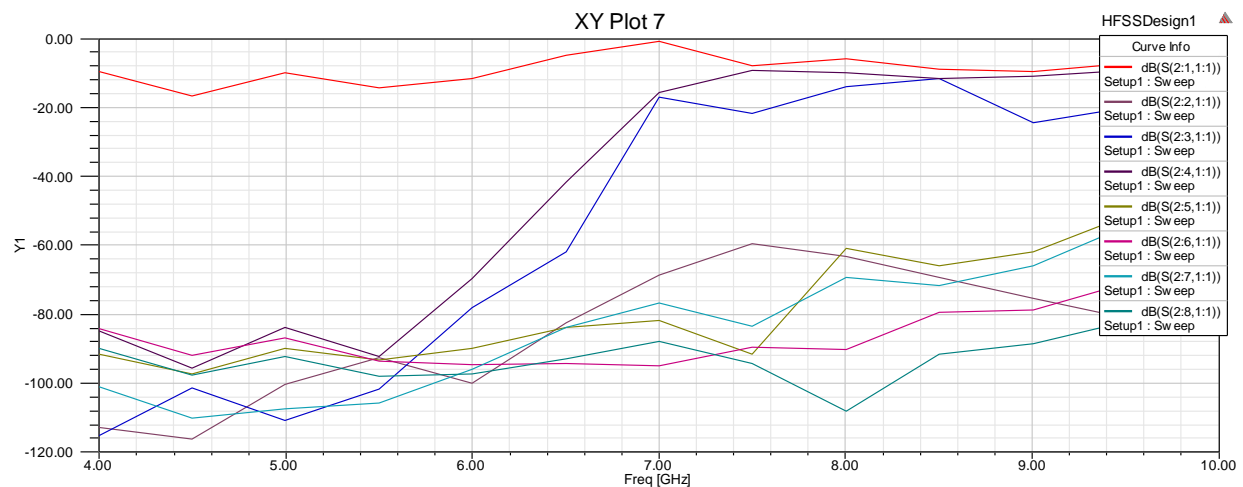
برای یافتن شعاع مناسب جهت ایجاد خم در E-plane و H-plane روی شعاع آن sweep انجام دادیم.

90° bend E-plane - radius = 45mm



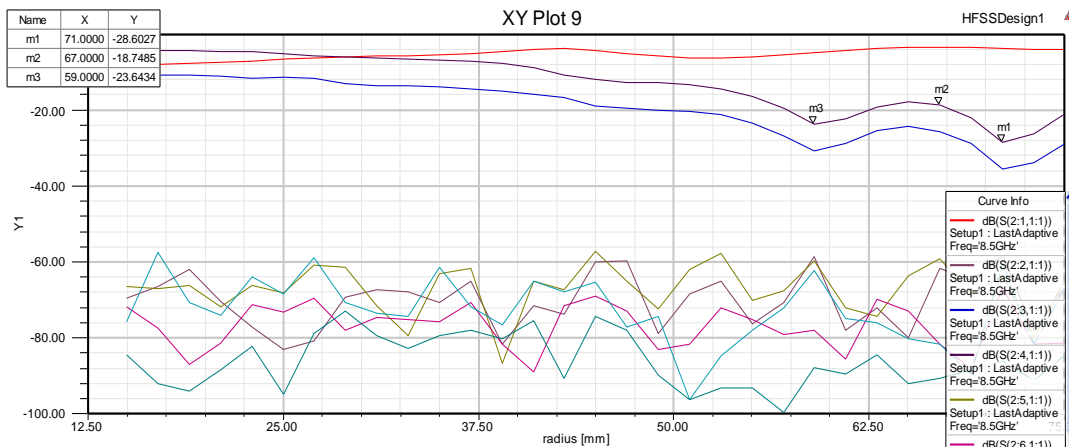
شکل 9 - ایجاد خم ۹۰ درجه در صفحه E با شعاع 45 mm

90° bend H-plane – radius = 35mm



شکل 10 - ایجاد خم ۹۰ درجه در صفحه H با شعاع 35 mm

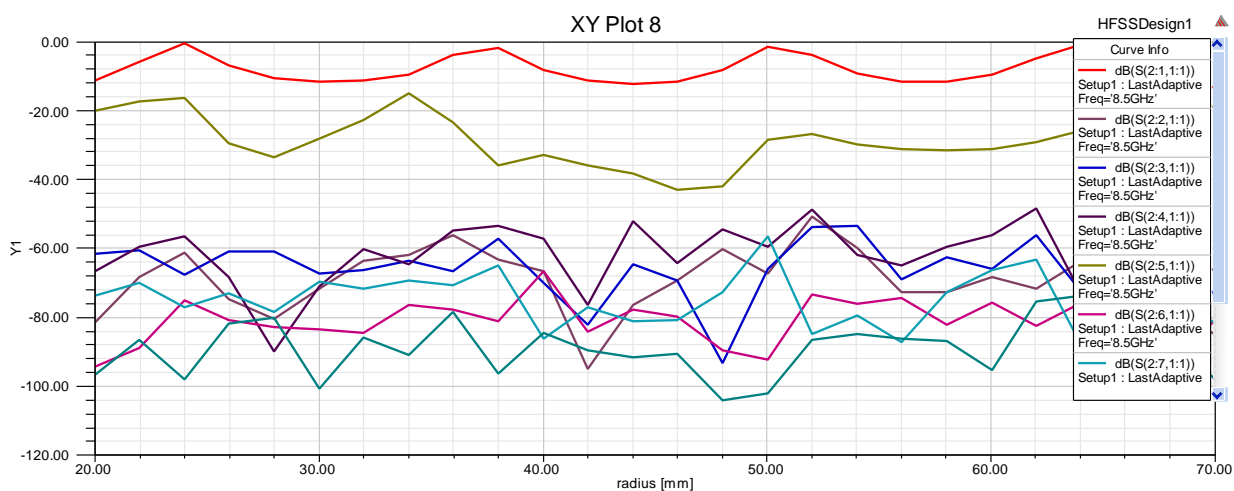
مشاهده میشود که با ایجاد خم ۹۰ درجه در صفحه H مد اول به مدهای دیگر کوپل شده است. بدین منظور با تغییر شعاع خواهیم داشت :



شکل ۱۱ - سویپ روی شعاع برای یافتن مقدار مناسب آن برای ایجاد خم در صفحه H

در شعاع های ۷۱ و ۵۹ میلیمتر مقادیر مناسبی جهت ایجاد خم ۹۰ درجه در صفحه H را خواهیم داشت. این مقدار با datasheet محصول مورد نظر نیز مطابقت دارد.

همین کار را نیز برای صفحه E انجام دادیم که نتیجه مورد نظر در مقادیر ۲۴ و ۳۸ و ۵۰ میلیمتر کاملاً مناسب بود.

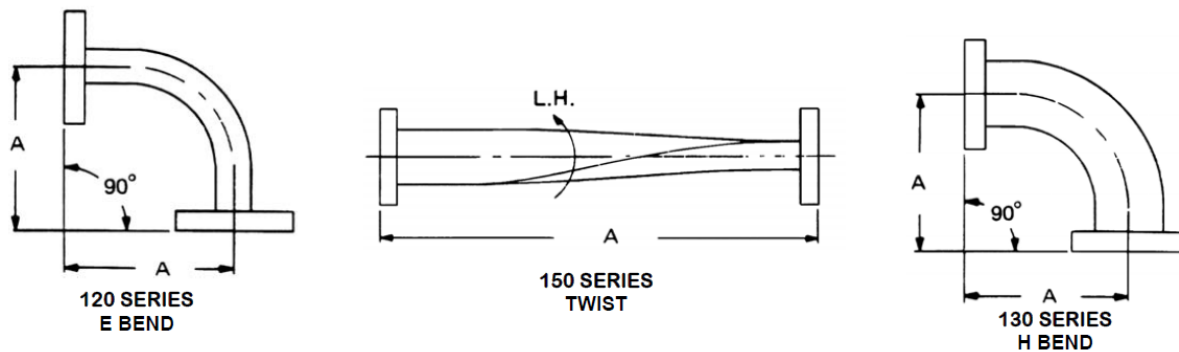


شکل ۱۲ - سویپ روی شعاع برای یافتن مقدار مناسب آن برای ایجاد خم در صفحه E

طبق datasheet داریم : (مقادیر به اینچ وارد شده که تبدیل آن به mm همان نتیجه های بالا را میدهد).

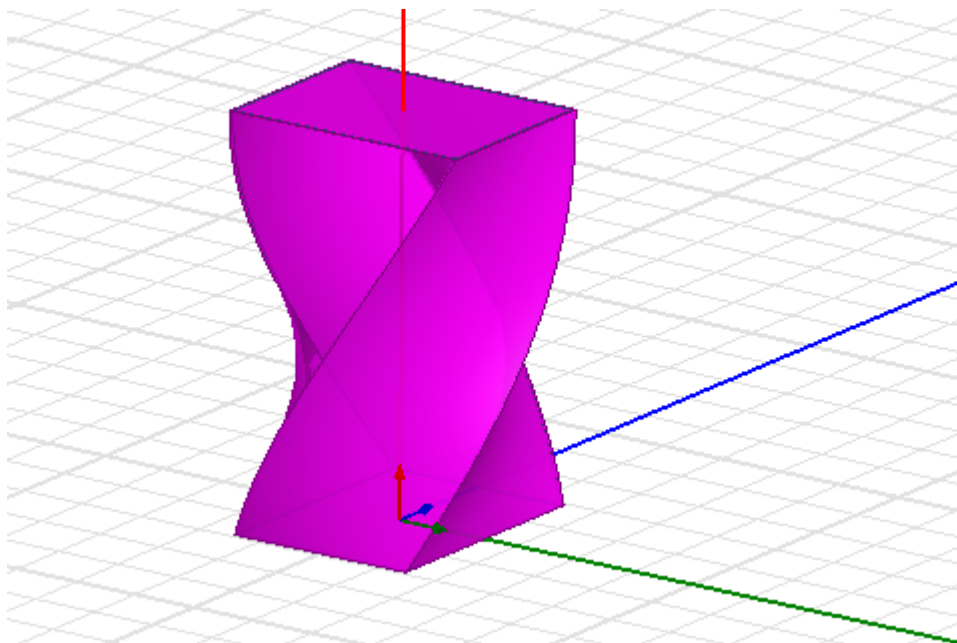
FREQUENCY (GHz)	WAVEGUIDE SIZE	STRAIGHT SECTION	E PLANE BEND		H PLANE BEND		TWIST		MATERIAL
		MODEL NO.	MODEL NO.	A	MODEL NO.	A	MODEL NO.	A	
STANDARD WAVEGUIDE									
1.0 – 1.45	WR770	E10	E120	24.0	E130	24.0	E150	—	A
1.12 – 1.70	WR650	L10	L120	15.0	L130	15.0	L150	24.0	A
1.45 – 2.20	WR510	LM10	LM120	15.0	LM130	15.0	LM150	24.0	A
1.70 – 2.60	WR430	LA10	LA120	15.0	LA130	15.0	LA150	24.0	A
2.20 – 3.30	WR340	LS10	LS120	12.0	LS130	12.0	LS150	24.0	A
2.60 – 3.95	WR284	S10	S120	4.75	S130	6.50	S150	11.0	A,C
3.30 – 4.90	WR229	B10	B120	5.00	B130	8.00	B150	12.0	A,C
3.95 – 5.85	WR187	G10	G120	3.00	G130	4.50	G150	8.0	A,C
4.90 – 7.05	WR159	D10	D120	4.25	D130	4.25	D150	7.0	A,C
5.85- 8.20	WR137	J10	J120	2.38	J130	2.75	J150	6.0	A,C
7.05 – 10.0	WR112	H10	H120	1.50	H130	2.63	H150	6.0	A,C
7.0 – 11.0	WR102	W10	W120	2.31	W130	2.63	W150	6.0	A,C

شکل 13 - اطلاعات datasheet برای ایجاد خم مناسب



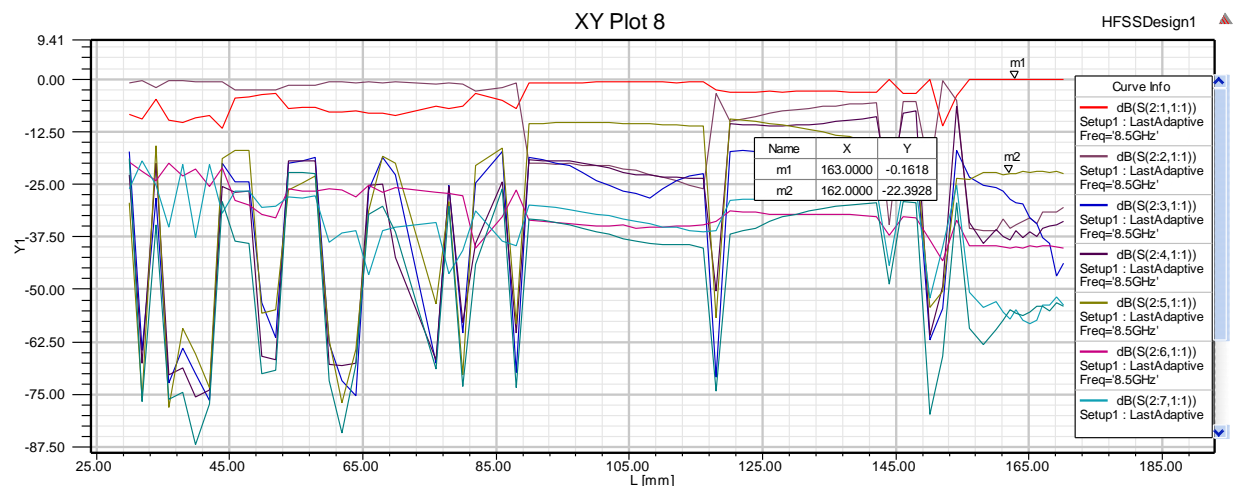
شکل 14 - شکل‌های datasheet برای ایجاد خم و twist مناسب

بخش هفتم : طراحی موجبر Twist



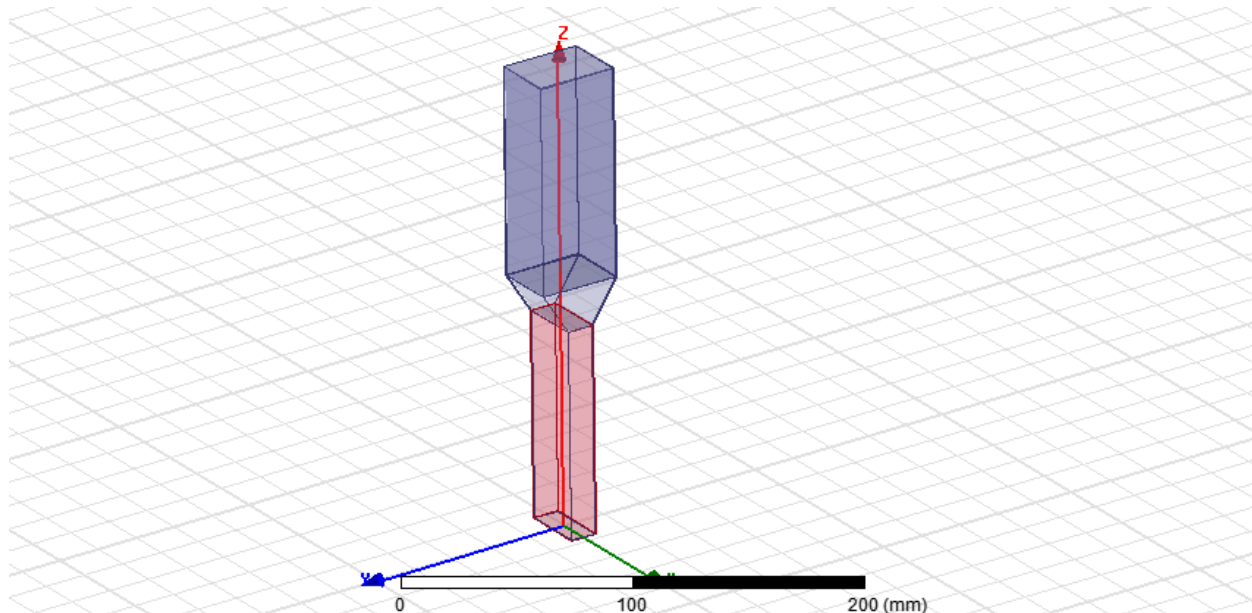
شکل 15 - موجبر Twist

این شکل با sweep along path ایجاد شد بدین ترتیب که خطی مسیر حرکت مستطیل را مشخص و مستطیل حول این خط ۹۰ درجه sweep شد. برای ارتفاع این موجبر نیز یک parameter sweep روی ارتفاع انجام گرفت که نتیجه آن برای مقادیر بزرگتر از ۱۶۰ میلیمتر مناسب بود.



شکل 16 - سوییچ روی ارتفاع موجبر برای یافتن مقدار مناسب آن در حالت موجبر Twist

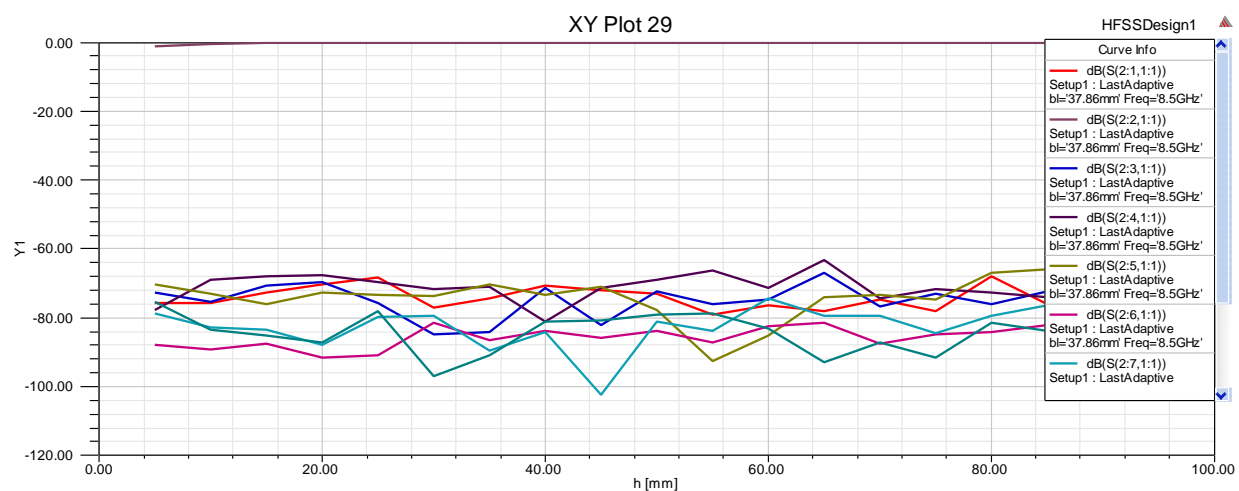
بخش هشتم: طراحی ساختار گذر مناسب بین موجبر استاندارد و Tallguide



شکل ۱۷ - ساختار گذر بین موجبر استاندارد و tallguide

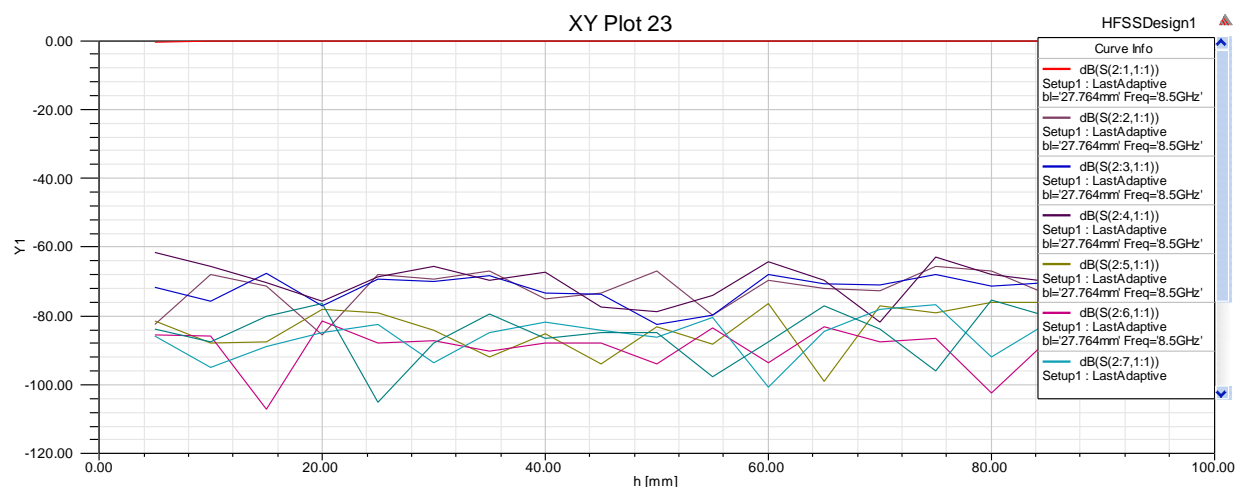
در این بخش با ایجاد یک transition مناسب از موجبر استاندارد به Tallguide می‌خواهیم به ساختار گذری برسیم که مد اول به مدهای دیگر کوپل نشود. این ساختار از این جهت مناسب است که همانند یک تطبیق امپدانس عمل میکند و تغییرات شدید و پله مانند نخواهیم داشت که موجب تبدیل مد شود.

این نتیجه با تغییرات ارتفاع ساختار گذر حاصل نشد. در این حالت مد اول کاملاً به مد دوم تبدیل میشود.



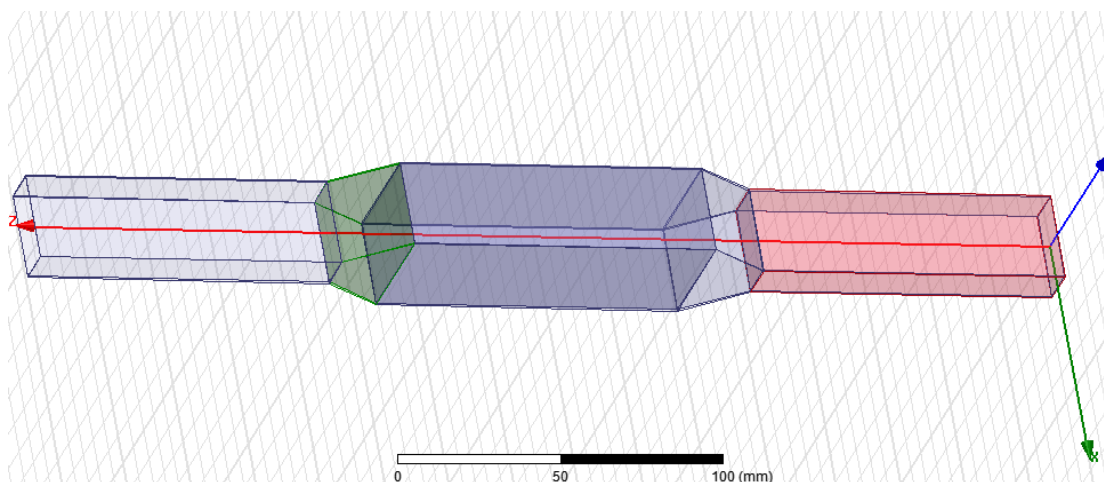
شکل ۱۸ - سوییچ روی ارتفاع بخش گذر در حالتی که عرض tallguide ۳ برابر عرض موجبر استاندارد می‌باشد

اما با کمی کوچکتر کردن عرض Tallguide این مهم حاصل میشود. (عرض Tallguide را در این حالت برابر ۲۷٫۷ قرار داده و sweep کردیم که نتیجه مناسب در این حالت حاصل شد.) در این حالت عرض Tallguide ۲٫۲ برابر موجبر استاندارد شده است.

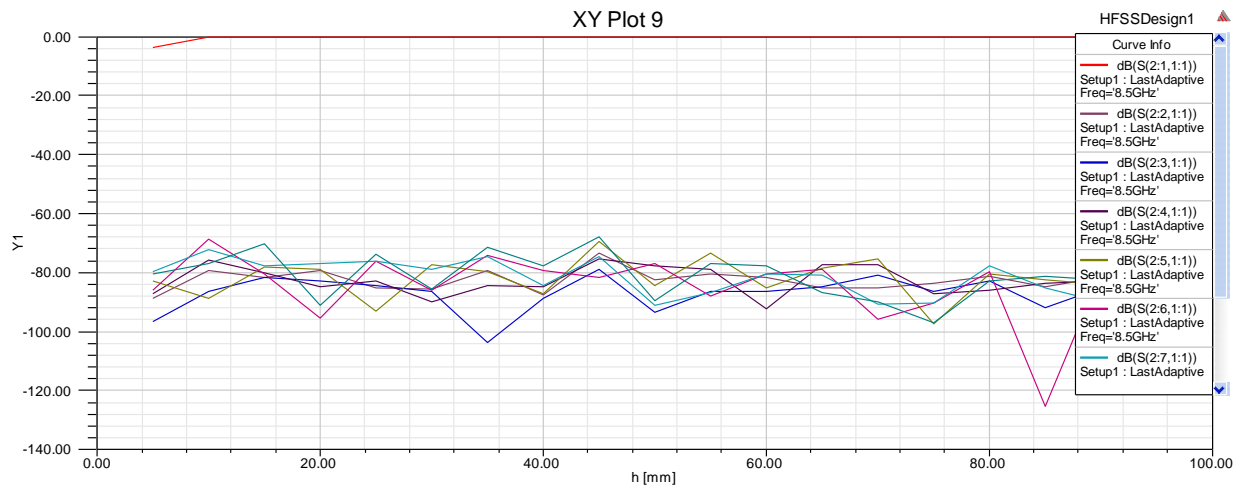


شکل ۱۹ - سوییچ روی ارتفاع بخش گذر در حالتی که عرض Tallguide ، ۲٫۲ برابر عرض موجبر استاندارد می‌باشد

در این بخش به بررسی حالتی دیگر از حالت گذر می‌پردازیم، به این صورت که از آنجایی که طراحی این گونه تبدیل ها برای آن است که Tallguide ها دارای تلفات کم هستند و از آنها برای مسافت زیاد استفاده میشود و سپس دوباره یک تبدیل قرار داده میشود ، که طی آن دوباره به موجبر استاندارد برمیگردیم.



شکل ۲۰ - بررسی ساختار گذر وقتی مجدداً در بخش انتهایی موجبر استاندارد قرار می‌دهیم.



شکل 21 - سوییچ روی ارتفاع بخش گذر در حالتی که در بخش انتهایی موجبر مجدداً از موجبر استاندارد استفاده شده است.

در این حالت در سایر طول های بخش گذر که بزرگتر از ۱۰ میلیمتر می باشند، برای ساختار گذر مناسب است. طراحی این ساختار گذر نیز بدین ترتیب است که دو موجبر کنار همدیگر قرار گرفته سپس دوزنقه ای به عنوان سطح مقطع بین دو موجبر قرار گرفته (با ایجاد یک محیط بسته توسط خط ها) سپس sweep along path بدون زاویه انجام میشود.

مراجع

- 1 - <http://www.tallguide.com>
- 2 - <http://www.tallguide.com/tg170.html>
- 3 – Microwave Engineering Corporation (m.e.c) Rectangular Waveguides datasheet
- 4 - <http://www.microwaveeng.com/>