

«باسمه تعالی»



«گزارش کار پروژه»
درس مدارهای الکتریکی و الکترونیکی



طراحی و تدوین:

مهدی رحمانی

9731701

چکیده

در این پروژه قرار است باتوجه به مدار داده شده که جلوتر در قسمت شرح پروژه آورده خواهد شد ؛ آن را در نرم افزار Orcad مدل سازی و سپس شبیه سازی کنیم.

پروژه ی مذکور در 6 مرحله، مدار گفته شده را مورد بررسی قرار میدهد و در هر مرحله با انتخاب درست حالت شبیه سازی و انجام محاسبات ، موارد خواسته شده در شرح پروژه را انجام می دهیم.

همچنین قسمت تئوری مربوط به هربخش در ادامه ی آن آمده است.

کلید واژه ها:

Orcad ، فرکانس تشدید ، امپدانس معادل، فیلتر، مدار معادل تونن

فهرست مطالب

صفحه

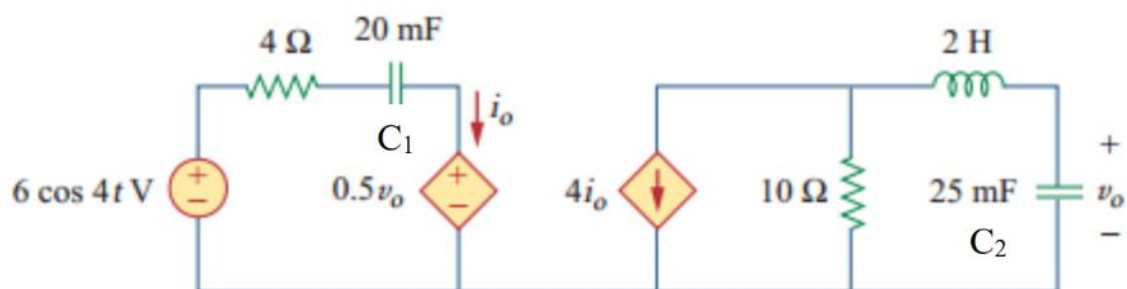
1	مقدمه.....
2	فصل اول.....
2	رسم خروجی V_o بر حسب زمان.....
5	فصل دوم.....
5	رسم امپدانس ورودی مدار.....
8	فصل سوم.....
8	فرکانس تشدید.....
11	فصل چهارم.....
11	تاثیر اندازه المانها بر خروجی مدار.....
13	فصل پنجم.....
13	بررسی رفتار فیلتری.....
15	فصل ششم.....
15	مدار معادل تونن از دید خروجی.....

- شکل الف _ مدار صورت پروژه..... 1
- شکل 1-1- تنظیمات شبیه ساز برای گرفتن خروجی..... 2
- شکل 1-2- مدار بسته شده در شبیه ساز برای رسم نمودار خروجی..... 3
- شکل 1-3- نمودار ولتاژ ورودی مدار برحسب زمان..... 3
- شکل 1-4- نمودار ولتاژ خروجی مدار برحسب زمان..... 3
- شکل 1-2- مدار بسته شده در شبیه ساز برای رسم امپدانس..... 5
- شکل 2-2- تنظیمات شبیه ساز برای گرفتن خروجی..... 5
- شکل 2-3- نمودار ولتاژ و جریان برحسب فرکانس..... 6
- شکل 2-4- تنظیمات Add Trace برای نمودار دامنه ی امپدانس..... 6
- شکل 2-5- دامنه امپدانس ورودی..... 7
- شکل 2-6- تنظیمات Add Trace برای نمودار فاز امپدانس..... 7
- شکل 2-7- فاز امپدانس ورودی..... 7
- شکل 3-1- تنظیمات Add Trace برای نمودار قسمت موهومی امپدانس..... 9
- شکل 3-2- نمودار قسمت موهومی امپدانس ورودی..... 9
- شکل 3-3- نمودار نشان دهنده ی فرکانس تشدید..... 10
- شکل 4-1- مدار بسته شده برای بررسی تاثیر امان ها بر خروجی مدار..... 11
- شکل 4-2- تنظیمات شبیه ساز برای خازن C_1 11
- شکل 4-3- تنظیمات شبیه ساز برای خازن C_2 12
- شکل 4-4- نمودار خروجی V_o به ازای تغییرات اندازه خازن های C_1 و C_2 12
- شکل 5-1- نمودار نشان دهنده ی ولتاژ خروجی و ورودی برحسب فرکانس..... 13
- شکل 5-2- نمودار اندازه $\frac{V_o}{V_i}$ 13
- شکل 5-3- نمودار فاز $\frac{V_o}{V_i}$ 14
- شکل 6-1- مدار بسته شده برای به دست آوردن ولتاژ تونن..... 15
- شکل 6-2- تنظیمات شبیه ساز برای به دست آوردن مقاومت تونن..... 15
- شکل 6-3- مقدار ولتاژ مدار باز..... 16
- شکل 6-4- مقدار فاز ولتاژ مدار باز..... 16
- شکل 6-5- مدار بسته شده برای به دست آوردن جریان نورتن..... 17

- شکل 6-6- مقدار جریان اتصال کوتاه..... 17
- شکل 6-7- مقدار فاز جریان اتصال کوتاه..... 18
- شکل 6-8- مدار بسته شده برای به دست آوردن ولتاژ تونن (حالت 2)..... 18
- شکل 6-9- مقدار ولتاژ مدار باز (حالت دوم)..... 19
- شکل 6-10- مقدار فاز ولتاژ مدار باز (حالت دوم)..... 19
- شکل 6-11- مدار بسته شده برای به دست آوردن جریان نورتن (حالت دوم)..... 19

مقدمه

شرح آزمایشی که باید انجام شود به صورت زیر میباشد. در این آزمایش خواسته شده است که با توجه به مدار داده شده مقادیر گفته شده در سوال را به دست آوریم.



شکل الف-مدار صورت پروژه

1. رسم خروجی V_o بر حسب زمان
2. رسم امپدانس ورودی مدار (رسم اندازه و فاز امپدانس)
3. فرکانس تشدید مدار را به دست آورید.
4. نمودار خروجی V_o به ازای تغییرات اندازه خازن های C_1 و C_2 از 10 mF تا 50 mF
5. بررسی رفتار فیلتری
6. معادل تونن از دید خروجی

فصل اول

رسم خروجی V_o بر حسب زمان

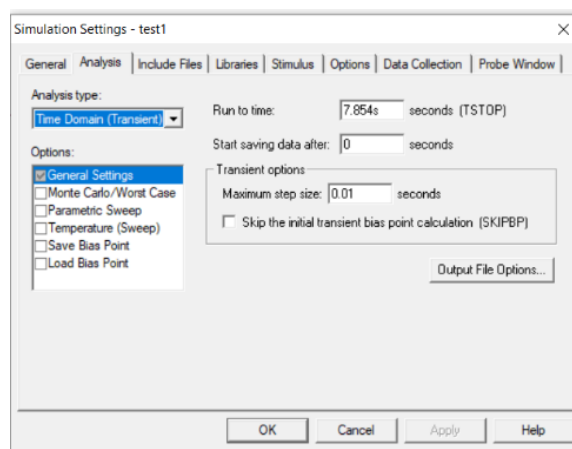
ابتدا مدار داده شده را باید در اورکد ببندیم. باید دقت شود که منبع ولتاژ به صورت کسینوسی می باشد و برای این کار کافی است که از منبع سینوسی استفاده کنیم و با ایجاد $\frac{\pi}{2}$ اختلاف فاز آن را به کسینوسی تبدیل کنیم.

همچنین در مشخصات منبع گفته شده که یک منبع $V \cos(4t)$ داریم که بنابراین $V_{AMPL}=6V$ و $V_{OFF}=0$ می باشد هم چنین مقدار FREQ نیز برابر با $\frac{\omega}{2\pi}$ می باشد که در اینجا برابر با $\frac{4}{2\pi}$ می باشد.

در این قسمت باید تحلیل مدار به صورت Time domain باشد. برای تعیین TSTOP باید دوره ی تناوب مدار را به دست آوریم که برابر با $T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{4} = 1.5708s$ می باشد و سپس آن را حداقل 5 برابر کنیم که میشود: $TSTOP = 5 \times 1.5708 = 7.8542s$

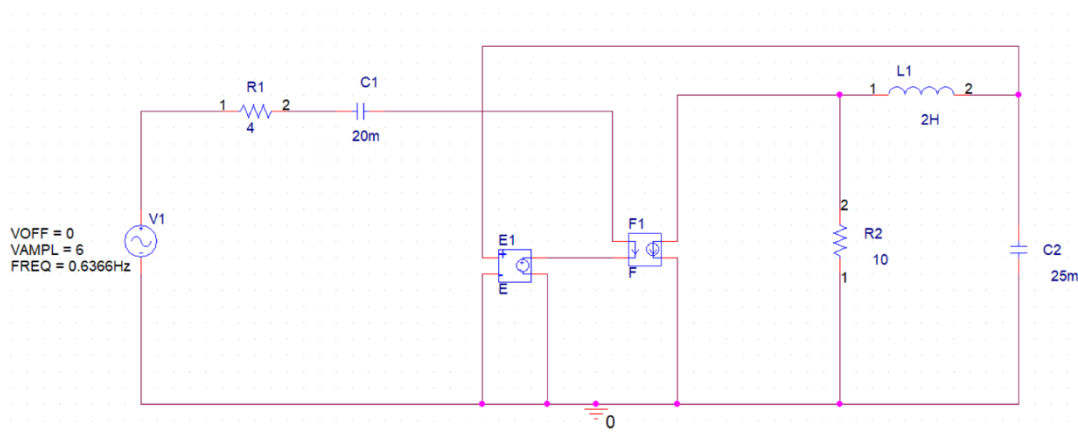
البته میتوان این عدد را حدودا 8 در نظر گرفت.

تنظیمات شبیه سازی به صورت زیر میشود:



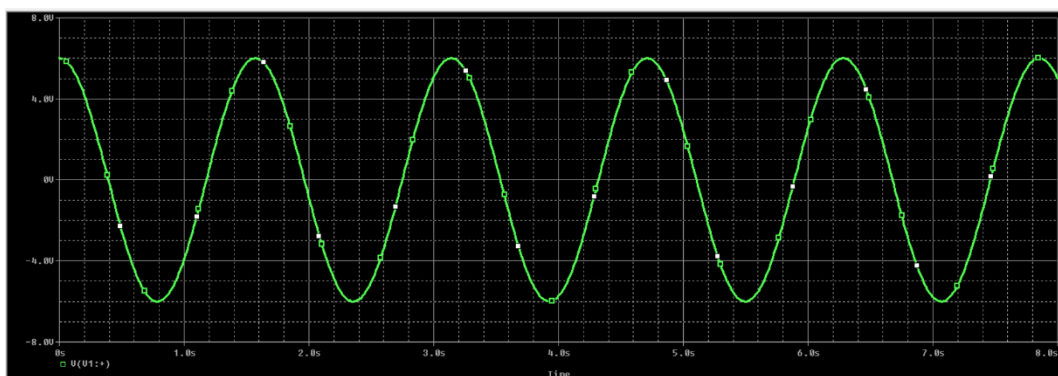
شکل 1-1- تنظیمات شبیه ساز برای گرفتن خروجی

شکل مدار بسته شده نیز به صورت زیر میباشد:



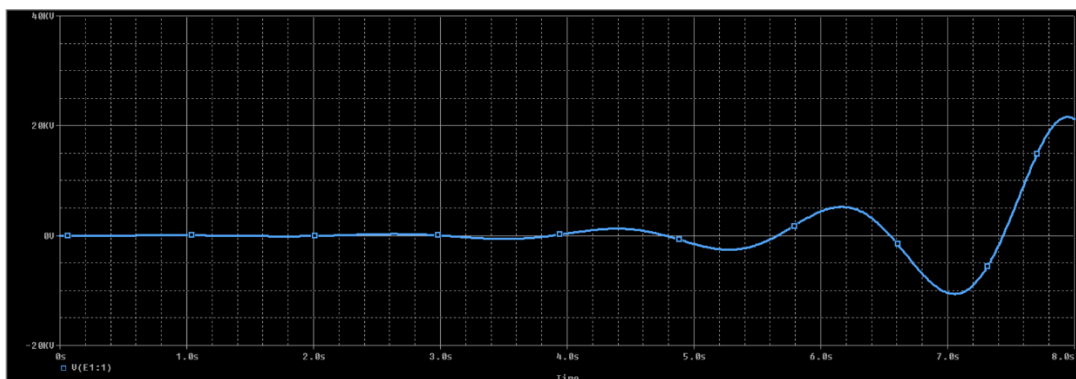
شکل 1-2- مدار بسته شده در شبیه ساز برای رسم نمودار خروجی

نمودار ورودی مدار به صورت زیر میشود:



شکل 1-3- نمودار ولتاژ ورودی مدار برحسب زمان

در نهایت نمودار خروجی V_o برحسب زمان که خواسته ی قسمت اول پروژه میباشد به صورت زیر است:



شکل 1-4- نمودار ولتاژ خروجی مدار برحسب زمان

ولتاژ خروجی اگر دقت شود همان ولتاژ دو سر خازن C_2 میباشد که با گذشت زمان مقدار آن طبق نمودار افزایش یافته است.

قسمت حل تئوری:

$$kvl1: 6 - \left(4 + \frac{1}{4 \times 20 \times 10^{-3} \times j}\right) i_o - 0.5V_o = 0$$

$$\rightarrow i_o = \frac{6 - 0.5V_o}{4 - \frac{50}{\omega}j} = \frac{6 - 0.5V_o}{4 - 12.5j}$$

طبق تقسیم جریان خواهیم داشت:

$$V_o = \left[4i_o \times \frac{10}{10 + \left((j\omega L) + \frac{1}{j\omega C_2} \right)} \right] \times \frac{1}{j\omega C_2}$$

$$\rightarrow V_o = \left[4 \times \frac{6 - 0.5V_o}{4 - 12.5j} \times \frac{10}{10 + ((8j) - 10j)} \right] \times (-10j)$$

$$\rightarrow V_o = \frac{-2400j}{15 - 333j} = \frac{2400}{333 + 15j} = 34.96 \angle 12.6^\circ$$

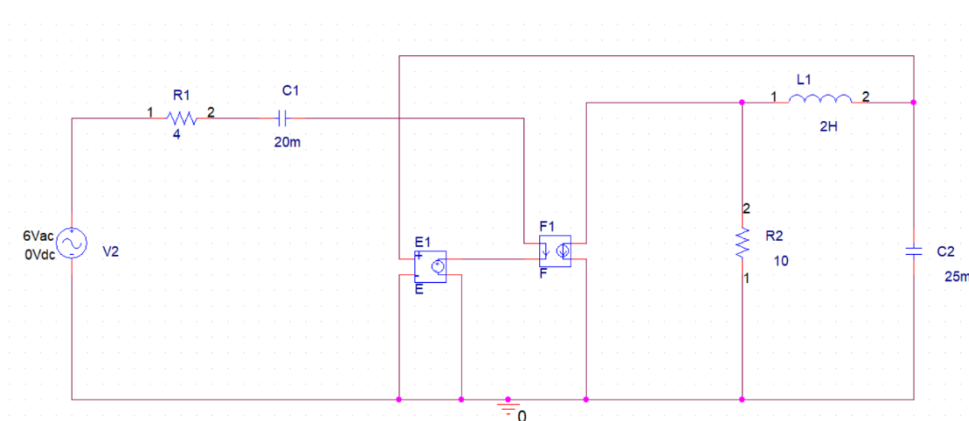
$$\rightarrow V_o(t) = 34.96 \cos(4t + 12.6^\circ)$$

فصل دوم

رسم امپدانس ورودی مدار

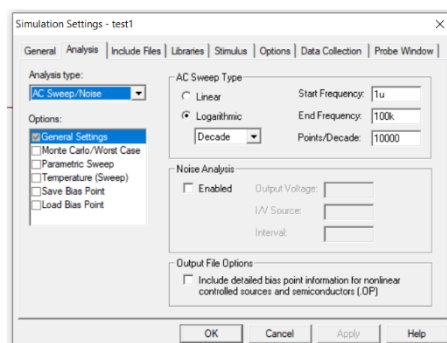
برای محاسبه امپدانس ورودی و رسم امپدانس نسبت به فرکانس های مختلف باید از منبع تست استفاده کنیم. درواقع کافی است که به جای منبع ولتاژ کسینوسی موجود در مدار یک منبع AC قرار دهیم.

از آنجایی که مقدار پیک منبع کسینوسی ما برابر با 6 ولت میباشد بنابراین مقدار دامنه ی منبع ولتاژ AC ای که جایگزین آن میکنیم نیز باید برابر با 6 ولت باشد. باید توجه کرد که V_{dc} را هم در ورودی های این منبع برابر با 0 قرار دهیم. درنهایت شکل مدار به صورت زیر میشود:



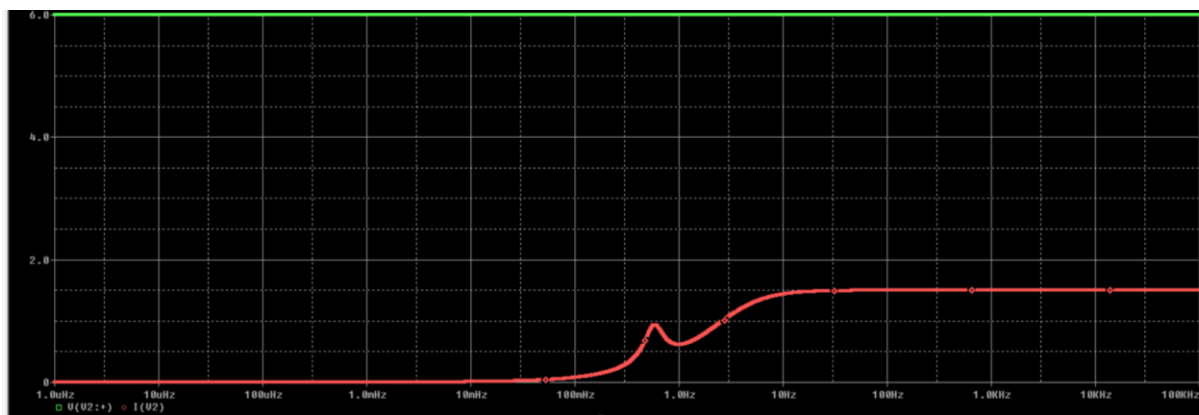
شکل 2-1- مدار بسته شده در شبیه ساز برای رسم امپدانس

در این قسمت برای شبیه سازی باید نوع تحلیل را AC Sweep انتخاب کرد. مقدار فرکانس ورودی را برابر با $1\mu Hz$ و مقدار فرکانس خروجی را برابر با $100k Hz$ قرار میدهیم. همچنین تعداد نقاط بازه را برابر با 100000 تا قرار میدهیم. تنظیمات شبیه سازی این قسمت به صورت زیر میباشد:



شکل 2-2- تنظیمات شبیه ساز برای گرفتن خروجی

خروجی در این حالت که نمودار ولتاژ و جریان میباشد به صورت زیر است:

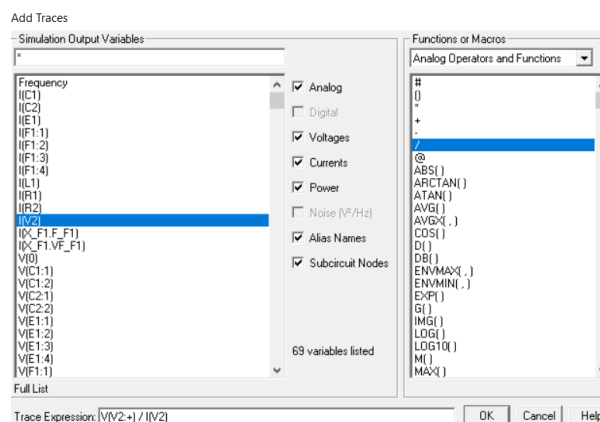


شکل 2-3- نمودار ولتاژ و جریان برحسب فرکانس

نمودار قرمز رنگ نمودار جریان و نمودار سبز رنگ نمودار ولتاژ میباشد.

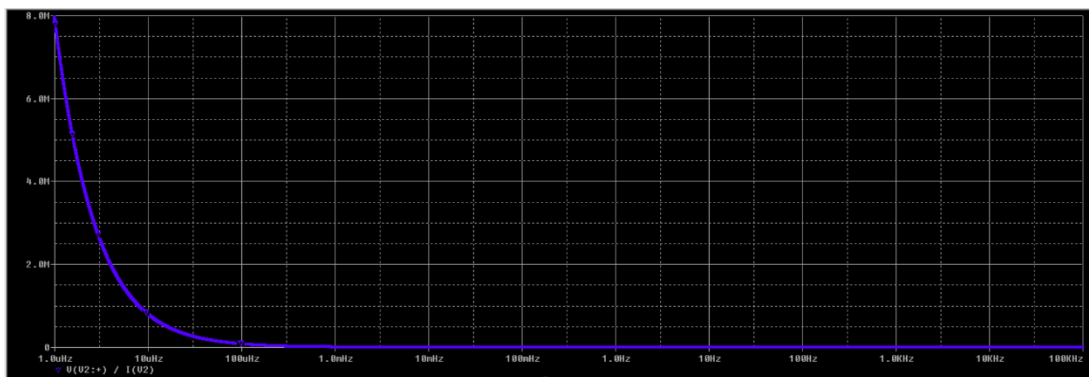
طبق قانون اهم میدانییم امپدانس معادل، برابر با تقسیم ولتاژ به جریان میباشد: $\text{امپدانس} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}}$

حال برای اینکه در هر فرکانس این تقسیم انجام شود و نمودار حاصل را داشته باشیم میتوان از قسمت Add Trace و سپس از قسمت Functions or Macros این کار را انجام داد. تنظیمات آن به صورت زیر است:



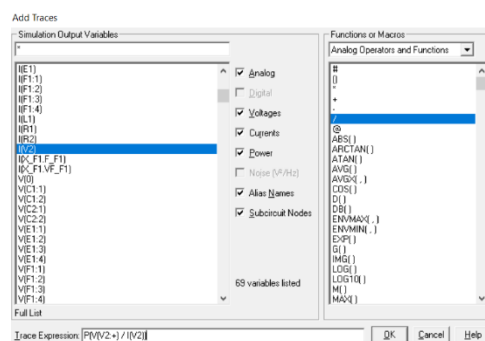
شکل 2-4- تنظیمات Add Trace برای نمودار دامنه ی امپدانس

با تقسیم این دو نمودار دامنه ی امپدانس به صورت زیر رسم خواهد شد:



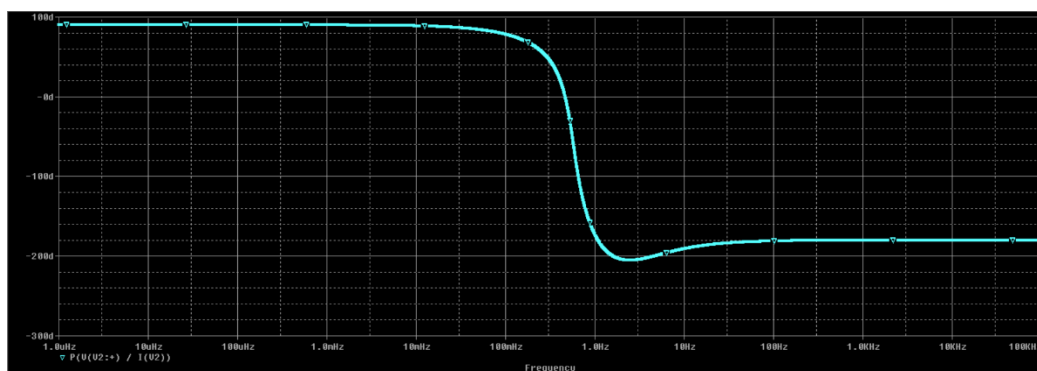
شکل 2-5- دامنه امپدانس ورودی

برای رسم نمودار فاز امپدانس، بار دیگر باید به قسمت Add Trace برویم و در همان بخش Functions یا Macros با انتخاب P() از منوی سمت راست و همچنین انتخاب ولتاژ و جریان موردنظر از منوی سمت چپ در نهایت تنظیمات به صورت زیر میشود:



شکل 2-6- تنظیمات Add Trace برای نمودار فاز امپدانس

در نهایت نمودار فاز امپدانس به صورت زیر میشود:



شکل 2-7- فاز امپدانس ورودی

قسمت تئوری:

در این قسمت همانطور که پیش تر گفتیم با تقسیم ولتاژ ورودی بر جریان مقدار امپدانس ورودی به دست می آید. این فرآیند معادل است با اینکه فازور حلقه ی سمت چپ را به دست آوریم .

$$kvl1: 6 - \left(4 + \frac{1}{\omega \times 20 \times 10^{-3} \times j}\right) i_o - 0.5V_o = 0$$

$$i_o = \frac{6 - 0.5V_o}{4 - \frac{50}{\omega}j}$$

$$V_o = \left[4i_o \times \frac{10}{10 + \left((j\omega L) + \frac{1}{j\omega C_2} \right)} \right] \times \frac{1}{j\omega C_2}$$

$$\text{امپدانس} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}} = \frac{40}{10 + \left((j\omega L) + \frac{1}{j\omega C_2} \right)} \times \frac{1}{j\omega C_2} = \frac{40}{0.25j\omega - 0.05\omega^2 + 1}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\text{امپدانس} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}} = \frac{40}{0.25j\omega - 0.05\omega^2 + 1} = \frac{-20.26}{f^2 - 0.795f - 0.506}$$

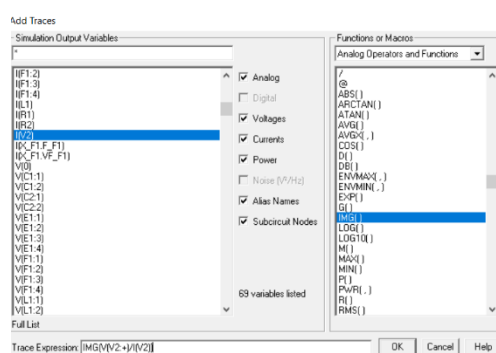
فصل سوم

فرکانس تشدید

برای محاسبه فرکانس تشدید، دقیقاً روند بخش بالا را طی می‌کنیم و بعد از اینکه ولتاژ و جریان را برحسب فرکانس رسم کردیم به جای $P()$ در بخش بالا، این بار $IMG()$ تقسیم ولتاژ به جریان را رسم می‌کنیم. در این صورت قسمت موهومی نسبت ولتاژ به جریان رسم خواهد شد. فرکانسی که به ازای آن قسمت موهومی امپدانس ورودی صفر می‌شود به عنوان فرکانس تشدید خواهد بود که با cursor می‌توان مقدار دقیق فرکانس تشدید را خواند.

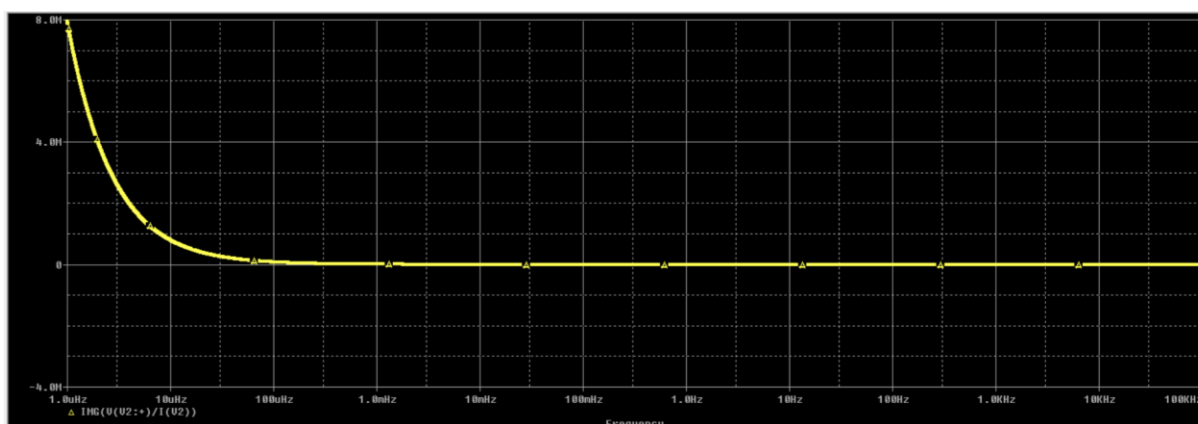
هم چنین همانطور که گفته شد مانند قسمت قبل باید پیش برویم و نوع تحلیل AC Sweep می‌باشد.

تنظیمات قسمت Trace به صورت زیر میشود:



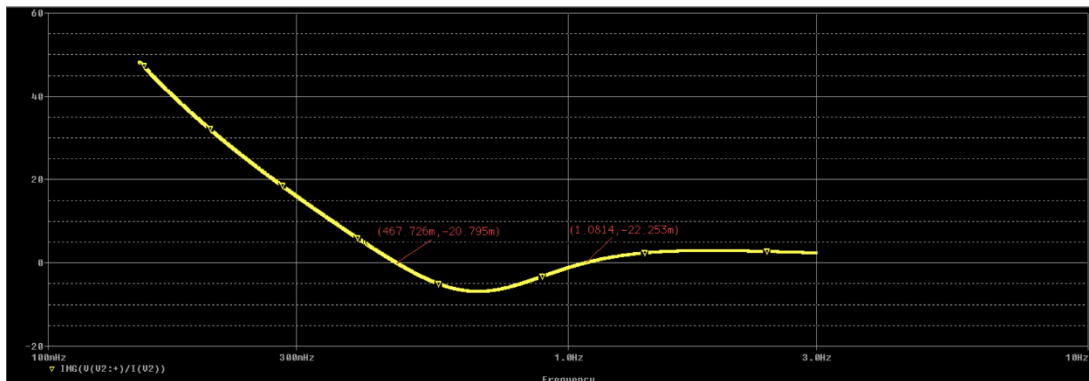
شکل 3-1- تنظیمات Add Trace برای نمودار قسمت موهومی امپدانس

نمودار خروجی به صورت زیر میشود:



شکل 3-2- نمودار قسمت موهومی امپدانس ورودی

برای دقیق تر شدن در نمودار لازم است بازه و محدوده ی فرکانسی را کوچک تر کنیم. حال اگر بازه را برابر 150 میلی هرتز تا 3 هرتز در نظر بگیریم و دوباره فرآیند فوق را انجام دهیم خواهیم داشت:



شکل 3-3- نمودار نشان دهنده ی فرکانس تشدید

همانطور که مشخص است در دو نقطه قسمت موهومی 0 میشود. یک بار به صورت تقریبی در 467.726m Hz و بار دیگر در 1.0814 Hz فرکانس تشدید داریم.

قسمت تئوری:

در این قسمت کافی است با 0 قرار دادن قسمت موهومی در فرمول به دست آمده از مرحله ی قبل فرکانس تشدید را به دست آوریم:

$$\text{امپدانس} = \frac{\text{ولتاژ}}{\text{جریان}} = \frac{40}{0.25j\omega - 0.05\omega^2 + 1}$$

$$\xrightarrow{\omega=2\pi f} \text{امپدانس} = \frac{-20.26}{f^2 - 0.795f - 0.506}$$

$$\text{Im}g(\text{امپدانس}) = 0$$

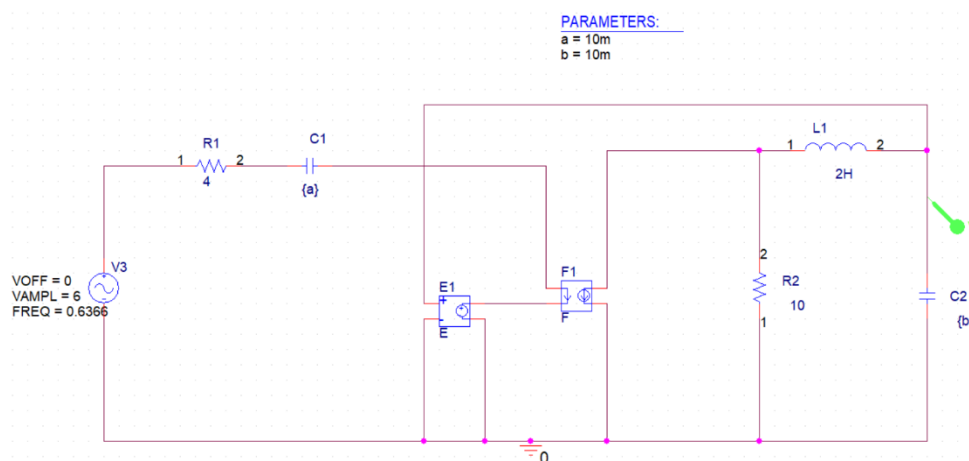
$$\rightarrow f_1 = 1.1\text{mHz}, f_2 = 467.6\text{mHz}$$

فصل چهارم

تاثیر اندازه المانها بر خروجی مدار

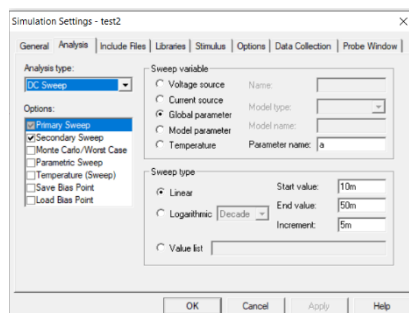
برای بررسی تغییرات در این قسمت باید از تحلیل DC Sweep استفاده کنیم و به این صورت است که خروجی مدار را به ازای تغییرات اندازه خازنهای C_1 و C_2 بررسی میکنیم. کافیت اندازه خازن را به صورت پارامتری تعریف کنید و با استفاده از تحلیل DC Sweep در بازه خواسته شده سوئیچ کنیم و تغییرات خروجی مورد نظر را مشاهده کنیم.

ابتدا مدار موردنظر به صورت زیر بسته میشود:

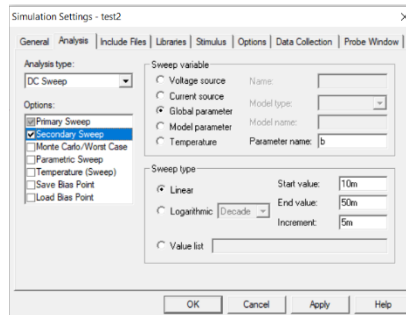


شکل 4-1- مدار بسته شده برای بررسی تاثیر المان ها بر خروجی مدار

برای اینکه در این حالت روی مقادیر خازنهای C_1 و C_2 سوئیچ کنیم تنظیمات شبیه سازی را به صورت زیر قرار میدهم:

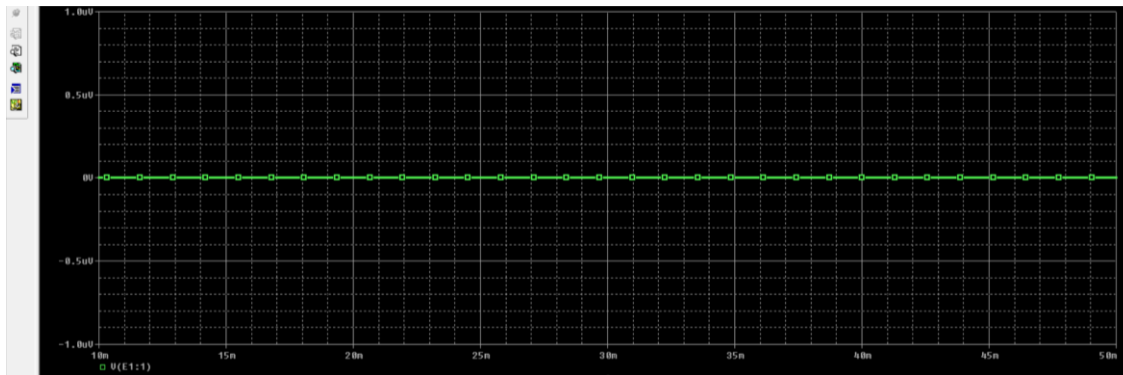


شکل 4-2- تنظیمات شبیه ساز برای خازن C_1



شکل 4-3- تنظیمات شبیه ساز برای خازن C_2

در نهایت نمودار خروجی V_o به ازای مقادیر مختلفی که برای خازن‌های C_1 و C_2 داده میشود به صورت زیر است:



شکل 4-4- نمودار خروجی V_o به ازای تغییرات اندازه خازن‌های C_1 و C_2

در این نمودار به دو موضوع بر میخوریم:

اول اینکه مقدار V_o برابر با 0 میباشد. علت آن است که در این نوع تحلیل خازن ها به صورت مدار باز و سلف ها به صورت اتصال سیم میشوند. بنابراین ولتاژ خروجی مدار برابر صفر خواهد شد.

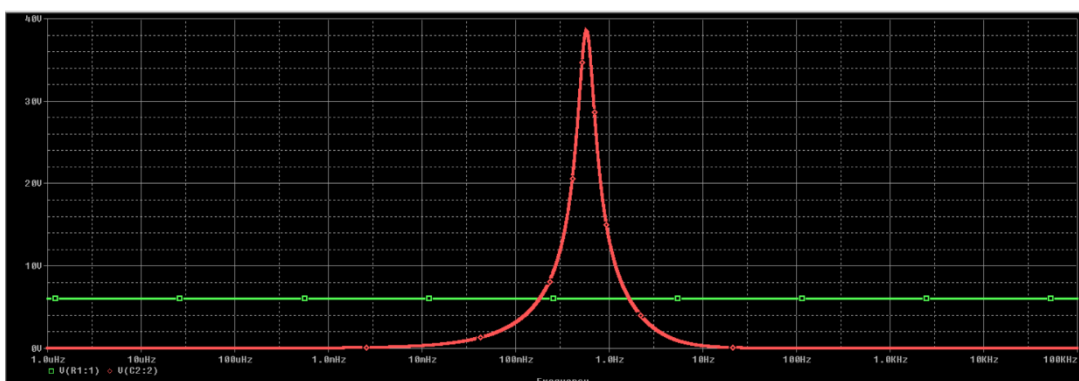
دوم اینکه تغییرات خروجی برابر با 0 میباشد. باتوجه به دلیلی که در بالا گفته شد به ازای هر مقداری برای C_1 و C_2 خروجی در این نوع تحلیل برابر با 0 میشود. برای اینکه به این موضوع برخورد نکنیم میتوان نوع تحلیل را تغییر داد.

فصل پنجم

بررسی رفتار فیلتری

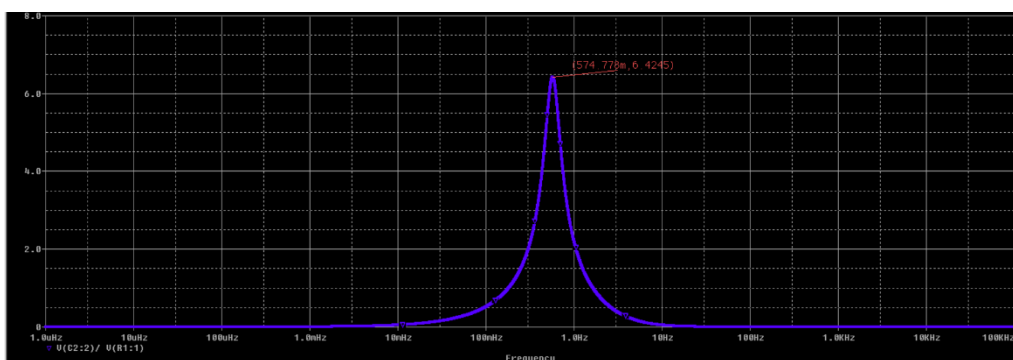
در این قسمت به کمک تحلیل AC Sweep ابتدا ولتاژ خروجی و ولتاژ ورودی را به ازای فرکانس های مختلف رسم میکنیم.

همانند آنچه قبل تر انجام دادیم با گذاشتن پروب های ولتاژ در ورودی و خروجی خواهیم داشت:



شکل 5-1- نمودار نشان دهنده ی ولتاژ خروجی و ورودی برحسب فرکانس

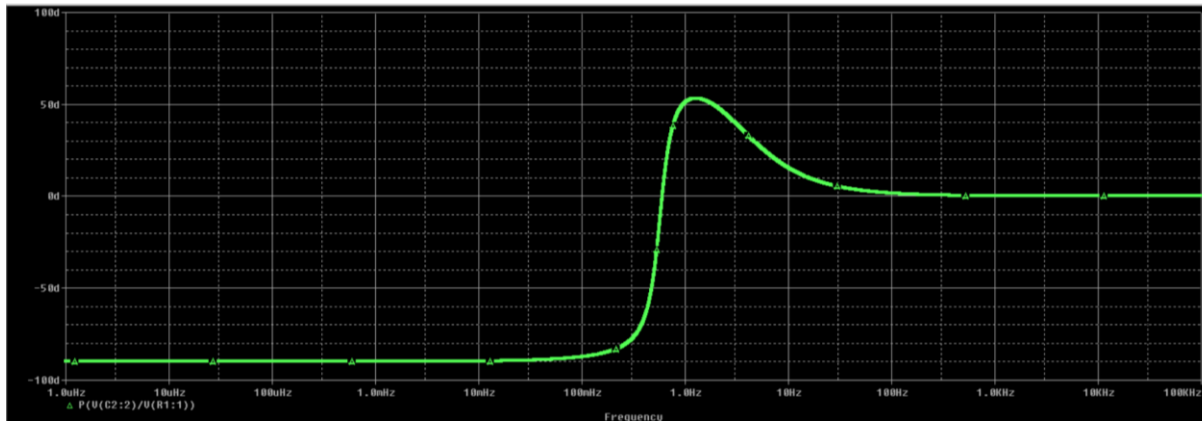
نمودار سبز رنگ برای V_i برحسب فرکانس و نمودار قرمز رنگ برای V_o برحسب فرکانس میباشد. حال برای به دست آوردن رفتار فیلتری مدار کافی است تابع تبدیل $\frac{V_o}{V_i}$ به دست بیاوریم. (می دانیم این تابع تبدیل به صورت مختلط میباشد و هم درارای اندازه و هم دارای فاز میباشد). برای این کار به کمک Add Trace میتوان این نسبت را رسم کرد. نمودار حاصل از آن مقدار اندازه ی $\frac{V_o}{V_i}$ میباشد. حال به کمک شکل نمودار میتوان تشخیص داد که فیلتر مورد نظر از چه نوعی میباشد درواقع میفهمیم که کدام یک از حالات پایین گذر، بالاگذر، میانگذر یا میان نگذر میباشد.



شکل 5-2- نمودار اندازه $\frac{V_o}{V_i}$

همانطور که مشخص است فیلتر مورد نظر فرکانس های میانی را به خوبی عبور میدهد و فرکانس های پایین و بالا را به خوبی عبور نمی دهد؛ بنابراین میتوان گفت این مدار یک فیلتر میانگذر میباشد. طبق شکل فرکانس مرکزی این فیلتر نیز برابر با 574.778m Hz میباشد.

حال میتوان به کمک تنظیمات قسمت Add Trace نمودار فاز $\frac{V_o}{V_i}$ را نیز حساب کرد. نمودار فاز آن نیز به صورت زیر میشود:



شکل 5-3- نمودار فاز $\frac{V_o}{V_i}$

قسمت تئوری:

برای بررسی رفتار فیلتری مدار باید ابتدا تابع تبدیل را یافت که برابر با: $H(j\omega) = \frac{V_{out}}{V_{in}}$ میباشد.

چون یک عبارت مختلط میباشد بنابراین دارای یک اندازه و یک فاز میباشد.

$$(1) V_{in} - 0.5V_o = \left(4 - \frac{50}{\omega}j\right) i_o$$

$$(2) V_o = \frac{-40i_o}{10j\omega C_2 - \omega^2 LC_2 + 1} = \frac{-40i_o}{0.25j\omega - 0.05\omega^2 + 1}$$

$$\rightarrow i_o = \frac{0.25j\omega - 0.05\omega^2 + 1}{-40} V_o$$

$$V_{in} = \left(0.005\omega^2 - 0.0875j\omega - 0.85 + \frac{1.25j}{\omega}\right) V_o$$

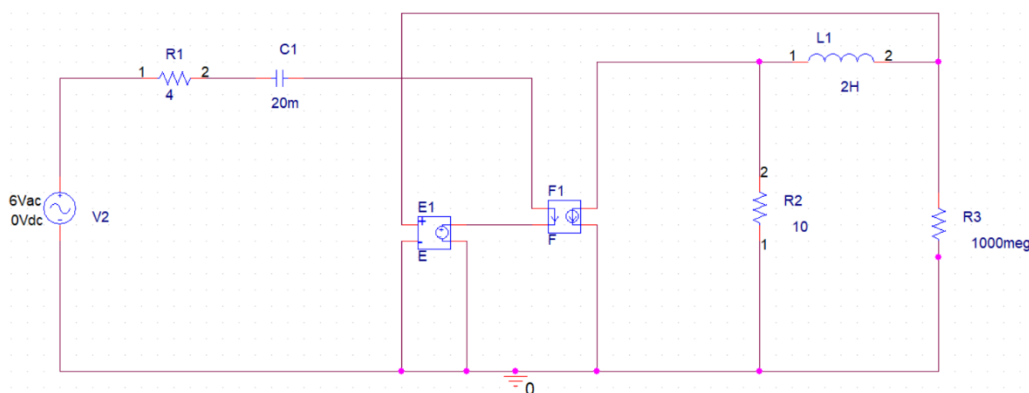
$$H(j\omega) = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{0.005\omega^2 - 0.0875j\omega - 0.85 + \frac{1.25j}{\omega}}$$

فصل ششم

مدار معادل تونن از دید خروجی

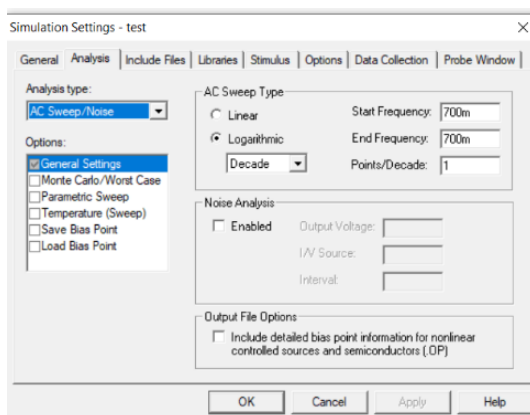
در مرحله اول باید ولتاژ تونن معادل را به دست بیاوریم. برای این کار باید خروجی را مدار باز کنیم و دامنه و فاز ولتاژ خروجی را یادداشت کنیم.

میدانیم نرم افزار Orcad به ما اجازه نمی دهد که مدار باز کنیم. راه مناسب برای این کار قرار دادن یک مقاومت با مقدار بالا در آن قسمت از مدار میباشد. (مقاومت قرار داده شده برابر با 1000 مگا اهم میباشد)



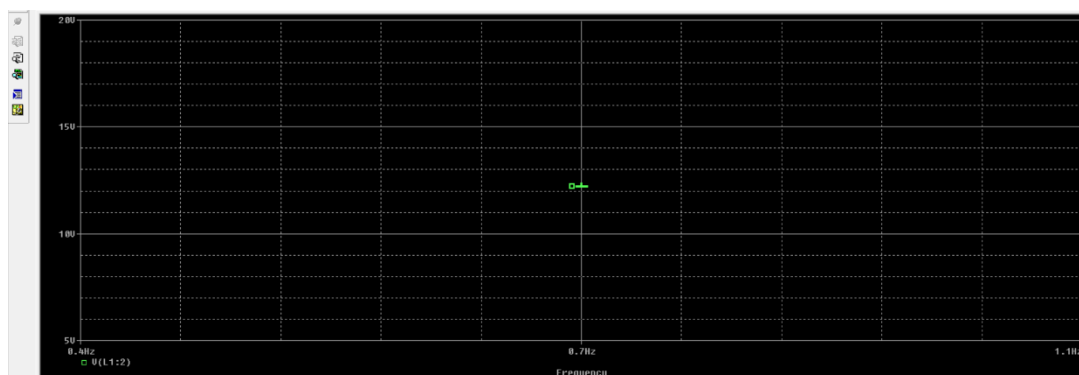
شکل 6-1- مدار بسته شده برای به دست آوردن ولتاژ تونن

سپس باید ولتاژ و فاز را در یک فرکانس خاص به دست آوریم. برای اینکار در فرکانس 700mHz این مقادیر به دست می آوریم. تنظیمات شبیه ساز نیز به صورت زیر میباشد و نوع تحلیل نیز AC Sweep میباشد:



شکل 6-2- تنظیمات شبیه ساز برای به دست آوردن مقاومت تونن

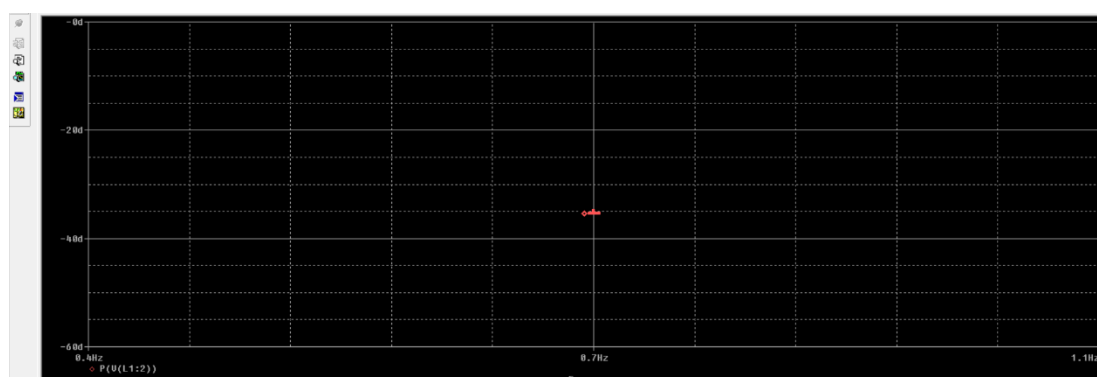
در این حالت خروجی شبیه ساز به صورت زیر میباشد:



شکل 6-3- مقدار ولتاژ مدار باز

طبق نمودار فوق اندازه ولتاژ برابر با 12.2 ولت میباشد.

حال با زدن گزینه ی Add Trace فاز را نیز به دست می آوریم:



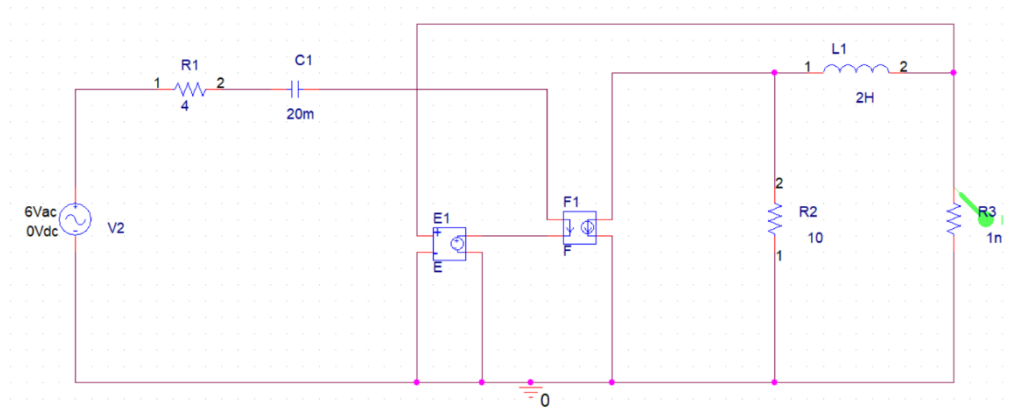
شکل 6-4- مقدار فاز ولتاژ مدار باز

طبق نمودار فوق، فاز ولتاژ برابر با -35.4- درجه میباشد.

$$V_{th} = 12.2 \angle -35.4$$

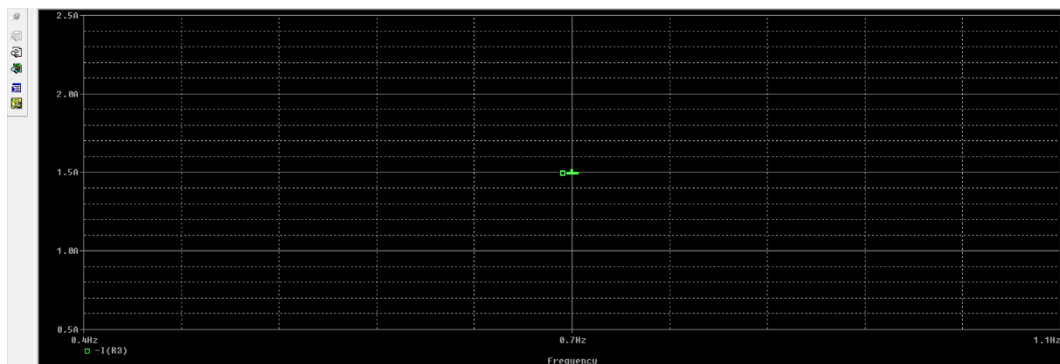
در مرحله ی دوم باید جریان نورتن را به دست بیاوریم. برای این کار خروجی را باید اتصال کوتاه بکنیم و دامنه و فاز جریان خروجی را به دست بیاوریم. طبق راهنمایی موجود در دستور کار پروژه برای به دست آوردن جریان باید در شاخه ای که می‌خواهیم اتصال کوتاه شود یک مقاومت با مقدار خیلی کم مثلاً $1n\Omega$ قرار دهیم و پروب جریان فقط در سر المان قرار می‌گیرد.

در این حالت مدار به صورت زیر میشود:



شکل 6-5- مدار بسته شده برای به دست آوردن جریان نورتن

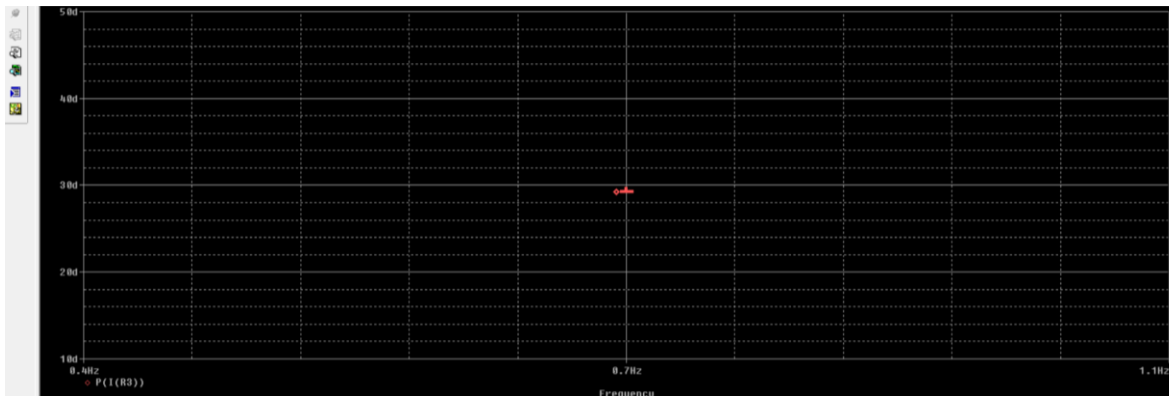
در این حالت خروجی شبیه ساز به صورت زیر میشود:



شکل 6-6- مقدار جریان اتصال کوتاه

طبق نمودار فوق اندازه جریان اتصال کوتاه برابر با 1.5 آمپر میباشد.

حال با زدن گزینه ی Add Trace فاز را نیز به دست می آوریم:



شکل 6-7- مقدار فاز جریان اتصال کوتاه

طبق نمودار فوق، فاز جریان برابر با 29.25 درجه میباشد.

$$I_N = 1.5 \angle 29.5$$

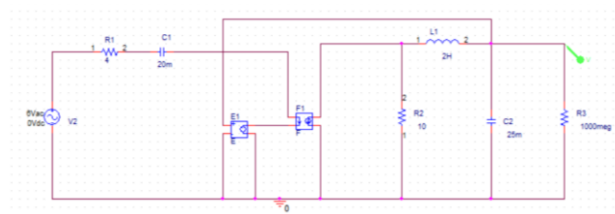
در مرحله ی سوم از تقسیم ولتاژ به دست آمده بر جریان به دست آمده میتوان مقاومت معادل تونن را حساب کرد:

$$R_{th} = \frac{V_{th}}{I_N} = \frac{12.2 \angle -35.4}{1.5 \angle 29.5} = 8.13 \angle -64.9$$

پس اندازه ی مقاومت معادل تونن برابر با 8.13 اهم میشود.

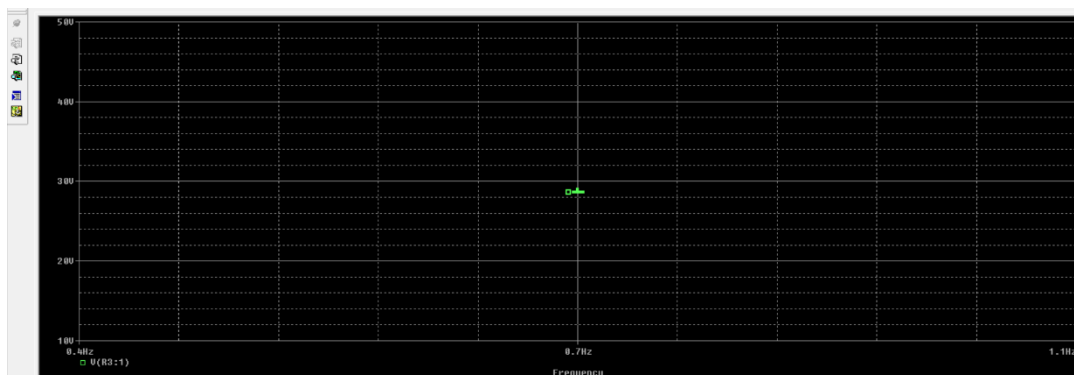
توضیح: در حالات بالا ما اومدیم اینگونه در نظر گرفتیم که خازن لود نیست و مقاومتی که از دو سر خازن دیده میشود را به دست آوردیم. اما حال همین روند را بار دیگر بدون حذف خازن طی میکنیم. یعنی فرض میکنیم خازن هم در مدار load باشد و با وجود آن مقاومت معادل تونن را میابیم:

مرحله ی اول به دست آوردن ولتاژ تونن مدار میباشد. مدار موردنظر به صورت زیر میشود:



شکل 6-8- مدار بسته شده برای به دست آوردن ولتاژ تونن(حالت 2)

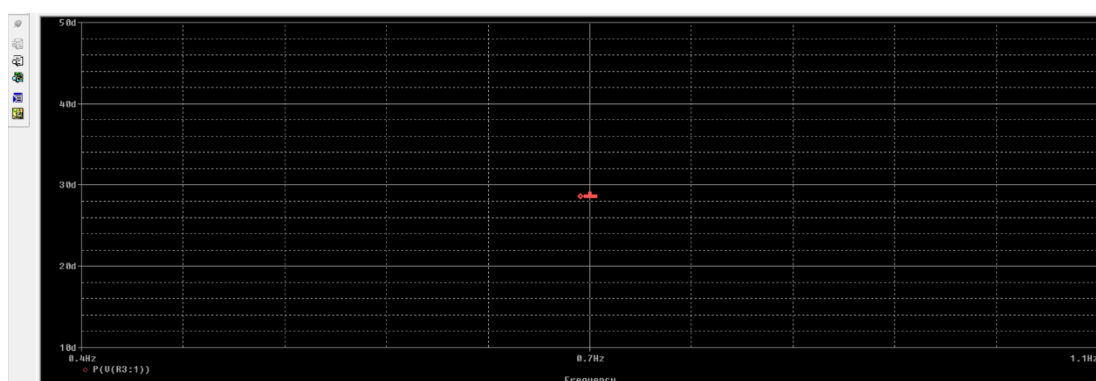
تنظیمات شبیه سازی مانند قبل میباشد . خروجی شبیه سازی در این حالت برابر است با:



شکل 6-9- مقدار ولتاژ مدار باز(حالت دوم)

طبق نمودار فوق اندازه ولتاژ برابر با 28.6 ولت میباشد.

حال با زدن گزینه ی Add Trace فاز را نیز به دست می آوریم:

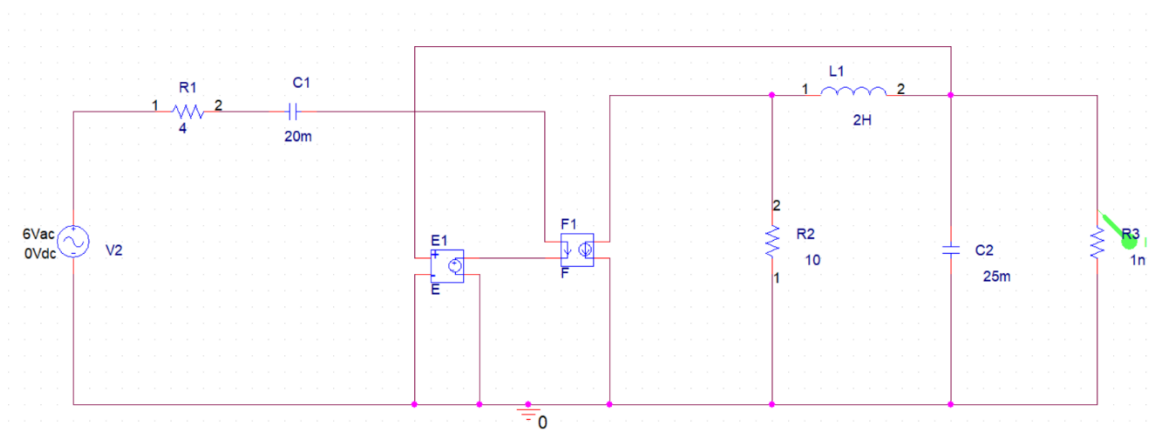


شکل 6-10- مقدار فاز ولتاژ مدار باز(حالت دوم)

طبق نمودار فوق، فاز ولتاژ برابر با 28.65 درجه میباشد.

$$V_{th} = 28.6 \pm 28.65$$

در مرحله ی دوم باید جریان نورتن را به دست بیاوریم. برای این کار خروجی را باید اتصال کوتاه بکنیم و دامنه و فاز جریان خروجی را به دست بیاوریم.



شکل 6-11- مدار بسته شده برای به دست آوردن جریان نورتن(حالت دوم)

در این حالت نتایج با حالت قبل فرقی ندار و نمودارها مانند قبل میشود و جریان نورتن میشود:

$$I_N = 1.5 \pm 29.5$$

در مرحله ی سوم از تقسیم ولتاژ به دست آمده بر جریان به دست آمده میتوان مقاومت معادل تونن را حساب کرد:

$$R_{th} = \frac{V_{th}}{I_N} = \frac{28.6 \pm 28.65}{1.5 \pm 29.5} = 19.06 \pm -0.85$$

قسمت تئوری (برای حالت دوم):

در این قسمت به صورت دستی مقاومت معادل را از دیدگاه خازن به دست می آوریم:

$$2H \rightarrow j\omega L = 8j$$

$$20mF \rightarrow \frac{1}{j\omega C_1} = -12.5j$$

$$25mF \rightarrow \frac{1}{j\omega C_2} = -10j$$

$$kvl1: 6 - \left(4 + \frac{1}{4 \times 20 \times 10^{-3} \times j}\right) i_o - 0.5V_o = 0$$

$$\rightarrow i_o = \frac{6 - 0.5V_o}{4 - \frac{50}{\omega}j} = \frac{6 - 0.5V_o}{4 - 12.5j}$$

طبق تقسیم جریان خواهیم داشت:

$$V_o = \left[-4i_o \times \frac{10}{10 + \left((j\omega L) + \frac{1}{j\omega C_2} \right)} \right] \times \frac{1}{j\omega C_2}$$

$$\rightarrow V_o = \left[-4 \times \frac{6 - 0.5V_o}{4 - 12.5j} \times \frac{10}{10 + ((8j) - 10j)} \right] \times (-10j)$$

$$\rightarrow V_o = \frac{-2400j}{15 - 333j} = \frac{2400}{333 + 15j} = 34.96 \angle 12.6^\circ$$

$$\rightarrow V_{th} = V_o = 34.96 \cos(4t + 12.6^\circ)$$

$$0.5V_o = 4I_o \rightarrow I_o = \frac{1}{8}V_o$$

حال اگر یک منبع تست جریان درنظر بگیریم:

$$kcl: -4I_o + 1 + \frac{V_o}{-10j} + 0.02V_o = 0 \rightarrow V_o = \frac{1}{0.48 - 0.1j}$$

$$R_{th} = \frac{V_o}{1} = 19 \angle -0.82^\circ$$