

# معرفی، تحلیل و شبیه سازی موجبر مجتمع شده در زیر لایه

علی شهیدی صادقی  
دانشگاه صنعتی امیرکبیر



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
( پلی تکنیک تهران )

# موارد مورد بررسی

- مقدمه
- معرفی خط انتقال siw
- نگاهی اجمالی بر موجبر مستطیلی
- تحلیل خط انتقال siw
- طراحی و شبیه سازی خط انتقال siw

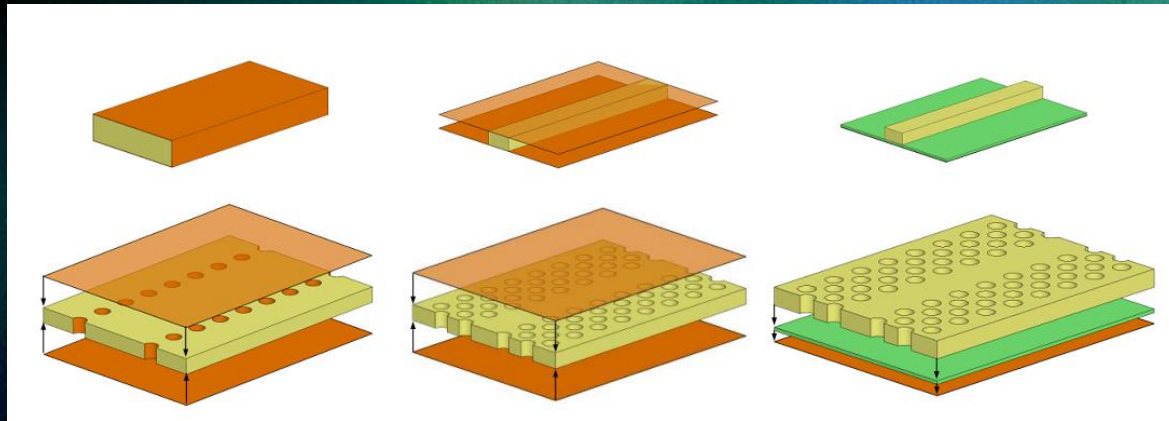


## مقدمه

- موجبر مجتمع شده در زیر لایه (SIW) نوع جدیدی از خطوط انتقال هستند که می توانند در مدارهای فعال و غیر فعال مورد استفاده قرار گیرند.
- این خطوط ویژگی های مثبت خطوط انتقال صفحه ای ابعاد کوچک و قابلیت مجتمع سازی دارند و هم دارای ضریب کیفیت و کارایی بالایی هستند.

# معرفی خط انتقال siw

• ساختار موجبر مجتمع در زیر لایه ، از دو لایه هادی در بالا و پایین زیر لایه تشکیل شده که این هادی ها توسط دو ردیف وایای فلزی که در دو ردیف قرار گرفته اند، به یکدیگر متصل می شوند.





# نگاهی اجمالی بر موجبر مستطیلی

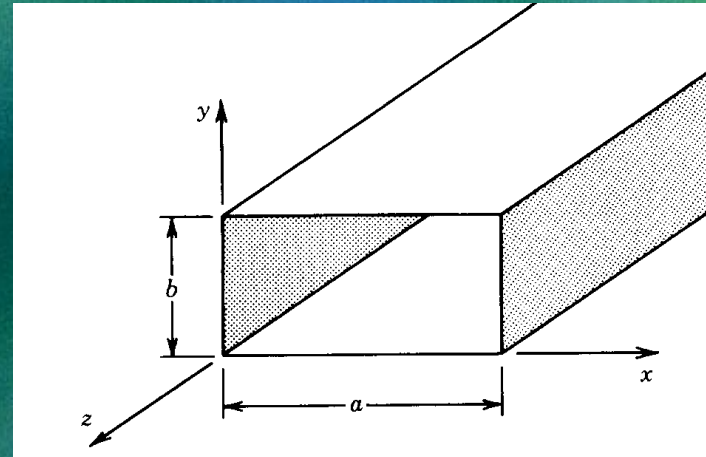
SiW تا حد زیادی شبیه به یک موجبر مستطیلی رفتار می کند، با این تفاوت که ردیفی از وایا های فلز اندود شده، جایگزین دیواره های فلزی موجبر شده اند. برای مد غالب  $TE_{01}$  داریم :

$$E_z = 0, E_x = 0, H_y = 0,$$

$$H_z = A_{10} \cos\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z}$$

$$E_z = \frac{-j\omega\mu a}{\pi} A_{10} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z}$$

$$H_x = \frac{j\beta a}{\pi} A_{10} \sin\left(\frac{\pi x}{a}\right) e^{-j\beta z}$$

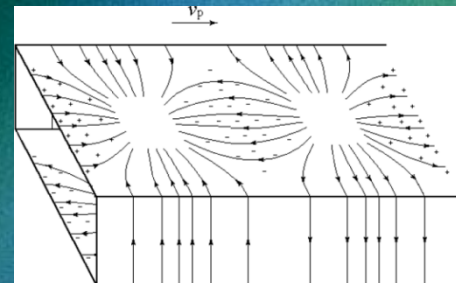
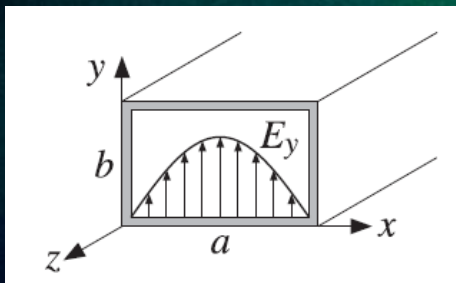


# نگاهی اجمالی بر موجبر مستطیلی

• برای بدست آوردن جریان های سطحی می توانیم از رابطه زیر استفاده کنیم.

$$J = n \times H$$

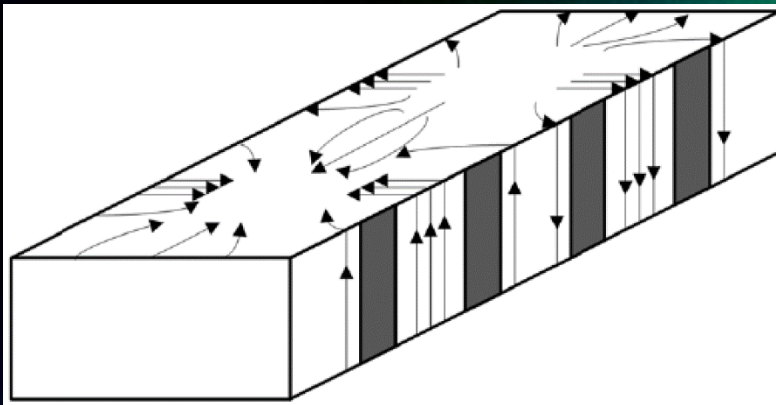
• بر اساس معادلات میدان ها می توان میدان الکتریکی موجود در موجبر را ترسیم کرد.  
• همچنین توزیع جریان های سطحی را بر اساس معادلات میدان بر روی بدنه موجبر نشان داد.





# مودهای انتشاری SIW

می توان ساختار SIW را با تقریب مناسبی به صورت یک موجبر مستطیلی خاص در نظر گرفت که چند شکاف عمودی بر روی دیواره های جانبی آن ایجاد شده است.



اگر این شکاف ها جریان ها را قطع کنند، مقدار قابل توجهی از توان انتقالی به صورت تشعشعی تلف می شود. و اگر این شکاف ها هم جهت با جریان های سطحی روی دیواره جانبی موجبر باشند مقدار ناچیزی تلف می شود.

# مودهای انتشاری SIW

- در یک مود TM مولفه های عرضی میدان مغناطیسی در مجاورت دیواره های جانبی، باعث ایجاد جریان های سطحی طولی روی این دیواره ها می شود.
- در نتیجه مودهای TM نمی توانند بر روی یک موجبر مستطیلی با شکاف های عمودی متوالی بر روی دیواره جانبی آن منتشر شوند.
- به طور مشابه برای مودهای  $TE_{mn}$  که در آنها  $n$  مخالف صفر است نیز به دلیل تلف تشعشعی زیاد نمی توانند در SIW منتشر شوند.



# روش های تحلیل عددی موجرها مجتمع شده در زیر لایه

روش ممان

✓ بر روی استوانه های هادی کامل جریان های مجهول فرض می شود و از شرط صفر شدن مولفه مماسی میدان الکتریکی بر روی این سطوح برای محاسبه این جریان ها استفاده می شود.

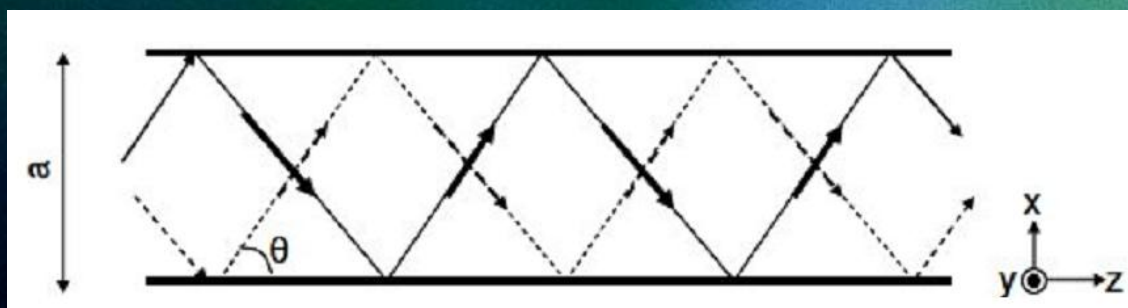
✓ از آنجا که در محاسبه این جریان ها به مجموعه ای از توابع هنکل برخورد می کنیم، سرعت همگرایی این روش تا حد زیادی کاهش می یابد

روش FDTD

✓ وجود تلفات نشتی سبب می شود که محاسبه ی دقیق ثابت تضعیف با مشکل روبرو شود و در نتیجه این روش کارآیی مطلوب را نداشته باشد

# تحلیل با استفاده از مفهوم امپدانس سطحی

- تحلیل مود  $TE_{10}$
- در یک موجبر مستطیلی، مود  $TE_{10}$  را می توان به صورت مجموع دو موج صفحه ای که با زاویه  $\theta$  نسبت به جهت انتشار در حال حرکت هستند، نشان داد.
- در فرکانس قطع، زاویه  $\theta$  برابر  $90^\circ$  خواهد شد و در حالت کلی در فرکانس قطع بخش حقیقی و موهومی ثابت انتشار با یکدیگر برابر می شوند.



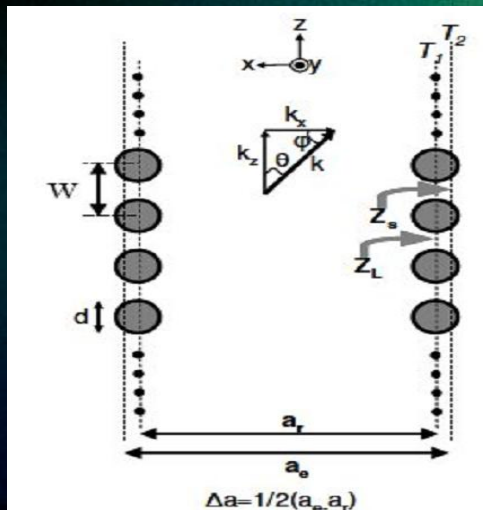


# تحلیل با استفاده از مفهوم امپدانس سطحی

برای استفاده از روش امپدانس سطحی، مطابق شکل هر یک از ردیف های وایاها را با یک امپدانس نرمالیزه  $Z_L$  معادل می کنیم که مستقیماً از رابطه  $Z_L = 1 + \Gamma / 1 - \Gamma$  بدست می آید.

$$z_L = r_L + jx_L = \frac{z_s + j \tan(k_c \Delta a)}{1 + z_s \tan(k_c \Delta a)}$$

با فرض  $A = \tan(k_c \Delta a)$



# تحلیل با استفاده از مفهوم امیدانس سطحی

$$z_L = \frac{z_s + jA}{1 + jz_s A}$$

• با مساوی قرار دادن بخش‌های حقیقی و موهومی رابطه بالا داریم:

$$r_s = \frac{r_L}{1 + A(r_L + x_L)}$$

$$x_s = \frac{A - x_L}{(r_L A - x_L A - 1)}$$

$$\Delta a = \frac{\tan^{-1} A}{k_c}$$

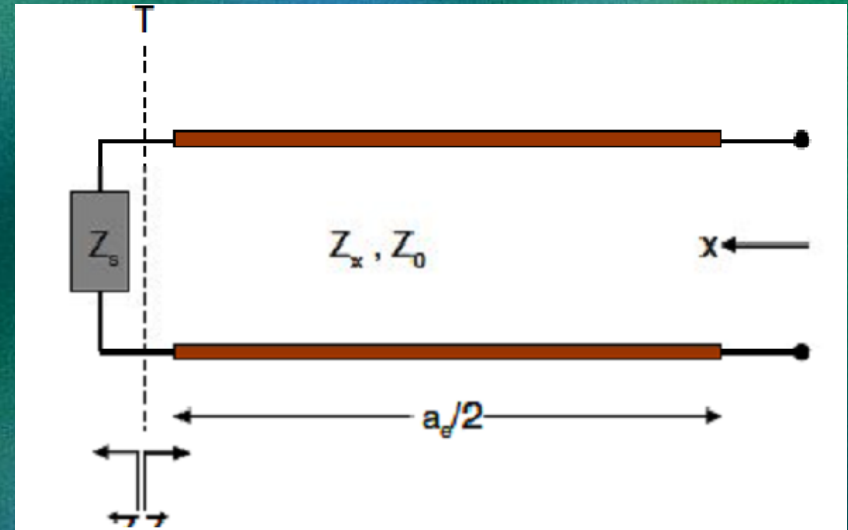


# تحلیل با استفاده از مفهوم امپدانس سطحی

- زمانی که امپدانس سطحی معادل صفر است ( $Z_s = 0$ ) موجبر بدون تلف می باشد و عرض معادل برابر است با  $a_e = \frac{\lambda_c}{2}$
- اگر امپدانس سطحی صفر نباشد در این صورت عرض معادل برابر نصف طول موج نخواهد بود. لذا از شیوه تشدید عرضی استفاده می کنیم.

$$r_s(1 + j) - j \cot\left(\frac{k_x a_e}{2}\right) = 0$$

$$k_x = \frac{2}{a_e} \cot^{-1}(r_s(1 - j))$$



# تحلیل با استفاده از مفهوم امیدانس سطحی

• در فرکانس قطع داریم:

$$k_z^2 = k_c^2 - k_x^2$$

$$k_z = k_{zr} + jk_{zi}$$

$$k_x = k_{xr} + jk_{xi}$$



$$k_c^2 = k_{xr}^2 - k_{xi}^2$$



$$a_e = \frac{2}{k_c} \sqrt{\operatorname{Re}\{\cot^{-1}(r_s(1-j))\}^2 - \operatorname{Im}\{\cot^{-1}(r_s(1-j))\}^2}$$



$$a_r = a_e - 2\Delta a$$



# طراحی موجبر مجتمع شده در زیر لایه

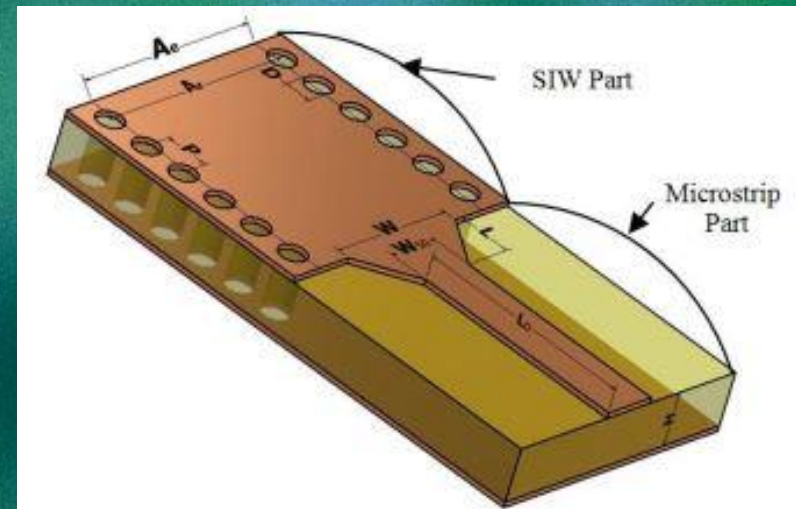
● مطابق شکل داریم:

$P$  = فاصله بین وایاها

$D$  = قطر وایاها

$A_r$  = عرض موجبر مجتمع شده

$A_e$  = عرض معادل موجبر مجتمع شده



# طراحی موجبر مجتمع شده در زیر لایه

- فاصله بین وایاها ( P ) و قطر وایاها ( D ) تلفات تشعشی و تضعیف بازگشتی را کنترل می کنند.

$$D < \frac{\lambda_g}{5}$$

$$P \leq 2D$$

- همچنین  $A_r$  فرکانس قطع را مشخص می کند.

$$f_c = \frac{c}{2\sqrt{\epsilon_r}} \left( A_r - \frac{D^2}{0.95P} \right)^{-1}$$



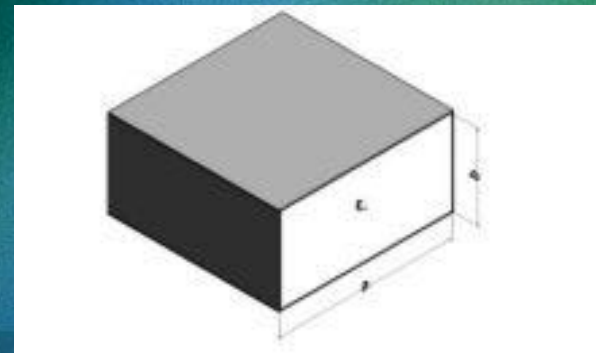
# طراحی موجبر مجتمع شده در زیر لایه

- عرض معادل SIW ،  $A_e$  عرضی از موجبر مستطیلی می باشد که دارای مشخصات انتشار یکسانی در SIW دارد.

$$A_e = \frac{a}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

- که  $a$  برابرست با عرض پهن موجبر مستطیلی
- با استفاده از این رابطه می توانیم عرض موجبر مجتمع شده را بدست آوریم

$$A_r = A_e + \frac{D^2}{0.95P}$$



# شیه سازی موجر مجتمع شده در زیر لایه

- فرض کنید می خواهیم یک ساختار siw در باند X طراحی کنیم.
- موجر استاندارد در این باند فرکانسی WR-90 می باشد.

$$a = 22.86mm \quad b = 10.16mm$$

- با استفاده از روابط بخش قبل برای زیرلایه Roger's 4350 داریم :

$$A_e = 12.25mm$$

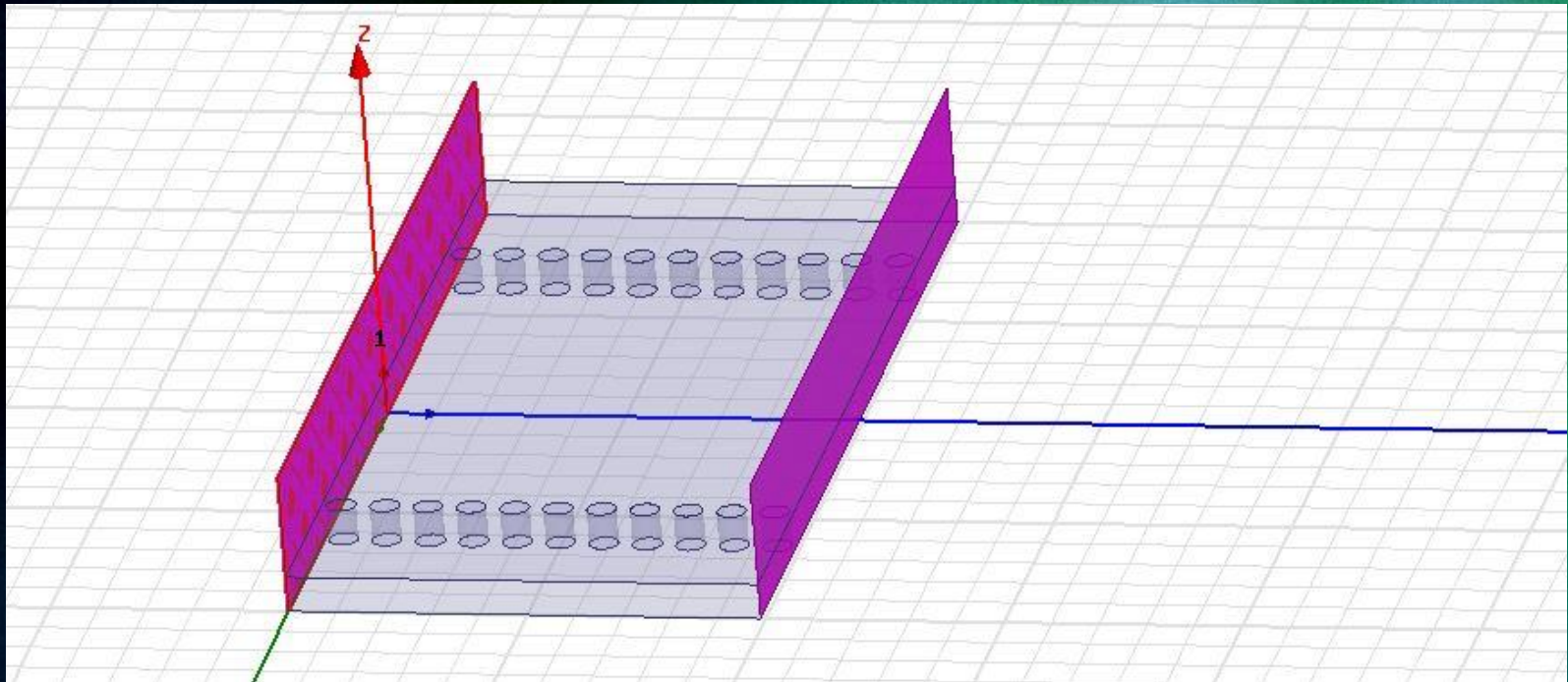
$$D = 0.61mm$$

$$P = 0.91mm$$



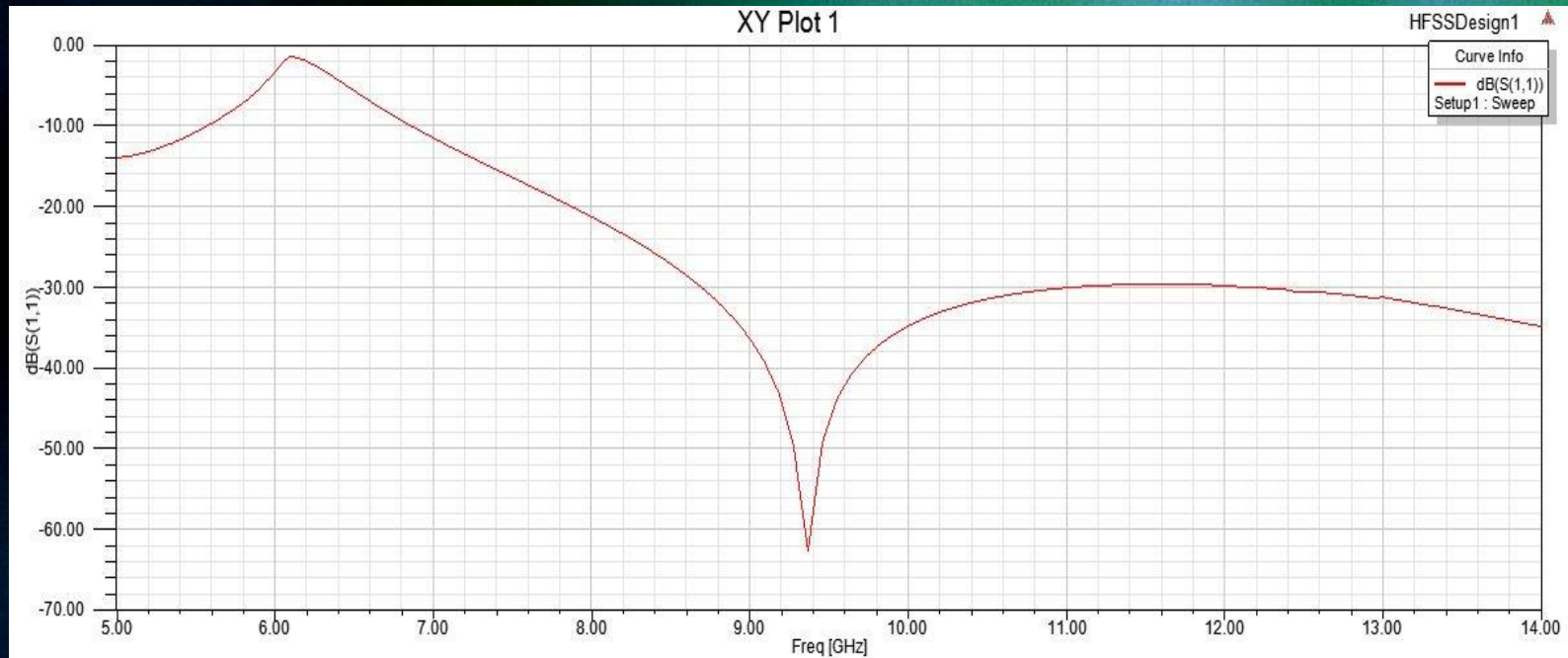
# شبیه سازی موجبر مجتمع شده در زیر لایه

● شبیه سازی در نرم افزار HFSS



# شبه سازی موجبر مجتمع شده در زیر لایه

• نتایج شبه سازی  $s_{11}$





# شبه سازی موجبر مجتمع شده در زیر لایه

نتایج شبه سازی  $s_{21}$



باتشکر از توجه شما