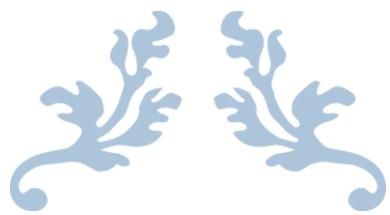


«باسمہ تعالیٰ»



گزارش و پیش گزارش آزمایش هفتم
پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر



طراحی و تدوین:

مهدی رحمانی

9731701

هدف آزمایش

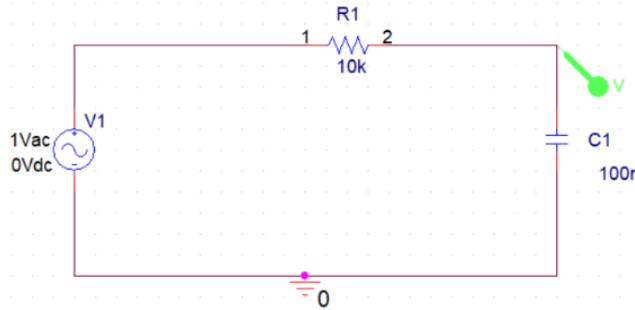
بررسی مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز در مدارهای RC پایین گذر و RC میان گذر

پیش گزارش 1:

پیش گزارش 1: مدار مربوط به فیلتر پایین گذر (مقادیر $R=10k\Omega$ و $C=100nF$) را با استفاده از نرم افزار Orcad شبیه سازی کرده و موارد زیر را بررسی کنید:

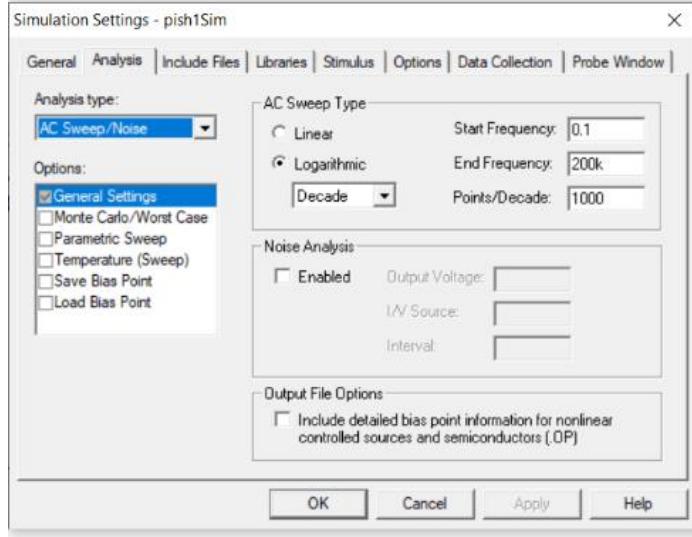
- ✓ مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز را با استفاده از تحلیل AC Sweep در حالت بدون بار رسم کنید؟
- ✓ مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز را با استفاده از تحلیل AC Sweep در حالت با بار رسم کنید؟ (فرض کنید باری با مقدار $5.6k\Omega$ به صورت موازی با خازن قرار گرفته است) نتیجه بدست آمده از این دو بخش را با هم مقایسه کرده و تاثیر مقاومت بار بر روی پاسخ دامنه و پاسخ فاز را بررسی کنید.

در حالت اول پاسخ دامنه و پاسخ فاز در حالت بدون بار از ما خواسته شده است. ابتدا مدار مورد نظر را رسم میکنیم. پس از قرار دادن مقاومت و خازن و زمین و سیم بندی نوع منبعی که در مدار قرار میدهیم منبع AC باید باشد. مقدار V_{ac} را برابر با 1 میگذاریم. مدار به فرم زیر میشود:

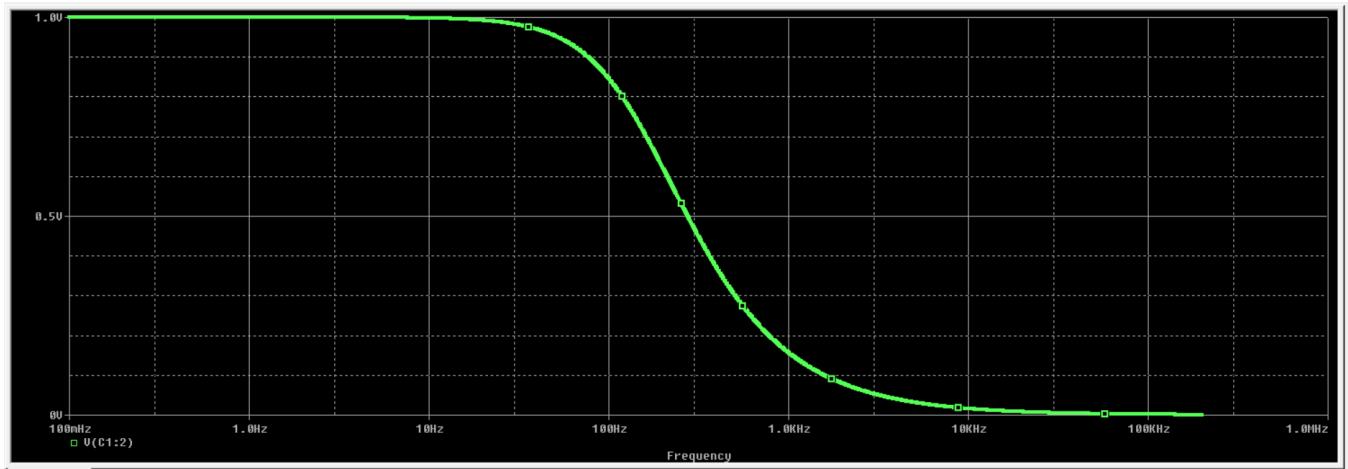


چیزی که میخواهیم نسبت $\frac{V_o}{V_i}$ میباشد هم برای فاز و هم برای اندازه. منتها چون در اینجا ورودی ما دامنه اش 1 بوده و فاز آن 0 میباشد بنابراین اگر همان دامنه و فاز V_o را به دست بیاوریم کافی میباشد. (برای فاز نیز میدانیم که فاز مورد نظر برابر فاز خروجی منهای فاز ورودی میباشد که چون فاز ورودی 0 است همان فاز خروجی کافی است)

هم چنین لازم به ذکر است که نوع تحلیل ما به صورت AC sweep میباشد و تنظیمات آن به شکل زیر میباشد:

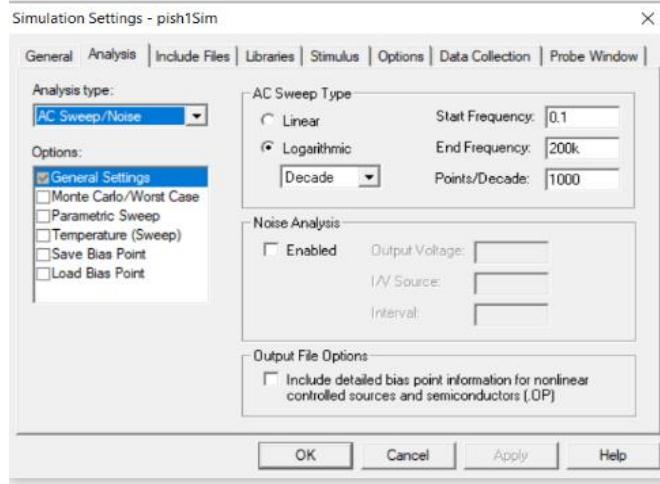


حال برای پاسخ دامنه داریم :

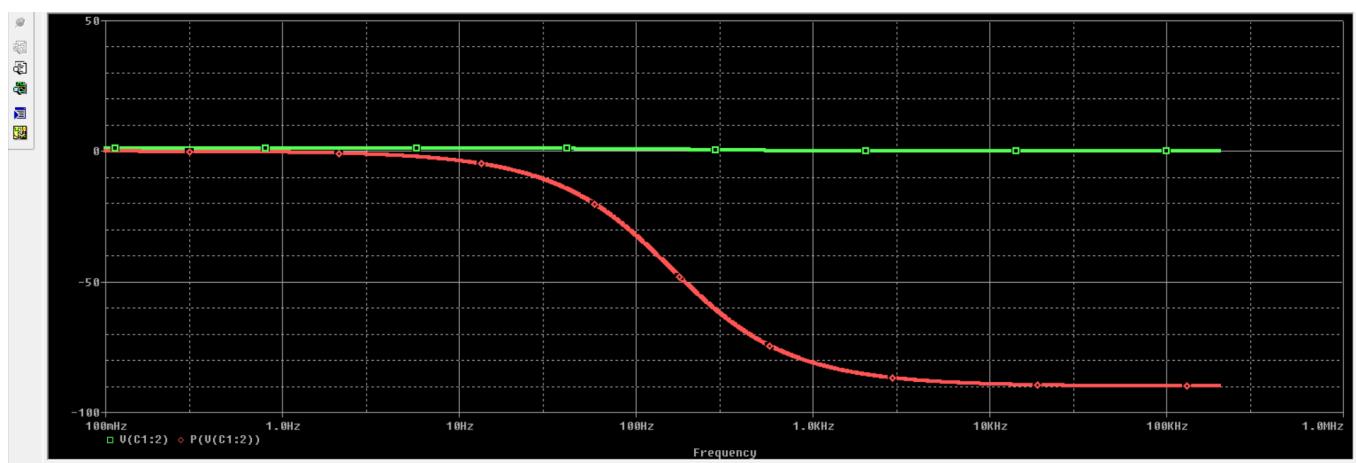


با توجه به فرمول ها نتیجه طبق انتظار ما میباشد . با توجه به اینکه فرمول اندازه به صورت $\frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$ میباشد در فرکانس های پایین و نزدیک به 0 حاصل برابر 1 میباشد و در فرکانس های بالا مخرج بزرگ شده و حاصل به 0 میل میکند. پس درواقع یک مدار پایین گذر داریم.

برای به دست آوردن پاسخ فاز نیز بعد از زدن Add trace به شکل زیر عمل میکنیم:



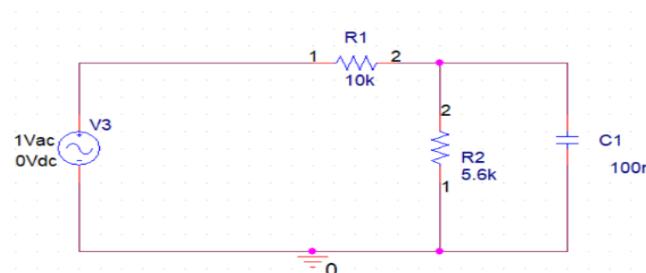
پاسخ فاز آن نیز به صورت زیر است:



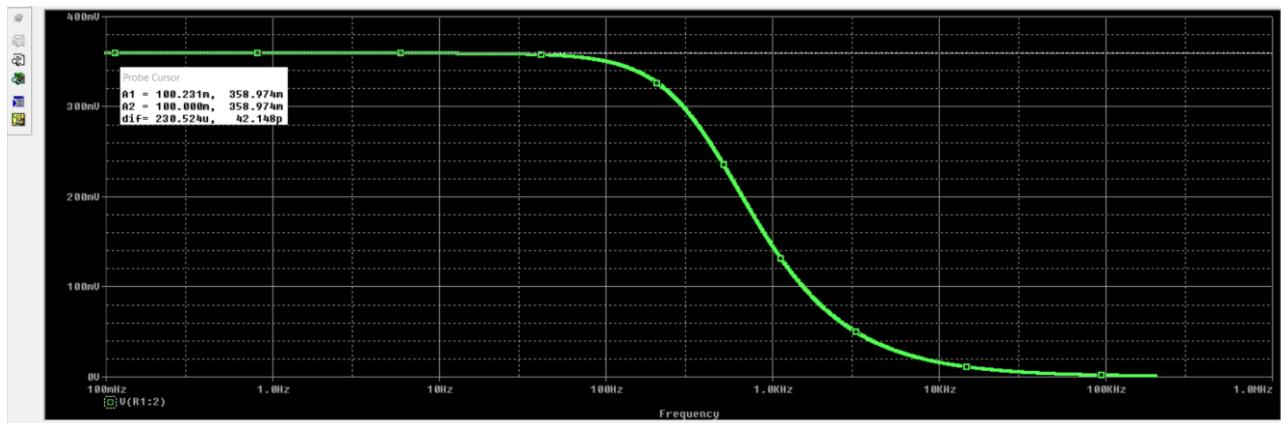
پاسخ فاز نیز طبق روابط تئوری به دست آمده میباشد چرا که داشتیم $\varphi = \operatorname{Arctg}(-\omega RC)$ پس در فرکانس های بالا و به سمت بینهایت حاصل برابر 90- درجه میباشد و در فرکانس 0 نیز حاصل 0 میباشد.

در قسمت دوم مدار در حالت با بار باید بررسی شود:

در این حالت نیز مدار را ابتدا میبندیم که به فرم زیر میباشد:



حال اگر برای پاسخ فرکانسی آن را شبیه سازی کنیم خواهیم داشت:



همانطور که مشاهده میشود دیگر نمودار از $\frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}}$ مقدار R_{eq} همان شروع نمیشود. در رابطه i میباشد که از دو سر خازن دیده میشود.

حال اگر روابط را برای این حالت به دست بیاوریم نیز داریم:

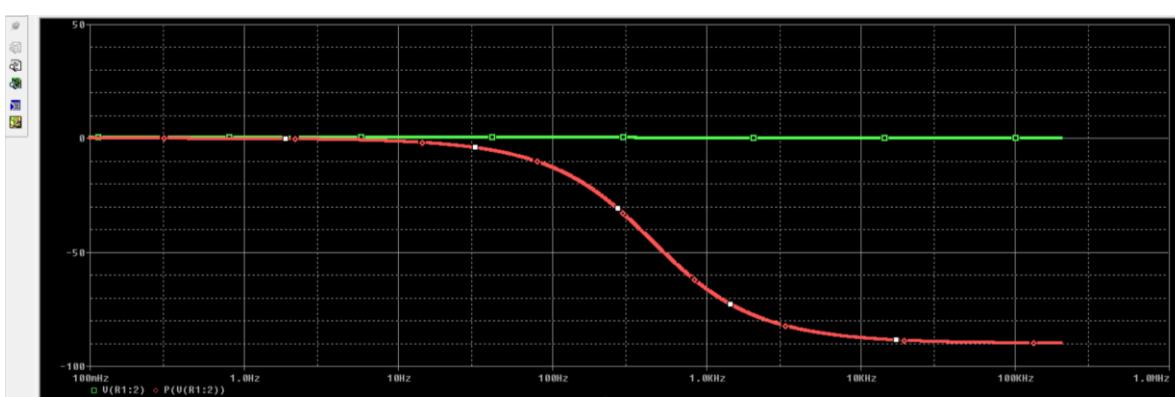
$$\begin{cases} V_i = \left[R_1 + (R_2 || \frac{1}{j\omega C}) \right] I \\ V_o = (R_2 || \frac{1}{j\omega C}) I \end{cases} \rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_1 R_2 j\omega C} \rightarrow |A_v| = \frac{R_2}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (R_1 R_2 \omega C)^2}}$$

با توجه به روابط به دست آمده اگر فرکانس نزدیک به 0 باشد اندازه تقریبا برابر خواهد بود با:

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{5.6k\Omega}{15.6k\Omega} = 358.97 \times 10^{-3}$$

همانطور که میبینید نتیجه مانند نتیجه i به دست آمده در شبیه سازی میباشد.

برای فاز نیز خواهیم داشت:



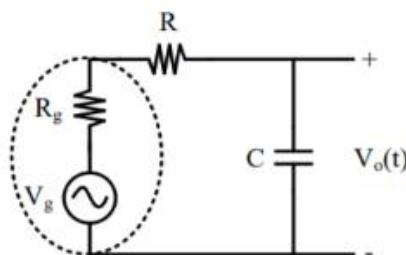
در این حالت نمودار فاز مانند قبل شده است طبق رابطه ای که در بالا به دست آمد نیز این موضوع را میتوان فهمید:

$$\varphi = \operatorname{Arctg}(-\omega R_1 R_2 C)$$

همانطور که مشخص است در فرکانس های بالا و به سمت بینهایت حاصل برابر 90° - درجه میباشد و در فرکانس نیز حاصل 0° میباشد.

شرح آزمایش 1

با استفاده از مقاومت $C=100nF$ و $R=10k\Omega$ مداری مطابق شکل ۲ به صورت فیلتر پایین گذر ببندید:

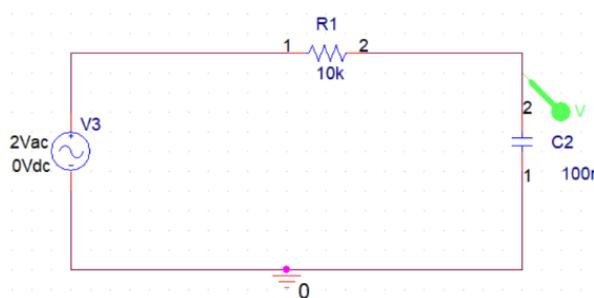


شکل ۲

۱- بوسیله نوسان ساز یک موج سینوسی با مقدار دامنه ۴ ولت (پیک تو پیک) به مدار اعمال نمایید و با فرکانس هایی که در جدول ۱ قید شده مقدار دامنه ولتاژ خروجی و اختلاف فاز بین موج ورودی و خروجی را بوسیله اسیلوسکوپ اندازه گرفته و یادداشت کنید. دقیقت داشته باشید در هنگامیکه فرکانس نوسان ساز را تغییر می دهید، دامنه ولتاژ ورودی تغییر نکند و همواره روی دامنه ۴ ولت ثابت بماند. در جدول زیر سطر مربوط به V_o محاسبه شده و φ محاسبه شده از طریق روابط تئوری را در گزارش کار تحویلی کامل کنید.

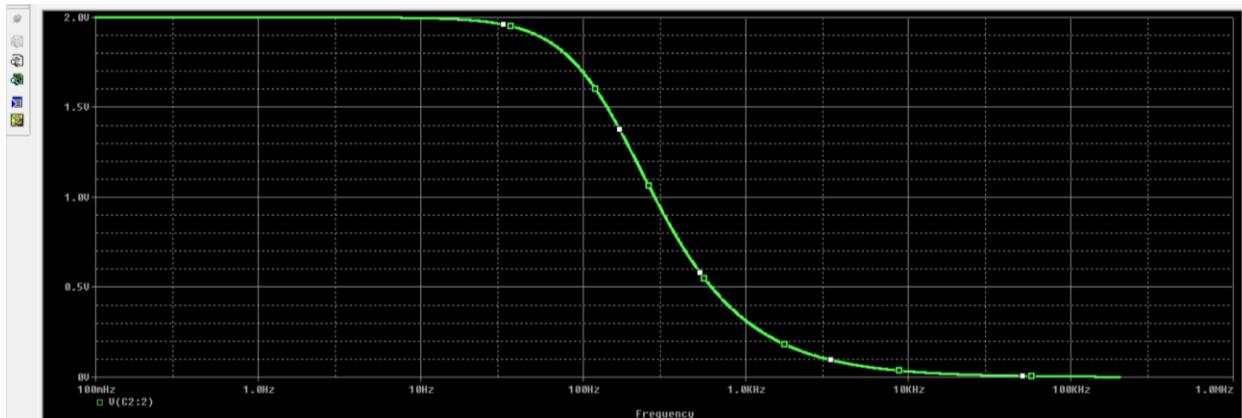
فرکانس قطع این فیلتر را به کمک اسیلوسکوپ اندازه گرفته و با نتیجه تئوری مقایسه کنید.

مدار مورد نظر به صورت زیر میباشد:

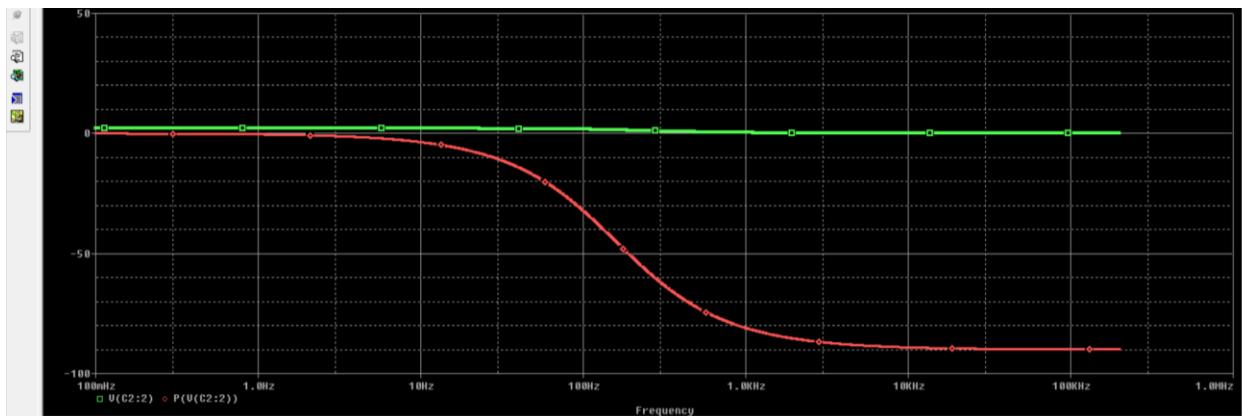


چون گفته شده است که پیک تا پیک 4 ولت است پس باید دامنه را 2 ولت در نظر بگیریم.

بنابراین نمودار پاسخ فرکانسی به شکل زیر میشود:



هم چنین نمودار فاز خروجی نیز به صورت زیر میباشد:



حال برای تکمیل جدول زیر باید به کمک کرسر در هر دو نمودار مقادیر اندازه گیری شده را برای V_o و φ را پیدا کنیم و برای محاسبات نیز به کمک روابط موجود این مقدار را به دست بیاوریم. علت اختلاف کمی که بین این مقادیر وجود دارد این است که به کمک کرسر نمیشود دقیقاً نقاط مورد نظر را مشخص کرد.

روابط تئوری مورد نظر به صورت زیر اند:

$$\varphi = \operatorname{Arctg}(-\omega RC)$$

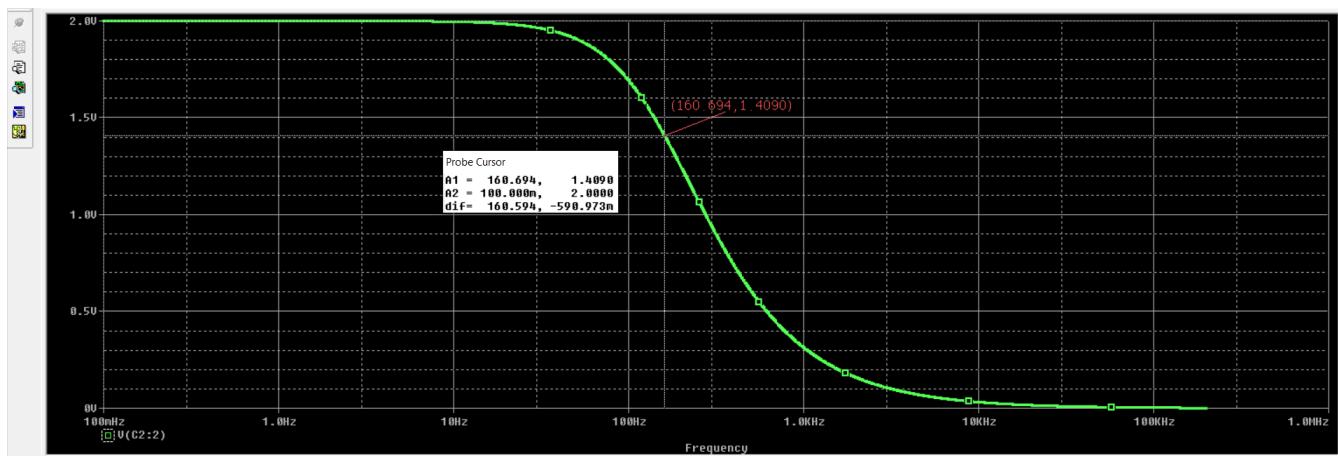
$$A_v = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} \rightarrow V_o = \frac{V_{in}}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

فرکانس f	V_0 اندازه گیری شده	φ اندازه گیری شده	V_0 محاسبه شده	φ محاسبه شده
20 Hz	1.9841 V	-7.2275	1.9843V	-7.1624
50 Hz	1.9057 V	-17.48	1.9080V	-17.4405
100 Hz	1.6935 V	-31.846	1.6934V	-32.1419
150 Hz	1.4572 V	-43.561	1.4554V	-43.3038
250 Hz	1.0700 V	-57.641	1.0740V	-57.518
500 Hz	605.32mV	-72.191	606.62mV	-72.343
1000 Hz	310.843mV	-80.957	314.353mV	-80.956
3000 Hz	105.256mV	-86.948	105.954mV	-86.963
10000 Hz	31.827mV	-89.088	31.826mV	-89.088

طبق روابط تئوری فرکانس قطع برابر است با:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 0.001} = 159.154 \text{Hz}$$

هم چنین به عبارتی میتوان گفت در این حالت ولتاژ خروجی برابر 0.7 ولتاژ ورودی میشود. پس به کمک نمودار میتوان این مقدار را یافت. چون 0.7 ولتاژ ورودی برابر 1.4 ولت میباشد در نمودار فرکانس آن به کمک کرسر به صورت زیر به دست می آید:

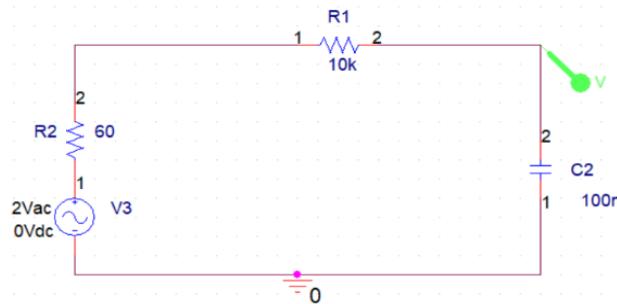


طبق نمودار تقریبا 160.694Hz برابر فرکانس قطع میباشد.

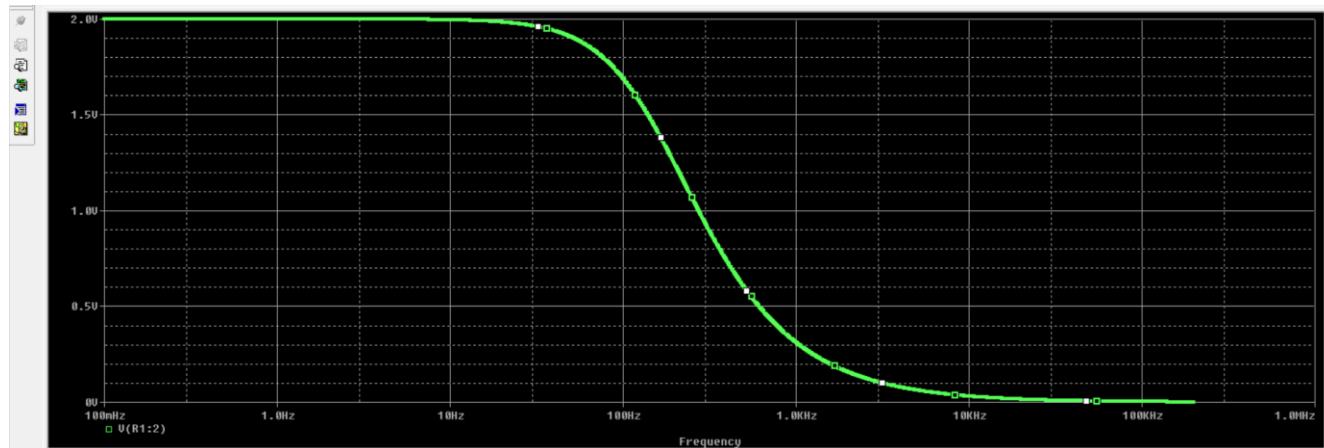
پیش گزارش ۲:

پیش گزارش ۲: در آزمایش ۳ مقاومت داخلی مربوط به فانکشن ژنراتور اندازه گیری شد حال با در نظر گرفتن این موضوع، اضافه شدن مقاومت داخلی فانکشن ژنراتور به مدار RC پایین گذر (در حالت بدون بار) چه تاثیری بر پاسخ دامنه مدار و فرکانس قطع خواهد داشت؟

در این آزمایش نیز مانند گذشته یک مقاومت ۶۰ اهمی به عنوان مقاومت درونی منبع به صورت سری با آن در مدار قرار میدهیم. بنابراین مدار به فرم زیر میباشد:



همچنین مشخصه پاسخ دامنه به فرم زیر میباشد:



اگر روابط را بر روی این مدار بنویسیم خواهیم داشت:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_i = \left[R_1 + R_2 + \frac{1}{j\omega c} \right] I \\ V_o = \frac{1}{j\omega c} I \end{array} \right. \rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + (R_1 + R_2)j\omega c} \rightarrow |A_v| = \frac{1}{\sqrt{1 + ((R_1 + R_2)\omega c)^2}}$$

حال چون مقدار R_1 در مقایسه با R_2 خیلی کوچک میباشد مقاومت معادل اندکی افزایش میابد و تغییرات اندکی نسبت به قبل ایجاد میشود ولی باز هم در فرکانس 0 نسبت $A_v = 1$ میباشد و در بی نهایت به سمت 0 میرود. البته میتوان گفت چون مقاومت معادل بیشتر شده است پس نمودار سریع تر به 0 میل میکند و اگر مقاومت درونی بزرگ تر باشد تأثیر خود را بیشتر نشان میدهد.

برای فرکانس قطع نیز میدانیم در این فرکانس اندازه توان خروجی به نصف ماکزیمم توان خروجی می رسد طبق روابط خواهیم داشت:

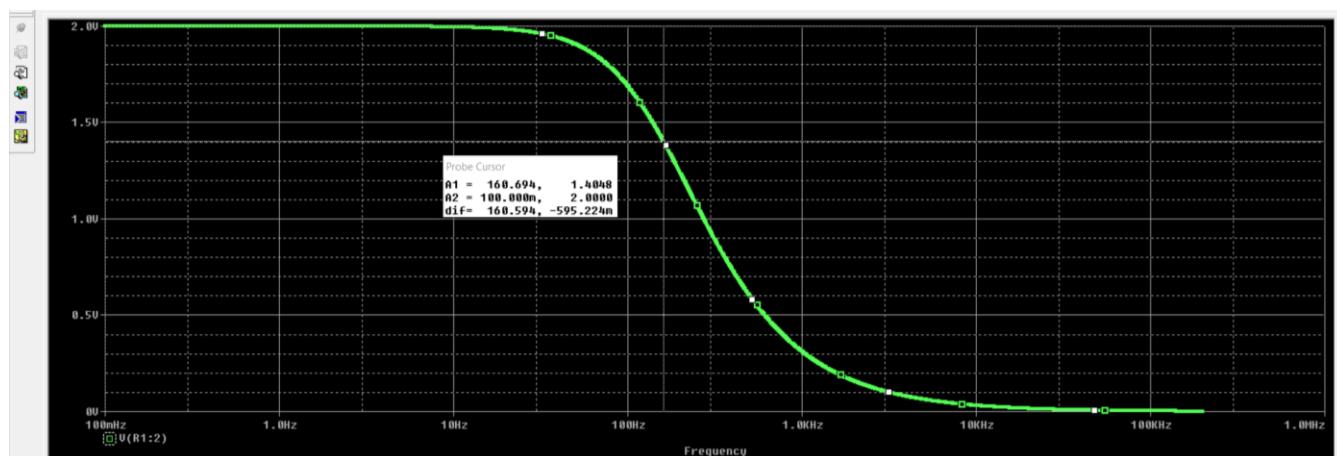
$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + ((R_1 + R_2)\omega C)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi(R_1 + R_2)C}$$

همانطور که مشخص است انتظار میروود که فرکانس قطع تغییر کند و در واقع نسبت به قبل کاهش یابد. حال اگر محاسبه کنیم خواهیم داشت:

$$f_c = \frac{1}{2\pi(R_1 + R_2)C} = \frac{1}{2\pi \times 10060 \times 10^{-7}} = 158.205 \text{ Hz}$$

در آزمایشی که قبل تر انجام شد مقدار 159.154 Hz برای فرکانس قطع به دست آمد.

هم چنین طبق نمودار اگر 0.7 ولتاژ ورودی را هم فرکانسی را حساب کنیم آنگاه فرکانس قطع به دست می آید. منتها چون تغییرات اندک است و دقیقا نمیتوان ولتاژ 1.4 را یافت کمی نمایش مشکل است منتها با توجه به شکل زیر می توان این موضوع را فهمید:

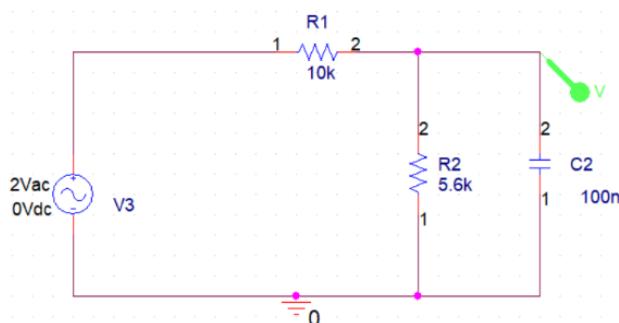


در این شکل در فرکانس 160.694 هرتز مقدار ولتاژ خروجی برابر با 1.4048 ولت میباشد در آزمایش قبل دیدیم که در 1.4090 ولت همین فرکانس را داشتیم و بنابراین از روی نمودار هم کاهش فرکانس قطع را میتوانیم شاهد باشیم.

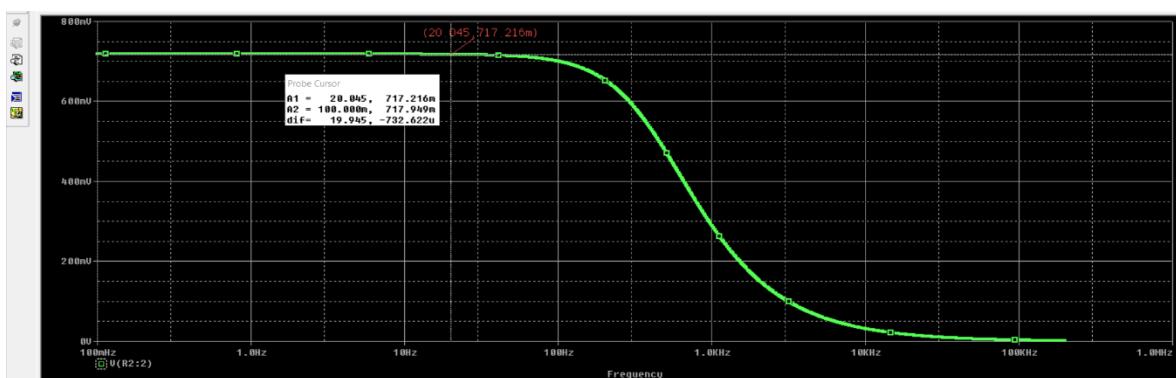
آزمایش 2

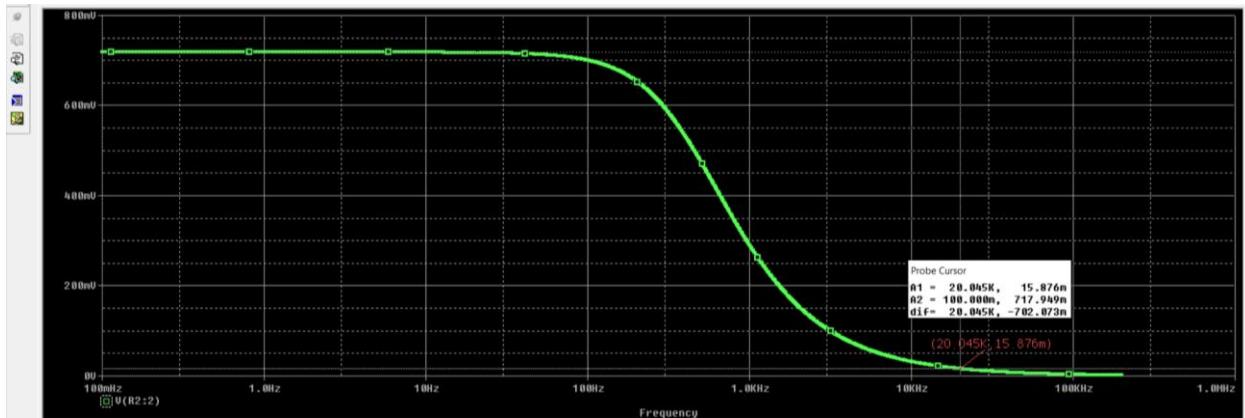
۲- در این مرحله قصد داریم تا نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی در پیش گزارش ۱ را مورد بررسی قرار دهیم. یک مقاومت $5.6k\Omega$ را به صورت موازی با خازن C در مدار قرار دهید. بوسیله نوسان ساز یک موج سینوسی با دامنه ۴ ولت (پیک تو پیک) به مدار اعمال نمایید. فرکانس نوسان ساز را روی مقادیر $20kHz$ و $20Hz$ تنظیم کنید و مقادیر ولتاژ خروجی در هر حالت را یادداشت کنید. به ازای $f = 20Hz$ ولتاژ خروجی ماکزیمم (V_{max}) خواهد بود. سپس با تغییر فرکانس ورودی مدار، ولتاژ خروجی را روی $0.7V_{max}$ تنظیم کنید. فرکانسی که به ازای آن ولتاژ خروجی $0.7V_{max}$ می‌شود، فرکانس قطع خواهد بود. این فرکانس را یادداشت کرده و با نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی در پیش گزارش ۱ مقایسه کنید.

ابتدا مدار مورد نظر را میبندیم که نتیجه به صورت زیر میباشد:



هم چنین پس از شبیه سازی مدار و به دست آوردن نمودار پاسخ دامنه ولتاژ خروجی را در فرکانس های خواسته شده میابیم:





ولتاژ در 20Hz برابر با 717.216mV و در 20kHz برابر با 15.876mV میباشد.

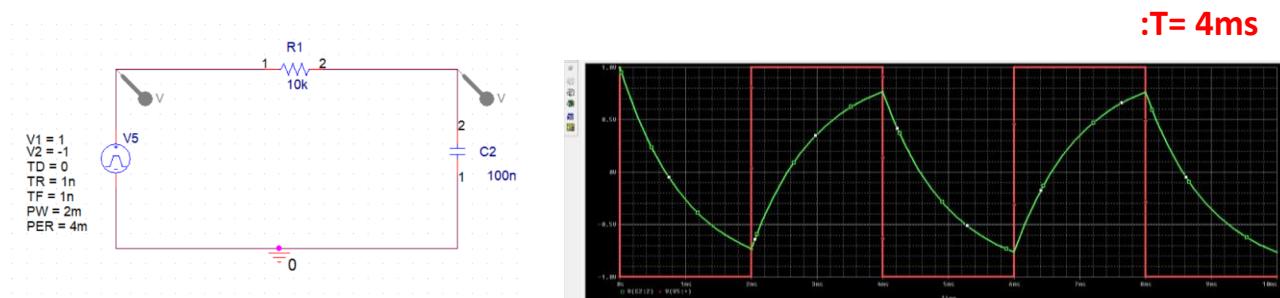
پیش گزارش ۳:

پیش گزارش ۳: مدار مربوط به فیلتر پایین گذر به ازای $C=100nF$ و $R=10k\Omega$ و با استفاده از تحلیل Time Domain شبیه سازی کنید و مقدار T/RC را برای انTEGRالگیری مناسب بدست آورید؟ (ورودی فیلتر را موج مربعی با تناب T قرار دهید و به ازای T های مختلف شبیه سازی را انجام دهید.)

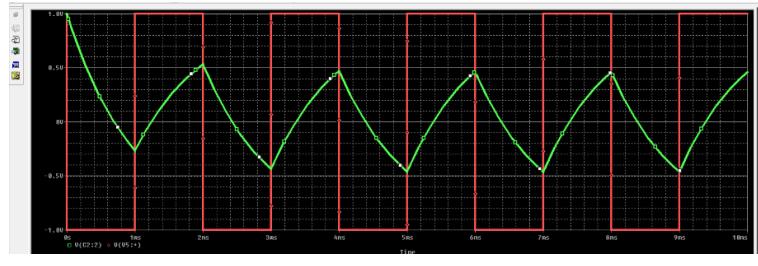
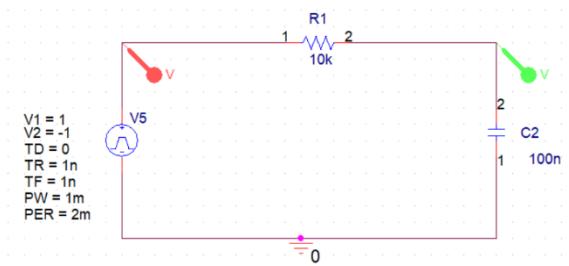
برای اینکه مقدار $\frac{T}{RC}$ مناسب را به دست آوریم میتوانیم اینگونه بگوییم که باید $1 \gg \omega RC$ باشد پس داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega = \frac{2\pi}{T} \rightarrow \frac{2\pi RC}{T} \gg 1 \rightarrow \frac{T}{RC} \ll 2\pi \\ \omega RC \gg 1 \end{array} \right. \xrightarrow{\text{محدوده مناسب برای}} T \ll 2\pi RC$$

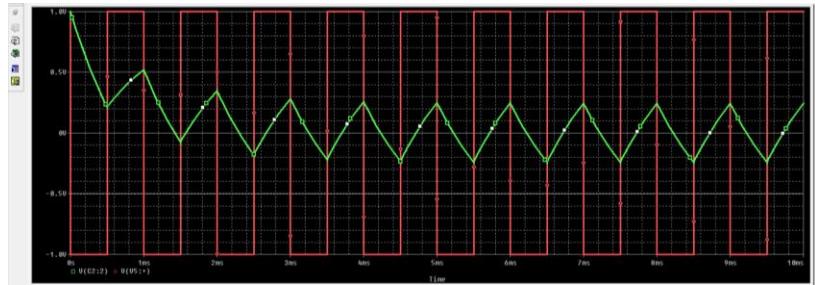
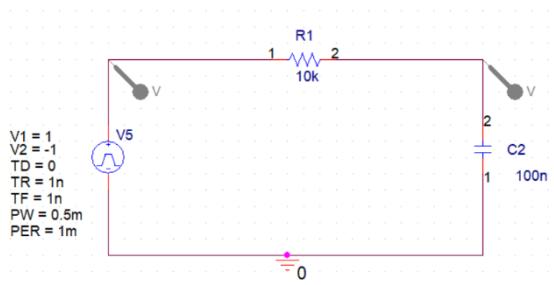
پس میتوان گفت مقدار T باید از 6.28ms کوچک تر باشد. حال به ازای مقادیر مختلف T این آزمایش را تکرار میکنیم. میدانیم که به ازای ورودی مربعی ما باید خروجی مثلثی داشته باشیم تا بتوانیم بگوییم مدار به شکل انتگرال گیر عمل میکند. بنابراین با مقادیر مختلف T داریم:



:T=2ms



:T=1ms



همانطور که مشاهده میشود در $T=1\text{ms}$ تقریبا به نتیجه‌ی موردنظر رسیده‌ایم. بنابراین به ازای $1 < \frac{T}{RC}$ میتوان گفت خروجی به صورت انتگرال ورودی میباشد.

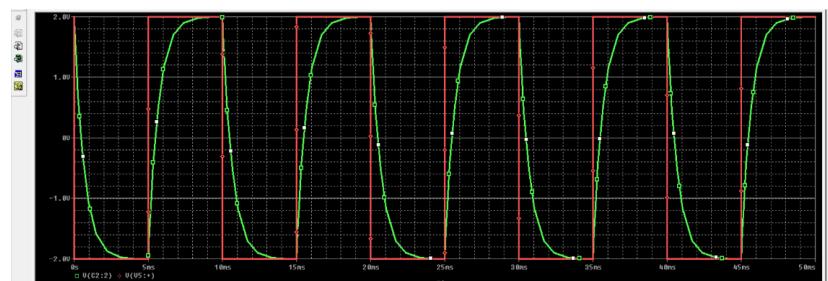
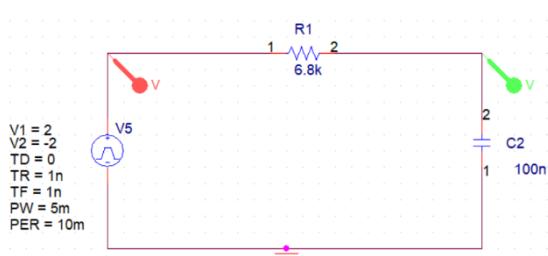
آزمایش 3:

مدار پایین گذر را با مقاومت R و خازن $C=100\text{nF}$ تشکیل دهید. نوسان ساز را به ورودی مدار متصل نموده و یک موج مربعی با دامنه ماکزیمم ۴ ولت به مدار اعمال کنید و پاسخ مدار را بوسیله اسیلیسکوپ مشاهده نمایید. فرکانس موج ورودی را در حدود 100Hz انتخاب کنید. با استفاده از مقاومتهای $6.8\text{k}\Omega$, $10\text{k}\Omega$, $22\text{k}\Omega$ و $150\text{k}\Omega$ به جای R , شکل موج خروجی را در هر حالت مشاهده و به دقت (دامنه و زمانها کاملاً مشخص باشد) رسم نمایید. بجای موج مربعی در حالت اخیر ($150\text{k}\Omega$) یک موج سینوسی با دامنه ماکزیمم ۴ ولت به مدار اعمال کنید به فاز ولتاژ خروجی نسبت به ورودی توجه کنید. این اختلاف فاز را چگونه توجیه میکنید؟

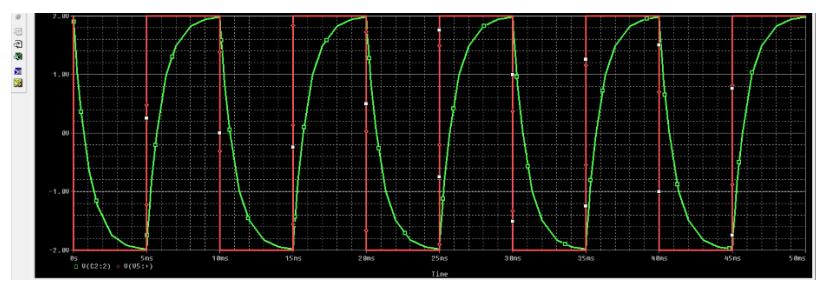
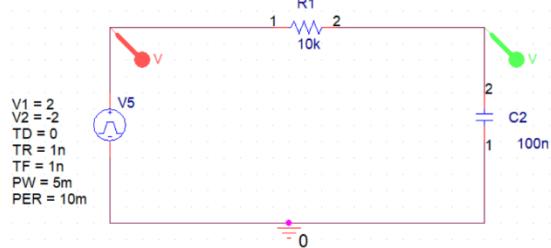
ابتدا مدارات خواسته شده را میبندیم و خروجی آن ها را با اورکد مشاهده میکنیم:

دامنه پیک تا پیک 4 ولت و همچنین دوره ای تناوب برابر با $T = \frac{1}{f} = 10ms$ در نظر میگیریم.

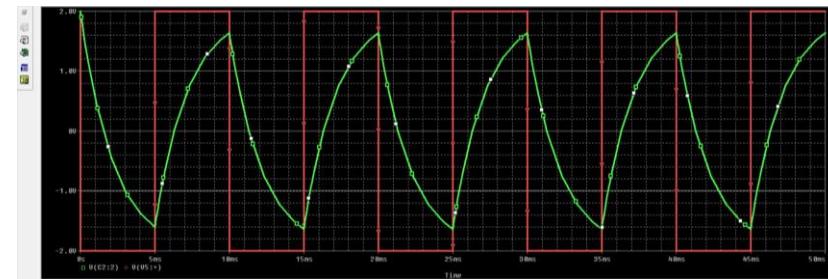
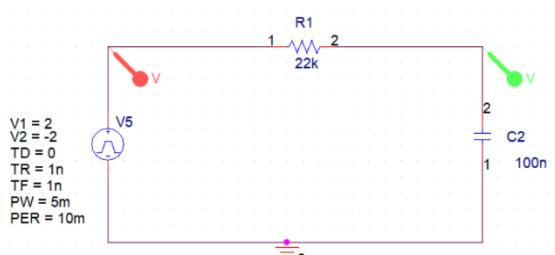
مدار اول: $R=6.8k\Omega$



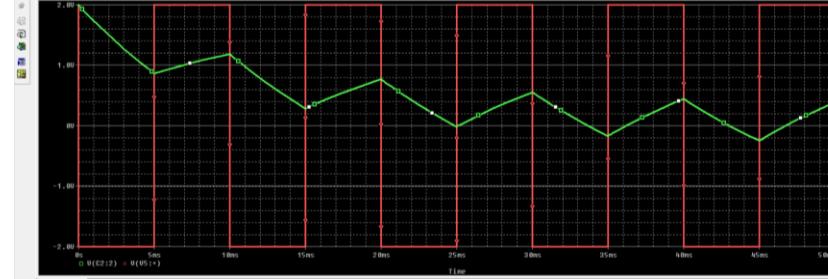
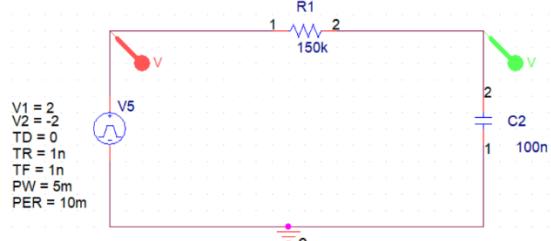
مدار دوم: $R=10k\Omega$



مدار سوم: $R=22k\Omega$

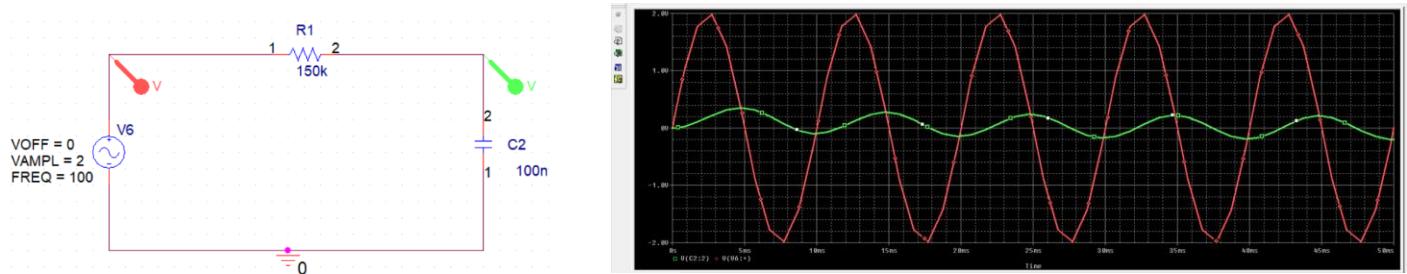


مدار چهارم: $R=150k\Omega$



با افزایش مقدار مقاومت همانطور که دیده میشود دیگر T گفته شده در سوال مناسب برای شارژ و دشارژ کامل خازن نیست و کم کم با افزایش ωRC مقدار R نیز افزایش میابد و مدار مانند انتگرال گیر عمل میکند.

در حالت آخر خواسته شده مدار با منبع سینوسی به عنوان ورودی و مقاومت $150\text{k}\Omega$ رسم شود:



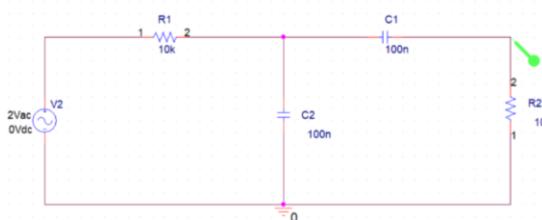
در این حالت نیز مدار به صورت انتگرال گیر عمل کرده و با ورودی سینوسی خروجی به صورت کسینوس میباشد و درواقع 90 درجه تاخیر فاز دارد. همه‌ی این‌ها با توجه به سیر طی شده در این نمودار‌ها ناشی از تاخیر در شارژ و دشارژ خازن و مناسب نبودن T برای شارژ کامل و دشارژ آن است.

آزمایش ۴:

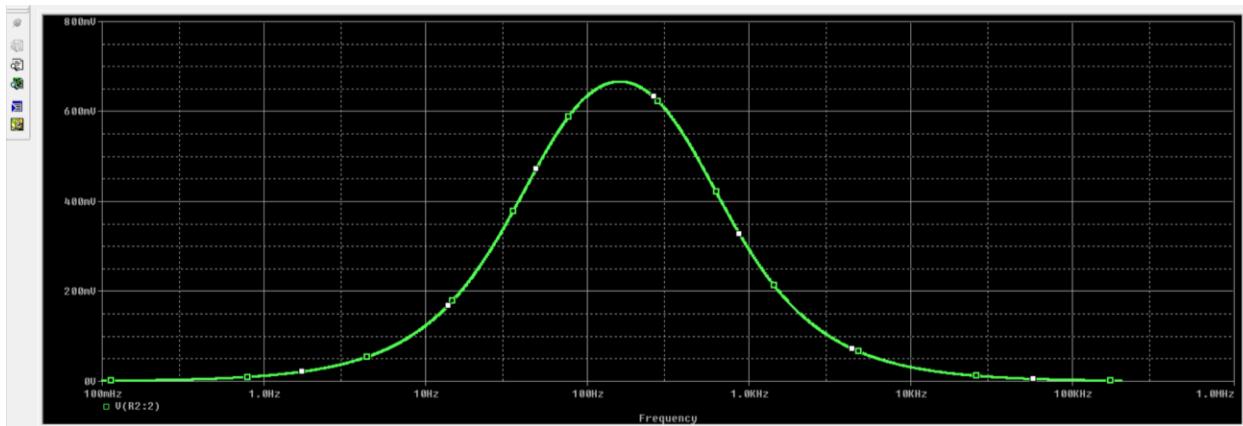
با استفاده از مقاومت $R = 10\text{k}\Omega$ و $C = 100\text{nF}$ مدار میان‌گذری بسازید. یک موج سینوسی با ولتاژ ماقزیم ۲ ولت به مدار اعمال نموده و برای فرکانس‌های داده شده در جدول ۲ مقدار ولتاژ خروجی و اختلاف فاز را اندازه‌گیری کنید. دقیق داشته باشید که هنگامی که فرکانس نوسان‌ساز را تغییر می‌دهید، ولتاژ ورودی تغییر نکند و همواره روی ۲ ولت ثابت بماند.

-فرکانس قطع و پهنه‌ای باند این فیلتر را به صورت تئوری و عملی محاسبه کنید.

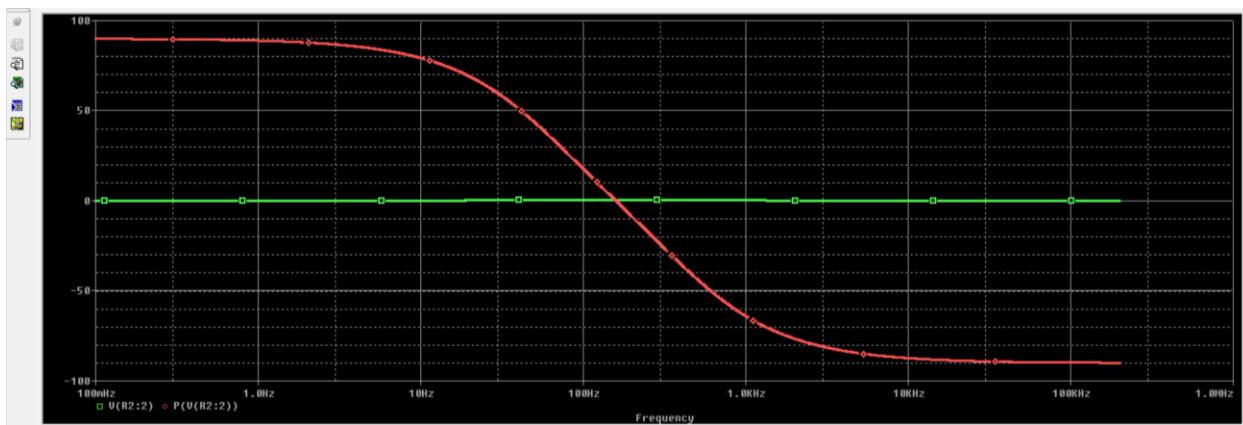
ابتدا مدار گفته شده را میبینیم و سپس شبیه سازی میکنیم و به ازای مقادیر خواسته شده در جدول به کمک کرسر برای حالت عملی مقادیر را میابیم و برای حالت تئوری هم به کمک روابط به دست آمده مقادیر خواسته شده را میابیم:



ولتاژ ماکزیمم 2 ولت درنظر گرفته شده است. نتیجه‌ی شبیه‌سازی برای پاسخ دامنه به فرم زیر است:



نمودار پاسخ فاز نیز به صورت زیر میباشد:



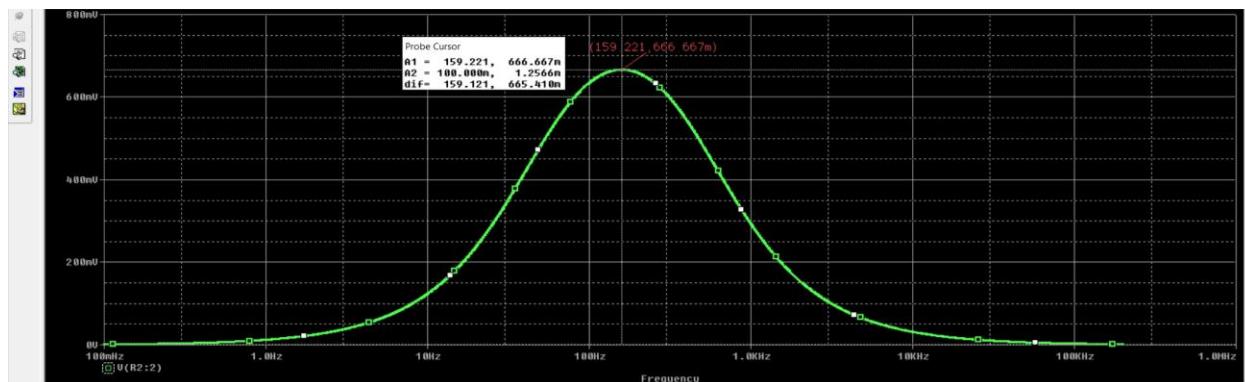
هم چنین روابطی که برای V_o و φ داریم به صورت زیر است:

$$\varphi = 90^\circ - \operatorname{Arctg} \left(\frac{3\omega RC}{1 - (\omega RC)^2} \right)$$

$$|A_v| = \left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{\omega RC}{\sqrt{(1 - (\omega RC)^2)^2 + 9(\omega RC)^2}} \rightarrow |V_o| = \frac{|V_i| \omega RC}{\sqrt{(1 - (\omega RC)^2)^2 + 9(\omega RC)^2}}$$

فرکانس f	V_0 اندازه گیری شده	Φ اندازه گیری شده	V_0 محاسبه شده	Φ محاسبه شده
20 Hz	241.429mV	68.860	238.464	69.041
50 Hz	481.185mV	43.235	481.811	43.720
100 Hz	634.751mV	17.801	634.750	17.800
150 Hz	666.143mV	2.3591	666.146	2.263
250 Hz	636.808mV	-17.479	636.520	-17.296
500 Hz	486.111mV	-43.345	485.486	-43.261
1000 Hz	293.282mV	-64.174	293.282	-63.900
3000 Hz	105.102mV	-80.991	105.072	-80.931
10000 Hz	31.803mV	-87.266	31.802	-87.265

حال برای به دست آوردن فرکانس قطع به صورت عملی 0.7 ولتاژ بیشینه‌ی خروجی را حساب کرده و به کمک کرسر فرکانس را به دست می‌آوریم. ولتاژ بیشینه خروجی با 2 ولت ورودی طبق شکل زیر برابر با 666.667mV می‌باشد:



سپس 0.7 آن برابر با 466.666mV می‌باشد.

در این ولتاژ دو فرکانس قطع داریم که برابر است با: $f_2 = 534.564\text{Hz}$ و $f_1 = 47.206\text{Hz}$ پهنهای باند نیز برابر اختلاف این دو هست که برابر است با:

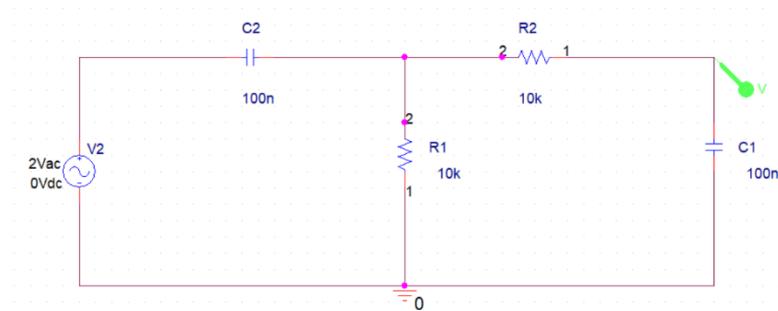
به صورت تئوری نیز خواهیم داشت:

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_1 = \frac{3.3}{RC} = \frac{3.3}{0.001} = 3300 \rightarrow f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = 525.226\text{Hz} \\ \omega_2 = \frac{0.3}{RC} = \frac{0.3}{0.001} = 300 \rightarrow f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} = 47.747\text{Hz} \end{array} \right. \xrightarrow{\text{پهنهای باند}} f_1 - f_2 = 477.479\text{Hz}$$

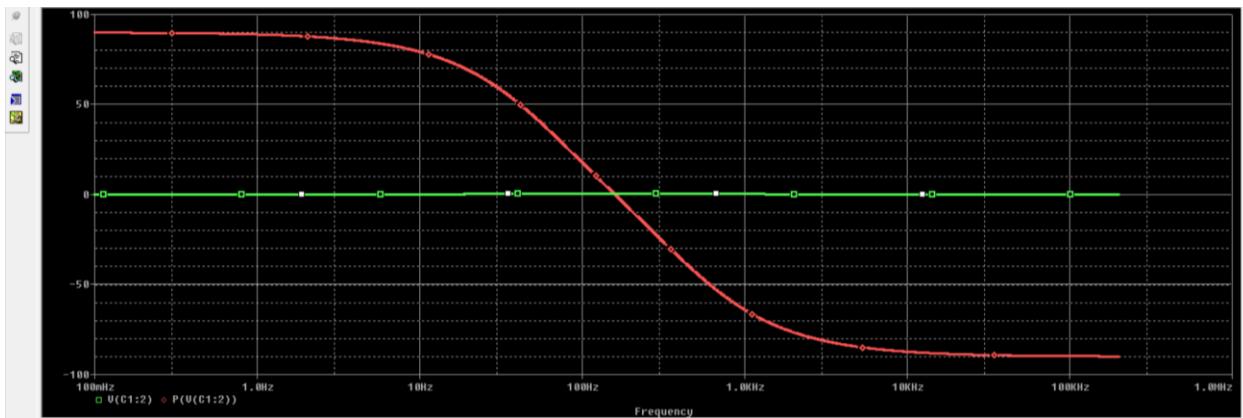
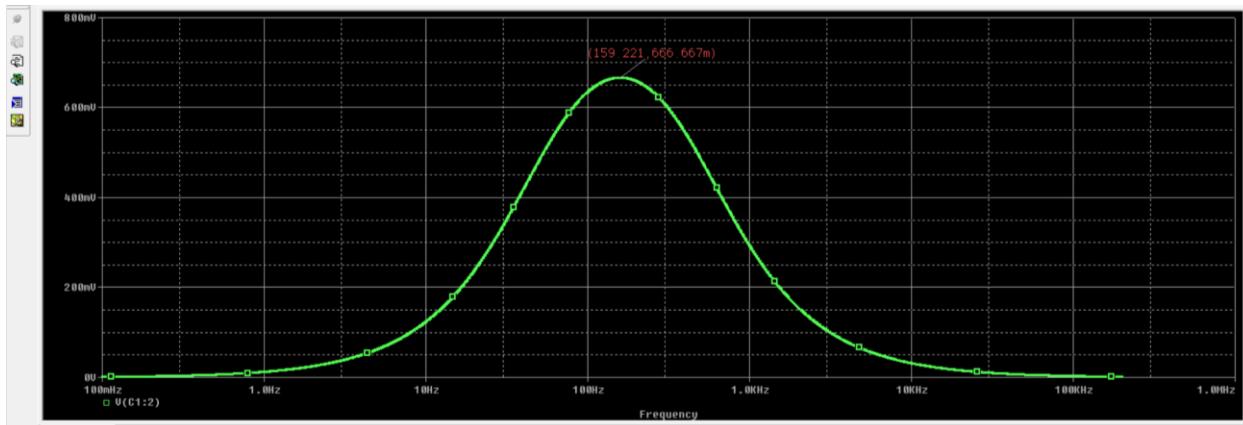
پیش گزارش ۳

پیش گزارش ۳: اگر در فیلتر میان گذر جای دو طبقه پایین گذر و بالاگذر عوض شود، آیا در مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز اثر خواهد داشت؟ (با استفاده از شبیه سازی در Orcad و تحلیل AC Sweep بررسی کنید).

ابتدا مدار خواسته شده را میبندیم که به صورت زیر میشود:



حال اگر شبیه سازی کنیم نمودارهای پاسخ دامنه و فاز به ترتیب به صورت های زیر میباشند:

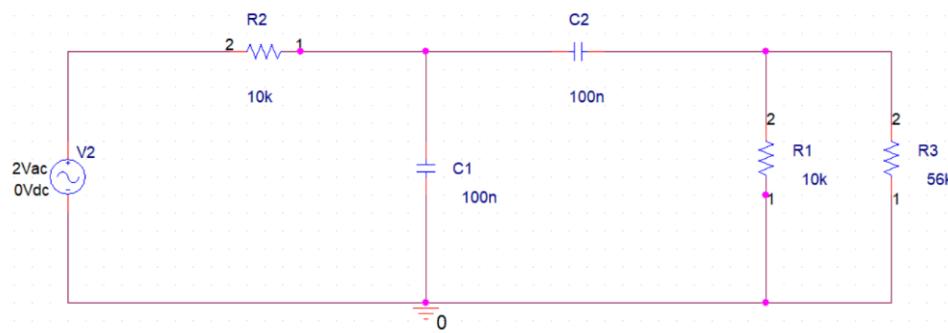


همانطور که مشاهده میشود تغییری در نمودارها و پاسخ دامنه و فاز ایجاد نمیشود.

پیش گزارش ۴

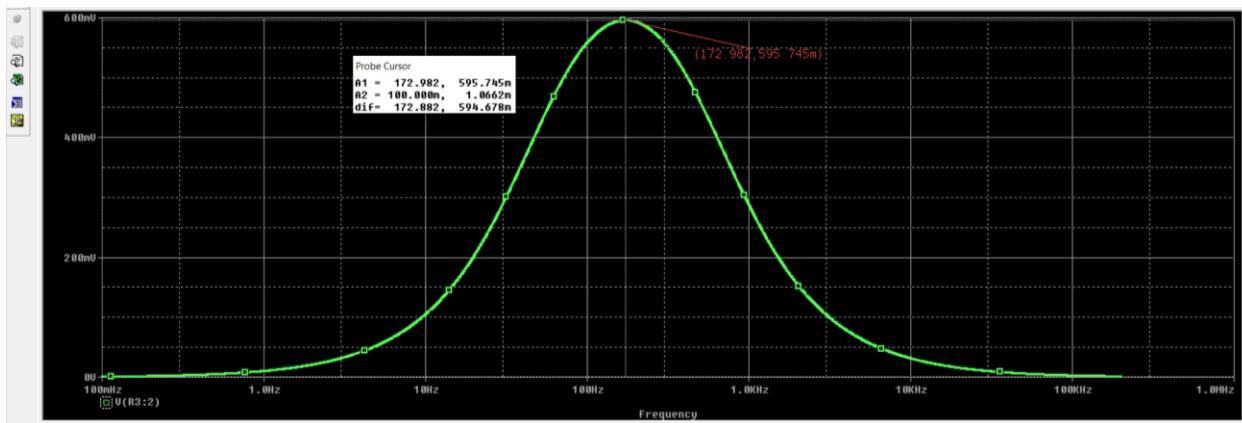
پیش گزارش ۴: وجود یک مقاومت بار یعنی $R_L = 56k\Omega$ در خروجی چه تاثیری در مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز یک فیلتر میان گذر دارد؟

ابتدا مدار خواسته شده را میبندیم و سپس داریم:



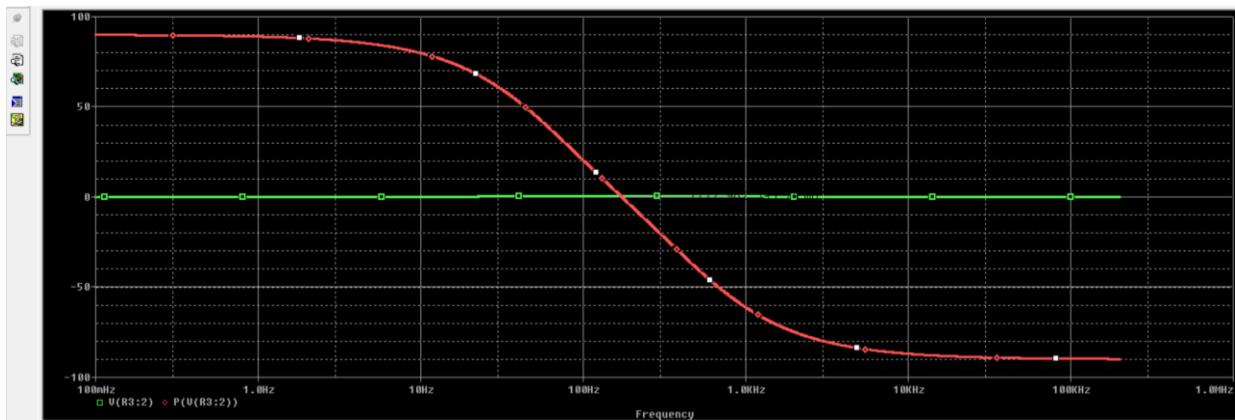
حال شبیه سازی را اجرا میکنیم و داریم:

برای پاسخ دامنه داریم:



همانطور که مشاهده میشود ولتاژ خروجی کاهش میابد.

برای نمودار پاسخ فاز خواهیم داشت:



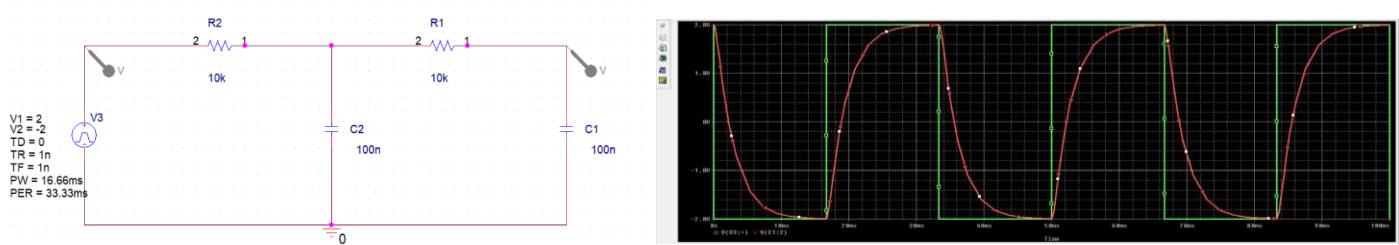
برای نمودار فاز نیز شبیه نمودار کم تر شده است و مثلا به ازای 100 هرتز فاز بیشتری داریم.

آزمایش 5

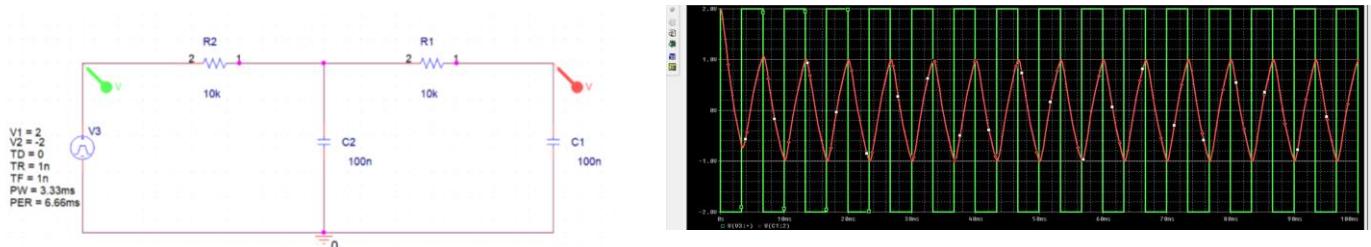
به مدار میان‌گذر ساخته شده در قسمت الف موج مربعی با دامنه $4v_{p-p}$ اعمال نمایید. شکل ولتاژ خروجی را برای فرکانس‌های $30Hz$, $150Hz$ و $2kHz$ رسم نمایید. شکل ولتاژ خروجی را چگونه توجیه می‌نمایید؟

آیا می‌توان از یک فیلتر میان‌گذر به عنوان یک مدار انتگرال گیر یا مشتق گیر استفاده نمود؟ در صورت امکان محدوده‌ای از فرکانس را تعیین کنید که چنین عملی صورت گیرد؟

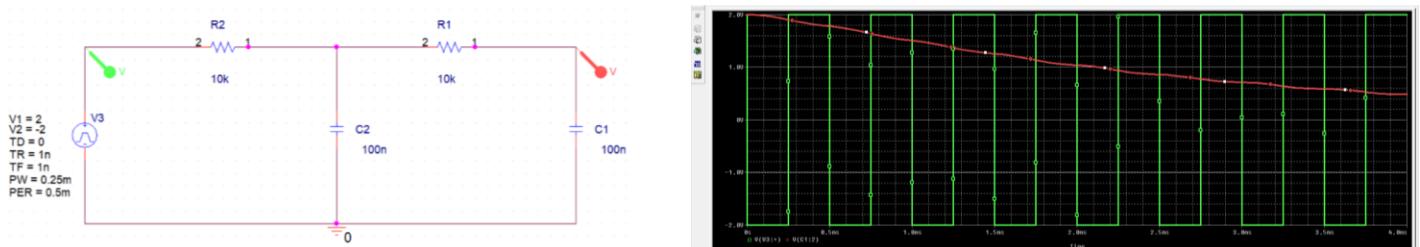
F=30Hz



F=150Hz



F=2kHz



همانطور که مشاهده میشود در شکل با فزایش مقدار فرکانس مدار تا یک محدوده ای به صورت انتگرال گیر میتواند عمل کند و از آن محدوده به بعد به صورت مشتق گیر می باشد.