

«باسمه تعالی»



«گزارش و پیش گزارش آزمایش دهم»
کاربردهای خطی تقویت کننده عملیاتی



طراحی و تدوین:

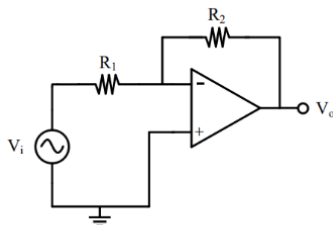
مهدی رحمانی

9731701

هدف آزمایش

بررسی تقویت کننده های معکوس کننده و غیرمعکوس کننده و پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر با استفاده از آپ امپ

۱- تقویت کننده معکوس کننده:



شکل (۲-۱۰)

در این آزمایش می خواهیم یک تقویت کننده با بهره منفی توسط آپ امپ (که فیدبک منفی دارد) بسازیم. مدار

مربوط به این آزمایش در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است.

پیش گزاری ۱: مدار معکوس کننده شکل (۲-۱۰) را برای بهره ۵/۶ طراحی کنید. (تعیین مقدار مقاومت R_2 با فرض $R_1=1k$)

مدار گفته شده در شکل (۲-۱۰) یک مدار تقویت کننده معکوس کننده می باشد. چون در آپ امپ فیدبک منفی برقرار است پایه ی مثبت هر پتانسیلی داشته باشد آنگاه پایه ی منفی نیز باید همان پتانسیل را داشته باشد. حال چون پایه ی مثبت به زمین متصل می باشد پس ولتاژ پایه ی منفی نیز صفر می باشد. بنابراین به راحتی میتوان

$$I_1 = \frac{V_i - 0}{R_1} = \frac{V_i}{R_1} \text{ را حساب کرد که برابر است با:}$$

حال چون جریان ورودی به پایه ی منفی آپ امپ برابر با صفر می باشد بنابراین همه ی جریان از شاخه ی بالایی عبور میکند و از ادامه ی آن به زمین میرود. بنابراین برای به دست آوردن خروجی موردنظر میتوانیم یک kV_i بنویسم و خواهیم داشت:

$$V_o = -R_2 I_1$$

حال با جایگذاری I_1 در رابطه فوق خواهیم داشت:

$$V_o = -R_2 I_1 \xrightarrow{I_1 = \frac{V_i}{R_1}} \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1}$$

علت معکوس کنندگی هم درواقع میتوان در آن منفی قرار گرفته در پشت کسر دوم یافت که باعث میشود خروجی با ورودی 180 درجه اختلاف فاز داشته باشد.

حال با توجه به اینکه $R_1=1k\Omega$ میباشد و بهره یا همان $\frac{V_o}{V_i}$ برابر با 5.6 میباشد بنابراین با جایگذاری در رابطه ی به دست آمده میتوان R_2 را یافت:

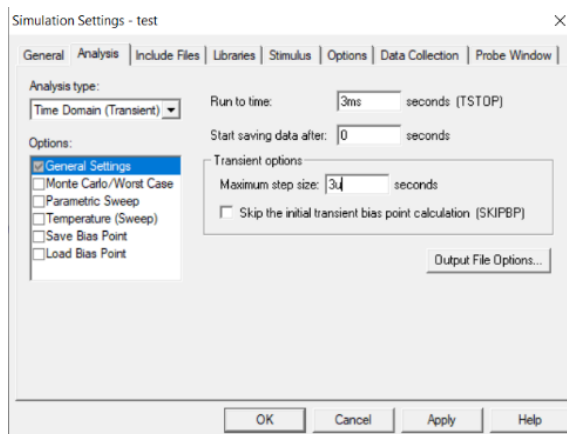
$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_2}{R_1} \rightarrow -5.6 = -\frac{R_2}{1k\Omega} \rightarrow R_2 = 5.6k\Omega$$

حال مدار را با مقادیر به دست آمده میتوان طراحی کرد.

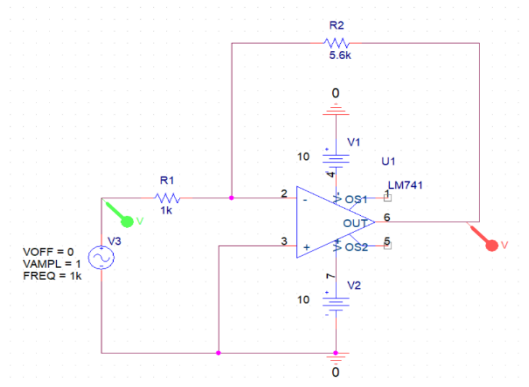
پیش گزارش ۲: با توجه به مقادیر بدست آمده در قسمت قبل، مدار معکوس کننده را با استفاده از نرم افزار **Orcad** شبیه سازی کنید.

آپ امپ استفاده شده در شبیه سازی LM741 میباشد. حال مطابق مدار شکل (۱۰-۲) و به کمک مقادیر داده شده و به دست آمده مدار را در شبیه ساز میبندیم.

چون پولاریته منفی به پایه ی 4 وصل شده میشود -10V و چون پولاریته مثبت به پایه ی 7 وصل شده، +10V میشود. تحلیل مورد استفاده تحلیل time domain میباشد. تنظیمات شبیه سازی به صورت زیر میباشد:

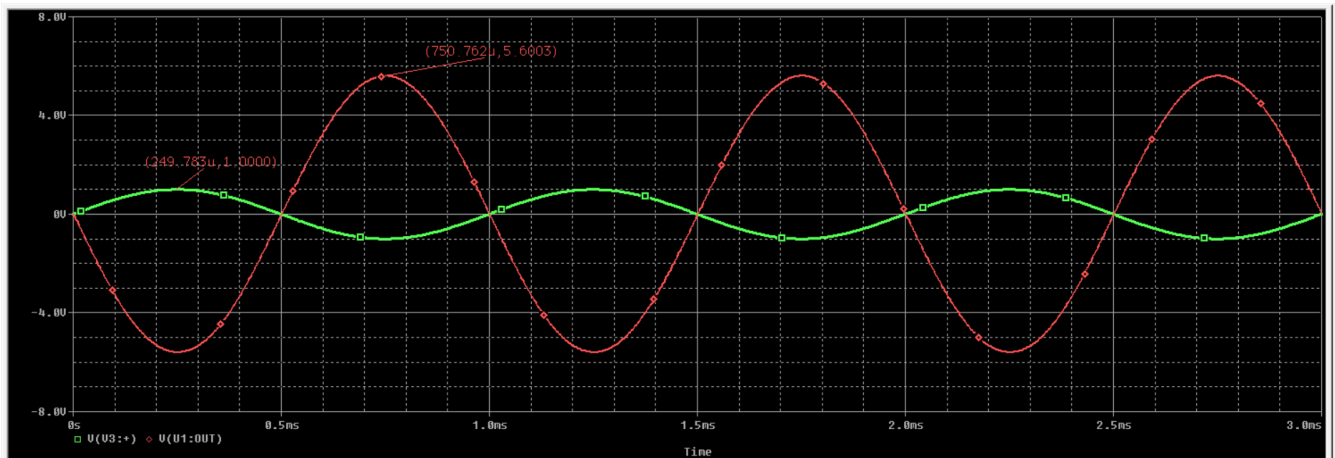


(دقت شود که مقدار maximum stop size هزار برابر از TSTOP کوچک تر است.)



حال دو probe ولتاژ یکی در ورودی و یکی در خروجی متصل میکنیم. در نهایت مدار به صورت روبرو است:

پس از شبیه سازی مدار فوق نتیجه به صورت زیر می باشد:



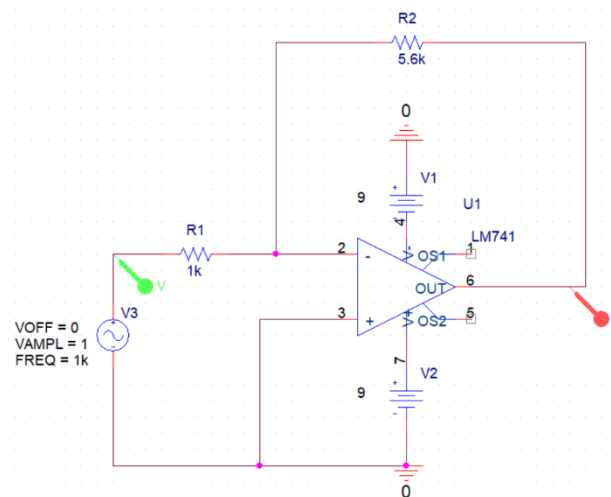
نمودار سبز رنگ نمودار ولتاژ ورودی و نمودار قرمز رنگ نمودار ولتاژ خروجی می باشد. به کمک کرسر و علامت گذاری ماکسیمم دامنه ی هر نمودار مشخص شده است. ماکسیمم دامنه ی نمودار قرمز رنگ برابر 5.6 ولت و ماکسیمم نمودار سبز رنگ برابر با 1 ولت می باشد. همانطور که مشخص است ورودی و خروجی 180 درجه اختلاف فاز دارند پس میتوان گفت بهره که حاصل تقسیم ولتاژ خروجی به ورودی است برابر با 5.6- می باشد.

حال میتوان گفت که طراحی که در پیش گزارش یک انجام دادیم طراحی درستی بوده است.

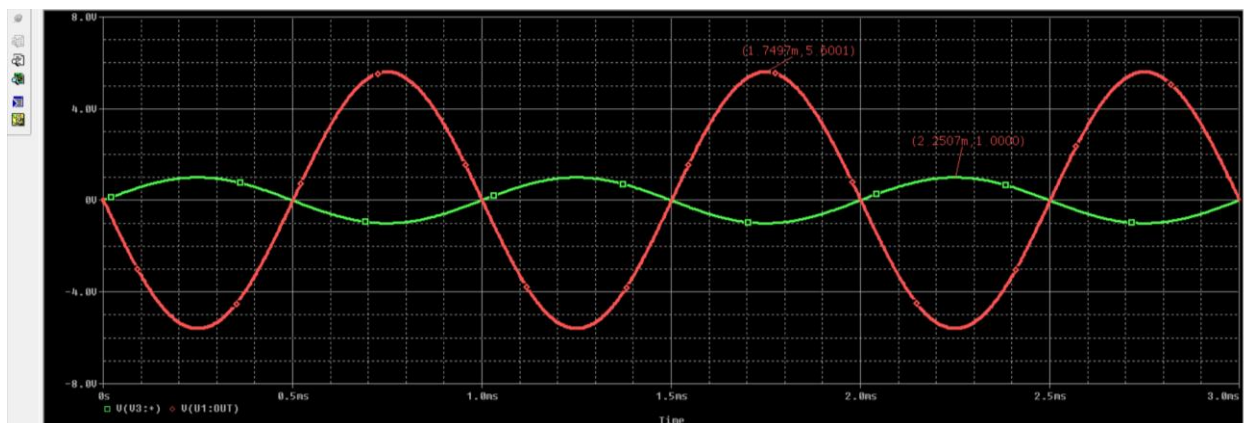
شرح آزمایش:

در این آزمایش از دو باتری 9 ولت به عنوان منبع تغذیه استفاده می شود. این دو باتری با یکدیگر سری خواهند شد و وسط آنها به عنوان زمین اختیار می شود، بنابراین قطب مثبت باتری اول دارای ولتاژ مثبت 9 ولت و قطب منفی باتری دوم دارای ولتاژ منفی 9 ولت نسبت به زمین خواهد بود. ولتاژهای تغذیه مثبت و منفی را به ترتیب به پایه های V_{CC} و $-V_{CC}$ آپ امپ متصل نمایید. حال مدار مربوط به معکوس کننده را مطابق با شکل (۱۰-۲) و مقادیر مقاومت های $R1$ و $R2$ طراحی شده، ببندید. یک ولتاژ سینوسی با دامنه V_{p-p} ۲ و فرکانس ۱ kHz به ورودی مدار اعمال کنید. خروجی و ورودی مدار را روی اسیلوسکوپ مشاهده نمایید و بهره مدار را محاسبه کنید.

مدار موردنظر به صورت زیر می باشد:

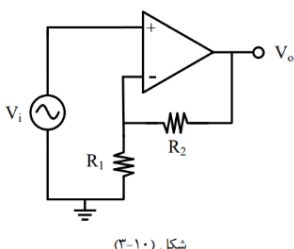


نتیجه ی شبیه سازی و نقاط ماکسیمم نیز به صورت زیر است:



$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{5.6}{1} = 5.6 \text{ به دست آمده بهره برابر است با: } 5.6$$

۲- تقویت کننده غیر معکوس کننده:



در این آزمایش می خواهیم یک تقویت کننده با بهره مثبت توسط آپ امپ (که فیدبک منفی دارد) بسازیم. مدار

مربوط به این آزمایش در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است.

پیش گزاری ۳: مدار غیر معکوس کننده شکل (۳-۱۰) را برای بهره ۶/۶ طراحی کنید. (تعیین مقدار مقاومت R_2 با فرض $R_1=1k$).

در آزمایش قبل ورودی به پایه ی منفی متصل بود ولی در اینجا به پایه ی مثبت متصل می باشد.

در اینجا نیز چون فیدبک منفی در مدار داریم پس پایه ی مثبت هر ولتاژی داشته باشد پایه ی منفی نیز همان ولتاژ را دارد. طبق شکل چون ولتاژ پایه ی مثبت V_i می باشد بنابراین ولتاژ پایه ی منفی نیز V_i می باشد. چون آپ امپ در شکل از پایه ی منفی جریانی نمی کشد بنابراین از آن جریانی نمی گذرد و جریانی که به سمت پایین می رود

$$\text{برابر با است با: } I_1 = \frac{V_i}{R_1}$$

حال با توجه به اینکه از پایه ی منفی جریانی نمی گذرد با نوشتن KCL در نقطه تلاقی شاخه ی دارای R_1 با شاخه دارای R_2 میتوان گفت جریانی گذرنده از R_2 نیز برابر با همان $I_1 = \frac{V_i}{R_1}$ می باشد. حال برای به دست آوردن V_o میتوان یک KVL نوشت:

$$V_o = (R_1 + R_2)I_1 \xrightarrow{I_1 = \frac{V_i}{R_1}} V_o = (R_1 + R_2) \frac{V_i}{R_1} \rightarrow \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

حال با توجه به اینکه $R_1=1k\Omega$ می باشد و بهره یا همان $\frac{V_o}{V_i}$ برابر با 6.6 می باشد بنابراین با جایگذاری در رابطه ی به دست آمده میتوان R_2 را یافت:

$$\frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1} \rightarrow 6.6 = 1 + \frac{R_2}{1k\Omega} \rightarrow R_2 = 5.6k\Omega$$

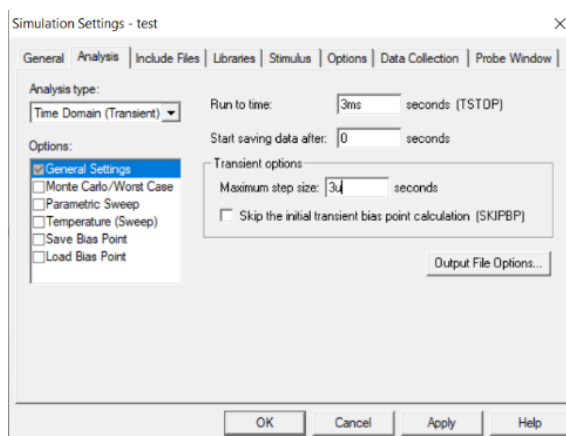
حال مدار را با مقادیر به دست آمده میتوان طراحی کرد.

پیش گزارش ۴: با توجه به مقادیر بدست آمده در قسمت قبل، مدار غیرمعکوس کننده را با استفاده از نرم افزار

Orcad شبیه سازی کنید.

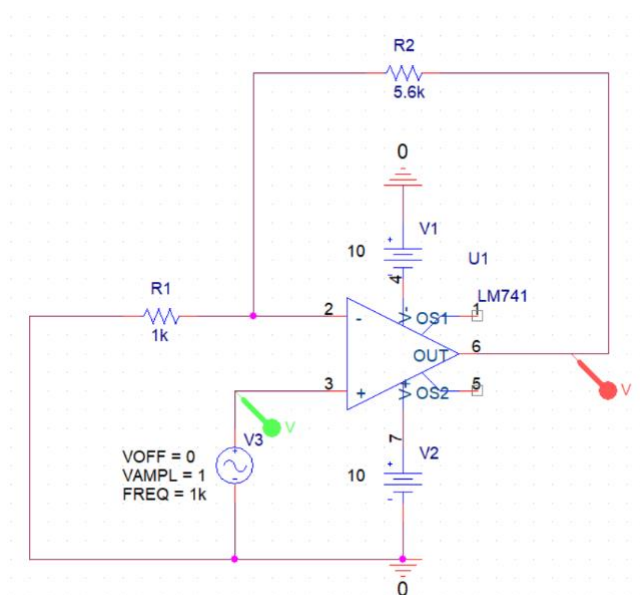
آپ امپ استفاده شده در شبیه سازی LM741 میباشد. حال مطابق مدار شکل (۱۰-۳) و به کمک مقادیر داده شده و به دست آمده مدار را در شبیه ساز میبندیم.

تحلیل مورد استفاده تحلیل time domain میباشد. تنظیمات شبیه سازی به صورت زیر میباشد:

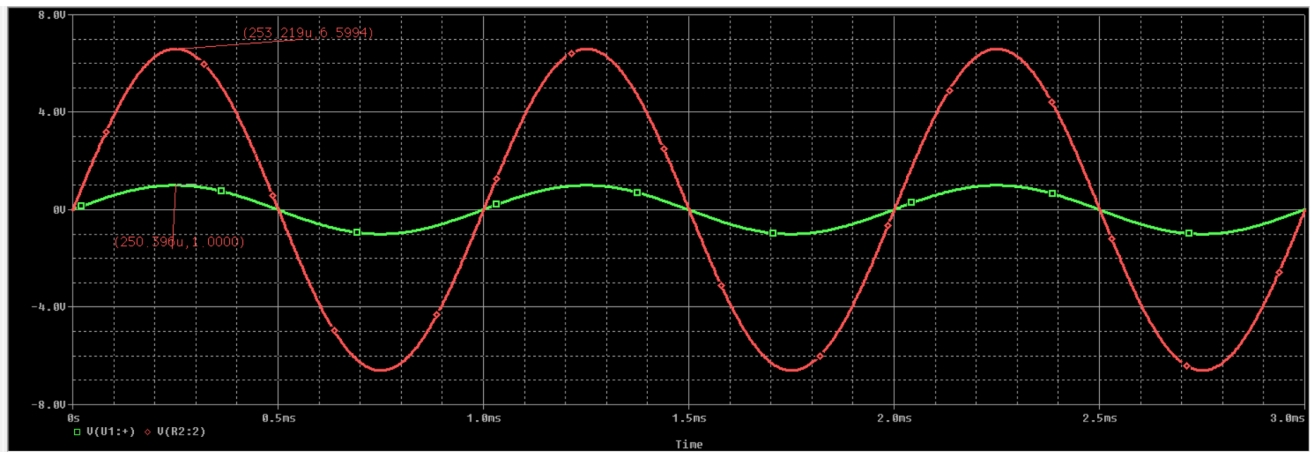


(دقت شود که مقدار maximum stop size هزار برابر از TSTOP کوچک تر است.)

حال دو probe ولتاژ یکی در ورودی و یکی در خروجی متصل میکنیم. در نهایت مدار به صورت زیر است:



پس از شبیه سازی مدار فوق نتیجه به صورت زیر می باشد:



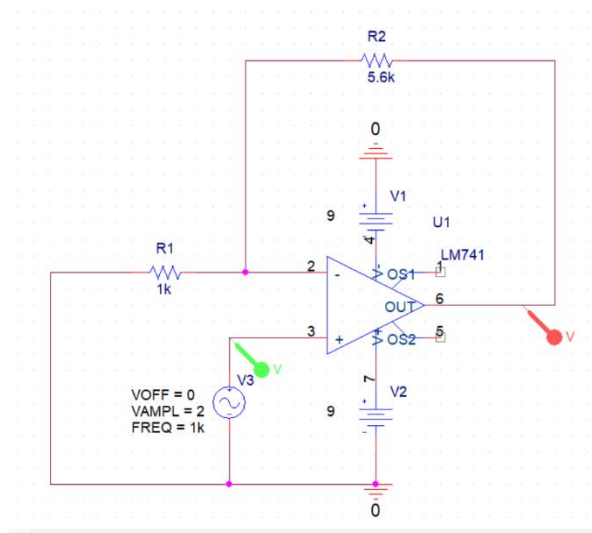
نمودار سبز رنگ نمودار ولتاژ ورودی و نمودار قرمز رنگ نمودار ولتاژ خروجی می باشد. به کمک کرسر و علامت گذاری ماکسیمم دامنه ی هر نمودار مشخص شده است. ماکسیمم دامنه ی نمودار قرمز رنگ برابر 6.6 ولت و ماکسیمم نمودار سبز رنگ برابر با 1 ولت می باشد. همانطور که مشخص است ورودی و خروجی اختلاف فاز ندارند و هم فازند پس میتوان گفت بهره که حاصل تقسیم ولتاژ خروجی به ورودی است برابر با 6.6 می باشد.

حال میتوان گفت که طراحی که در پیش گزارش یک انجام دادیم طراحی درستی بوده است.

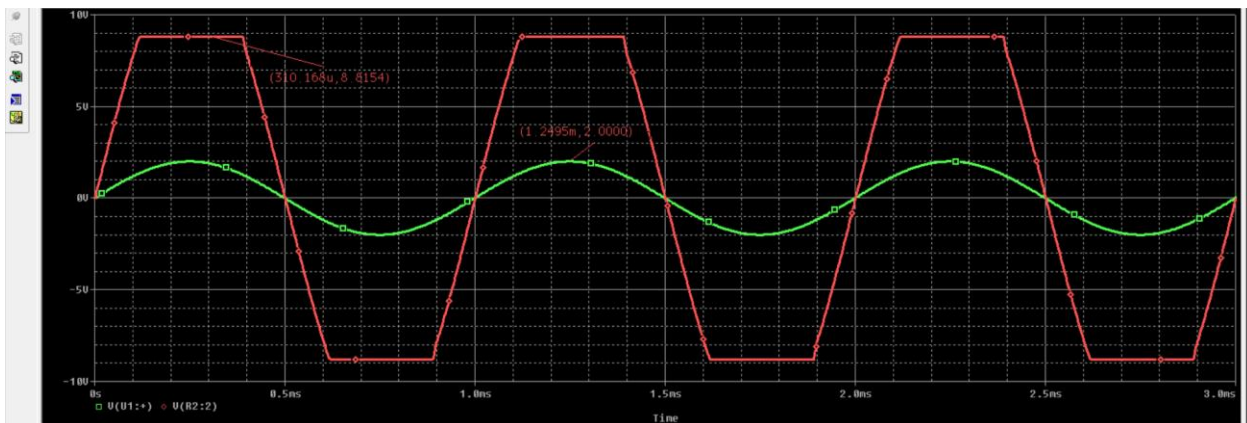
شرح آزمایش:

همانند آزمایش قبل ولتاژهای تغذیه مثبت و منفی 9 ولت را به ترتیب به پایه های V_{CC} و $-V_{CC}$ آپ امپ متصل نمایید. حال مدار مربوط به غیرمعکوس کننده را مطابق با شکل (۱۰-۳) و مقادیر مقاومت های R_1 و R_2 طراحی شده ببندید. یک ولتاژ سینوسی با دامنه 4 Vp-p و فرکانس 1 kHz به ورودی مدار اعمال کنید. خروجی و ورودی مدار را روی اسیلوسکوپ مشاهده نمایید و بهره مدار را محاسبه کنید.

مدار موردنظر به صورت زیر میشود:



خروجی شبیه ساز نیز به صورت زیر است:



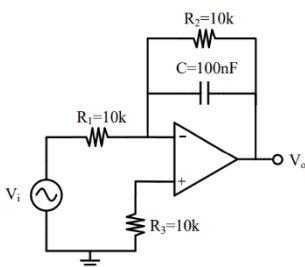
چون ولتاژ منبع تغذیه متصل به آپ امپ 9 ولت میباشد بنابراین ولتاژ خروج نمیتواند از این مقدار در اثر تقویت شدن تجاوز کند. در اینجا طبق نتایج به دست آمده ولتاژ خروجی 8.8154 ولت در حالت بیشینه است.

در این حالت میتوان گفت بهره ثابت نیست و داریم:

$$\begin{cases} 8.8154 \rightarrow V_o \text{ کوچکتر از } V_i \rightarrow \frac{V_o}{V_i} = 6.6 \\ V_o = 8.8154 \rightarrow 4.4077 \leq \frac{V_o}{V_i} \leq 6.6 \end{cases}$$

۳- پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر

۳-۱ فیلتر پایین گذر



شکل (۴-۱۰)

شکل (۴-۱۰) مدار یک فیلتر RC پایین گذر را نشان می دهد. هنگامی که یک موج سینوسی با دامنه ثابت V_m فرکانس متغیر f به دو سر ورودی این مدار اعمال می شود، ولتاژ خروجی (یا پاسخ مدار) نیز موجی سینوسی ولی با دامنه و فازی متفاوت با ولتاژ ورودی بوده و بطور کلی تابعی از فرکانس موج ورودی خواهد بود.

پیش گزارش ۵: در مدار RC پایین گذر رابطه دامنه و فاز $\frac{V_o}{V_i}$ را بدست آورید و فرکانس قطع مدار را محاسبه کنید.

در مدار شکل (۴-۱۰) چون در آپ امپ فیدبک منفی برقرار است پایه ی مثبت هر پتانسیلی داشته باشد آنگاه پایه ی منفی نیز باید همان پتانسیل را داشته باشد. حال چون پایه ی مثبت به زمین متصل میباشد پس ولتاژ پایه ی منفی نیز صفر میباشد. بنابراین به راحتی میتوان جریان گذرنده از R_1 را حساب کرد که برابر است با :

$$I_1 = \frac{V_i - 0}{R_1} = \frac{V_i}{R_1}$$

حال چون جریان ورودی به پایه ی منفی آپ امپ برابر با صفر میباشد بنابراین همه ی جریان از شاخه ی بالایی عبور میکند و از ادامه ی آن به زمین میرود.

در شاخه ی بالا یک مقاومت داریم که با خازن به صورت موازی قرار گرفته است. با تحلیل در حوزه ی فازور میتوان این دو را یک R_4 فرض کرد و خواهیم داشت:

$$R_4 = \left(R_1 \parallel \frac{1}{cj\omega} \right) = \frac{R_1 \times \frac{1}{cj\omega}}{R_1 + \frac{1}{cj\omega}}$$

بنابراین برای به دست آوردن خروجی موردنظر میتوانیم یک kvl بنویسم و خواهیم داشت:

$$V_o = -R_4 I_1$$

حال با جایگذاری I_1 در رابطه فوق خواهیم داشت:

$$V_o = -R_4 I_1 \xrightarrow{I_1 = \frac{V_i}{R_1}} \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_4}{R_1} \xrightarrow{\text{را داریم } R_4, R_1} H(j\omega) = \frac{V_o}{V_i} = -\frac{\frac{1}{Cj\omega}}{R_1 + \frac{1}{Cj\omega}} = \frac{-1}{1 + R_1 Cj\omega}$$

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (R_1 C\omega)^2}} \xrightarrow{C=100nF, R_1=10k\Omega} |H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (10^{-3}\omega)^2}}$$

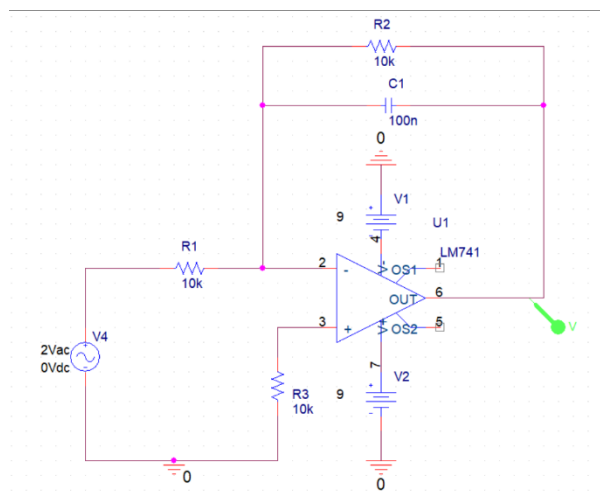
$$\angle H(j\omega) = \pi - \tan^{-1}(\omega R_1 C) \xrightarrow{C=100nF, R_1=10k\Omega} \angle H(j\omega) = \pi - \tan^{-1}(10^{-3}\omega)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi(R_1 + R_4)C}$$

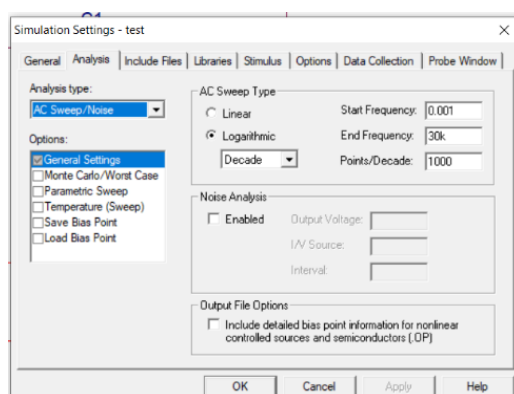
در این جا روابط را به دست آوردیم و در قسمت شرح آزمایش که در ادامه آمده است در آن ها جایگذاری کردیم.

پیش گزارش ۶: مدار مربوط به فیلتر پایین گذر را با استفاده از نرم افزار **Orcad** شبیه سازی کنید و مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز را با استفاده از تحلیل **AC Sweep** رسم کنید.

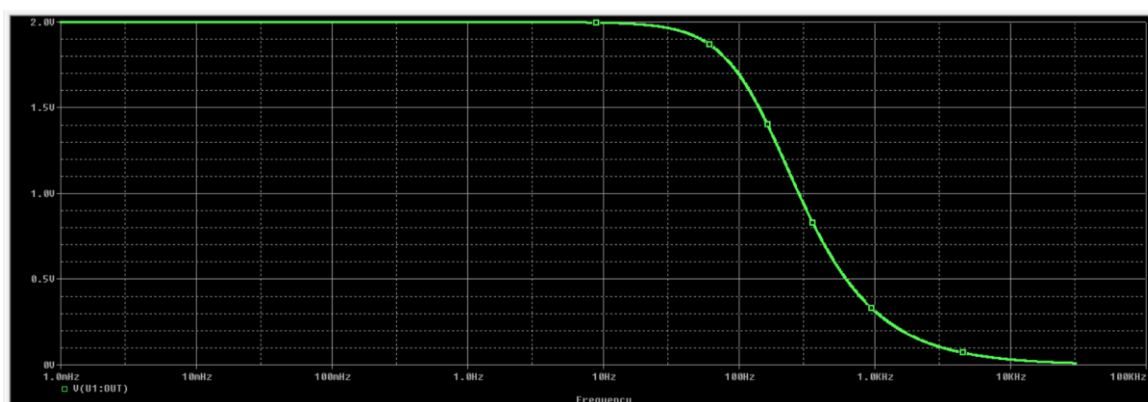
ابتدا مدار مورد نظر را به صورت زیر میبندیم. در این حالت از یک منبع ولتاژ AC استفاده کردیم که ولتاژ ماکسیمم آن برابر 2 ولت میباشد.



همچنین تنظیمات شبیه سازی در این حالت به صورت زیر میباشد:

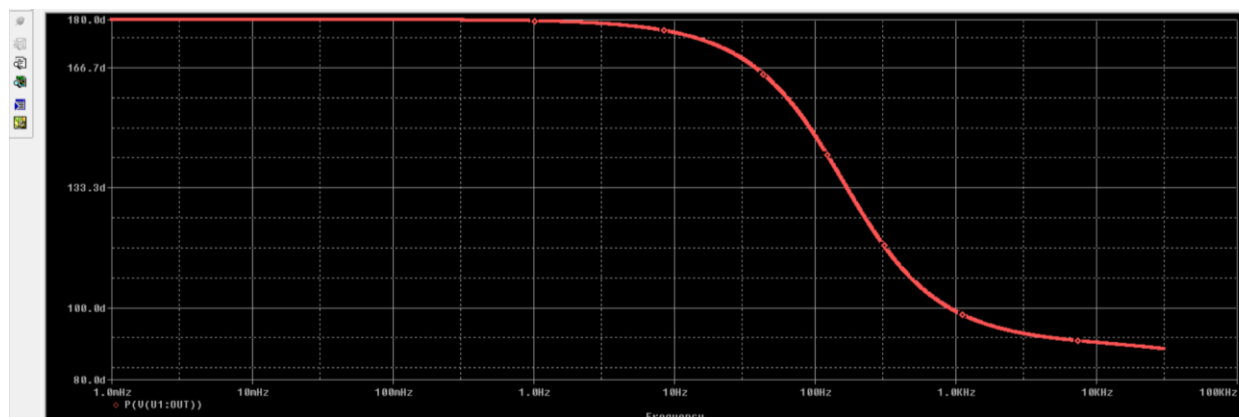


نتیجه ی شبیه سازی نیز به صورت زیر است. در واقع نمودار مشخصه پاسخ دامنه به فرم زیر است:



از نمودار فوق میتوان فهمید که رفتار مدار یک رفتار پایین گذر میباشد چرا که فرکانس های پایین را به خوبی عبور میدهد ولی فرکانس های بالا را عبور نمیدهد. در این حالت محور افقی فرکانس میباشد.

هم چنین نمودار مشخصه پاسخ فاز نیز به صورت زیر میباشد:

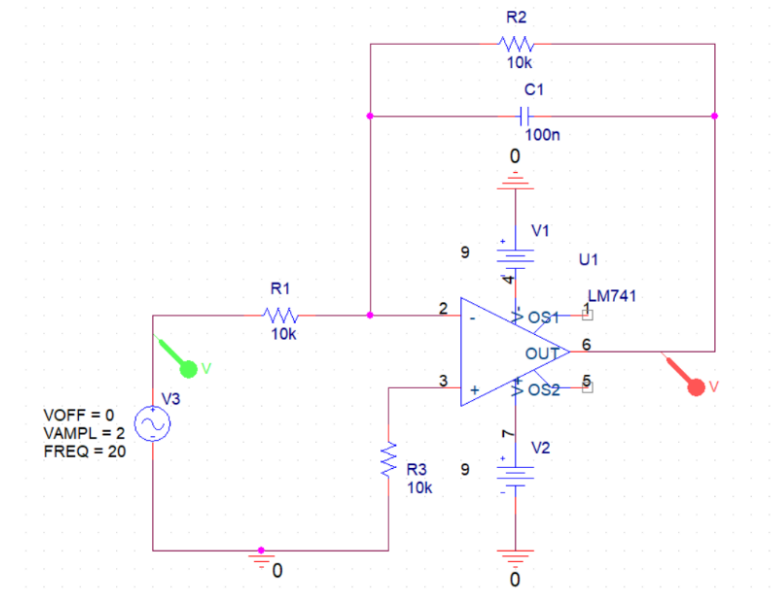


می توان فهمید تغییرات فاز نیز از 180 تا حدودا 90 درجه میباشد.

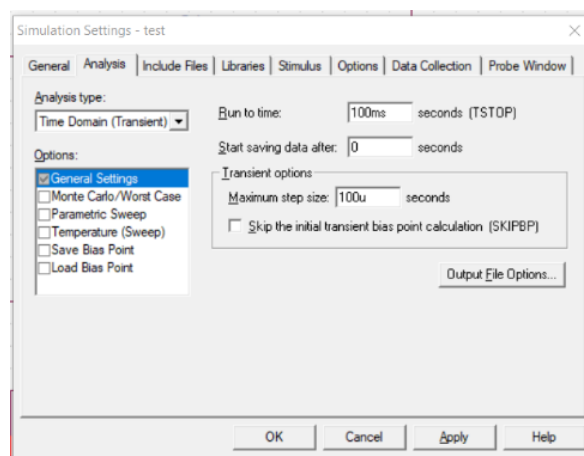
پیش گزارش ۷: مدار مربوط به فیلتر پایین گذر را با استفاده از تحلیل **Time Domain** شبیه سازی کنید.

ابتدا مدار مورد نظر را به صورت زیر میبندیم. در این حالت از یک منبع ولتاژ سینوسی استفاده کردیم که ولتاژ ماکسیمم آن برابر ۲ ولت میباشد.

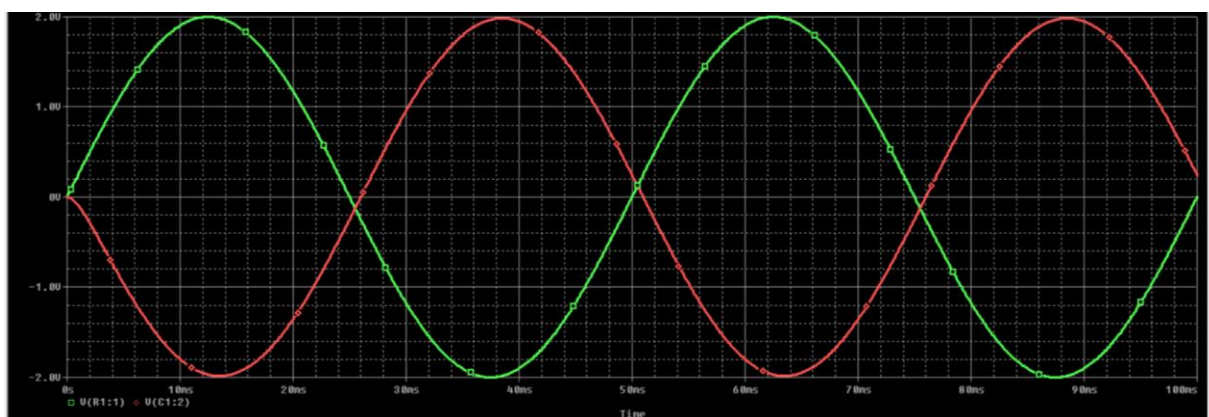
هم چنین فرکانس را برای مثال 20Hz در نظر گرفته ام. در این حالت دوره تناوب برابر با 50ms میباشد.



همچنین تنظیمات شبیه سازی در این حالت به صورت زیر میباشد:



نتیجه ی شبیه سازی نیز به صورت زیر است:



همانطور که مشاهده میشود ولتاژ ورودی و خروجی تقریباً 180 درجه اختلاف فاز دارند.

شرح آزمایش:

با استفاده از مقاومت $R = 10k$ و خازن $C = 100nF$ مداری مطابق با شکل (۴-۱۰) بسازید. بوسیله نوسان ساز یک موج سینوسی با مقدار ماکزیمم ۲ ولت به مدار اعمال کنید و با فرکانسهایی که در جدول (۱-۱۰) داده شده است مقدار ولتاژ خروجی و اختلاف فاز بین خروجی و ورودی را با استفاده از اسیلوسکوپ اندازه گرفته و در جدول مربوطه یادداشت کنید.

برای پر کردن قسمت اندازه گیری شده (V_O و ϕ) از پیش گزارش 7 کمک میگیریم و مدار را به ازای فرکانس های مختلفی که در جدول داده شده است شبیه سازی میکنیم.

برای به دست آوردن V_O اندازه گیره شده با توجه به نمودار ولتاژ خروجی بیشینه ولتاژ را به دست می آوریم و در جدول مقابل فرکانس مربوطه مینویسیم.

برای به دست آوردن اختلاف فاز بین ورودی و خروجی اختلاف فاصله ی افقی دو قله ی متوالی از نمودار، یکی برای ولتاژ ورودی و دیگری برای ولتاژ خروجی را به دست می آوریم و در فرکانس مورد نظر و سپس در 360 ضرب میکنیم.

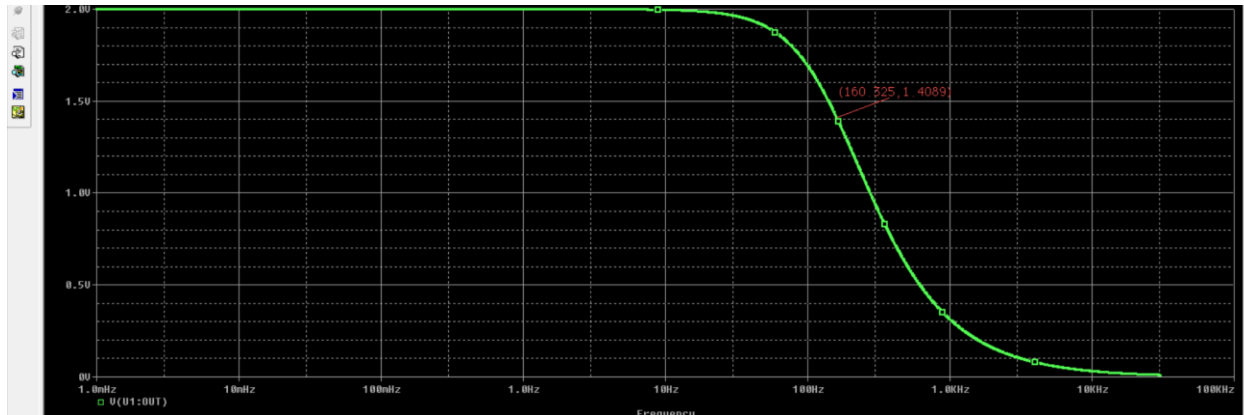
هم چنین برای مقادیر اندازه گیری شده از روابط یه دست آمده در پیش گزارش 5 استفاده میکنیم.

$$\angle H(j\omega) = \pi - \tan^{-1}(10^{-3}\omega) = \pi - \tan^{-1}(10^{-3} \times 2\pi f)$$

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (10^{-3}\omega)^2}} \xrightarrow{V_i=2v} V_O = \frac{2}{\sqrt{1 + (10^{-3} \times 2\pi f)^2}}$$

فرکانس f	V_O اندازه گیری شده	ϕ اندازه گیری شده	V_O محاسبه شده	ϕ محاسبه شده
20 Hz	1.9838	172.836	1.9843	172.837
50 Hz	1.9064	162.553	1.9080	162.559
100 Hz	1.6934	147.848	1.6934	147.858
150 Hz	1.4539	136.887	1.4554	136.696
250 Hz	1.0703	122.459	1.0740	122.481
500 Hz	0.6094	107.624	0.6066	107.656
1000 Hz	0.3143	98.983	0.3143	99.043
3000 Hz	0.1052	92.839	0.1059	93.036
10000 Hz	0.0319	90.327	0.0318	90.911

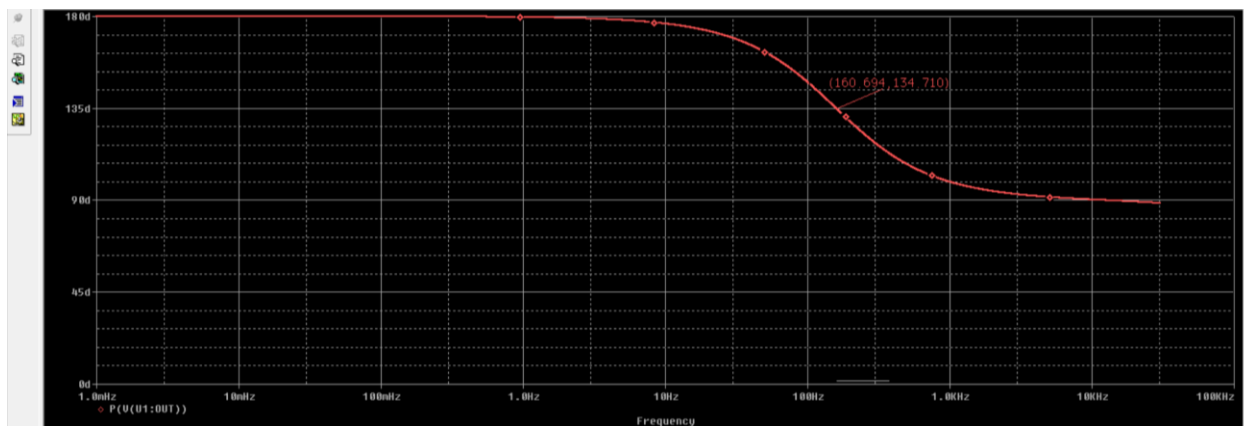
همچنین میدانیم که به صورت تقریبی ولتاژ قطع برابر 0.7 ولتاژ ماکسیمم می باشد. بنابراین چون ولتاژ ماکسیمم برابر با 2 ولت است پس ولتاژ قطع برابر 1.4 ولت می باشد. در این ولتاژ فرکانس قطع تقریباً برابر با 160.325Hz می باشد.



حال به کمک رابطه ای که به دست آوردیم نیز فرکانس قطع را حساب میکنیم:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \rightarrow f_c = \frac{1}{2\pi(10k\Omega)(100nF)} = 159.154Hz$$

در این فرکانس φ را میتوان از روی نمودار به صورت زیر به دست آورد که برابر 134.710 درجه می باشد:



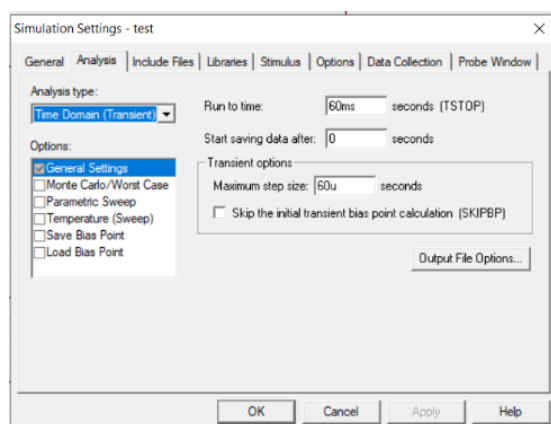
اگر بخواهیم به صورت دقیق با روابط به دست آوریم به صورت زیر می باشد:

$$\varphi = \pi - \tan^{-1}(10^{-3} \times 2\pi f) = \pi - \tan^{-1}(10^{-3} \times 2\pi(159.154Hz)) = 135.00^\circ$$

۲-۳ مدار انتگرالگیر RC

مدار پایین گذر RC را با خازن $C=100\text{nF}$ و به ازای مقادیر مختلف $R(6.8\text{k}, 10\text{k}, 22\text{k}, 150\text{k})$ ببندید. نوسان ساز را به ورودی مدار متصل کرده و یک موج مربعی با دامنه 4 Vp-p و فرکانس 100 Hz به مدار اعمال کنید و پاسخ مدار را در هر چهار حالت بوسیله اسیلوسکوپ مشاهده نمایید.

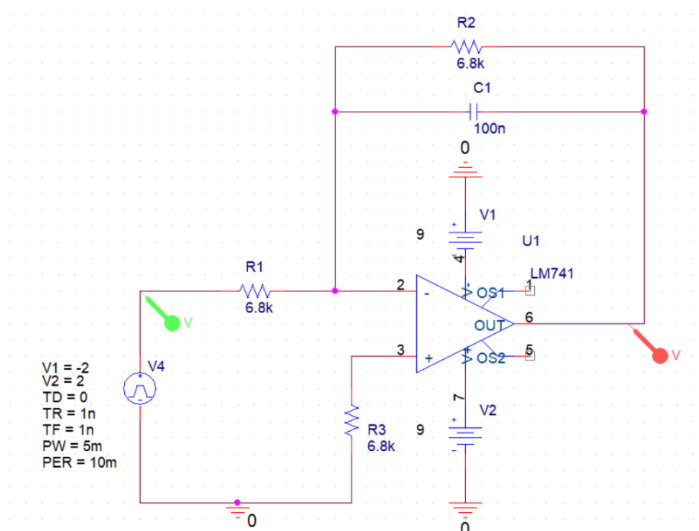
ابتدا تنظیمات شبیه سازی را با توجه به داده ها درست میکنیم. چون فرکانس 100Hz میباشد بنابراین دوره ی تناوب برابر با 10ms میباشد و اگر بخواهیم برای شش دوره بینیم؛ 60ms میشود. هم چنین نوع تحلیل time domain میباشد.



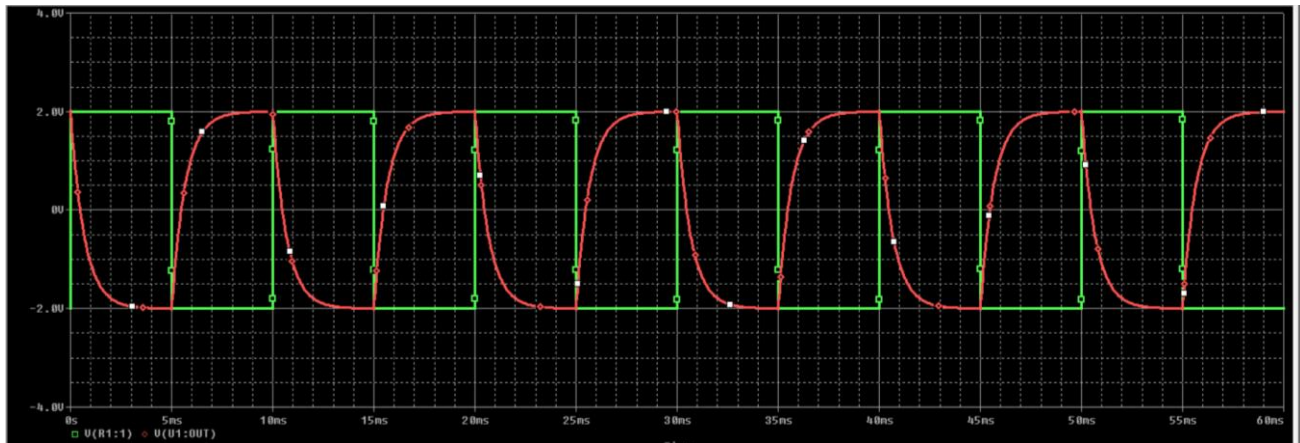
حالت اول: $R=6.8\text{k}\Omega$

در این حالت چون خازن زمان کافی برای شارژ شدن دارد بنابراین به حد نهایی خود میرسد و خاصیت انتگرال گیری از خود نشان نمیدهد.

مدار موردنظر به صورت روبرو است:



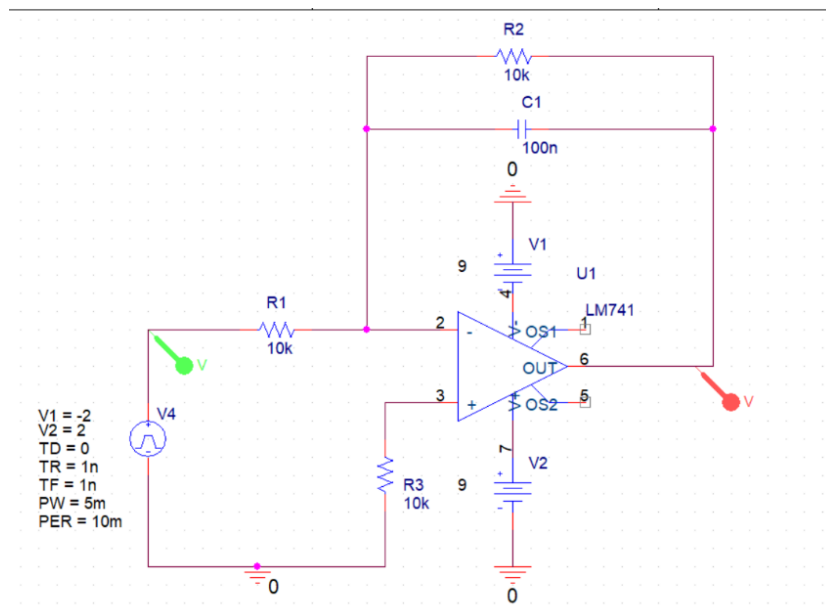
شبیه سازی نیز به صورت زیر خواهد بود:



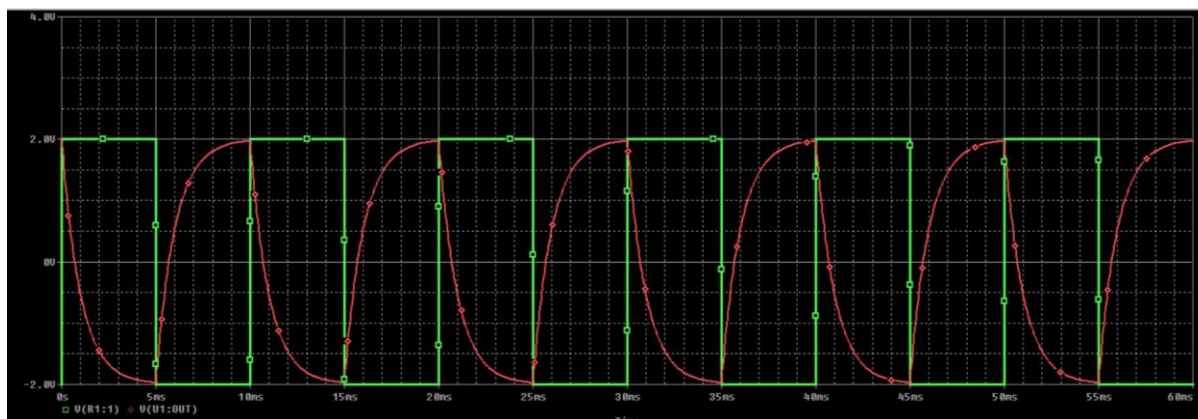
حالت دوم: $R=10k\Omega$

در این حالت چون خازن زمان شارژ و دشارژ کم نیست و شرط انتگرال گیری که $1 \gg \omega RC$ میباشد برقرار نیست پس خاصیت انتگرال گیری از خود نشان نمیدهد.

مدار موردنظر به صورت روبرو است:



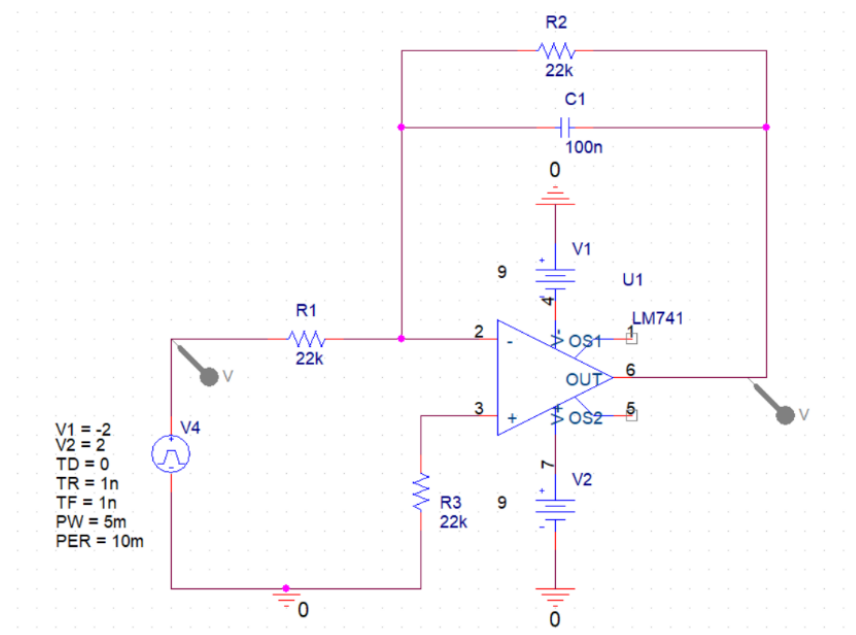
شبیه سازی نیز به صورت زیر خواهد بود:



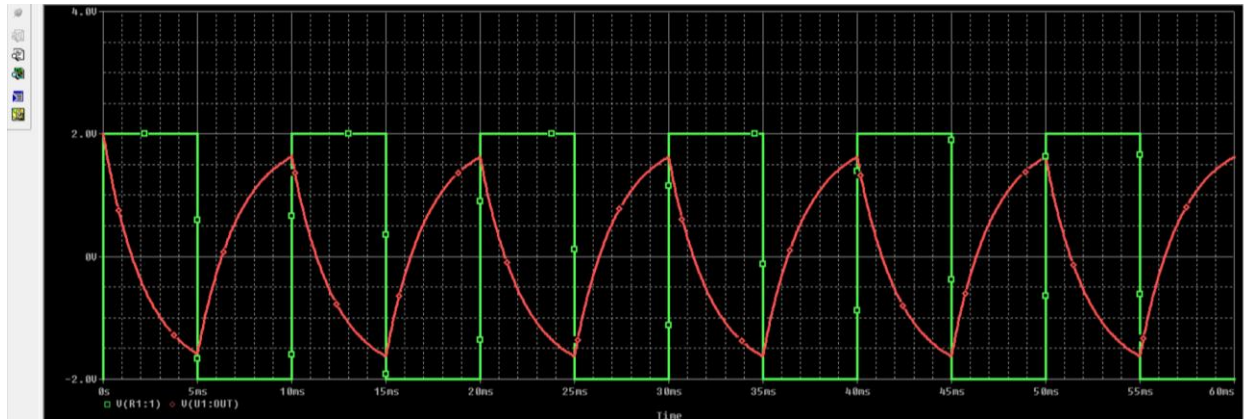
حالت سوم: $R=22k\Omega$

در این حالت چون خازن زمان شارژ و دشارژ کم نیست و شرط انتگرال گیری که $\omega RC \gg 1$ می باشد برقرار نیست پس خاصیت انتگرال گیری از خود نشان نمیدهد. البته با بزرگ تر شدن فرکانس و همچنین ω به این شرط بیشتر نزدیک شدیم.

مدار موردنظر به صورت روبرو است:



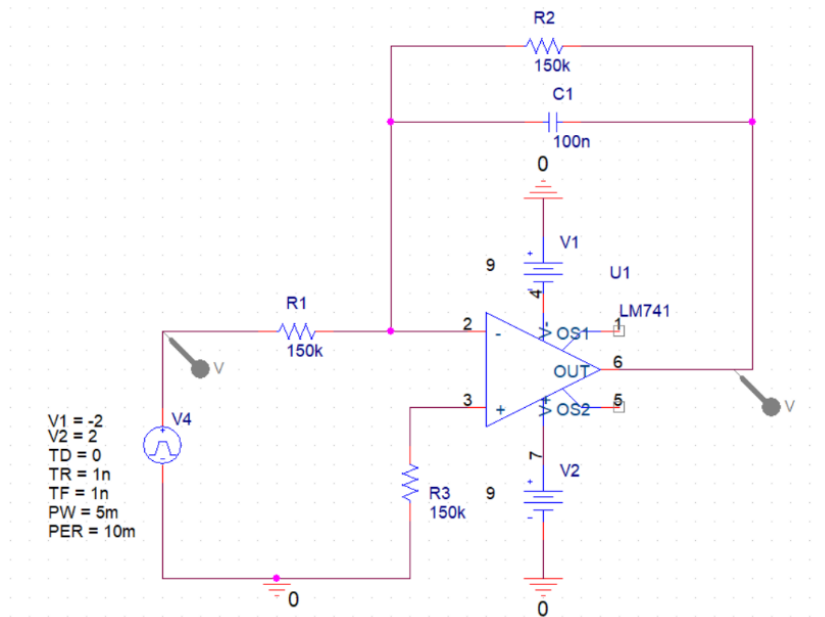
شبیه سازی نیز به صورت زیر خواهد بود:



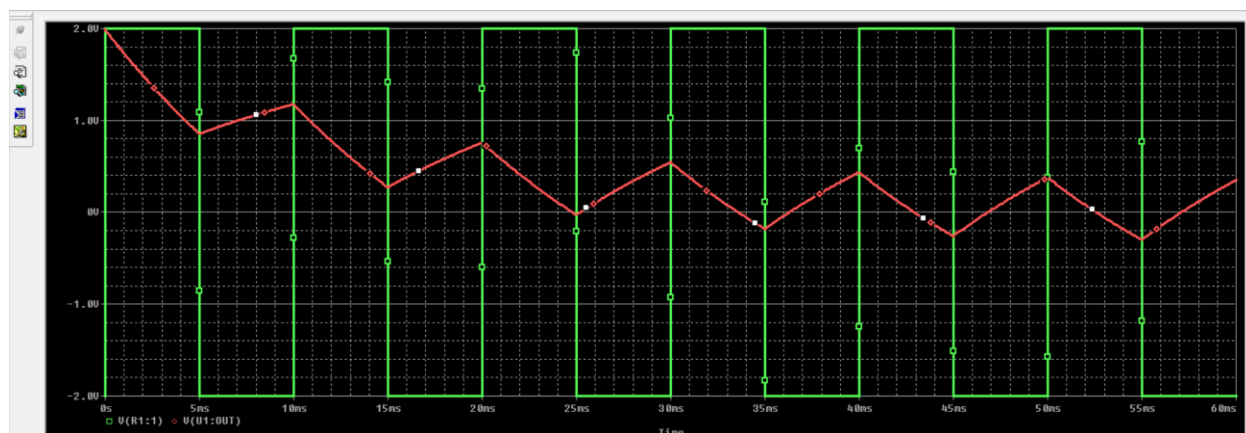
حالت سوم: $R=150k\Omega$

در این حالت چون خازن زمان شارژ و دشارژ کم نیست و شرط انتگرال گیری که $\omega RC \gg 1$ می باشد برقرار می باشد پس خاصیت انتگرال گیری از خود نشان میدهد.

مدار موردنظر به صورت روبرو است:



شبیه سازی نیز به صورت زیر خواهد بود:



همانطور که از نمودار هم مشخص می باشد در این حالت خاصیت انتگرال گیری داریم.

با زیاد شدن فرکانس و در نتیجه ω در هر مرحله بیشتر به شرط برقراری خاصیت انتگرال گیری نزدیک می شویم.