



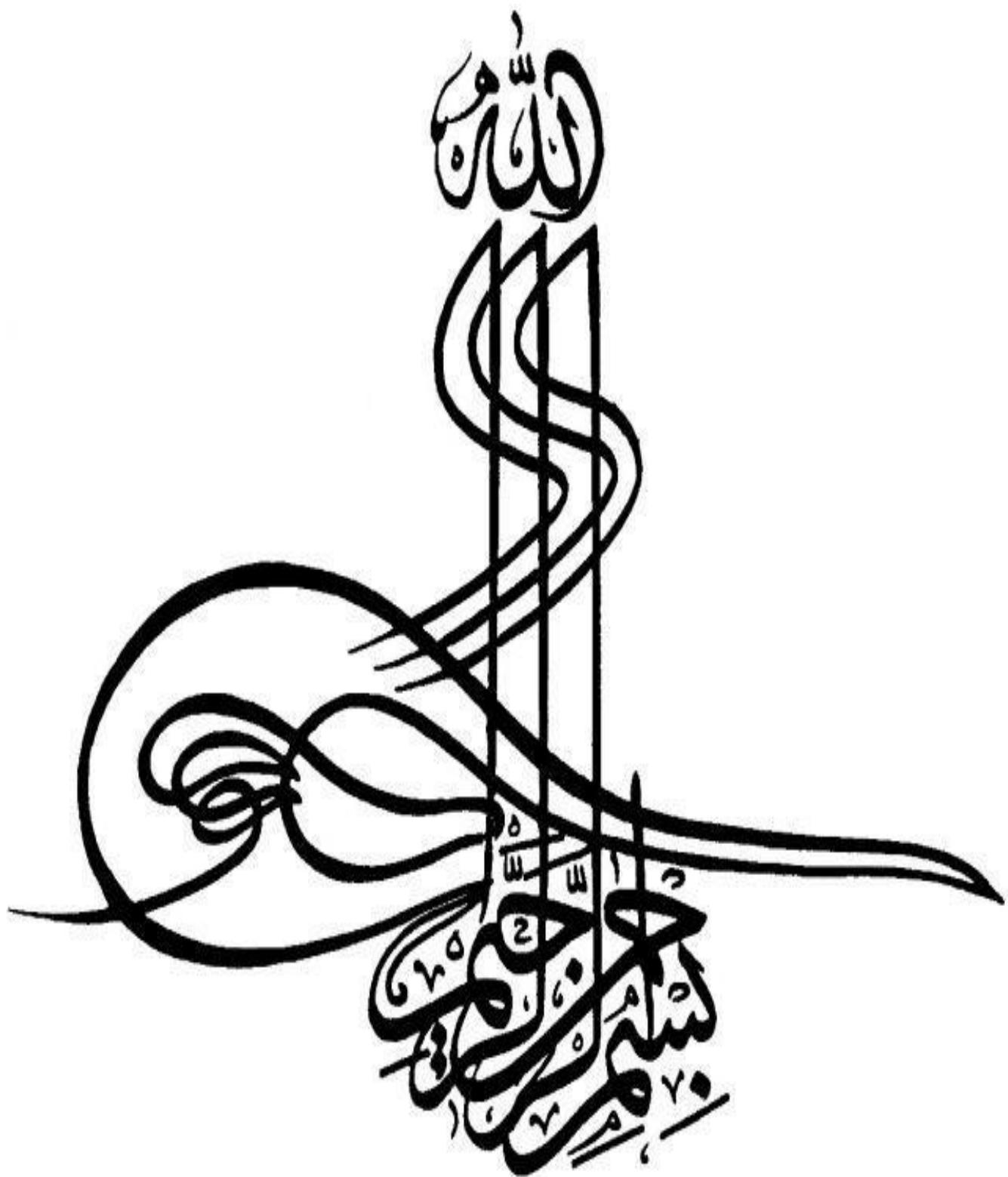
دانشکده مهندسی کامپیوتر  
و فناوری اطلاعات



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

# دستور کار آزمایشگاه

## مدارهای الکتریکی





## فهرست دستور کار آزمایشگاه مدارهای الکتریکی

صفحه

عنوان

۱-	آشنایی با اجزای مدار و تجهیزات آزمایشگاه	۴
۲-	بررسی قوانین اهم و کرشهف	۲۶
۳-	بررسی مدار معادل تونن و نورتن	۲۸
۴-	راهنمای نرم افزار OrCAD Capture	۳۱
۵-	پاسخ گذرای مدارهای RC و RL	۴۶
۶-	پاسخ گذرای مدار RLC سری	۵۳
۷-	پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر	۶۰
۸-	آشنایی با مشخصات انواع دیود های نیمه هادی و مدارهای کاربردی دیودی	۶۸
۹-	آشنایی با ترانزیستورهای MOS	۷۹
۱۰-	کاربردهای خطی تقویت کننده عملیاتی	۸۸



## آزمایش ۱

### آشنایی با اجزای مدار و تجهیزات آزمایشگاه

#### ۱- مقاومت

مقاومت یکی از مهمترین اجزاء مدارهای الکتریکی است که **وظیفه آن محدود و یا کنترل کردن مقدار جریان الکتریکی می‌باشد**. این المان دارای پلاریته نمی‌باشد به این معنی که بدون توجه به جهت جریان عبوری در مقابل جریان از خود مقاومت نشان می‌دهد.

نحوه مشخص کردن مقدار مقاومت

۱- با استفاده از اهم‌تر

۲- از طریق نوارهای رنگی روی بدنه آن (هر رنگ نشان دهنده عددی می‌باشد)، نحوه تعیین مقدار مقاومت به صورت زیر است:

الف: اولین رنگ نشان دهنده اولین رقم صحیح مقدار مقاومت است.

ب: دومین رنگ نشان دهنده دومین رقم صحیح مقدار مقاومت است.

ج: سومین رنگ تعیین کننده تعداد صفرهایی است که در مقابل دو رقم الف و ب نوشته می‌شود.

د: رنگ چهارم که معمولاً ترانس یا میزان خطای مقاومت را نشان می‌دهد. مقدار خطای برای رنگ طلایی ۵٪، برای رنگ نقره‌ای ۱۰٪ می‌باشد و اگر مقاومت سه نوار رنگی داشته باشد ضریب خطای را ۲۰٪ در نظر می‌گیریم.

جدول ۱ اعداد متناظر با رنگها را نشان می‌دهد.



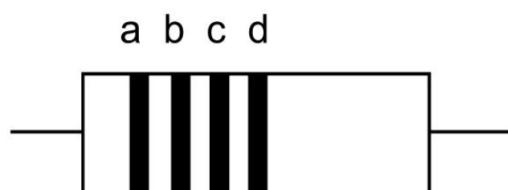
شکل ۱

جدول ۱



رنگ	اعداد صحیح		تعداد صفرها نوار سوم	ضریب خطای نوار چهارم
	نوار دوم	نوار اول		
سیاه	.	.	$\times 1$	-
قهوه‌ای	۱	۱	$\times 10^1$	-
قرمز	۲	۲	$\times 10^2$	-
نارنجی	۳	۳	$\times 10^3$	-
زرد	۴	۴	$\times 10^4$	-
سبز	۵	۵	$\times 10^5$	-
آبی	۶	۶	$\times 10^6$	-
بنفش	۷	۷	$\times 10^7$	-
خاکستری	۸	۸	$\times 10^8$	-
سفید	۹	۹	$\times 10^9$	-
طلایی	-	-	$\times 0/1$	.٪۵
نقره‌ای	-	-	$\times 0/01$	.٪۱۰

به عنوان مثال اگر مقاومتی با رنگ‌های زرد (۴) و بنفش (۷) و قرمز (۲) و طلایی (٪۵) داشته باشیم برای خواندن در ابتدا عدد ۴ و سپس عدد ۷ و در نهایت دو صفر مقابل آن قرار می‌دهیم. یعنی مقدار مقاومت ۴۷۰۰۰ می‌باشد. لازم به ذکر است که رنگ چهارم همیشه طلایی یا خاکستری است که برای خواندن مقاومت از سر مخالف این دو رنگ عمل می‌شود. یعنی برای خواندن مقاومت باید آن را طوری نگاه کنیم که حلقه‌ی طلایی یا نقره‌ای آن در سمت راست قرار گیرد. رابطه‌ی (۱) نحوه محاسبه‌ی مقدار مقاومت را نشان می‌دهد.



شکل ۲

$$a \times b \times 10^c \Omega \pm d\%$$

(1)



مقادیر استاندارد مقاومتها بی‌ی که موجود هستند عبارتند از:



$\frac{1}{2}$  و  $\frac{1}{5}$  و  $\frac{1}{8}$  و  $\frac{2}{7}$  و  $\frac{2}{2}$  و  $\frac{3}{9}$  و  $\frac{4}{7}$  و  $\frac{5}{6}$  و  $\frac{6}{8}$  و  $\frac{8}{2}$

مقدار مقاومتها با واحدهایی مانند اهم، کیلواهم و مگااهم بیان می‌شوند. اگر در طراحی مدار به مقاومتها بیاید که در محدوده استاندارد نبود با استفاده از سری یا موازی کردن آنها می‌توانید به مقادیر مورد نظر دست یابید.

### پتانسیومتر

پتانسیومتر از یک المان مقاومتی دوار که درون محفظه‌ای قرار گرفته، تشکیل شده است. این المان مقاومتی ممکن است به صورت سیمی، لایه ای و یا کربنی باشد. دو ترمینال به دو انتهای این المان مقاومتی متصل است که مقدار مقاومت بین این دو ترمینال همواره ثابت و برابر مقدار اهمی المان مقاومتی است. بین این دو ترمینال یک ترمینال دیگر وجود دارد که به یک کن tact متحرک متصل است و این کن tact متحرک می‌تواند بر روی المان مقاومتی حرکت کند و سبب تغییر مقاومت بین ترمینال وسط و هر یک از ترمینال‌های کناری گردد. برای حرکت کن tact متحرک بر روی المان مقاومتی، انتهای المان مقاومتی را به یک ولوم و یا یک صفحه شیاردار که توسط پیچ گوشته قابل حرکت است متصل می‌کنند



شكل ۳





## ۲- خازن

خازن یکی از قطعات غیر فعال است که در اکثر مدارهای الکترونیکی به نحوی از آن استفاده می‌گردد. خازنها را براساس عایق دیالکتریکی آنها که می‌توانند کاغذ، روغن، هوا، سرامیک و یا میکا باشد، نامگذاری و طبقه‌بندی می‌کنند. برای یادآوری به معرفی دو نوع از خازنها یی که بیشتر در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند، می- پردازیم.

## خازنهای الکتروولیتی

این خازنها برای ظرفیت‌های بیشتر از  $1 \mu\text{F}$  ساخته می‌شوند.



شکل ۴

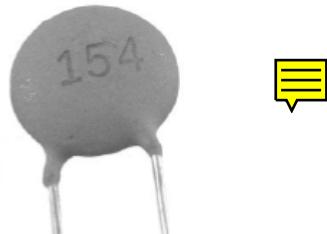
این خازنها دارای پلاریته مثبت و منفی می‌باشند. در هنگام استفاده از این خازنها باید بدانید که جهت جریان در مدار چگونه است به عبارت دیگر ولتاژ DC کدام پایانه بیشتر می‌باشد. اگر این نوع از خازنها را به صورت معکوس در مدار قرار دهید احتمال انفجار آنها می‌باشد. معمولاً پایانه منفی دارای یک باند رنگی متفاوت می‌باشد که بر روی آن علامت منفی درج شده است. علاوه بر این اگر پایه‌های خازن از قبل کوتاه نشده باشند، پایه‌ی کوتاه‌تر نشان‌دهنده پایه منفی خازن می‌باشد. ظرفیت و حداکثر ولتاژ قابل تحمل این خازنها روی بدنه آنها درج شده است. به عنوان مثال خازنی با مشخصات  $7 \mu\text{F}$  و  $500 \text{V}$  می‌تواند در ولتاژهای کمتر از  $7 \text{V}$  در مدار به کار گرفته شود. این خازنها برای کاربرد در مدارات فرکانس بالا مناسب نمی‌باشند.

## خازنهای سرامیکی

این خازنها در ظرفیت‌های پایین‌تر از  $1 \mu\text{F}$  ساخته می‌شوند و دارای پلاریته نمی‌باشند. برای محدوده کاری فرکانس بالا مناسب می‌باشند. مقدار ظرفیت آنها به صورت یک عدد سه رقمی روی بدنه‌ی آنها درج شده است.



عدد اول و دوم، اعداد اول و دوم از ظرفیت خازن می‌باشند و عدد سوم تعداد صفرها را مشخص می‌کند. عددی که در نهایت به دست می‌آید باید در مقیاس پیکو فاراد بیان شود. به عنوان مثال اگر عدد ۱۵۴ روی خازن نوشته شده باشد در این صورت ظرفیت خازنی برابر با  $150\text{ nF}$  است، می‌باشد.



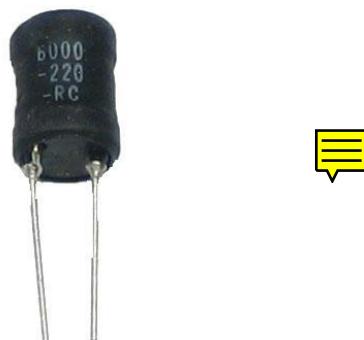
شکل ۵



۳- سلف

سلف که به نام‌هایی مانند پیچه، کویل و راکتور نیز شناخته می‌شود، یک المان الکترونیکی ۲ پایه پسیو است که در مقابل تغییرات جریان الکتریکی از خود مقاومت نشان می‌دهد. سلف دارای یک رسانا مانند سیم است که به صورت پیچه (سیم پیچ) درآمده است. هنگام عبور جریان از سلف، انرژی به صورت میدان مغناطیسی موقت در کویل ذخیره می‌شود.

واحد سلف هانری می‌باشد. دو نوع سلف با مقادیر ۱۶ و ۱۸ میلی هانری در آزمایشگاه موجود می‌باشد که مدارات از این دو نوع برای بستن استفاده خواهد شد.

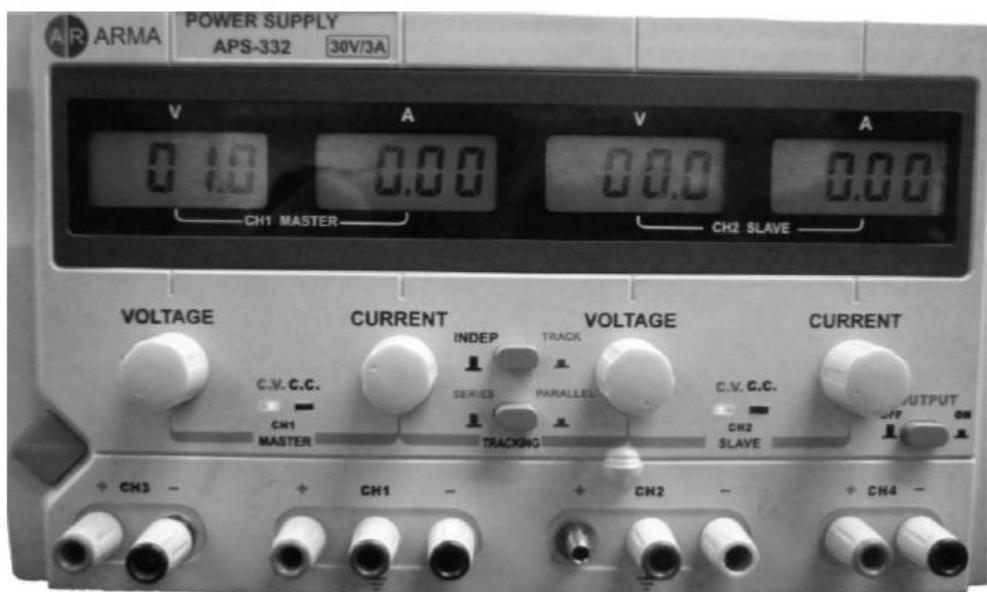


شکل ۶



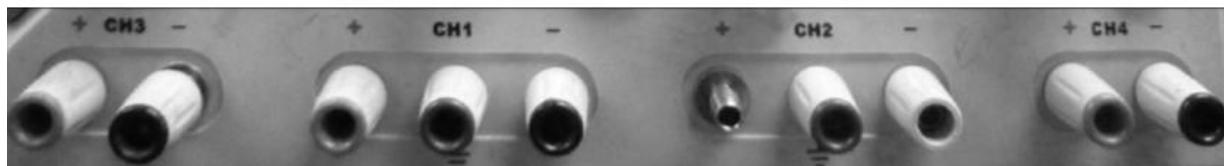
#### ۴- منبع ولتاژ DC و نحوه استفاده از آن

منبع ولتاژ DC برای تزریق جریان به مدارهای الکترونیکی استفاده می‌شوند. نمونه منبع ولتاژی که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌شود در شکل ۷ نشان داده شده است. در ادامه به مرور چند نکته پیرامون استفاده از منابع ولتاژ خواهیم پرداخت.



شکل ۷

این منبع ولتاژ از ۴ منبع داخلی تشکیل شده است که دو منبع آن ثابت و دو منبع دیگر متغیر می‌باشد. منابع ولتاژ متغیری که در دستگاه تعییه شده‌اند قابلیت جریان‌دهی حداکثر ۳ آمپر را دارند. این دو منبع با نام‌های CH<sub>1</sub> و CH<sub>2</sub> روی دستگاه مخصوص شده‌اند. دو منبع دیگر ثابت و ولتاژهای معمولی هستند که در مدارهای الکترونیکی کاربرد دارند. CH<sub>3</sub> دارای ولتاژ ثابت ۵ ولت و CH<sub>4</sub> دارای ولتاژ ثابت ۱۲ ولت می‌باشد. خروجی‌های این ۴ منبع در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸



برای روشن کردن منبع ولتاژ باید از کلید Power که در قسمت چپ دستگاه تعییه شده است، استفاده کنید. بعد از روشن کردن دستگاه توجه داشته باشید حتماً کلید Output که در سمت راست دستگاه قرار دارد، فشرده شده باشد در غیر این صورت پایانه‌های خروجی ولتاژ متغیر، ولتاژ نخواهد داشت. بنابراین به خاطر داشته باشید که اگر خواستید تغییری در نحوه سیم‌بندی و المان‌های مدار دهید از کلید Output استفاده کنید. خاموش و روشن کردن مداوم منبع ولتاژ باعث کاهش عمر مفید دستگاه خواهد شد.

با استفاده از دو کلیدی که در شکل ۹ نشان داده شده است می‌توان دو منبع متغیر را به صورت سری، موازی و مستقل از یکدیگر به کار برد. با استفاده از سری کردن دو منبع متغیر می‌توان به ولتاژ‌های بالاتر ور با استفاده از موازی کردن این دو منبع می‌توان به جریانهای بالاتری دست یافت. برای این آزمایشگاه سری یا موازی کردن منابع ولتاژ لزومی ندارد بنابراین دقت داشته باشید که این دو منبع مستقل از یکدیگر عمل کنند. برای این منظور کلید اول را روی INDEP و کلید دوم را روی PARALLEL تنظیم کنید.



شکل ۹

به منظور اعمال ولتاژ باید سیم‌های سوسناری را به پایانه‌های مثبت و منفی اتصال دهیم. برای این کار بهتر است که از سیم قرمز برای پایانه مثبت و از سیم مشکی برای پایانه منفی استفاده کنیم. هر کدام از منابع متغیر دارای دو ولوم می‌باشد که یکی برای کنترل ولتاژ و دیگری برای کنترل جریان می‌باشد. با استفاده از ولوم ولتاژ می‌توانید ولتاژ اعمالی به مدار خود را کنترل کنید، با توجه به شکل ۱۰ عددی که روی نمایشگر نشان می‌دهد نمایانگر ولتاژ اعمالی به مدار شما می‌باشد. با استفاده از ولوم جریان می‌توانید تعیین کنید مداری که شما طراحی کرده‌اید چقدر مجاز است که جریان از منبع ولتاژ بکشد. عددی که روی نمایشگر جریان نشان داده می‌شود مقدار جریانی است که مدار شما از منبع ولتاژ می‌کشد.



شکل ۱۰

برای جلوگیری از آسیب دیدن قطعات بهتر است که محدوده جریان را روی  $100$  میلیآمپر تنظیم نمایید. در این صورت حتی اگر قسمتی از مدار سیم‌بندی شده روی بردبورد اتصال کوتاه شده باشد حداکثر جریان عبوری از المان‌های مدار  $100$  میلیآمپر خواهد بود. برای این کار ابتدا ولوم جریان و ولتاژ را روی صفر قرار دهید، سپس دو سر خروجی را اتصال کوتاه نمایید، ولتاژ خروجی را کمی زیاد کنید تا جریان از  $100$  میلیآمپر تجاوز نکند. در نهایت با استفاده از ولوم محدود کننده جریان، مقدار جریان خروجی را روی مقدار موردنظر تنظیم نمایید.

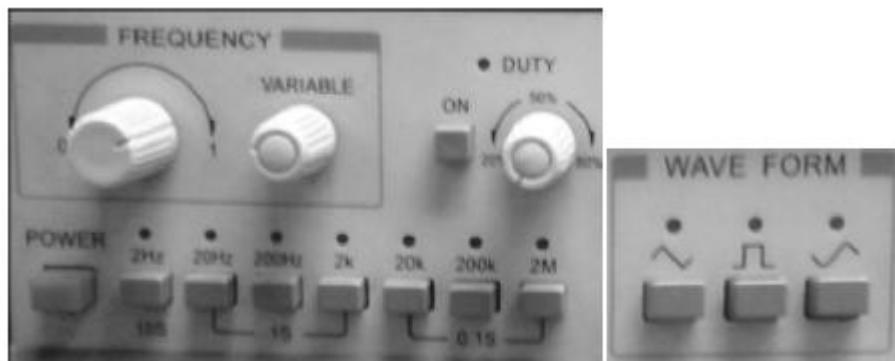
#### ۵- فانکشن ژنراتور و نحوه استفاده از آن

فانکشن ژنراتور دستگاهی برای تولید انواع موج‌های الکتریکی با فرکانس دلخواه می‌باشد. نمونه این دستگاه که در آزمایشگاه استفاده می‌شود در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در ادامه به بررسی قسمتهایی از دستگاه می‌پردازیم.



شکل ۱۱

پس از روشن کردن دستگاه از قسمت WaveForm که در شکل ۱۲-الف نشان داده شده است می‌توانید نوع شکل موجی را که می‌خواهید به مدار اعمال کنید، انتخاب کنید.



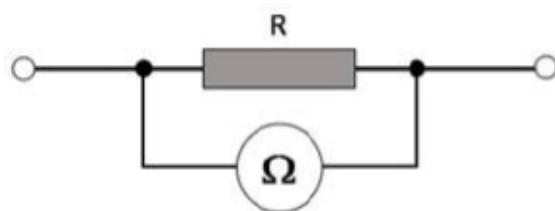
شکل ۱۲

پس از انتخاب محدوده فرکانسی با استفاده از ولومی که در قسمت Frequency قرار دارد می‌توانید مقدار فرکانس را در محدوده‌ای که مشخص کرده‌اید، تغییر دهید. با استفاده از ولوم قسمت Duty می‌توانید سیکل کاری موج اعمالی به مدار را کنترل کنید. در حالت پیش فرض سیکل کاری ۵۰٪ می‌باشد. به منظور افزایش یا کاهش دامنه سیگنال می‌توانید از قسمت Ampl استفاده کنید. دو نمایشگر که روی پتل دستگاه وجود دارد مقدار دامنه و فرکانس سیگنال را نشان می‌دهد. برای خروجی باید پروب را به پایانه‌ای که Output نام دارد اتصال دهید.



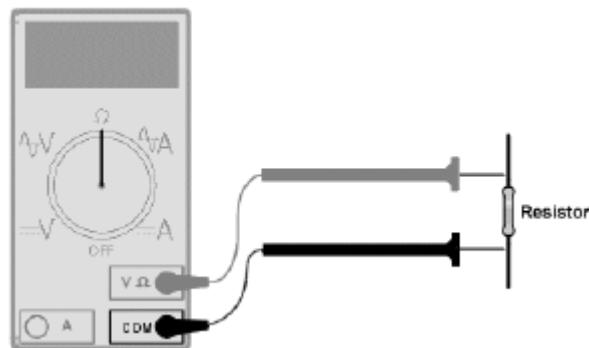
## ۶- مولتی‌متر و نحوه استفاده از آن

از مولتی‌متر برای اندازه‌گیری پارامترهای مداری استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری مقاومت، آن را از مدار جدا می‌کنیم و سلکتور مولتی‌متر را روی حالت اهم قرار می‌دهیم، عدد نشان داده شده روی صفحه نمایش مقدار مقاومت خواهد بود. اگر مقدار مقاومت از رنج انتخابی بیشتر باشد روی صفحه نمایش عدد یک ظاهر خواهد شد. شماتیک مداری برای اندازه‌گیری مقاومت در شکل ۱۳ نشان داده شده است.



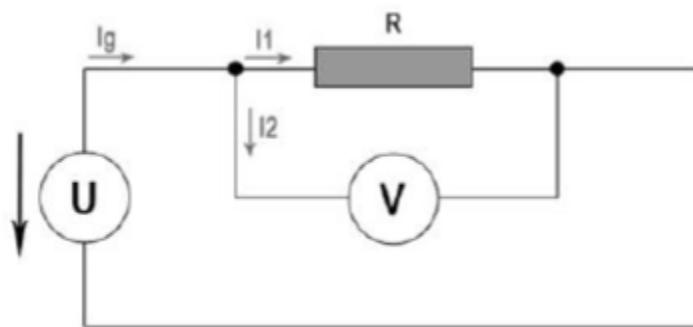
شکل ۱۳

در واقع برای اندازه‌گیری مقاومت مانند شکل ۱۴ عمل می‌کنیم.



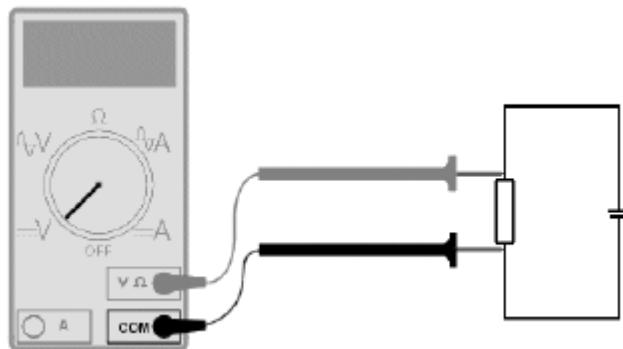
شکل ۱۴

هنگامی که می‌خواهیم از مولتی‌متر برای اندازه‌گیری ولتاژ استفاده کنیم باید آن را در مدار به صورت موازی قرار دهیم. شماتیک مداری نحوه قرار گرفتن مولتی‌متر برای اندازه‌گیری ولتاژ در شکل ۱۵ نشان داده شده است. مقاومت داخلی مولتی‌متر در این حالت بسیار زیاد می‌باشد که تا حد امکان جریان  $I_2$  به حداقل مقدار خود برسد و خطای اندازه‌گیری نداشته باشیم.



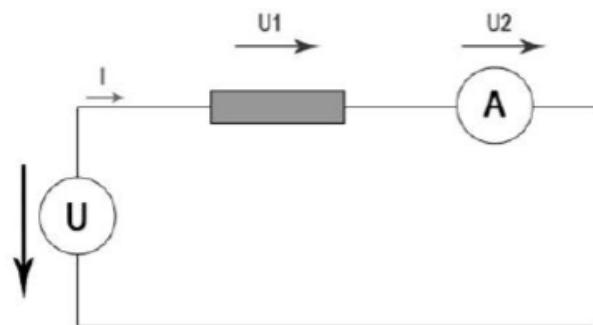
شکل ۱۵

در واقعیت برای اندازه‌گیری ولتاژ مانند شکل ۱۶ عمل می‌کنیم. باید توجه داشته باشیم که سلکتور روی ولتاژ تنظیم شده باشد و پروب‌های مولتی‌متر مانند شکل ۱۶ اتصال داشته باشند.



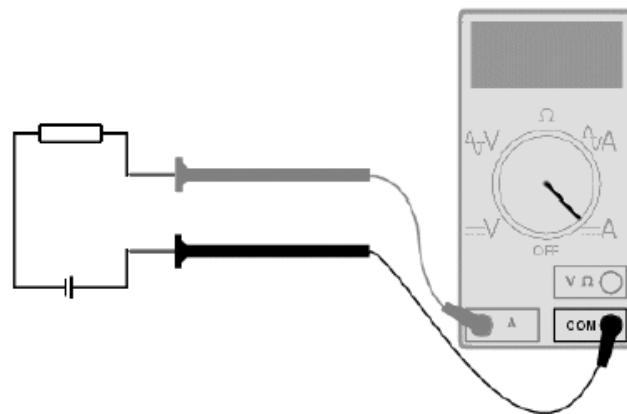
شکل ۱۶

برای اندازگیری جریان با استفاده از مولتی‌متر باید آن را در مدار به صورت سری قرار دهیم. شماتیک مداری این حالت در شکل ۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۱۷

در این حالت مقاومت مولتی‌متر بسیار پایین می‌باشد که خطای اندازه‌گیری به حداقل مقدار خود برسد. بنابراین اگر مولتی‌متر را در این حالت در مدار به صورت موازی قرار دهیم جریان زیادی از آن عبور خواهد کرد و مولتی‌متر آسیب خواهد دید. برای اندازه‌گیری جریان در حالت سری ابتدا باید مدار را به صورت کمی تحلیل کرده باشید و محدوده مناسبی را برای جریان انتخاب کنید در غیر این صورت مولتی‌متر آسیب خواهد دید. در عمل آمپرmetr در مدار به صورت شکل ۱۸ قرار می‌گیرد.



شکل ۱۸



## ۷- اسیلوسکوپ و نحوه استفاده از آن

اسیلوسکوپ دارای دو نوع دیجیتال و آنالوگ می‌باشد. تمام اسیلوسکوپ‌هایی که در آزمایشگاه موجود هستند، دیجیتال می‌باشند، شکل ۱۹. از این دستگاه برای نشان دادن تغییرات یک شکل موج بر حسب زمان استفاده می‌شود. در ادامه به توضیح قسمتها و نکته‌هایی می‌پردازیم که در این آزمایشگاه کاربرد بیشتری دارند.

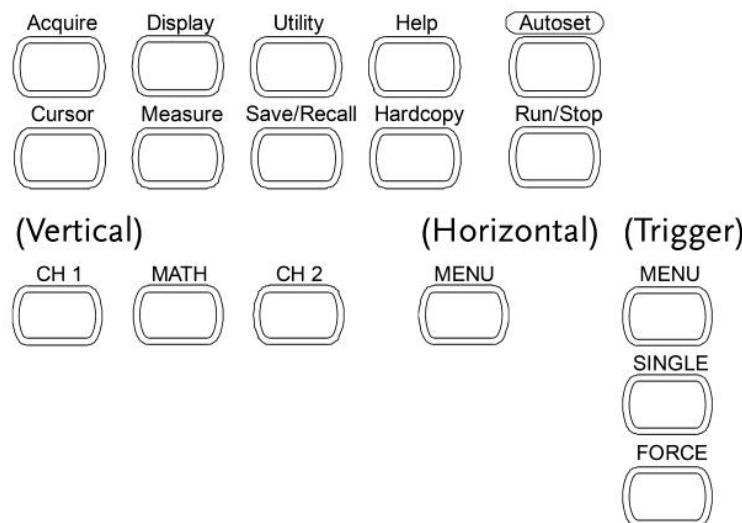


شکل ۱۹

برای استفاده از دستگاه ابتدا باید از صحت عملکرد آن اطمینان حاصل نمایید. برای این کار می‌توانید پروفی را که به یکی از کانالهای دستگاه متصل نموده‌اید، به زایده‌ی فلزی روی پنل اسیلوسکوپ اتصال دهید. در این حالت

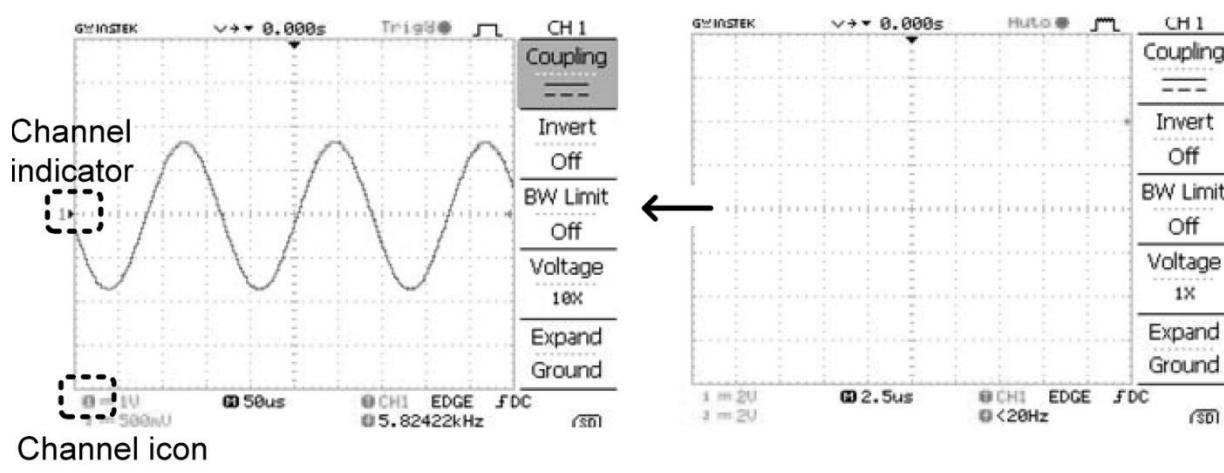


باید شکل موج مربعی را روی صفحه نمایش مشاهده کنید. در ادامه برخی از کلیدهای و لومهای روی پنل دستگاه توضیح داده شده است، شکل ۲۰.



شکل ۲۰

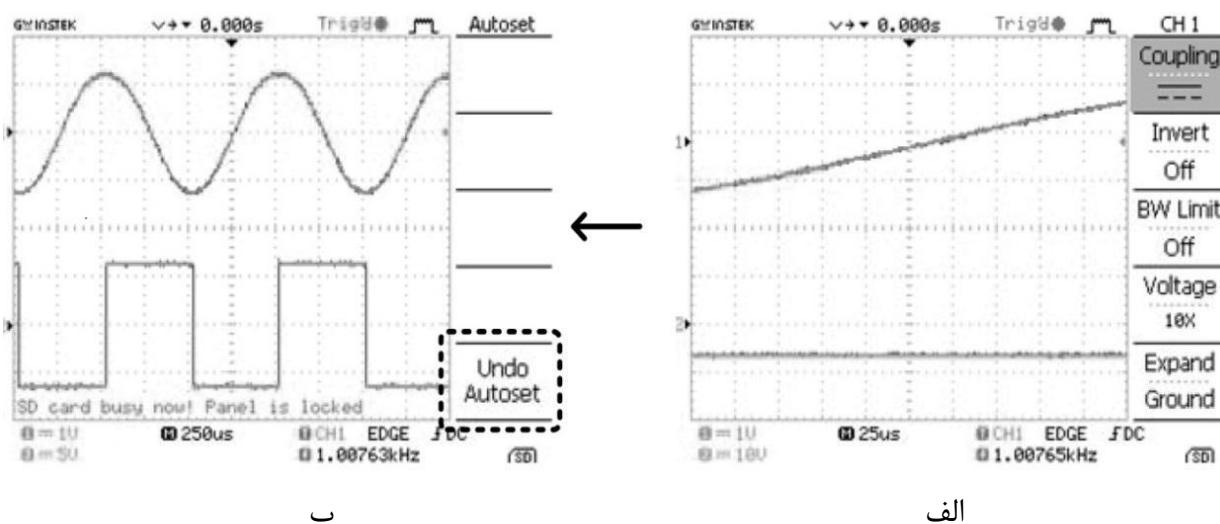
برای فعال کردن کانالهای یک و دو به ترتیب می‌توانید از کلیدهای CH<sub>1</sub> و CH<sub>2</sub> استفاده کنید.  
پس از انتخاب نشانگر کanal یک/دو در سمت چپ صفحه نمایش نشان داده خواهد شد و آیکون مربوط به کانال متناظر تغییر خواهد کرد، شکل ۲۱.



شکل ۲۱. الف- صفحه نمایش هنگامی که کانال ۱ خاموش است. ب- صفحه نمایش هنگامی که کانال ۱ روشن است.



AutoSet: با فشردن این کلید دستگاه برای بهترین وضعیت نمایش سیگنال به صورت خودکار تنظیم خواهد شد. شکل ۲۲ سیگنالی را قبل و بعد از فشردن کلید AutoSet نشان می‌دهد. برای خنثی کردن عمل Level می‌توانید از Undo استفاده کنید. چنانچه شکل موج همچنان ناپایدار بود می‌توانید از ولوم AutoSet برای تغییر سطح تریگر سیگنال به منظور پایدار نمودن آن بهره برد. AutoSet دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشد، این کلید در زمانی که فرکانس سیگنال کمتر از 20 Hz و یا دامنه سیگنال کمتر از 30 mV باشد، عمل نخواهد کرد.



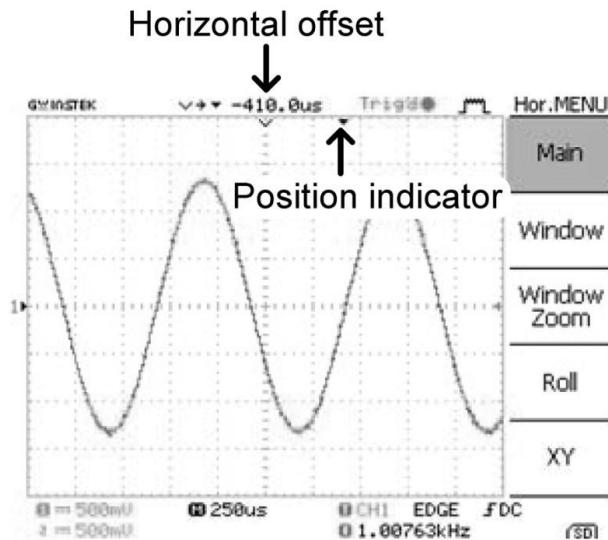
شکل ۲۲. الف- قبل از فشردن کلید AutoSet. ب- بعد از فشردن کلید AutoSet

Run: در حالت Run، اسیلوسکوپ به طور مداوم لحظه تریگر شدن سیگنال را جستجو می‌کند. نتیجه این می‌شود که به نظر می‌رسد سیگنال حرکت می‌کند. در حالت Stop، در واقع شما خواسته‌اید که دستگاه لحظه تریگر شدن را ثابت در نظر بگیرد، بنابراین سیگنال بی‌حرکت به نظر می‌رسد. آیکون Run/Stop در بالا سمت راست LCD دستگاه، نمایش داده می‌شود. با فشردن این کلید می‌توانید بین Run و Stop تغییر حالت داشته باشید.

تنظیم مکان سیگنال در راستای محور افقی و عمودی: با استفاده از ولوم که روی پنل دستگاه قرار دارد، می‌توانید سیگنال را در راستای محور زمان به سمت راست و یا چپ جابه‌جا کنید. نشانگر مکان‌نما نیز همراه با سیگنال جابه‌جا خواهد شد. برای جابه‌جایی در راستای محور عمودی می‌توانید از ولوم



استفاده کنید. فاصله بین شکل موج و نقطه‌ی مرکزی نیز با نشانگری تحت عنوان Offset در بالای صفحه نمایش، نشان داده می‌شود، شکل ۲۳.

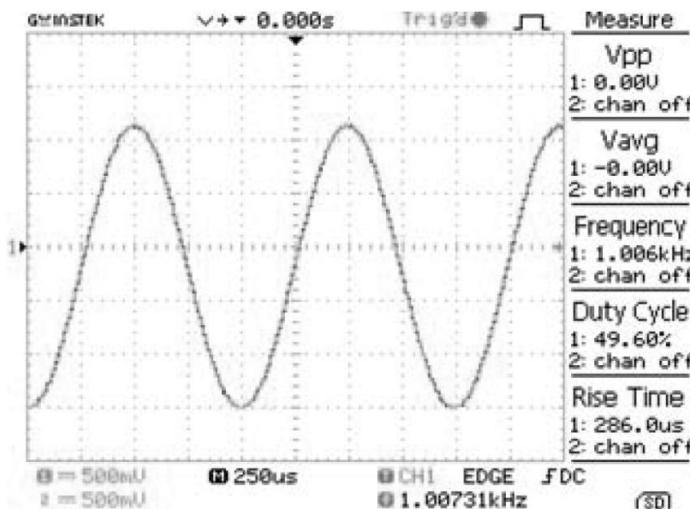


شکل ۲۳

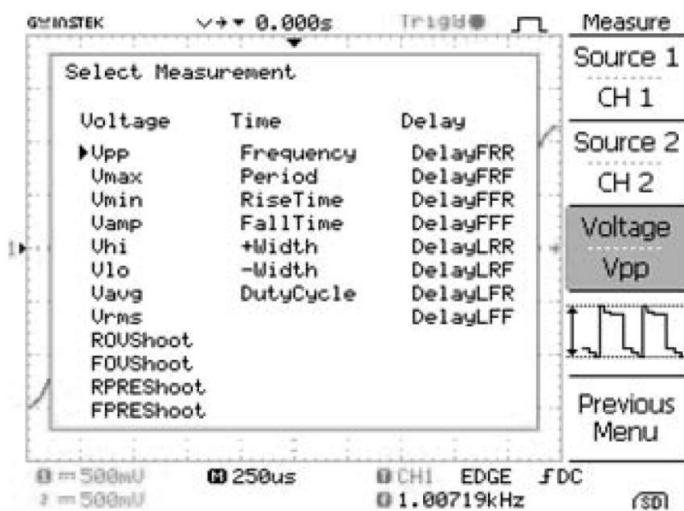
تنظیم مقیاس سیگنال در راستای محور افقی: برای انتخاب مقیاس مورد نظر در راستای محور افقی می‌توانید از ولوم Time/Div استفاده کنید. با چرخاندن ولوم در جهت عقربه‌های ساعت سرعت سیگنال سریع‌تر و با چرخاندن آن در جهت عکس عقربه‌های ساعت سرعت سیگنال کندر خواهد شد.

تنظیم مقیاس سیگنال در راستای محور عمودی: برای انتخاب مقیاس مورد نظر در راستای محور عمودی می‌توانید از ولوم Volts/Div استفاده کنید.

Measure: با استفاده از این کلید می‌توانید پارامترهای مختلف سیگنال را که توسط دستگاه، اندازه‌گیری شده است، بر روی صفحه نمایش مشاهده کنید. برای این کار ابتدا باید کلید Measure را فشار دهید، پنج گزینه که هر کدام از آنها متناظر با کلیدهای F<sub>1</sub> تا F<sub>5</sub> هستند، در سمت راست LCD، نمایش داده می‌شوند، شکل ۲۴. برای انتخاب سایر پارامترهایی که در این منو وجود ندارند می‌توانید کلید منوی متناظر F<sub>1</sub> تا F<sub>5</sub> را فشار دهید. در این صورت منوی مانند شکل ۲۵ روی صفحه نمایش ظاهر خواهد شد که با استفاده از ولوم Variable می‌توانید پارامتر مورد نظر خود را انتخاب کنید. در نهایت به منظور تایید مورد انتخابی و بازگشت به صفحه‌ای که شامل نتایج اندازه‌گیری شده می‌باشد، کلید متناظر با Previous Menu یا F<sub>5</sub> را بفشارید.



شکل ۲۴



شکل ۲۵

توضیح مختصر بعضی از پارامترهایی که در شکل ۲۵ نشان داده شده در جدول ۲، انتهای این بخش آمده است.

اندازه‌گیری با استفاده از خطوط مکان‌نمای افقی و عمودی: همان‌طور که از نامش پیداست با استفاده از این خطوط می‌توان قسمتی از سیگنال را در راستای لفقی و عمودی محدود کرد و مقدار اندازه‌گیری شده را روی صفحه نمایش مشاهده نمود. برای شروع، با فشردن کلید Cursor خطوط مکان‌نمای را روی صفحه ظاهر می‌شوند. با انتخاب  $Y \leftrightarrow X_1 \leftrightarrow X_2$  می‌توانید خطوط مکان‌نمای افقی  $X_1$  و  $X_2$  را انتخاب کنید. با انتخاب Source می‌توانید مشخص کنید که تمایل به اندازه‌گیری پارامترهای کدام کانال را دارید. پارامترهای اندازه‌گیری شده در سمت



راست صفحه نمایش داده می‌شوند. توضیح مختصر این پارامترها در جدول ۲ آمده است. برای جابه‌جا کردن خط مکان‌نمای سمت چپ و راست به ترتیب باید ابتدا  $X_2/X_1$  را انتخاب کنید و سپس با استفاده از ولوم Variable آن را جابه‌جا کنید. برای جابه‌جایی همزمان هر دو خط مکان‌نما، ابتدا  $X_1X_2$  را از منوی سمت راست صفحه انتخاب و سپس توسط ولوم Variable آنها را جابه‌جا کنید. نحوه استفاده از خطوط عمودی مشابه خطوط افقی می‌باشد که در بالا توضیح داده شد.

: با استفاده از این کلید می‌توانید عملیات ریاضی مانند جمع، تفریق و ضرب دو سیگنال مربوط به کانالهای Math  $CH_1$  و  $CH_2$  را انجام داد.

جدول ۲

پارامترها	توضیحات
$X_1$	زمان خط مکان‌نمایی که در سمت چپ نسبت به صفر قرار دارد
$X_2$	زمان خط مکان‌نمایی که در سمت راست نسبت به صفر قرار دارد
$X_1X_2$	اختلاف بین $X_1$ و $X_2$
$\Delta(\mu s)$	اختلاف زمانی بین $X_1$ و $X_2$ بر حسب ثانیه
F (Hz)	فرکانس موجی که بین خطوط مکان‌نما قرار دارد

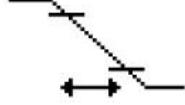
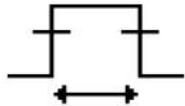
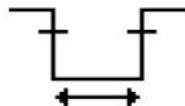
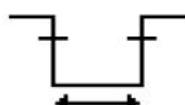
: این کلید قابلیت‌های مختلفی را مانند بزرگنمایی در اختیار کاربر قرار می‌دهد. مهمترین ویژگی کاربردی این کلید حالت XY می‌باشد. XY حالتی است که در آن نموداری بر حسب نمودار دیگر روی صفحه نمایش رسم می‌شود. برای مشاهده XY، ابتدا باید  $CH_2$  و  $CH_1$  را فعال نماییم سپس کلید Menu را فشار دهیم، از منوی ظاهر شده در سمت راست صفحه نمایش XY را انتخاب می‌کنیم. برای مشاهده بهتر نمودار رسم شده می‌توانیم از ولوم‌های Volts/Div و ولوم‌های انتقال سیگنال در راستای افقی و عمودی استفاده کنیم.



جدول ۳

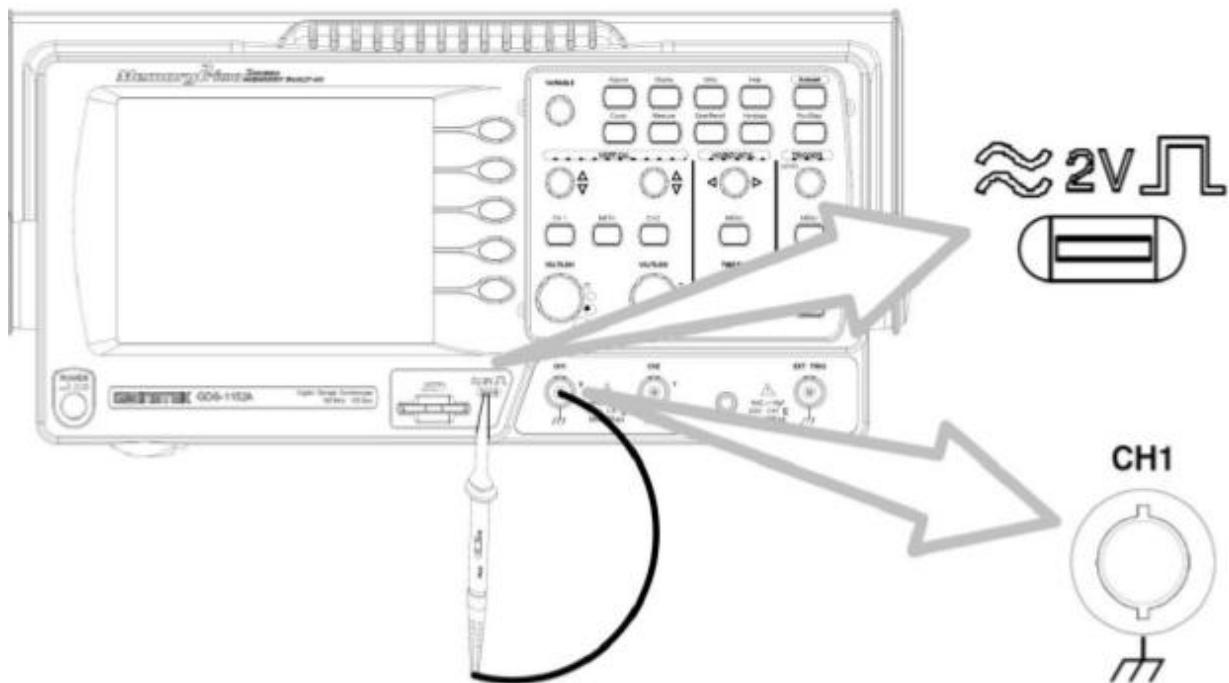
توضیحات	نماد	پارامتر
تفاوت بین مثبت‌ترین و منفی‌ترین نقاط سیگنال		$V_{pp}$
پیک مثبت ولتاژ		$V_{max}$
پیک منفی ولتاژ		$V_{min}$
تفاوت طولانی‌ترین ولتاژ مثبت و طولانی‌ترین ولتاژ منفی		$V_{amp}$
طولانی‌ترین ولتاژ مثبت		$V_{hi}$
طولانی‌ترین ولتاژ منفی		$V_{lo}$
میانگین ولتاژ در اولین سیکل		$V_{avg}$
مقدار موثر ولتاژ		$V_{rms}$
فرکانس شکل موج		Freq
مدت زمان یک سیکل شکل موج		Period
زمان صعود پالس٪۹۰		Risetime



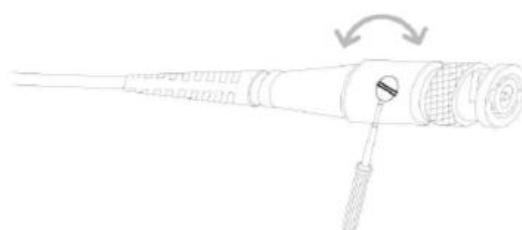
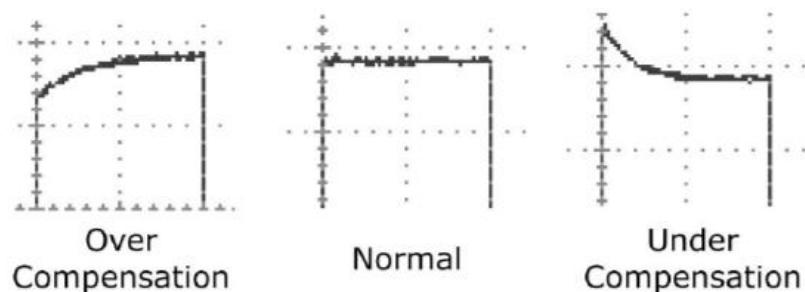
زمان نزول پالس٪/۹۰		Falltime
مقدار مثبت عرض پالس		+Width
مقدار منفی عرض پالس		-Width
سیکل کاری		Duty Cycle

## ۸- پروب‌های اسیلوسکوپ و نحوه استفاده از آن

این پروبها بسیار حساس هستند و هنگام استفاده از آنها باید دقت کافی داشته باشید. اگر پروبی که استفاده می‌کنید دارای کلید ضریب یک و ده می‌باشد، باید آن را روی ضریب یک قرار دهید. برای تست پروب، آن را به یکی از کانال‌های اسیلوسکوپ اتصال دهید، سیم قرمز پروب را به زایده‌ی فلزی که روی دستگاه برای تست پروب تعییه شده است اتصال دهید. زمین پروب را نیز به زمینی که روی پنل دستگاه به همین منظور قرار دارد اتصال دهید. در این حالت صورت سالم بودن پروب می‌توانید شکل موج مربعی را روی صفحه نمایشگر اسیلوسکوپ مشاهده کنید. شکل ۲۶. اگر شکل موجی که مشاهده می‌کنید اثرات خازنی دارد پیچی به همین منظور روی پروبها تعییه شده است، آن را با استفاده از پیچ گوشتی ریز-ساعتی - بچرخانید تا شکل موج مربعی ایده‌آلی را روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید، شکل ۲۷.



شكل ۲۶



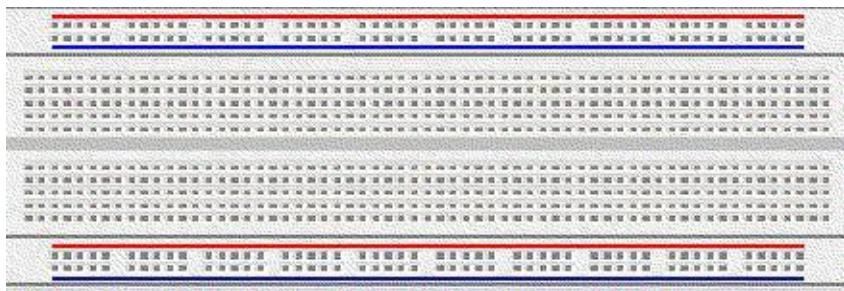
شكل ۲۷



## ۹- بردبورد و نحوه استفاده از آن

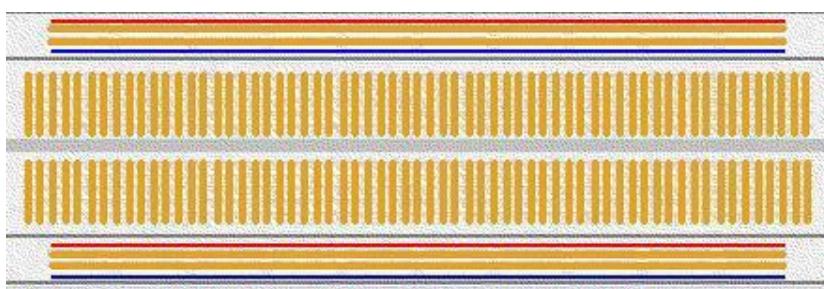
لایه‌های داخلی بردبورد از نوارهای فلزی، معمولاً مسی، تشکیل شده است. برای استفاده از بردبورد کافیست پایه‌های قطعات را درون شکاف مورد نظر فرو ببریم، به این شکافها اصطلاحاً سوکت می‌گویند. این سوکتها طوری طراحی شده‌اند که قطعات را کاملاً محکم در خود بگیرند و هر حفره یا همان سوکت پایه قطعه را به لایه مسی تحتانی هدایت می‌کند. هر سیم که وارد این حفره‌ها می‌شود گره یا node نامیده می‌شود و هر گره را نقطه‌ای از مدار می‌نامند که حداقل باعث اتصال دو قطعه به یکدیگر شده است و اما در بردبورد وقتی می‌خواهیم بین دو یا چند قطعه اتصال الکتریکی برقرار کنیم باید یکی از پایه‌های ایشان با هم تشکیل گره بدهنند. برای این کار کافیست پایه آنها را در حفره‌هایی که همگی در راستای لایه مسی مشترکی هستند، قرار دهیم.

برای اسambil کردن مدار می‌توانید از این بوردها استفاده کنید. نمونه این بوردها در شکل ۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۲۸

اتصالات این بوردها می‌تواند دارای ساختارهای متفاوتی باشد، اما به طور کلی به یاد داشته باشید که در بردبوردهایی که در ایران معمول شده یک گره شامل حفره‌های ردیف عمودی در هر یک از دو طرف است. اتصالات یک بردبورد نمونه، مانند شکل ۲۹ می‌باشد.

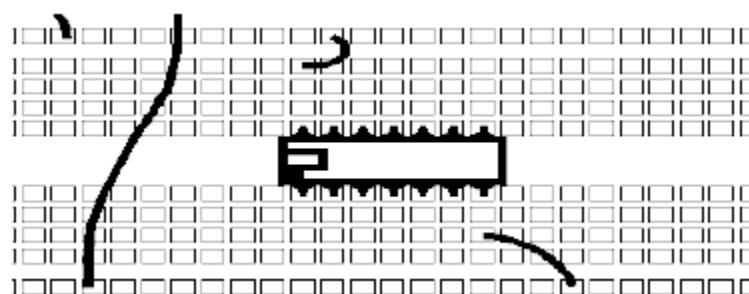


شکل ۲۹

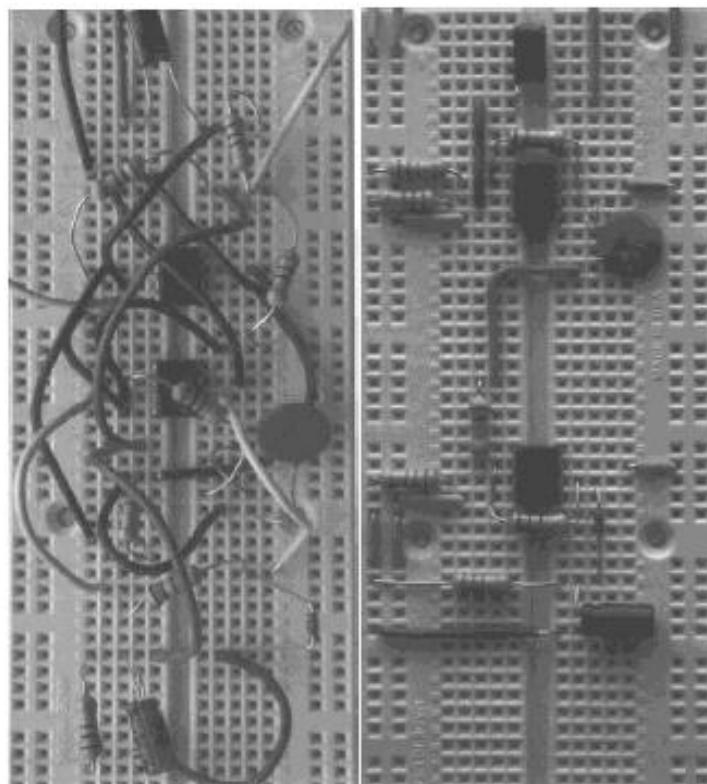




معمولاً از دو ردیف بالا و پایین برای اتصالات منابع تغذیه و زمین مدار استفاده می‌شود. توصیه می‌شود برای عملکرد بهتر، مدار مانند شماتیک داده شده در دستورکار، روی بردبورد پیاده‌سازی شود. اگر در خلال آزمایش‌ها مجبور به استفاده از IC شدید، باید آن را مانند شکل ۳۰ بین دو ردیف قرار دهید در غیر این صورت پایه‌های IC به یکدیگر اتصال کوتاه شده و باعث آسیب‌دیدگی IC خواهد شد. باید سعی کنیم که المان‌ها را ساده و مرتب روی برد قرار دهیم، شکل ۳۱. در این صورت عیب‌یابی مدار بسیار ساده‌تر خواهد شد. شکل ۳۱ مداری را نشان می‌دهد که اتصالات آن یک بار به صورت منظم و یک بار به صورت نامنظم روی بورد قرار داده شده‌اند.



شکل ۳۰



شکل ۳۱

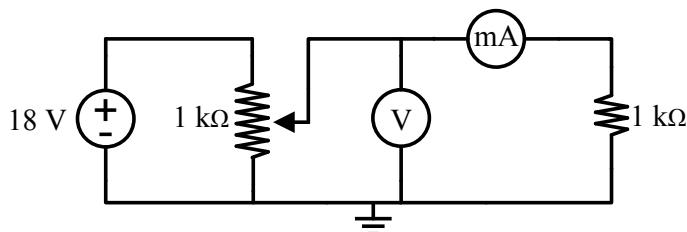


## آزمایش ۲

### بررسی قوانین اهم و کرشوف

هدف از آزمایش: بررسی قانون اهم، قوانین ولتاژ و جریان کرشوف، قوانین تقسیم ولتاژ و تقسیم جریان

- مدار شکل ۱ را ببینید. با تغییر پتانسیومتر مقدار جریان آمپرmetr را روی مقادیر موجود در جدول ۱ تنظیم کنید سپس در هر مرحله مقادیر ولتاژ را بخوانید و جدول زیر را کامل نمایید. سپس منحنی تغییرات  $I=f(V)$  را به ازای  $R=cte$  ( مقاومت ثابت) رسم نمائید.

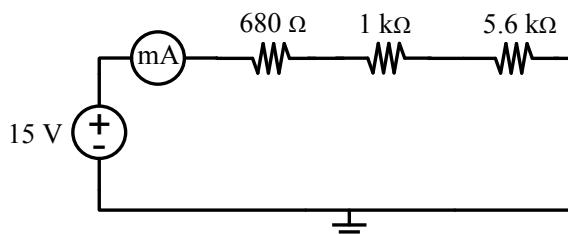


شکل ۱

$I$ (mA)	1	2	3	4	5	6	7	8
$V$								

پیش گزارش ۱: در مدار شکل ۲ با استفاده از قانون تقسیم ولتاژ، ولتاژ هر یک از مقاومتها مدار را تعیین کنید.

- مدار شکل ۲ را ببینید. جریان را با آمپرmetr و ولتاژ دو سر هر یک از مقاومتها را با ولتمتر مشخص کرده و در مورد فرمول زیر (تقسیم ولتاژ) برای هر یک از مقاومتها تحقیق کنید.

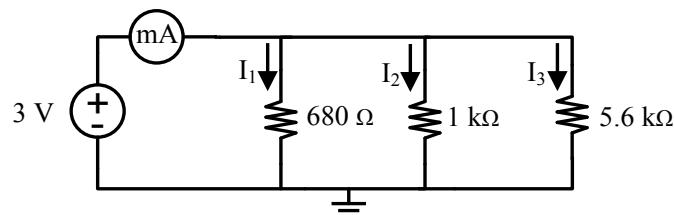


شکل ۲



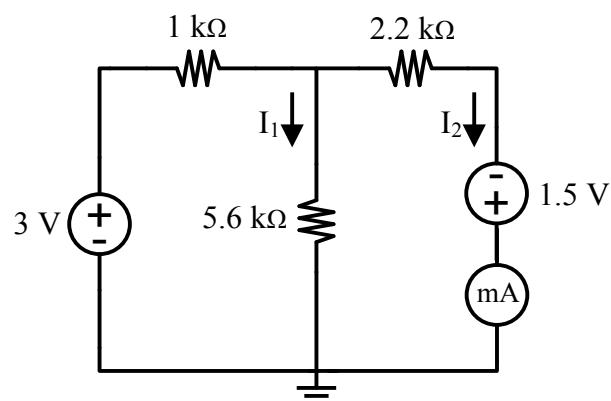
**پیش گزارش ۲:** در مدار شکل ۳ با استفاده از قانون تقسیم جریان، جریان هر یک از مقاومتهای مدار را تعیین کنید.

۳- مدار شکل ۳ را ببندید. جریان را در هر یک از شاخه‌ها و همچنین شاخه اصلی پیدا کرده و رابطه تقسیم جریان را برای هر یک از شاخه‌ها تحقیق کنید.



شکل ۳

۴- مدار شکل ۴ را ببندید. جریانهای  $I_1$  و  $I_2$  را یادداشت نمایید. سپس یک منبع ۱.۵ ولتی و بار دیگر منبع ۳ ولتی را غیر فعال کرده و جریانهای  $I_1$  و  $I_2$  را در هر مرحله به طور مجزا بخوانید و در مورد اصل جمع آثار تحقیق نمایید.



شکل ۴



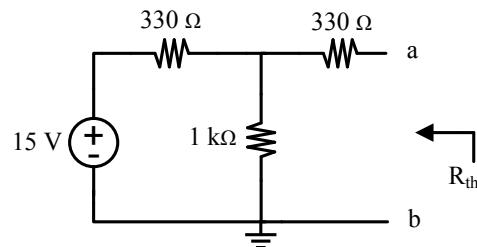
### آزمایش ۳

#### بررسی مدار معادل توان و نورتن

هدف از آزمایش: بررسی مدار معادل توان و نورتن و قضیه انتقال توان ماکریم

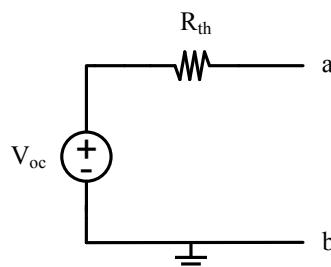
پیش گزارش ۱: در مدار شکل ۱ مقاومت توان دیده شده از دو سر a و b را محاسبه کنید؟

- ۱- مدار شکل ۱ را ببندید. با اتصال کوتاه کردن دو نقطه a و b جریان اتصال کوتاه بین دو نقطه a و b) را اندازه‌گیری کرده و سپس با باز کردن دو نقطه a و b ولتاژ  $V_{oc}$  (ولتاژ مدار باز) را با ولتمتر بخوانید. سپس با داشتن این دو مقدار،  $R_{th}$  را محاسبه کنید.



شکل ۱

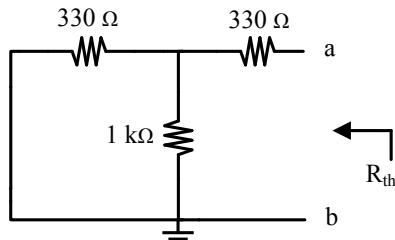
- ۲- حال مدار شکل ۲ را با توجه به مقادیر بدست آمده از مرحله ۱ ببندید. (برای جایگزینی  $R_{th}$  در مدار از پتانسیومتر استفاده کنید) مجدداً مقادیر  $I_{sc}$  و  $V_{oc}$  را بدست آورید و سپس با اعداد قبلی مقایسه نمایید. چه نتیجه‌های می‌گیرید؟ بنویسید.



شکل ۲



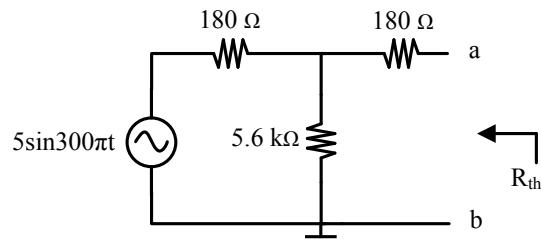
۳- منبع مدار شکل ۱ را غیرفعال کنید. توسط اهمتر دیجیتالی مقاومت  $R_{th}$  در مدار شماره ۳ را اندازه‌گیری و مقدار آن را یادداشت کنید. سپس نتیجه را با آزمایشهای قبلی مقایسه کرده، علت اختلاف احتمالی را بنویسید.



شکل ۳

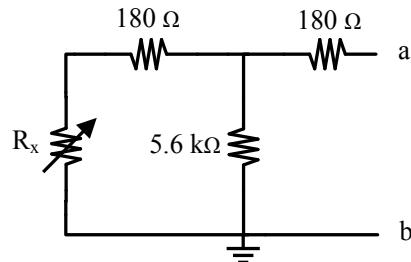
پیش‌گزارش ۲: در مدار شکل ۴ مقاومت تونن دیده شده از دو سر a و b را محاسبه کنید؟

۴- مدار شکل ۴ را بیندید. مراحل ۱ و ۲ و ۳ را د مورد این شکل مجددآزمایش نمائید. مشاهده می‌کنید که در این حالت نتایج آزمایشهای خیلی باهم متفاوت است. علت را ذکر کرده و درباره آن توضیح دهید (برای جایگزینی  $R_{th}$  در مدار از پتانسیومتر استفاده کنید).



شکل ۴

۵- مدار شکل ۵ را بیندید. برای پیدا کردن مقاومت داخلی منبع تغذیه AC مقاومت  $R_x$  را آنقدر تغییر دهید تا مقاومت دو نقطه a و b دقیقاً برابر  $R_{th}$  (حالت ۴) شود. سپس  $R_x$  را با اهمتر اندازه‌گیری کرده و در مورد آن مختصررا توضیح دهید.

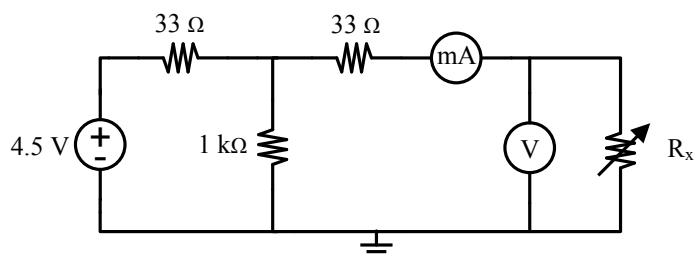


شکل ۵

**پیش گزارش ۳:** در مدار شکل ۶ به ازای چه مقاومتی از  $R_x$  حداکثر توان به این مقاومت انتحال خواهد یافت؟

۶- (قضیه انتحال حداکثر توان): مدار شکل ۶ را بیندید. با تغییر مقاومت  $R_x$  مقدار جریان عبوری از آن و ولتاژ دو سرش را بخوانید (مقادیر ولتاژها را در جدول زیر یادداشت کنید) سپس مقدار توان جذب شده را در هر حالت محاسبه کنید.

مقادیر مقاومت در هر حالت را از تقسیم ولتاژ به جریان مربوطه محاسبه نمایید و مقدار مقاومتی که به ازای آن توان جذب شده به مقدار ماکزیمم رسیده است را پیدا کنید. منحنی  $P=f(R_x)$  را رسم نموده، مقاومتی را که به ازای آن مقدار توان ماکزیمم شده است از روی منحنی پیدا کنید. سپس نتیجه فوق را با نتیجه بدست آمده در پیش گزارش ۳ مقایسه نمایید. در صورتی که اختلافی مشاهده می‌کنید دلیل آن را ذکر کنید.



شکل ۶

I (mA)	45	40	37	35	32	30	26	22	20	18
V										
P										
R										



## آزمایش ۴

### راهنمای نرم افزار OrCAD Capture

#### ۱-۴ ایجاد پروژه و ترسیم مدار

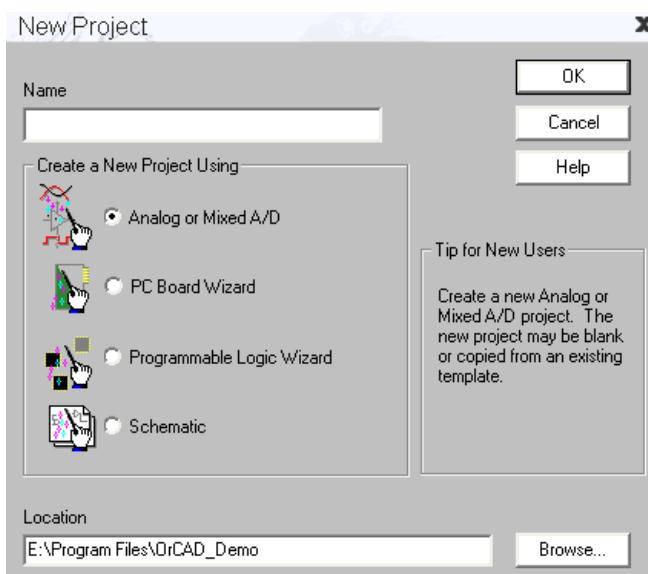
پس از نصب نرم افزار OrCAD می‌توانید از آدرس زیر برنامه را اجرا کنید:

Strat menu → Programs → Orcad → Capture (or Capture CIS)

اولین کار در Capture ایجاد یک پروژه جدید است. برای این کار از منوی File روی گزینه New رفته و Project را انتخاب نمایید. با انتخاب Project با کادر زیر مواجه خواهید شد. در فیلد Name نام پروژه و در آدرس دایرکتوری مورد نظر را برای ذخیره پروژه وارد کنید. در قسمت میانی Create a New Location چهار گزینه برای انتخاب نوع پروژه وجود دارد:

Analog or Mixed A/D -۱

این گزینه برای رسم و تحلیل مدارات آنالوگ و یا دیجیتال می‌باشد در این آزمایشگاه چون هدف تحلیل مدارات و مقایسه جوابها با مقادیر عملی بدست آمده است، با همین نوع پروژه‌ها کار می‌کنیم.



PC Board Wizard -۲

امکان رسم مدار و ایجاد PCB

Programmable Logic Wizard -۳

طراحی مدار با CPLD یا FPGA

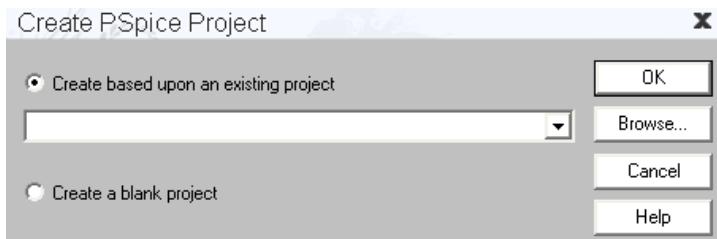
Schematic -۴

امکان رسم مدار بدون تحلیل و شبیه سازی

در صورت انتخاب گزینه اول پنجره Create PSProject باز می‌شود که شامل دو گزینه است:



## Create based upon an existing project - ۱

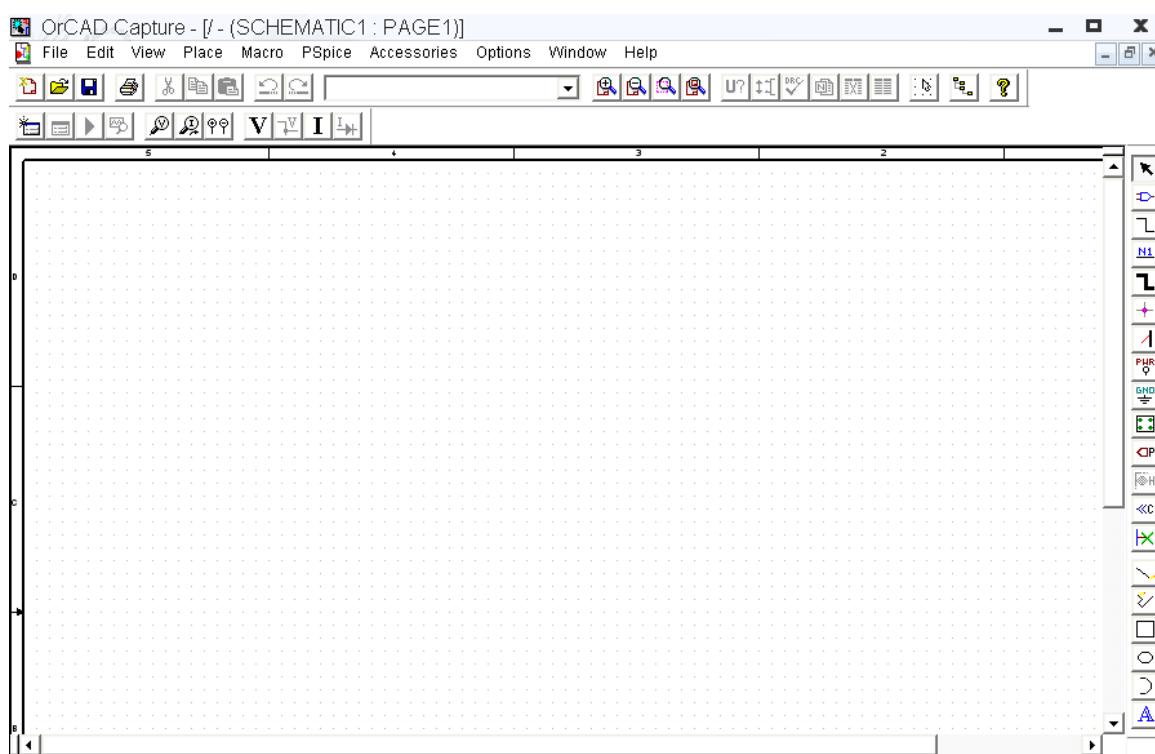


این گزینه پروژه‌ای برای مدارهای سلسله مراتبی که شامل چند صفحه‌اند براساس یک پروژه از قبل تعریف شده ایجاد می‌کند که فعلاً به بحث ما مربوط نمی‌شود.

## Create a blank project - ۲

ایجاد فقط یک صفحه خالی جهت پیاده سازی پروژه (البته در همین یک صفحه نیز می‌توان بلوکهایی قرار داد و برای هر کدام یک صفحه جدید ایجاد کرد).

با انتخاب گزینه دوم پنجره ای مانند شکل زیر باز می‌شود که شما می‌توانید مدار را در آن رسم نموده و آن را شبیه سازی کنید.



برای رسم مدار باید مراحل زیر را به ترتیب انجام دهیم:



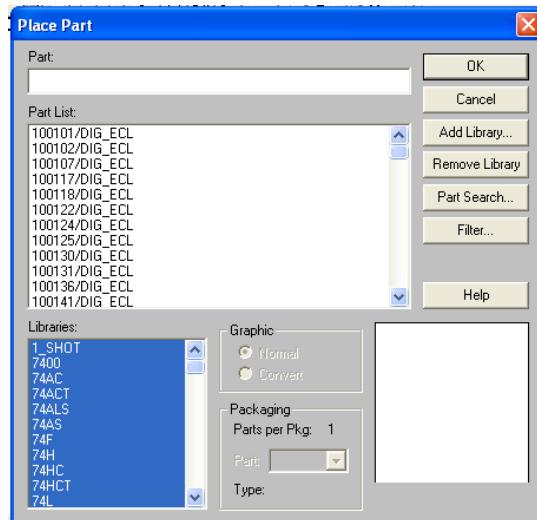
## ۱- جایگذاری قطعات در محیط شماتیک

۲- سیم کشی مدار

۳- نصب گره زمین

۴- شماره‌گذاری گره‌ها

برای جایگذاری قطعات در محیط شماتیک می‌توان از منوی Place گزینه Part را انتخاب کرد یا در قسمت سمت راست روی نماد (  ) کلیک کرد تا پنجره شکل زیر باز شود. در گزینه Add Library می‌توان کتابخانه جدید را اضافه کرد. و با تایپ نام قطعه در قسمت Part نیز می‌توان به طور مستقیم به قطعه دسترسی پیدا کرد.



البته این کار را می‌توان از طریق تایپ نام در قسمت Place Part در صفحه شماتیک مانند شکل زیر انجام داد.



برای قرینه کردن قطعه نسبت به محورهای عمودی و افقی می‌توان از کلیدهای Ctrl+R استفاده کرد. برای سیم کشی مدار نیز می‌توان روی نماد (  ) کلیک نمود یا دکمه (W) روی کیبورد را فشار داد تا اشاره گر ماوس به صورت نماد (+) ظاهر شود. حال می‌توان با بردن ماوس به ابتدا یا انتهای قطعات آنها را به هم متصل کرد. برای تغییر مقدار قطعه باید روی آن دو بار کلیک کرده تا پنجره مربوطه باز شود. در قسمت Value مقدار قطعه



Alphabet Used	Stands for
F(f)	Femto
P(p)	Pico
N(n)	Nano
U(u)	Micro
M(m)	Milli
K(k)	Kilo
MEG(meg)	Mega
G(g)	Giga
T(t)	Tera

را بنویسید. اگر مقدار قطعه را بدون نمادی تایپ کنید مقدار برای مقاومت بر حسب اهم، برای خازن بر حسب فاراد و برای سلف بر حسب هانری خواهد بود. برای مقادیر خیلی بزرگ و خیلی کوچک قطعات می‌توان از نمادهای رویرو استفاده کرد. فقط دقت داشته باشید که بین مقدار و نماد فاصله‌ای نباشد. برای تغییر نام قطعه نیز مانند حالت قبل عمل می‌کنیم اما به جای مقدار قطعه بر روی نام آن دابل کلیک می‌کنیم.

قطعات مورد نیاز در شبیه‌سازی مدارات آزمایشگاه در جدول زیر آمده است.

PART	PART NAME	Symbol
مقاومت	R	
خازن	C	
سلف	L	
منبع ولتاژ DC	VDC	
منبع جریان DC	IDC	
منبع ولتاژ وابسته به ولتاژ	E	
منبع جریان وابسته به جریان	F	
منبع جریان وابسته به ولتاژ	G	
منبع ولتاژ وابسته به جریان	H	
آپ امپ ۷۴۱	UA741	



برای هر مدار حتما باید گره‌ای به عنوان گره زمین انتخاب شود، در غیر این صورت OrCAD قادر به تحلیل مدار نخواهد بود. برای انتخاب گره زمین ابتدا روی گزینه GND در Tool Palette کلیک کنید و یا کلید G صفحه کلید را فشار دهید سپس در پنجره Place Ground کتابخانه Source و قطعه 0 را انتخاب کنید و دکمه OK را فشار دهید. ماوس را به نقطه موردنظر برد و کلیک کنید تا گره زمین جایگذاری شود. برای اتمام کار کلید Esc را فشار دهید و زمین را با سیم به مدار وصل کنید.

بعد از ایجاد هر گره، نامی را به آن اختصاص می‌دهد ولی به دلیل اینکه این نامها از کاراکترهای زیادی تشکیل شده‌اند اغلب کار کردن با آنها کمی سخت است. به همین خاطر ما برای گره‌ها شماره‌هایی به ترتیب از یک قرار می‌دهیم. (شماره گره زمین صفر است) برای نام‌گذاری گره روی گزینه Place net alias در Tool Palette کلید کنید (یا روی نماد کلیک کنید) در پنجره باز شده در فیلد Alias عدد مورد نظر برای نام گره را وارد کنید. در این پنجره نیز گزینه‌هایی برای تغییر ظاهر اسامی گره‌ها وجود دارد. روی گزینه OK کلیک کنید، در این حالت با کلیک چپ روی گره موردنظر، عدد وارد شده در فیلد Alias به عنوان نام گره خواهد بود.

- نام هر گره را حتما باید در کنار یک سیم یا یک اتصال قرار دهید طوری که گوشه سمت چپ پایین (یا چپ یا پایین) آن در کنار سیم باشد.
- دو گره همنام اتصال کوتاه تلقی می‌شوند بنابراین در انتخاب نام گره‌ها دقت کنید تا با مشکلی در تحلیل مدار مواجه نشویم.

پس از رسم مدار نوبت به تحلیل آن می‌رسد از منوی New Simulation Profile گزینه Pspice را انتخاب کنید. و نام دلخواهی برای تحلیل خود انتخاب کنید. در مرحله بعد باید نوع تحلیل انتخاب شود. با استفاده از Time AC Sweep، DC Sweep، Bias Point و OrCAD چهار نوع تحلیل می‌توان انجام داد که عبارتند از Run، Edit و Domain. که توضیحات مربوط به هر کدام از بخش‌ها در زیر آمده است. همچنین به جای New در منوی Pspice می‌توان از گزینه‌های در نوار ابزار استفاده کرد.

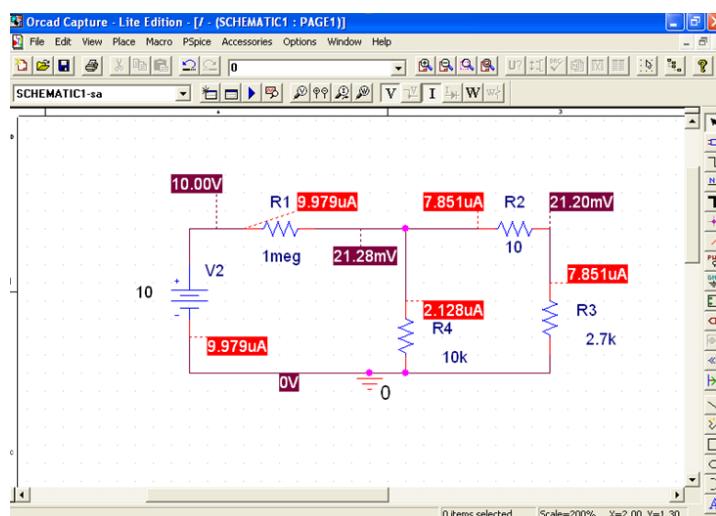


## ۲-۴ تحلیل نقطه کار (Bias Point) DC

این تحلیل مقدار ولتاژ DC گره‌ها، جریان DC و توان المان‌ها را محاسبه می‌کند. برای مدارهایی مناسب است که دارای منبع DC ثابت با زمان و قطعاتی همچون مقاومت، دیود، ترانزیستور و ... (قطعاتی که رابطه ولتاژ-جریان آنها به زمان بستگی ندارد) می‌باشند.

- در صورت وجود سلف یا خازن در این تحلیل، سلفها شبیه منبع جریانی برابر با جریان اولیه‌شان و خازنها شبیه منبع ولتاژی برابر ولتاژ اولیه‌شان رفتار می‌کنند. (در صورت عدم تعیین شرایط اولیه سلفها مدار باز و خازنها اتصال کوتاه در نظر گرفته می‌شوند).
- در این تحلیل برای موج سینوسی مقدار DC آن و برای سایر منابع متغیر با زمان مقدار منبع در لحظه صفر در نظر گرفته می‌شود.

پس از رسم کامل مدار نوبت به تحلیل آن می‌رسد. ابتدا از منوی Pspice روی گزینه New Simulation کلیک کنید و برای شبیه‌سازی خود نامی دلخواه انتخاب کنید تا منوی انتخاب نوع تحلیل فعال شود. برای انتخاب نوع تحلیل از منوی Pspice روی گزینه Bias Point کلیک کنید و برای انتخاب نوع آنالیز مدار را که در اینجا Analysis type Bias Point می‌باشد را مشخص کنید. با این کار پنجره‌ای باز می‌شود پس از زدن دکمه Ok در این پنجره مدار شبیه سازی می‌شود. برای دیدن ولتاژها، جریان‌ها و توانهای المانهای مختلف مدار کافی است بر روی نمادهای کلیک کنید تا به صورت شکل زیر نمایش داده شوند. البته قبل از این کار باید را کلیک کنید.



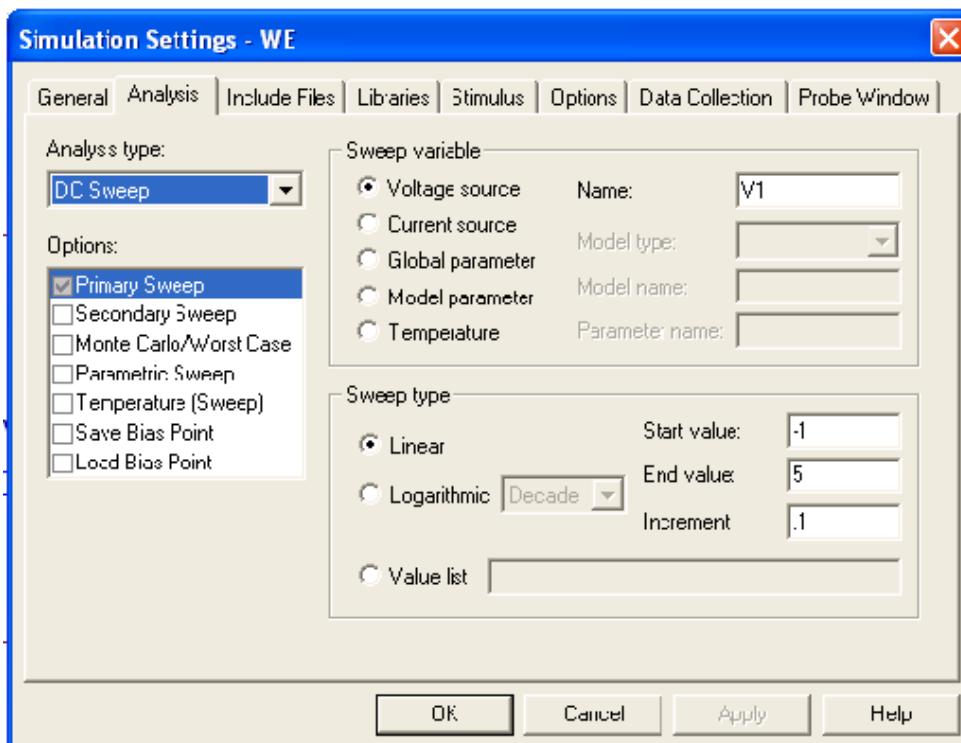


برای مرتب کردن مقادیر می‌توانید با اشاره گر ماوس، انها را به مکان مورد نظر منتقل کنید.

### ۳-۴ تحلیل جاروب (DC Sweep)

تحلیل DC همان تحلیل Bias Point است با این تفاوت که منبع DC مقدار ثابتی ندارد و در یک رنج مشخص تغییر می‌کند. در این تحلیل علاوه بر منبع ولتاژ یا جریان می‌توان پارامترهایی نظیر دما، پارامتر یک مدل و یا مقدار المانهایی چون مقاومت را تغییر داد و نحوه تغییرات خروجی را بررسی کرد.

- در این تحلیل خازنها مدار باز و سلفها اتصال کوتاه در نظر گرفته می‌شوند. (صرف نظر از شرایط اولیه).
- همراه با اجرای این تحلیل، تحلیل Bias Point اجرا نمی‌شود و اگر در شماتیک ولتاژ یا جریانی مشاهده می‌کنید احتمالاً به این دلیل است که قبل از DC Sweep تحلیل Bias Point را اجرا کرده‌اید و این نتایج مربوط به آن تحلیل می‌باشد.



در قسمت Voltage source نام منبع ولتاژ را می‌نویسیم. در Start value ولتاژ اولیه و در End value ولتاژ نهایی را مشخص می‌کنیم. Increment نیز مقدار گامها را مشخص می‌کند. Ok را بزنید و دکمه ( ) را

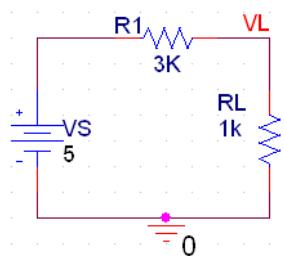


 فشار دهید. در صفحه Schematics باز شده از منوی Trace و با استفاده از گزینه Add Trace می‌توان ولتاژها، جریانها و توانهای المانهای مختلف مدار را به ازای تغییرات ولتاژ ورودی مشاهده کرد.

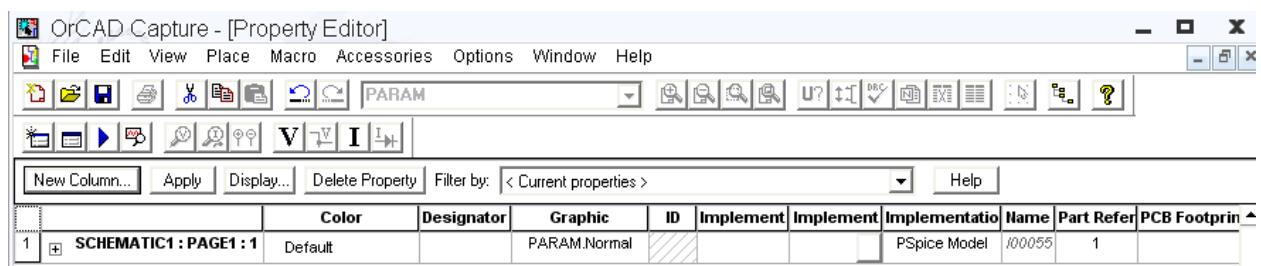
همچنین با استفاده از این تحلیل می‌توان دو پارامتر مدار را همزمان تغییر داد و خروجی را به ازای این تغییرات مشاهده کرد. فقط کافیست بعد از تنظیم Primary Sweep با متغیر اول، در بخش Secondary Sweep نیز تنظیمات مربوط به متغیر دوم انجام شود که در این صورت یک دسته منحنی برای خروجی نمایش داده می‌شود.

در این بخش می‌خواهیم بحث انتقال توان ماکریم را با استفاده از این تحلیل بررسی کنیم. این موضوع را با مثالی توضیح می‌دهیم:

در مدار زیر می‌خواهیم بدانیم که به ازای چه مقداری از  $R_L$  حداکثر توان به این مقاومت انتقال پیدا می‌کند.

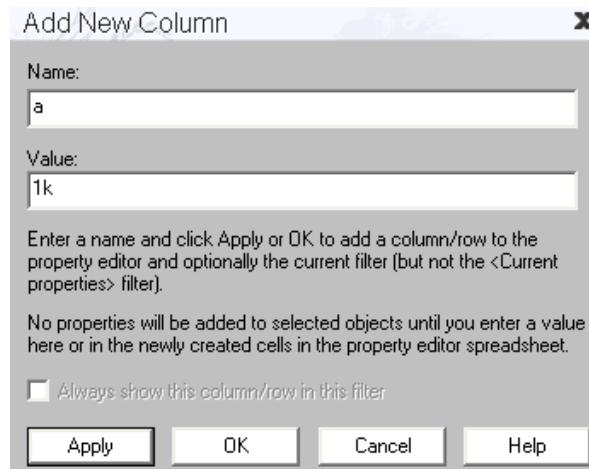


برای این کار باید ابتدا  $R_L$  را به صورت پارامتری تعریف کنیم. برای تعریف پارامتری  $R_L$  روی مقدار آن دابل کلیک کرده و آن را به {a} تغییر می‌دهیم. در قسمت بعد باید پارامتر a تعریف شود برای این کار در قسمت PARAMETERS عبارت PARAM را تایپ می‌کنیم تا شماتیک ظاهر شود بعد آن را بالای مدار قرار می‌دهیم. بعد روی PARAMETERS دابل کلیک می‌کنیم تا پنجره زیر باز شود.

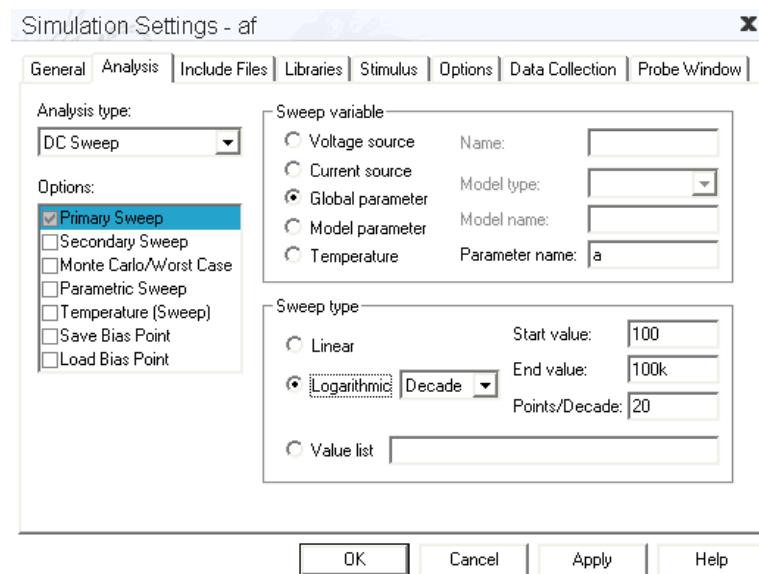




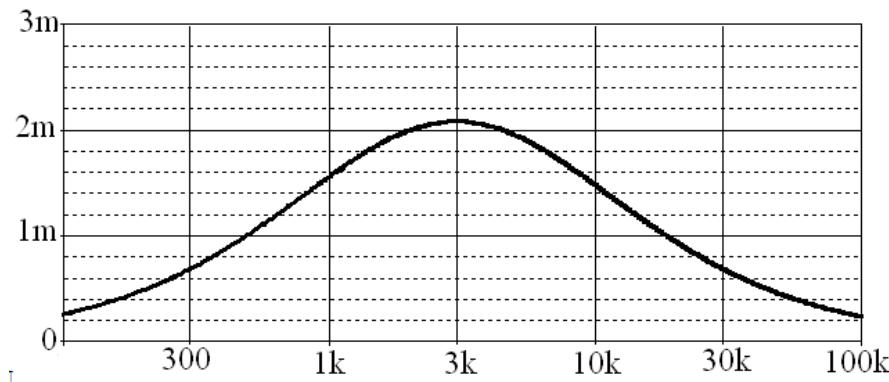
بعد New Column را زده و پنجره‌ای را که باز می‌شود به صورت زیر پر می‌کنیم. در قسمت Name نام پارامتر و در قسمت Value مقدار آن را قرار می‌دهیم بعد زدن OK پارامتر a تعریف می‌شود و گزینه‌ای به صورت  $\frac{a}{1k}$  در قسمت بالا ظاهر می‌شود.



در قسمت Sweep Variable نوع آنالیز مدار را DC Sweep انتخاب می‌کنیم و در قسمت Analysis type را انتخاب می‌کنیم. و مقادیر را به صورت زیر پر می‌کنیم.



بعد از Run کردن مدار برای دیدن ماکریم توان انتقالی به ترتیب عبارت  $VL^*VL/a$  را انتخاب کنید. با این کار شکل موج خروجی ( ولتاژ خروجی به ازای مقادیر مختلف  $L$ ) دیده می‌شود.



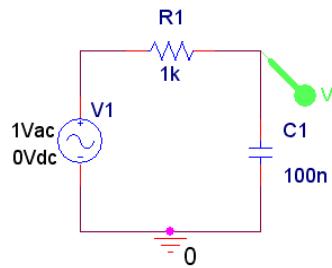
#### ۴-۴ تحلیل حوزه فرکانس (AC Sweep)

AC Sweep تحلیلی است که در آن ورودی سینوسی با فرکانس متغیر (VAC یا IAC) به مدار داده می‌شود و نمودار تغییرات خروجی بر حسب فرکانس رسم می‌شود. با توجه به اینکه این تحلیل همان تحلیل حالت دائمی سینوسی است، متغیرها به صورت فازور (اعداد مختلط) می‌باشند و امکان محاسبه اندازه، فاز، قسمت حقیقی و قسمت موهومی آنها وجود دارد. کاربرد عمدی این تحلیل رسم نمودارهای اندازه و فاز پاسخ فرکانسی، تعیین نوع فیلترها و محاسبه پهنای باند و فرکانس‌های قطع است.

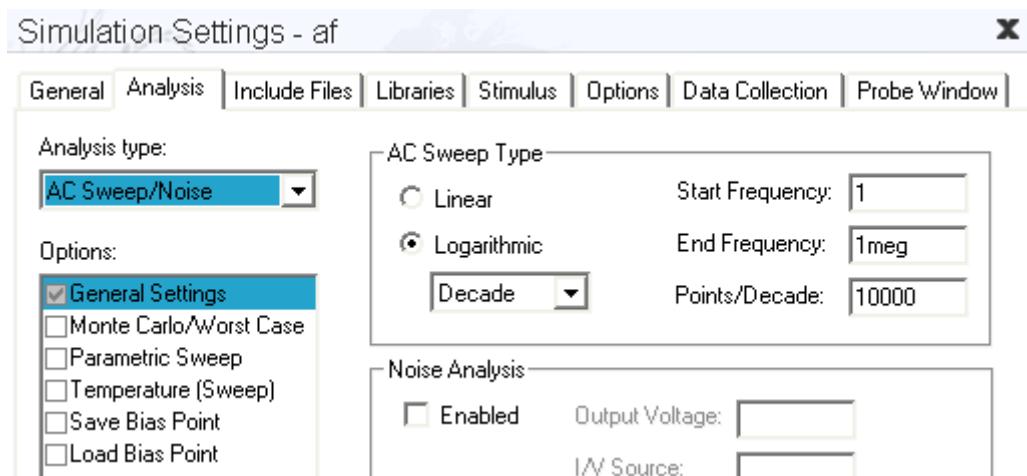
- همزمان با اجرای این تحلیل، تحلیل Bias Point نیز اجرا می‌شود که خروجی‌های آن در شماتیک مدار قابل مشاهده است.
- با توجه به اینکه برای سلف و خازن امپدانس آنها در نظر گرفته می‌شود، شرایط اولیه تاثیری روی نتایج تحلیل ندارند اما بر خروجی Bias Point اثر می‌گذارند. مقدار DC منبع AC، منابع DC و منابع متغیر با زمان نیز تاثیری بر نتایج تحلیل AC Sweep ندارند ولی بر نتایج Bias Point اثر می‌گذارند.

منابع ورودی که در این بخش استفاده می‌شوند VAC و IAC هستند که دو پارامتر اصلی دارند. یکی Vac که نشاندهنده دامنه ولتاژ ورودی است و دیگری Idc (Iac) که نشاندهنده سطح DC ولتاژ (Offset) است.

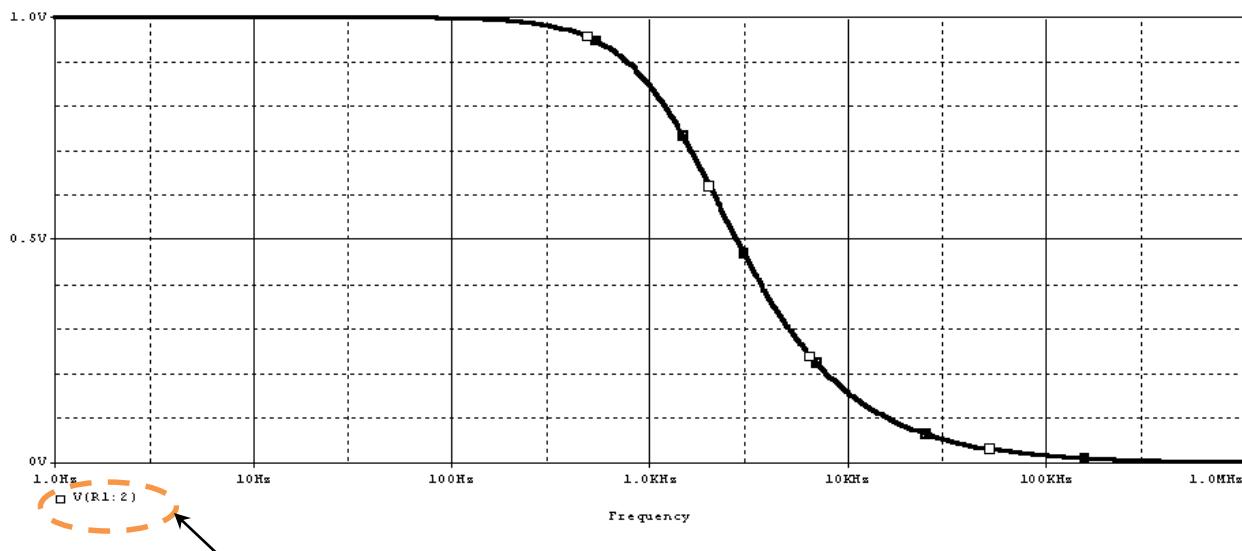
در مدار زیر می‌خواهیم پاسخ فرکانسی را بررسی کنیم:



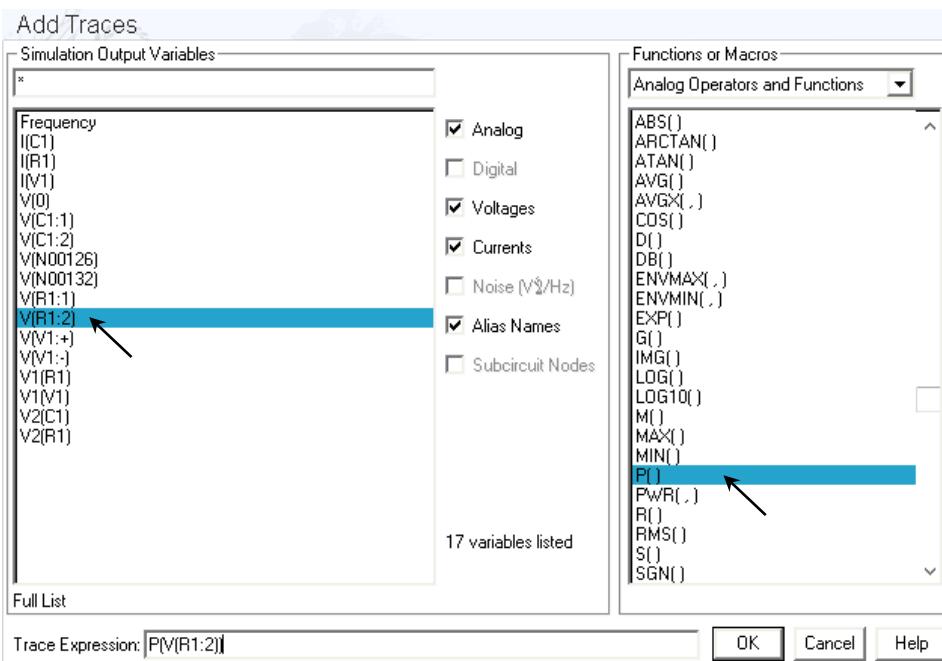
بعد از رسم مدار، برای دیدن شکل موج خروجی باید از پروب استفاده کنیم برای این منظور می‌توان از پروب Voltmeter در خروجی استفاده کرد. در قسمت Analysis type نوع آنالیز مدار را AC Sweep انتخاب می‌کنیم. بعد از مقدار دهی Points/Decade Stop Frequency و Start Frequency در قسمت Stop Frequency و Start Frequency می‌خواهیم مدار به ازای آنها شبیه‌سازی شود، تعداد نقاطی که بین Stop Frequency و Start Frequency می‌خواهیم مدار به ازای آنها شبیه‌سازی شود، مشخص کنیم. هر چه این مقدار بزرگتر باشد شکل موج خروجی بهتر دیده می‌شود. این مقادیر به صورت زیر مقدار دهی شده‌اند:



بعد از Run کردن مدار شکل موج خروجی به صورت زیر دیده می‌شود.

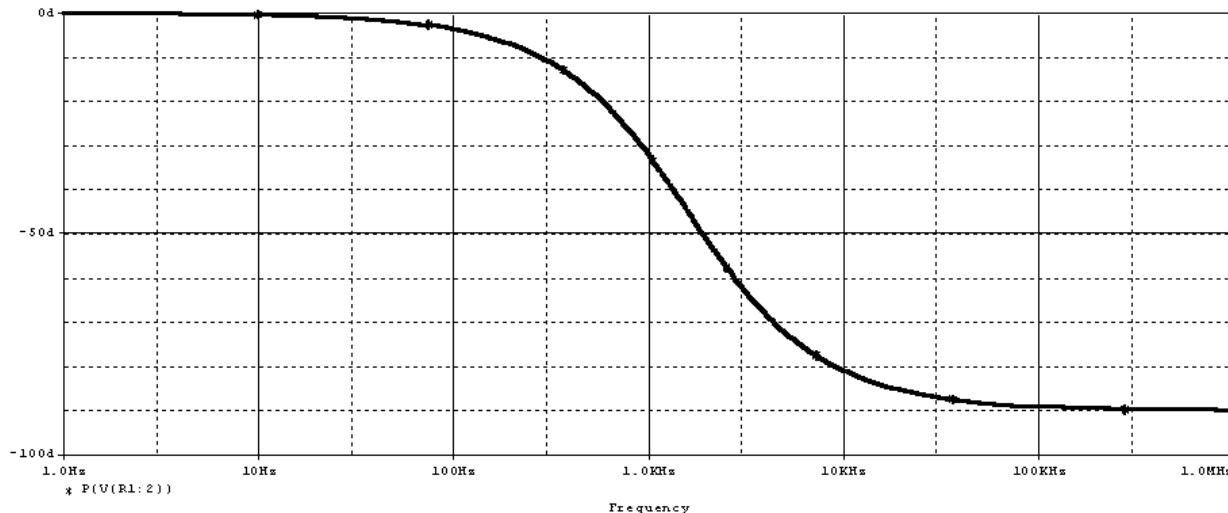


با استفاده از شکل موج خروجی (که به آن پاسخ دامنه خروجی نیز گفته می‌شود) می‌توان نوع فیلتر را تشخیص داد. که پاسخ دامنه خروجی نشان می‌دهد مدار شبیه سازی شده یک فیلتر پایین گذر است. برای رسم پاسخ فاز در صفحه Trace از منوی Schematics گزینه Add Trace را انتخاب کنید. در صفحه باز شده از قسمت سمت راست می‌توان پارامترهای مختلف شکل موج خروجی را بدست آورد. (P) را انتخاب کرده و بعد داخل پرانتز باید اسم شکل موج خروجی وارد شود برای این منظور ولتاژی که در شکل بالا با خط چین مشخص شده را از بین ولتاژهای سمت چپ انتخاب می‌کنیم.





با زدن OK پاسخ فاز مدار به صورت زیر بدست می‌آید:



#### ۵-۴ تحلیل حوزه زمان (Time Domain)

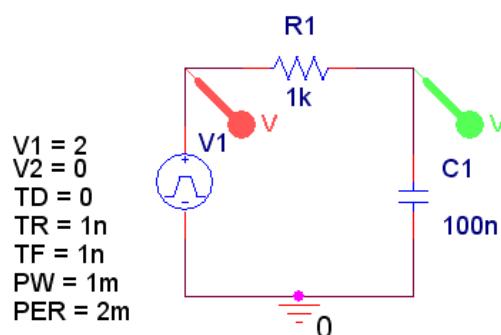
تحلیل مدار در حوزه زمان است که ورودی آن منابع DC یا منابع متغیر با زمان و خروجی آن بر حسب زمان در یک گستره خاص محاسبه می‌شود. کاربرد عمده این تحلیل رسم شکل موجهای ورودی و خروجی مدارها و محاسبه پاسخ پله مدار و ضربه مدار است.

- هم‌زمان با اجرای این تحلیل Bias Point نیز اجرا می‌شود که نتایج آن در شماتیک قابل مشاهده است.
  - منابع AC در این تحلیل صفر در نظر گرفته می‌شوند.
  - در صورتیکه برای سلف و خازن شرایط اولیه مشخص نکنید، Bias Point (از طریق مدار باز کردن خازن و اتصال کوتاه کردن سلف) شرایط اولیه را تعیین خواهد کرد.
- منابع ولتاژی که در این بخش استفاده می‌شود در جدول زیر آمده است.



PART	PART NAME	SYMBOL	PICTURE
موج مربعی و مثلثی	VPULSE	$V1 =$ $V2 =$ $TD =$ $TR =$ $TF =$ $PW =$ $PER =$	<p>Graph of <math>V_{pulse}</math> vs time showing:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>V1</math>: Pulse amplitude</li> <li><math>V2</math>: Reference voltage</li> <li><math>TD</math>: Dead time</li> <li><math>TR</math>: Rise time</li> <li><math>PW</math>: Pulse width</li> <li><math>PER</math>: Period</li> <li><math>TF</math>: Fall time</li> </ul>
موج سینوسی	VSIN	$VOFF =$ $VAMPL =$ $FREQ =$	<p>Graph of <math>V_{sin}</math> vs time showing:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><math>VOFF</math>: Offset voltage</li> <li><math>VAMP</math>: Amplitude</li> <li><math>T</math>: Period</li> </ul>
موج نمایی	VEXP	$V1 =$ $V2 =$ $TD1 =$ $TC1 =$ $TD2 =$ $TC2 =$	<p>Graph of <math>v, i</math> vs <math>t</math> showing two exponential curves starting at <math>U_1</math> and ending at <math>U_2</math>.</p>

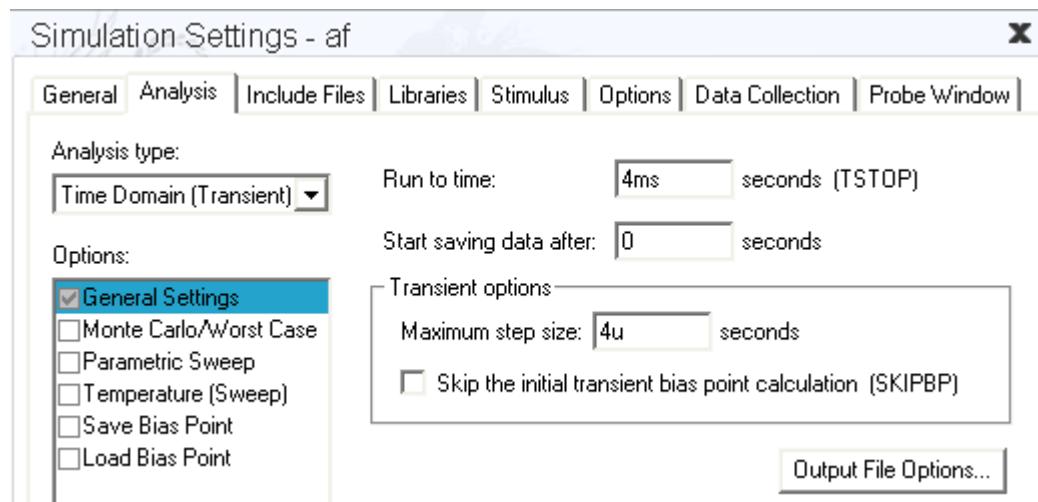
تحلیل زمانی مداری مطابق شکل زیر را انجام می‌دهیم



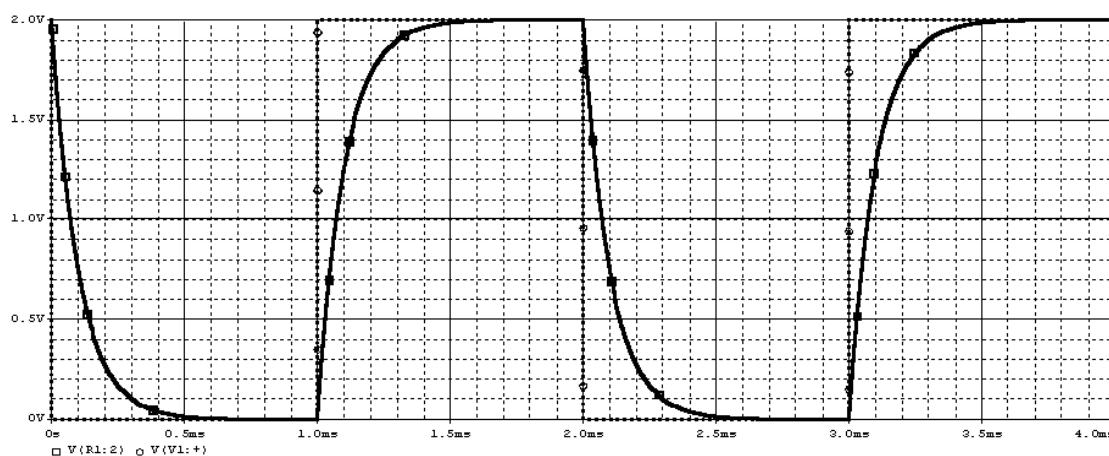
بعد از رسم مدار، برای دیدن شکل موجهای ورودی و خروجی باید از پروب استفاده کنیم برای این منظور می‌توان از (پروب‌های ولتاژ و جریان) در خروجی استفاده کرد. در قسمت Analysis type نوع آنالیز از



مدار را Time Domain انتخاب می‌کنیم. در این قسمت دو پارامتر اساسی باید مقداردهی شوند، که عبارتند از Run to Time .Maximum Step Size و Run to Time . این بازه زمانی است که در خروجی می‌خواهیم ببینیم. این مقدار حداقل باید دو یا سه برابر PER (دوره) باشد. و Maximum Step Size گامهای شبیه سازی است هر چه این مقدار کوچکتر باشد شکل موج خروجی بهتر دیده می‌شود و شکستگی کمتری دارد. برای این مدار مقادیر بالا به صورت زیر تنظیم شدند.



بعد از Run کردن مدار شکل موجهای ورودی و خروجی به صورت زیر دیده می‌شود.



با استفاده از این نمودار می‌توان در مورد پاسخ گذرا و پاسخ حالت دائمی مدار بررسی انجام داد.



## آزمایش ۵

### پاسخ گذرای مدارهای RC و RL

هدف از آزمایش: بررسی پاسخ گذرای مدارهای RC و RL به ورودی پله

در سه آزمایش گذشته، پاسخ فرکانسی و پایدار مدارهای RC، RL و RLC را، هنگامی که با ولتاژهای سینوسی یا مربعی تحریک می‌شوند مطالعه نمودیم لکن از این مطلب که از لحظه اعمال ولتاژ ورودی تا لحظه دریافت پاسخ کامل و پایدار، مدار دارای چه حالتی است، صحبتی به میان نیامد.

بطور کلی وقتی که مداری شامل قطعاتی نظیر خازن یا القاگر است، همواره یک حالت پایدار محسوس، از زمان تحریک تا دریافت پاسخ کامل، وجود دارد. مدت زمان این حالت ناپایدار، بستگی به اجزای مدار داشته و به نوع اندازه ولتاژ اعمال شده بستگی ندارد. پاسخ مدار در این مدت کوتاه به پاسخ گذرا موسوم است.

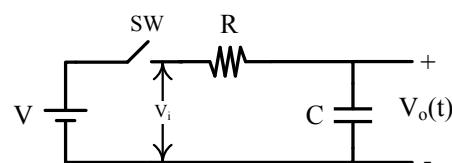
در این آزمایش پاسخ گذرای مدارهای RC و RL و روش اندازه گیری زمان ناپایداری (یا تاخیر زمانی) را ارائه می‌کنیم.

#### ۱-۸ پاسخ گذرای مدار RC پایین گذر و بالاگذر

**(الف) صافی پایین گذر:** شکل ۱ مدار RC پایین گذر را نشان می‌دهد. کلید SW در لحظه  $t=0$  بسته می‌شود و ولتاژ خروجی (پاسخ مدار) پس از مدت کوتاهی به مقدار نهایی خود، یعنی  $V$  خواهد رسید. بطوریکه می‌دانید، پس از بسته شده کلید، می‌توان نوشت:

$$V_o(t) = V(1 - e^{-t/\tau})$$

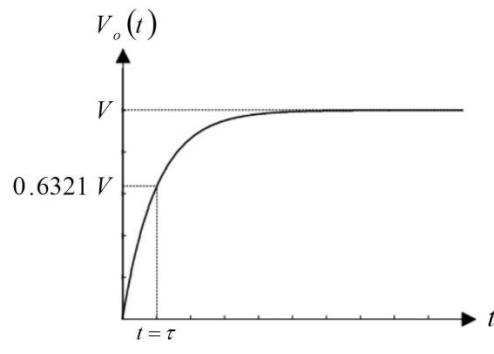
$$\tau = RC$$



شکل ۱



با توجه به اینکه بسته شدن کلید را می‌توان به منزله اعمال یک ولتاژ پله‌ای با ارتفاع  $V$  به مدار دانست، ولتاژ ورودی و پاسخ خروجی (منحنی  $V_o(t)$ ) بصورت شکل ۲ خواهد بود. نکات قابل ملاحظه در پاسخ خروجی عبارتند از:



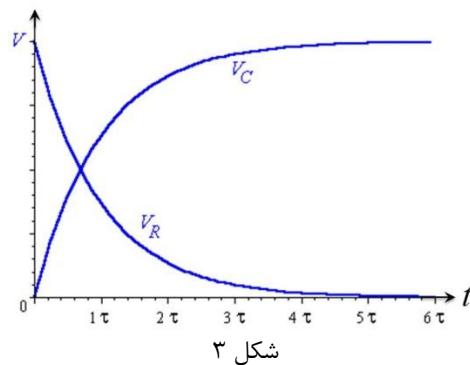
شکل ۲

: ثابت زمانی (Time Constant)

به ثابت RC که از جنس زمان است، ثابت زمانی مدار RC گفته می‌شود و به  $\tau$  نشان می‌دهند. گرچه از نظر ریاضی ولتاژ خروجی  $V_o(t)$  پس از مدت  $t = \infty$  به مقدار نهایی خود ( $V$ ) می‌رسد، لکن عملاً پس از مدت  $t = 5\tau$  ولتاژ خروجی تقریباً برابر ولتاژ ورودی می‌شود، زیرا:

$$V_o(5\tau) = V(1 - e^{-5}) \approx 0.994V$$

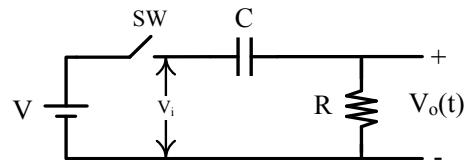
چنانچه در صد ولتاژ (یا جریان) خروجی بر حسب ثابت زمانی  $\tau$  رسم شود منحنی پاسخ شکل ۳ که یک منحنی استاندارد می‌باشد، حاصل می‌گردد. این منحنی وسیله بسیار جالب و ساده‌ای برای تعیین پاسخ هر نوع مدار RC یا RL می‌باشد.



شکل ۳



ب) صافی بالا گذر: شکل ۴ مدار بالا گذر را نشان می‌دهد. با بسته شدن کلید، خازن در مقابل جهش ورودی به صورت اتصال کوتاه عمل نموده و ولتاژ خروجی به  $V$  ولت جهش می‌کند و پس از مدت کوتاهی به مقدار نهایی خود یعنی صفر خواهد رسید، به طوری که پس از بسته شدن کلید، می‌توان نوشت:

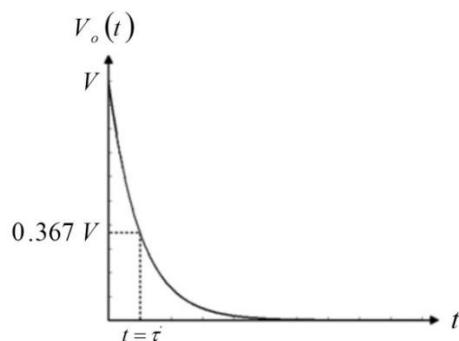


شکل ۴

$$V_o(t) = V e^{-t/\tau}$$

$$\tau = RC$$

بنابراین ولتاژ ورودی و پاسخ خروجی به صورت شکل ۵ خواهد بود.



شکل ۵

مشابه صافی پایین گذر به ثابت  $RC$ ، ثابت زمانی گویند و عملاً پس از مدت  $t = 5\tau$  ولتاژ خروجی تقریباً صفر خواهد بود.

$$V_o(5\tau) = V e^{-5} \approx 0.006V$$

**پیش‌گزارش ۱:** پاسخ گذرای مدارهای مربوط به  $RC$  پایین گذر با  $R = 10k\Omega$  و  $C = 100nF$  را با استفاده از نرم افزار Orcad و تحلیل Time Transient شبیه سازی کنید و ثابت زمانی مدار را بدست آورید.

**پیش‌گزارش ۲:** در مدار مربوط به  $RC$  پایین گذر، چنانچه یک خازنی با مقدار  $10$  نانوفاراد به موازات خازن مدار قرار گیرد پاسخ مدار را چگونه توجیه می‌کنید؟  
 tao bishtar mishavad chon khazene moadel bishtar mishavad .



## روش آزمایش:

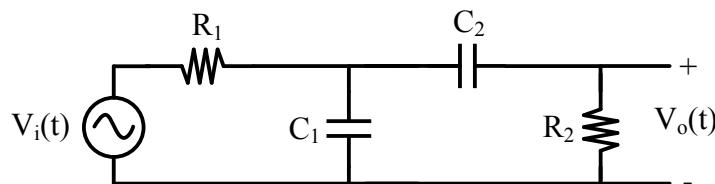
۱- مدار شکل ۱ را با  $C = 100nF$  و  $R = 10k\Omega$  بسته و یک ولتاژ پله‌ای با دامنه ۲ ولت ماکزیمم به مدار اعمال کنید (از موج مربعی با فرکانس حدود ۱۰۰ هرتز به عنوان ولتاژ پله‌ای استفاده کنید). ورودی مدار را به کanal ۱ و خروجی آن را به کanal ۲ نوسان نگار متصل نمایید. پاسخ مدار را مشاهده و رسم کنید و از روی منحنی بدست آمده ثابت زمانی مدار را تعیین نموده و با مقدار RC مقایسه کنید.

۲- حال با خازن  $C = 10nF$  و با مقاومتهای مجھولی که در اختیار دارید ( $1k\Omega$ ,  $22k\Omega$  و  $33k\Omega$ ) آزمایش را تکرار و مقاومتهای مجھول را از روی پاسخ مدار بدست آورید. (در هر مرحله چنانچه لازم است فرکانس را تغییر دهید تا زمان لازم برای شارژ و دشارژ فراهم شود). فرکانس در هر مرحله را یادداشت کنید.

۳- حال یک خازن  $C = 10nF$  دیگر را به طور موازی با مقاومت R (در مرحله ۱) قرار داده و پاسخ مدار را مشاهده کنید.

## ۲-۸ پاسخ گذرای مدار RC میان گذر

شکل ۶ مدار RC میان گذر را نشان می‌دهد.



شکل ۶

با اعمال ولتاژ پله‌ای به این مدار خازنها به صورت اتصال کوتاه عمل می‌نمایند، لذا  $V_o = 0$ ، لکن پس از  $t = 0$  خازن  $C_1$  و  $C_2$  شارژ می‌شوند. ابتدا تمام جریان مقاومت  $R_1$  وارد خازن  $C_1$  شده (خازن  $C_1$  در  $t = 0$  اتصال کوتاه است) لذا خازن  $C_1$  سریعتر از  $C_2$  شارژ می‌گردد. با افزایش ولتاژ خازن  $C_1$ ، چون خازن  $C_2$  چندان شارژ نشده است، ولتاژ خروجی تقریباً برابر ولتاژ خازن  $C_1$  می‌باشد. ( $V_o \approx V_{C1}$ ) و بنابراین ولتاژ خروجی افزایش می‌یابد. اما پس از مدتی با شارژ خازن  $C_1$  و کاهش جریان آن و افزایش جریان خازن  $C_2$ ، خازن  $C_2$  بقدر کافی شارژ شده بطوریکه از افزایش ولتاژ خروجی جلوگیری می‌کند و ولتاژ خروجی کاهش می‌یابد. بنابراین ولتاژ خروجی پس از زمان مشخصی به مقدار ماکریممی خواهد رسید و در  $t = \infty$ ،  $V_{C1} = V_{C2} = V$  خواهد بود. با نوشتند معادلات جریان و ولتاژ در مدار شکل ۶ به معادله دیفرانسیل زیر بین ورودی و خروجی خواهیم رسید:



$$R_1 = R_2 = R \quad , \quad C_1 = C_2 = C$$

$$R^2 C^2 \frac{d^2 V_o}{dt^2} + 3RC \frac{dV_o}{dt} + V_o = RC \frac{dV_i}{dt} \quad (I)$$

با انتگرالگیری از طرفین معادله بالا در لحظه  $t = 0$  معادله زیر بدست می‌آید:

$$R^2 C^2 \frac{dV_o}{dt} + 3RCV_o + \int_{0^-}^{0^+} V_o = RCV$$

با در نظر گرفتن شرط اولیه زیر داریم:

$$V_o(0) = 0$$

$$\frac{dV_o(0)}{dt} = \frac{V}{RC}$$

با حل معادله دیفرانسیل (I) و با در نظر گرفتن شرایط اولیه بدست آمده خواهیم داشت:

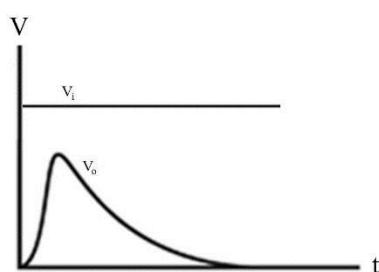
$$V_o(t) = \frac{V}{\sqrt{5}} e^{-\frac{3-\sqrt{5}}{2RC}t} - \frac{V}{\sqrt{5}} e^{-\frac{3+\sqrt{5}}{2RC}t}$$

برای محاسبه ماکزیمم ولتاژ خروجی از رابطه بالا مشتق گرفته و برابر صفر قرار میدهیم:

$$\frac{dV_o}{dt} = 0 \quad \Rightarrow \quad t_1 = \frac{\tau}{\sqrt{5}} \ln \frac{2}{7-3\sqrt{5}} \approx 0.86\tau$$

$$V_{o \text{ max}} = 0.275V$$

بنابراین ولتاژ خروجی بصورت شکل ۷ خواهد بود ( $\tau = RC$ ).



شکل ۷

عملاً پس از  $t = 11\tau$ ، ولتاژ خروجی تقریباً صفر (۰.۰۶۷) خواهد بود.



**پیش گزارش ۳:** پاسخ گذرای مدارهای مربوط به RC میان گذر با  $R=10k\Omega$  و  $C=100nF$  را با استفاده از نرم افزار Orcad و تحلیل Time Transient شبیه سازی کنید و ثابت زمانی مدار را بدست آورید.

**پیش گزارش ۴:** با جابجا نمودن طبقه پایین گذر و بالاگذر در مدار میانگذر، پاسخ گذرای مدار تغییری خواهد نمود؟ در این حالت شکل پاسخ مدار را چگونه توجیه می کنید؟

روش آزمایش:

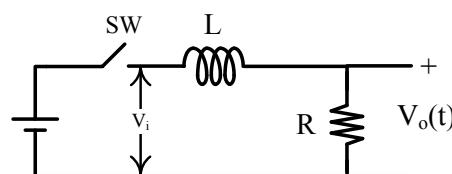
۱- مدار شکل ۶ را با  $C=100nF$  و  $R=10k\Omega$  بسته و یک ولتاژ پله‌ای با دامنه ۲ ولت ماکزیمم به مدار اعمال کنید. (از موج مربعی با فرکانس حدود ۵۰ هرتز به عنوان ولتاژ پله‌ای استفاده کنید). ورودی مدار را به کanal ۱ و خروجی را به کanal ۲ نوسان نگار متصل نمایید و از روی آن پاسخ مدار را مشاهده و رسم کنید و با مقادیر تئوری آن مقایسه کنید.

۲- مدار شکل ۶ را با  $C_2=100nF$  و  $C_1=10nF$  تکرار نمایید و شکل ولتاژ خروجی را رسم کنید.

۳- مدار شکل ۶ را با  $C_2=10nF$  و  $C_1=100nF$  تکرار نمایید و شکل ولتاژ خروجی را رسم کنید.

### ۳-۸ پاسخ گذرای مدار RL پایین گذر

شکل ۸ مدار RL پایین گذر را نشان می‌دهد. کلید SW در لحظه  $t=0$  بسته می‌شود و ولتاژ خروجی (پاسخ مدار) پس از مدت کوتاهی به مقدار نهایی خود یعنی  $V$  خواهد رسید. بطوریکه می‌دانید، پس از بسته شدن کلید، می‌توان نوشت:



شکل ۸

$$V_o(t) = V(1 - e^{-t/\tau})$$

$$\tau = \frac{L}{R}$$



شکل ولتاژ خروجی مشابه مدار پایین گذر RC، شکل ۱ خواهد بود و عملاً ولتاژ خروجی پس از  $t = 5\tau$  به مقدار نهایی خود خواهد رسید.

روش آزمایش:

مدار شکل ۸ را با  $L = 18mH$  و با دو مقاومت  $1k\Omega$  و  $1.5k\Omega$  بجای  $R$  بسته و با اعمال ولتاژ پله‌ای با دامنه ۲ ولت ماکزیمم به مدار، پاسخ مدار را رسم کنید (از موج مربعی با فرکانس حدود  $6kHz$  به عنوان ولتاژ پله‌ای استفاده کنید). ثابت زمانی مدار را از روی شکل ولتاژ خروجی بدست آورده و با مقدار تئوری آن مقایسه کنید.

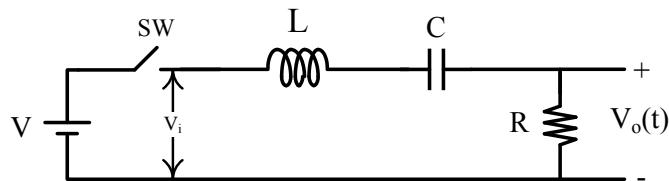


## آزمایش ۶

### پاسخ گذرای مدار RLC سری

هدف از آزمایش: بررسی پاسخ گذرای مدار RLC سری به ورودی پله

شکل ۱، مدار RLC سری را نشان می‌دهد. اصولاً با توجه به این که در کارکرد یک مدار RLC سری، ابتدا سلف اثرات عمیقی در اجرای عملکرد مدار و سپس خازن اثرات خود را در انتهای آن ظاهر می‌سازد، لذا انتظار می‌رود که مداری مشتمل بر هر دوی این عناصر علاوه بر مقاومت که همواره عامل میرایی است، رفتاری را ارائه کند که در یک محدوده زمانی نزدیک به رفتار مدار RL و در محدوده‌ی دیگری نزدیک به رفتار مدار RC باشد و این واقعیت در تمامی نمودارهایی که بعداً خواهیم دید بنا به مقادیر نسبی R، C و L مشهود است. در تمامی این نمودارها که ولتاژ دو سر مقاومت، هدف کار بوده مشاهده می‌شود که ابتدای نمودار یک نمایی افزایشی یعنی مبتدا به صفر، و انتهای آن یک نمایی منتهی به صفر است زیرا در ابتدا سلف شدیداً اثر خود را اعمال و خازن اتصال کوتاه است ( $V_C \approx 0$ ).



شکل ۱

و بنابراین یک مدار RL (پایین‌گذر) داریم که شکل ولتاژ خروجی نمایی صعودی خواهد بود. پس از مدتی اثر سلفی نامحسوس و سلف مثل اتصال کوتاه عمل می‌کند و خازن که تقریباً شارژ شده خواص خازنی خود را شدیداً ظاهر می‌سازد و یک مدار RC (بالا گذر) خواهیم داشت که قاعده‌تا ولتاژ دو سر مقاومت باید در آن نزولی باشد. هنگامی که این مدار با یک ولتاژ پله‌ای تحریک می‌شود (سوئیچ بسته می‌شود)، پاسخ گذرای مدار دارای ۲ شکل کاملاً متمایز خواهد بود، برای تعیین معادله پاسخ، معادله ولتاژ مدار را پس از بسته شدن کلید می‌نویسیم:

$$V = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int idt + Ri$$

که با مشتق گرفتن از طرفین معادله حاصل می‌شود:



$$L \frac{d^2 i}{dt^2} + R \int \frac{di}{dt} dt + \frac{i}{C} = 0$$

که دارای معادله مشخصه زیر با ریشه‌های  $S_1$  و  $S_2$  می‌باشد.

$$S^2 + \frac{R}{L} S + \frac{1}{LC} = 0$$

$$S_1 = -\frac{R}{2L} + \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

$$S_2 = -\frac{R}{2L} - \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

بنابراین خواهیم داشت:

$$i(t) = K_1 e^{s_1 t} + K_2 e^{s_2 t}$$

شرایط اولیه عبارتند از:

$$i(0) = 0$$

$$\frac{di(0)}{dt} = \frac{V}{L}$$

بر حسب این که  $\frac{R}{2L}$  بزرگتر از، مساوی با، کوچکتر از  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد، پاسخ مدار (یا جریان  $i(t)$ ) دارای شکل‌های

زیر خواهد بود:

**حالت فوق میرا :**

۱- اگر  $\frac{R}{2L} > \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد، پاسخ مدار به یک مقدار ماقزیمم می‌رسد و با ثابت زمانی معینی به صفر میل می

کند. این پاسخ به حالت "فوق میرایی" (over damped) موسوم است.

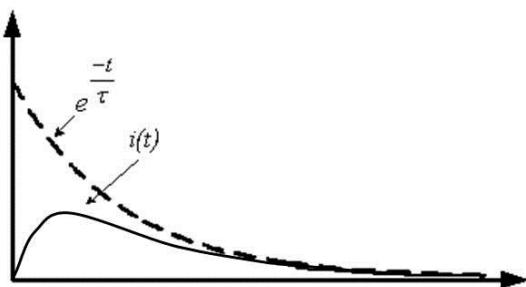
$$i(t) = \frac{V}{L\omega} e^{-\frac{t}{\tau}} \left[ \frac{e^{\omega t} - e^{-\omega t}}{2} \right]$$

که در آن:



$$\omega = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}$$

$$\tau = \frac{2L}{R}$$



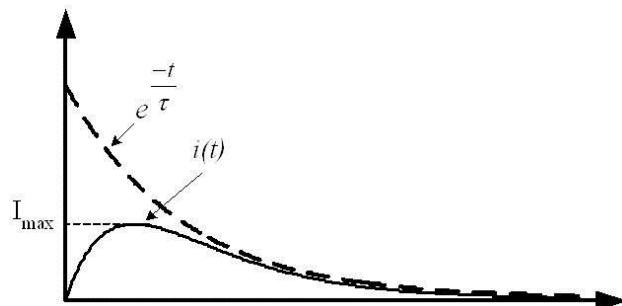
شکل ۲

نکته جالب، مقدار ثابت زمانی است که دو برابر مقدار آن در حالت مدار مشتمل بر  $L$  و  $R$  تنها می‌باشد. البته ثابت زمانی واقعی این مدار چندان مشخص نیست زیرا عوامل  $\omega$  و  $\omega$ - هم در ایجاد آن نقش دارند و تنها تحت شرایطی که  $\omega$  خیلی کوچکتر باشد می‌توان گفت که تقریباً ثابت زمانی  $\frac{2L}{R}$  است که این وضعیت در حالت بحرانی محسوس‌تر است.

#### حالت میرایی بحرانی :

۱- اگر  $\frac{R}{2L} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد، جریان مدار به ماکزیمم  $I_{max}$  می‌رسد و با ثابت زمانی  $\tau = \frac{2L}{R}$  به سمت صفر میل

می‌کند. این حالت به «میرایی بحرانی» ( Critically Damped ) موسوم است.



شکل ۳

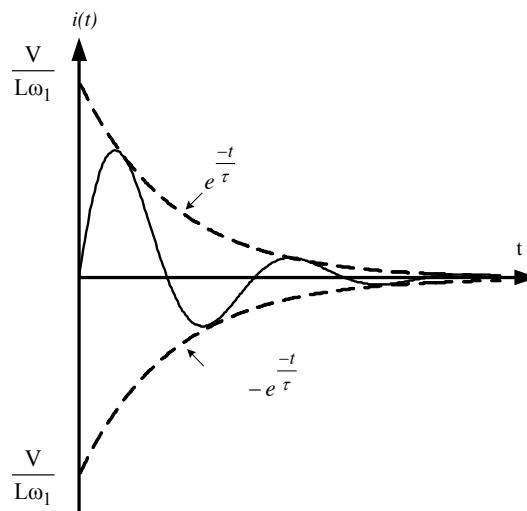
$$i(t) = \frac{V}{L} t e^{-\frac{t}{\tau}}$$



$$\tau = \frac{2L}{R}$$

$$I_{\max} = \frac{V}{L} \tau e^{-1}$$

اگر  $\frac{R}{2L} < \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد، پاسخ مدار بصورت یک موج سینوسی است که دامنه آن رفته کم شده و به صفر می‌رسد. این حالت به «نوسانی میرا» (Oscillatory Damped) موسوم می‌باشد.



شکل ۴

$$i(t) = \frac{V}{L\omega_1} e^{-\frac{t}{\tau}} \sin \omega_1 t$$

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

فرکانس نوسانات برابر است با:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$



جمله  $\frac{R^2}{4L^2}$  اثر کمی روی  $f_1$  دارد، زیرا معمولاً در مقایسه با  $\frac{1}{LC}$  خیلی کوچک است. در این حالت می‌توان

$$\text{مقدار } f_1 \text{ را به صورت } \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \approx f_1 \text{ نوشت.}$$

### ضریب میرایی (Damping Factor)

در مدار RLC، هنگامی که مقاومت  $R$  خیلی کوچک می‌شود، دامنه پاسخ نوسانی تقریباً ثابت می‌ماند و وقتی که

$R$  بزرگ است، دامنه پاسخ سریعاً به سمت صفر میل می‌کند. نسبت  $\alpha = \frac{R}{2L}$  به ضریب میرایی موسوم است.

به طور کلی برای تعیین پاسخ هر نوع مدار نوسانی، می‌توان از شکل استاندارد ۳ با ثابت زمانی  $\tau = \frac{2L}{R}$  به جای

استفاده نمود. جریان مدار پس از  $t = 5\tau$  تقریباً برابر صفر است. بنابراین زمان لازم برای آن که مدار به حالت

پایدار (جریان به صفر) برسد، بستگی به  $R$  و  $L$  دارد. تغییر  $C$ ، فرکانس نوسانات را تغییر می‌دهد.

### مقاومت بحرانی (Critical Resistance)

مقاومت کل مدار که به ازای آن پاسخ مدار از حالت «فوق میرایی» به حالت «نوسانی میرا» تبدیل می‌شود به

مقاومت بحرانی موسوم بوده و مقدار آن برابر است با:

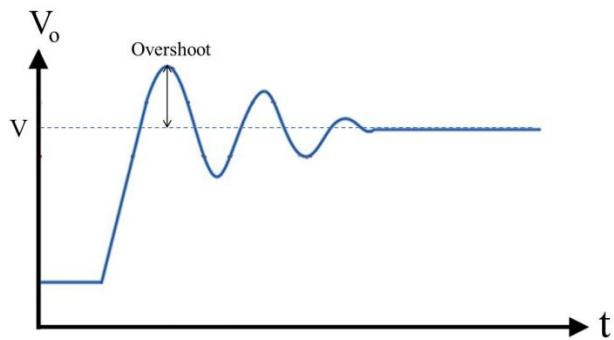
$$R_c = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

به این ترتیب، پاسخ مدار را می‌توان بر حسب  $R_c$  بررسی نمود.

### نوسانهای اضافی (Overshoot)



چنانچه ولتاژ دو سر خازن را در نوسان‌نگار ملاحظه کنیم (حالت نوسانی میرا)، ولتاژ خازن از ولتاژ  $V$  تجاوز نموده و پس از نوسان‌هایی به مقدار نهایی  $V$  می‌رسد. این نوسانات اضافی به Overshoot موسوم است. در پاسخ فرکانسی تقویت‌کننده‌ها ممکن است چنین شکلی ظاهر شود که در این صورت می‌توان تقویت‌کننده را مرکب از یک تقویت‌کننده با باند عریض به اضافه یک مدار RLC دانست.



شکل ۵

**پیش گزارش ۱:** پاسخ گذرای مدار مربوط به RLC سری با  $R = 4.7k\Omega$  و  $L = 18mH$  و به ازای سه مقدار مختلف خازن  $C = 680pF$ ,  $C = 220pF$ ,  $C = 68pF$  را با استفاده از نرم افزار Orcad و تحلیل Transient Time شبیه سازی کنید و در هر حالت نوع پاسخ خروجی را تعیین کنید.

**پیش گزارش ۲:** با توجه به پیش گزارش ۱، در حالت میرای نوسانی، فرکانس نوسانات را اندازه‌گیری کنید و روشی را برای اندازه‌گیری ضریب میرایی در آزمایشگاه ارائه دهید.

### روش آزمایش:

۱- مدار شکل ۱ را با مقادیر  $R = 4.7k\Omega$ ,  $C = 680pF$ ,  $L = 18mH$  بسته موج مربعی به دامنه  $4V_{p-p}$  به آن اعمال کنید. شکل موج خروجی را به دقت رسم نموده و از روی آن فرکانس نوسانات را اندازه گرفته و با مقدار تئوری مقایسه نمایید.



۲- همین آزمایش را با مقادیر  $C = 220\text{pF}$  و  $C = 68\text{pF}$  تکرار نموده و در هر مورد پاسخ مدار را ترسیم و نتیجه گیری نمایید.

**پیش گزارش ۳:** در پاسخ گذرای مدار RLC سری برای آنکه میرایی سریعاً اتفاق افتد، چه راهی پیشنهاد می‌کنید؟

**پیش گزارش ۴:** در شبیه سازی انجام گرفته برای حالت میرای نوسانی، نسبت ولتاژ Overshoot را به ولتاژ پایدار خازن بدست آورید؟

۳- اکنون به کمک یک پتانسیومتر و با تغییر مقاومت مدار به صورت صعودی، مقاومت بحرانی مدار را تعیین و شکل موج خروجی را رسم کنید ( $C = 680\text{pF}$ ).

۴- ثابت زمانی مدار را در حالت نوسانی میرا اندازه بگیرید. (با تغییر مقاومت به صورت نزولی این حالت را ایجاد کنید). مقدار  $R$  را بنویسید. ثابت زمانی تئوری را محاسبه نمایید.

شبیه سازی: مدار فوق را تحلیل کامپیوتري نموده، ثابت زمانی را در حالت نوسانی میرا تعیین کنید.

۵- در حالت ۴، ولتاژ دو سر خازن را روی نوسان نگار مشاهده کنید و نسبت ولتاژ Overshoot را به ولتاژ پایدار خازن اندازه گرفته و تعیین کنید که پس از چند نوسان، ولتاژ Overshoot به ۲ تا ۵ درصد ولتاژ نهایی می‌رسد  
(منظور ولتاژ  $4V_{\text{p-p}}$  است).

ولتاژ ۲ تا ۵ درصد معیار مناسبی است که از آن به بعد می‌توان ولتاژ خازن را پایدار فرض نمود.



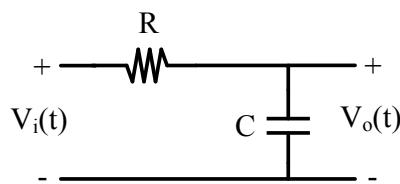
## آزمایش ۷

### پاسخ فرکانسی مدار RC پایین‌گذر

هدف از آزمایش: بررسی مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز در مدارهای RC پایین‌گذر و RC میان‌گذر

### ۱-۵ مدار RC پایین‌گذر

شکل ۱ مدار RC پایین‌گذر را نشان می‌دهد.



شکل ۱

هنگامیکه یک موج سینوسی با دامنه ثابت  $V_{in}$  و فرکانس متغیر  $f$  به دو سر ورودی این مدار اعمال 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. بنابراین اگر ولتاژ ورودی به صورت  $V_i(t) = V_{in} \sin \omega t = V_{ie} \angle 0^\circ$  باشد، می‌توان ولتاژ خروجی را بصورت زیر نوشت:

$$V_o(t) = V_{on} \sin(\omega t + \varphi) = V_{oe} \angle \varphi^\circ$$

نسبت ولتاژ خروجی به ولتاژ ورودی تابعی از فرکانس بوده و به تابع پاسخ فرکانسی و یا تابع انتقال موسوم است و با رابطه زیر نشان داده می‌شود:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \left| \frac{V_o}{V_i} \right| \angle \varphi^\circ$$

بطوریکه خواهیم دید،  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right|$  و  $\varphi$  تابع فرکانس  $f$  خواهند بود. منحنی نمایش تغییرات سبیت به فرکانس به مشخصه پاسخ دامنه و منحنی تغییرات  $\varphi$  نسبت به فرکانس به مشخصه فاز موسوم است.

اکنون مدار شکل ۱ را در نظر می‌گیریم. تابع پاسخ فرکانسی برای این مدار بصورت زیر تعیین می‌شود:



$$\begin{cases} V_i = \left( R + \frac{1}{j\omega C} \right) I \\ V_o = \left( \frac{1}{j\omega C} \right) I \end{cases} \Rightarrow A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1 + j\omega RC} = |A_v| \angle \varphi^\circ$$

که در آن:

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

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

رابطه نخست نشان می‌دهد که در فرکانس‌های پایین، وقتی که  $\omega RC < 1$  خواهد بود. همچنین در

فرکانس‌های بالا، وقتی که  $\omega RC > 1$  می‌باشد،  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| \approx 0$  است. مدار  $RC$  فوق که ولتاژهای با فرکانس پایین را از

خود عبور می‌دهد و ولتاژهای با فرکانس بالا را به شدت تضعیف می‌نماید به "فیلتر پایین گذر"<sup>۱</sup> موسوم است.

خاصیت دیگر این مدار اختلاف فازی است که بین ولتاژ خروجی و ولتاژ ورودی ایجاد می‌نماید. بطوریکه از رابطه دوم (فاز) بر می‌آید، در فرکانس‌های پایین،  $0 \approx \varphi$  بوده و در فرکانس‌های بالا،  $-90^\circ \approx \varphi$  خواهد بود.

فرکانس قطع یا فرکانس نصف قدرت که با  $f_c$  نشان داده می‌شود، فرکانسی است که صافی پایین گذر فرکانس‌های بالاتر از آن را به شدت تضعیف می‌کند. در این فرکانس اندازه توان خروجی به نصف ماکریم توان خروجی می‌رسد (در این مدار ولتاژ خروجی به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  ولتاژ ورودی در فرکانس عبور کاهش می‌یابد). بنابراین فرکانس قطع

برابر است با:

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \Rightarrow \quad f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

### انتگرال گیر RC

چنانچه مقادیر  $R$  و  $C$  طوری انتخاب شوند که  $\omega RC > 1$  باشد، بطوریکه دیده ایم در فرکانس‌های بزرگتر از  $f_c$  اندازه  $V_o$  بسیار کوچک و تقریباً برابر صفر است. در این صورت با توجه به شکل مدار می‌توان نوشت:

<sup>۱</sup> Low Pass Filter



$$\begin{cases} V_i(t) = Ri(t) + V_0(t) \approx Ri(t) = RC \frac{dV_0(t)}{dt} \\ i(t) = i_c(t) = C \frac{dV_c(t)}{dt} = C \frac{dV_0(t)}{dt} \end{cases} \Rightarrow V_0(t) = \frac{1}{RC} \int V_i(t) dt$$

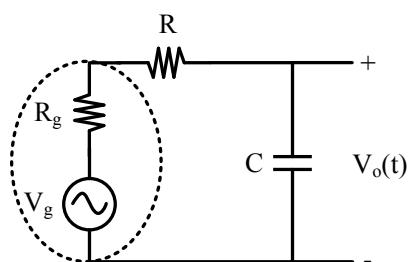
رابطه فوق نشان می‌دهد که ولتاژ خروجی انتگرال (تابع اولیه) ولتاژ ورودی است. لذا تحت شرایط  $\omega RC \gg 1$  مدار فوق را یک انتگرال گیر می‌نامند.

**پیش گزارش ۱:** 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.

شرح آزمایش:

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



شکل ۲

۱- بوسیله نوسان ساز یک موج سینوسی با مقدار دامنه ۴ ولت (پیک تو پیک) به مدار اعمال نمایید و با فرکانس‌هایی 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. دقت داشته باشید در هنگامیکه فرکانس نوسان ساز را تغییر می‌دهید، دامنه ولتاژ ورودی تغییر نکند و همواره روی دامنه ۴ ولت ثابت بماند. در جدول زیر سطر مربوط به  $V_o$  محاسبه شده و  $\varphi$  محاسبه شده از طریق روابط تئوری را در گزارش کار تحويلی کامل کنید.

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



جدول ۱

فرکانس $f$	$V_o$ اندازه گیری شده	$\varphi$ اندازه گیری شده	$V_o$ محاسبه شده	$\varphi$ محاسبه شده
۲۰ Hz				
۵۰ Hz				
۱۰۰ Hz				
۱۵۰ Hz				
۲۵۰ Hz				
۵۰۰ Hz				
۱۰۰۰ Hz				
۳۰۰۰ Hz				
۱۰۰۰۰ Hz				

**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؟

-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  $20kHz$  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.

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

-۳- مدار انتگرالگیر  $RC$ :

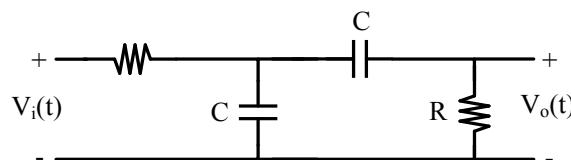
مدار پایین گذر را با مقاومت  $R$  و خازن  $C = 100nF$  تشکیل دهید. نوسان ساز را به ورودی مدار متصل نموده و یک موج مربعی با دامنه ماکزیمم ۴ ولت به مدار اعمال کنید و پاسخ مدار را بوسیله اسیلیسکوپ مشاهده نمایید.



فرکانس موج ورودی را در حدود  $100Hz$  انتخاب کنید. با استفاده از مقاومتهای  $22k\Omega$ ،  $10k\Omega$ ،  $6.8k\Omega$  و  $150k\Omega$  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 ( $150k\Omega$ ) یک موج سینوسی با دامنه ماکزیمم  $4$  ولت به مدار اعمال کنید به فاز ولتاژ خروجی نسبت به ورودی توجه کنید. این اختلاف فاز را چگونه توجیه می‌کنید؟

## ۲-۵ مدار RC میان‌گذر

شکل ۲ ترکیب دو فیلتر پایین گذر و بالاگذر را به طور سری نشان می‌دهد. تابع پاسخ فرکانسی برای این مدار عبارتست از:



شکل ۲

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{j\omega RC}{1 + 3j\omega RC - \omega^2 R^2 C^2}$$

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

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

در فرکانس‌های بالا، وقتی که باشد، خواهیم داشت:  $\varphi \approx 90^\circ$  و  $|A_v| \approx 1$  و وقتی که باشد،  $\varphi \approx 0$  و می‌شود

در فرکانس‌های بالا  $\omega RC \gg 1$  و همچنین در فرکانس‌های پایین  $\omega RC \ll 1$  خواهیم داشت:  $|A_v| \approx 0$ ، لذا

خروجی در بعضی فرکانس‌های میانی به ماکزیمم مقدار خود خواهد رسید و با تغییر فرکانس به صورت صعودی یا نزولی خروجی کاهش خواهد یافت. لذا این مدار به صافی میان‌گذر<sup>۲</sup> موسوم است.

<sup>2</sup> Band Pass Filter



فرکانسی را که در آن خروجی به ماکریم خود می‌رسد فرکانس مرکزی<sup>۳</sup> یا میانی می‌نامند و با  $f_0$  نشان می‌دهند. اختلاف بین دو فرکانس که در آنها خروجی به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  برابر ماکریم خودش می‌رسد پهنه‌ی باند<sup>۴</sup> نامیده می‌شود (در این دو فرکانس توان خروجی  $\frac{1}{2}$  توان ماکریم خروجی است).

محاسبه‌ی فرکانس مرکزی  $f_0$ :

$$\frac{d|A_v|}{d\omega} = 0 \quad \Rightarrow \quad \omega = \frac{1}{RC} \quad \Rightarrow \quad f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$A_v(f_0) = \frac{j}{1+3j-1} \quad \Rightarrow \quad |A_v(f_0)| = \frac{1}{3}$$

محاسبه‌ی پهنه‌ی باند (BW):

$$|A_v| = \frac{1}{3\sqrt{2}} \quad \Rightarrow \quad R^4 C^4 \omega^4 - 11R^2 C^2 \omega^2 + 1 = 0$$

$$BW = f_1 - f_2$$

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}, \quad f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi}$$

( $\omega_1$  و  $\omega_2$  ریشه‌های مثبت معادله بالا هستند).

$$(\omega_1 - \omega_2)^2 = \omega_1^2 + \omega_2^2 - 2\omega_1\omega_2 = \frac{11}{R^2 C^2} - 2\frac{1}{R^2 C^2} \quad \Rightarrow \quad (\omega_1 - \omega_2) = \frac{3}{RC}$$

$$BW = \frac{3}{2\pi RC}$$

$$\omega_1 \approx \frac{3.3}{RC}$$

$$\omega_2 \approx \frac{0.3}{RC}$$

<sup>3</sup> Central Frequency

<sup>4</sup> Band Width



## روش آزمایش:

### الف - صافی میان گذر RC :

با استفاده از مقاومت  $C = 100nF$  و  $R = 10k\Omega$  مدار میان گذری بسازید. یک موج سینوسی با ولتاژ ماکریم ۲ ولت به مدار اعمال نموده و برای فرکانس‌های داده شده در جدول ۲ مقدار ولتاژ خروجی و اختلاف فاز را اندازه‌گیری کنید. دقت 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.

**پیش گزارش ۳:** اگر در فیلتر میان گذر جای دو طبقه پایین گذر و بالا گذر 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).

**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؟

**ب - مدار میان گذر در فرکانس‌های خیلی بالا و خیلی پایین:**  
به مدار میان گذر ساخته شده در قسمت الف موج مربعی با دامنه  $v_{p-p} = 4v$  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 میان گذر 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؟



جدول ۲

فرکانس $f$	$V_o$ اندازه گیری شده	$\varphi$ اندازه گیری شده	$V_o$ محاسبه شده	$\varphi$ محاسبه شده
۲۰ Hz				
۵۰ Hz				
۱۰۰ Hz				
۱۵۰ Hz				
۲۰۰ Hz				
۳۰۰ Hz				
۵۰۰ Hz				
۱۰۰۰ Hz				
۳۰۰۰ Hz				
۱۰۰۰۰ Hz				



## آزمایش ۸

### آشنایی با مشخصات انواع دیود های نیمه هادی و مدارهای کاربردی دیودی

**هدف از آزمایش:** در این آزمایش با م شخصه دیود 1N4001 و همچنین با طرح های مداری مختلف و کاربردهای عمومی دیودها آشنا می شوید. از این طرح ها می توان در پروژه های مختلف الکترونیکی استفاده کرد.

#### ۱-۱- مشخصه دیود 1N4001

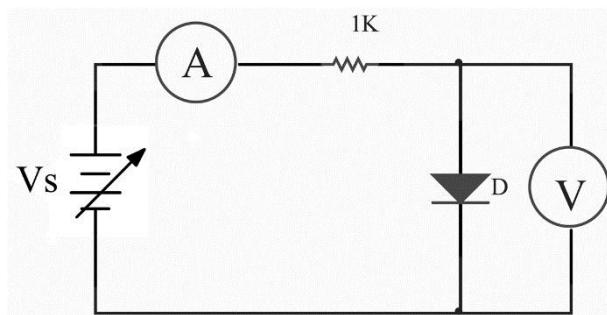
**پیش‌گزارش - ۱)** دیودها دارای جریان معکوس خیلی کوچکی می باشند که با وسایل موجود در آزمایشگاه قابل اندازه گیری نمی باشد. اگر گالوانومتری در اختیار داشته باشیم می توانیم جریان اشبع معکوس دیود را به وسیله‌ی آن اندازه گیری کنیم. **چرا در این حالت باید ولت متر را از مدار خارج سازیم؟**

**شرح آزمایش:**

- مدار شکل (۱-۱) را ببینید. این نحوه اتصال دیود را **اتصال مستقیم** می گویند. ولتاژ منبع  $V_s$  را تا مقدار مشخص شده در جدول افزایش دهید و ولتاژ و جریان دیود را در جدول (۱-۱) یادداشت کنید.

**توجه ۱:** در ابتدا از سالم بودن سیم ها دستگاه ها و دیودی که در اختیار دارید اطمینان حاصل کنید.

**توجه ۲:** آمپر متر را به صورت موازی اتصال ندهید.



شکل (۱-۱)



جدول (۱-۱)

$V_s$	۰	۰/۲	۰/۴	۰/۶	۱	۱/۵	۲	۳	۵	۷	۹	۱۰	۱۵
$V_D$													
$I_D$													

گزارش کار - ۱) ولتاژ دو سر دیود و جریان آن را اندازه بگیرید و در جدول بالا یادداشت نمایید.

گزارش کار - ۲) از جدول بدست آمده در گزارش کار (۱-۱) منحنی جریان بر حسب ولتاژ دیود را رسم نمایید. تقریباً از چه ولتاژی به بعد دیود هدایت می کند؟

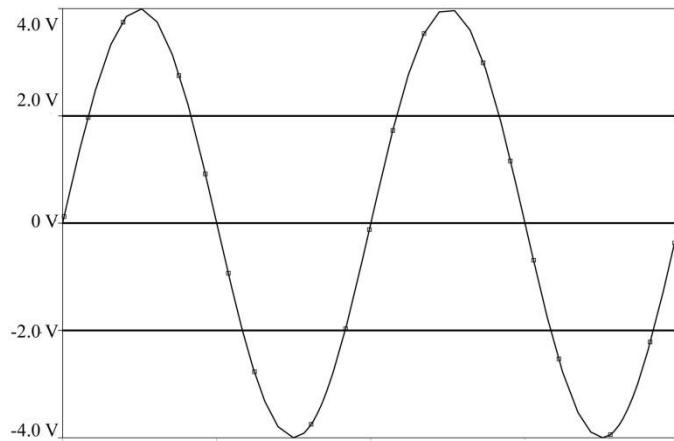
$$\text{همان طور که می دانید، مقاومت دینامیکی دیود از رابطه } r_d = \frac{\Delta V}{\Delta I} \text{ بدست می آید.}$$

گزارش کار - ۳) مقاومت دینامیکی دیود 1N4001 را در نقاط مختلف از روی اعداد بدست آمده در جدول (۱-۱) محاسبه کنید.

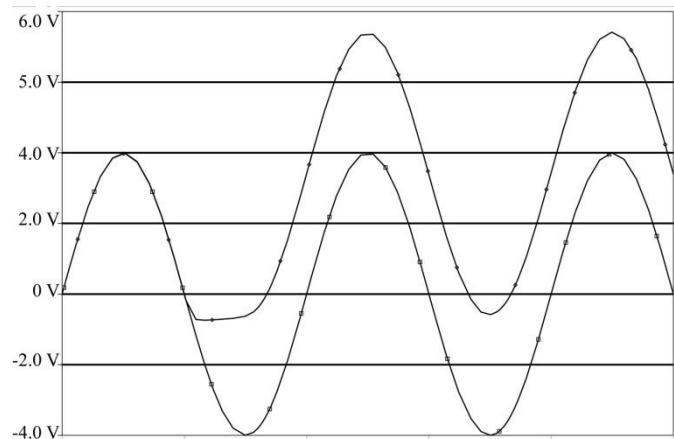
## ۲-۱- آشنایی با مدارهای کاربردی دیودی

### ۱-۲-۱ مدارهای Clamp

از مدارهای Clamp برای تغییر سطح DC سیگنال استفاده می شود. در این مدارها شکل موج ثابت می ماند و فقط مقدار DC آن جابجا خواهد شد. می توانیم با استفاده از این مدارها سطح DC سیگنال را افزایش و یا کاهش دهیم. کاملاً مشخص است که برای رسیدن به این هدف در این نوع مدارهای دیودی، از خازن استفاده می شود. در اشکال زیر سیگنالی را مشاهده می کنید که یک بار افزایش مقدار DC و بار دوم کاهش سطح DC داشته است.

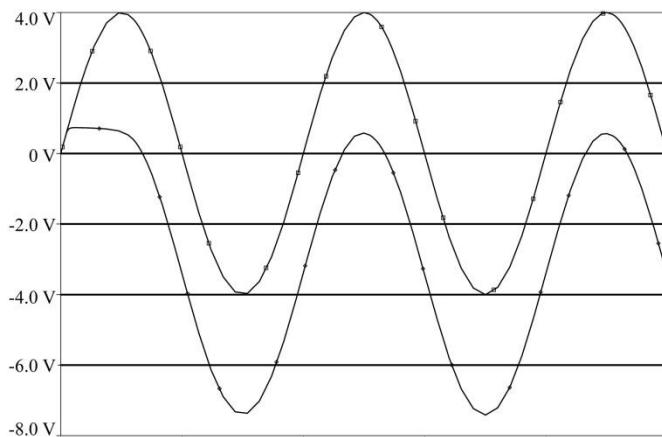


شکل (۲-۱)- سیگنال سینوسی با سطح DC صفر



شکل (۳-۱)- سیگنال سینوسی با سطح DC +۲

مدارهای Clamp در تقویت کننده‌های ویدئویی گیرنده‌های تلویزیونی به منظور بازیابی سطح DC سیگنال استفاده می‌شوند. همچنین از این مدارها در دستگاه Function Generator استفاده می‌شود. صفر بودن مقدار Offset به معنی مقدار DC صفر در سیگنال AC می‌باشد.



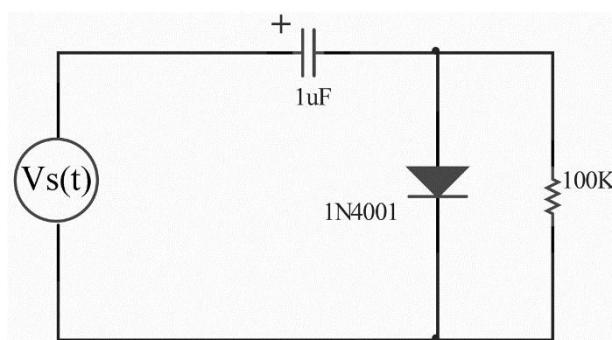
شکل (۴-۱)- سیگنال سینوسی با سطح DC -۲

**پیش‌گزارش - ۲)** اگر خروجی مدار شکل (۵-۱) دو سر مقاومت  $K\Omega$ ، باشد، خروجی مدار را به ازای یک موج سینوسی با دامنه‌ی ماکزیمم  $V$ ، رسم نمایید و نحوه‌ی عملکرد آن را به صورت کامل توضیح دهید.

**پیش‌گزارش - ۳)** اگر خروجی مدار شکل (۶-۱) دو سر مقاومت  $K\Omega$ ، باشد، خروجی مدار را به ازای یک موج سینوسی با دامنه‌ی ماکزیمم  $V$ ، رسم نمایید و نحوه‌ی عملکرد آن را به صورت کامل توضیح دهید.

### شرح آزمایش:

- مدار شکل (۵-۱) را روی پرد بورد بیندید. منبع ورودی را روی شکل موج سینوسی با دامنه‌ی ماکزیمم  $V$  قرار دهید.

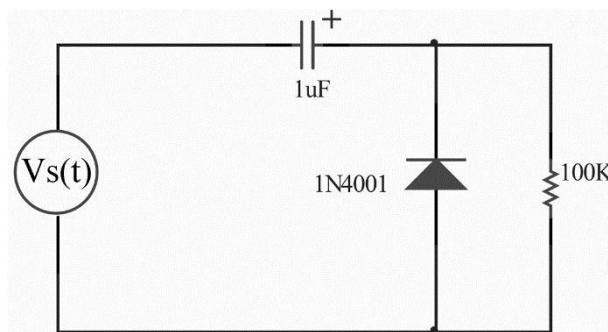


شکل (۵-۱)



گزارش کار - ۱) به ازای فرکانس های ۱ KHz، ۱۰ Hz و ۱۰۰ Hz، شکل موج های ورودی و خروجی را رسم کنید.  
تفاوت شکل موج های خروجی را به ازای فرکانس های مختلف توجیه کنید.

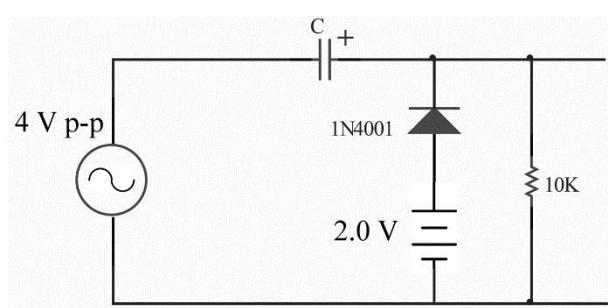
گزارش کار - ۲) اگر در مدار شکل (۱-۵) از مقاومت هایی با مقادیر کمتر استفاده کنیم چه اتفاقی خواهد افتاد؟  
مدار شکل (۱-۶) را روی برد ببندید. منبع ورودی را روی شکل موج سینوسی با دامنه‌ی ماکزیمم ۴ V قرار دهید.



شکل (۶-۱)

گزارش کار - ۳) به ازای فرکانس های ۱ KHz، ۱۰ Hz و ۱۰۰ Hz، شکل موج های ورودی و خروجی را رسم کنید.  
تفاوت شکل موج های خروجی را به ازای فرکانس های مختلف توجیه کنید.

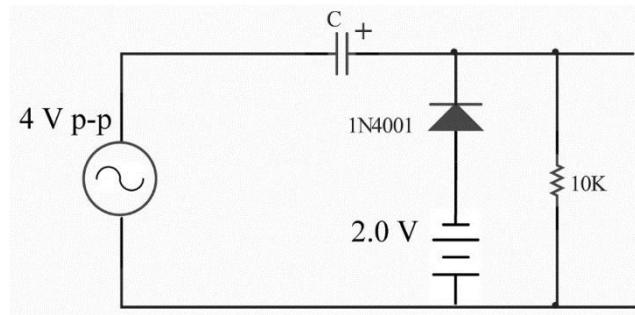
گزارش کار - ۴) اگر در مدار شکل (۱-۶) از مقاومت هایی با مقادیر کمتر استفاده کنیم چه اتفاقی خواهد افتاد؟  
گزارش کار - ۵) در مدار شکل (۱-۷) اگر ورودی دارای ولتاژ پیک تا پیک ۴ V، بدون Offset باشد، خروجی مدار را رسم نمایید.



شکل (۷-۱)



گزارش کار - ۶) در مدار شکل (۸-۱) اگر ورودی دارای ولتاژ پیک تا پیک  $V = 4$ ، بدون Offset باشد، خروجی مدار را رسم نمایید.



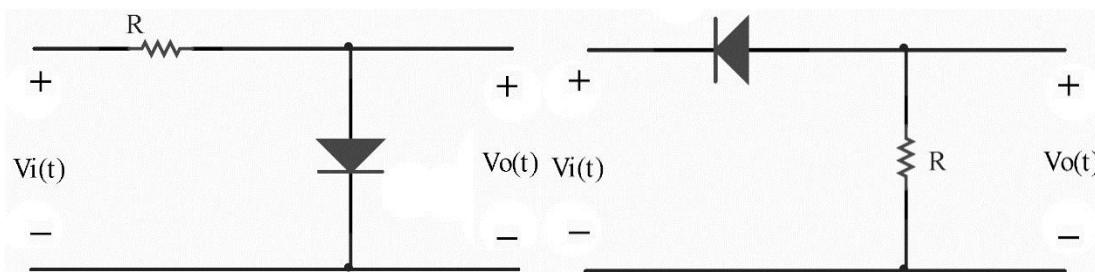
شکل (۸-۱)

### Clipper مدارهای ۲-۲-۱

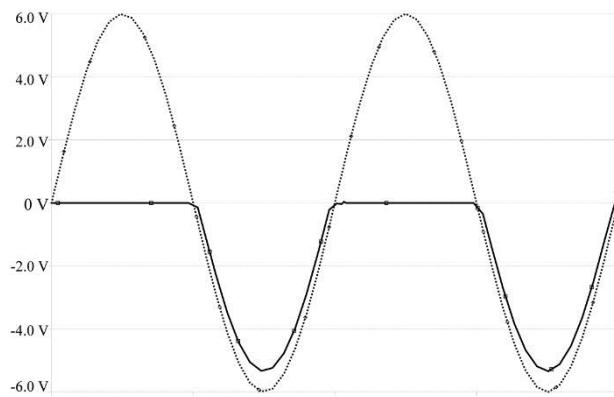
از این نوع مدارها هنگامی استفاده می‌کنیم که می‌خواهیم قسمتی از شکل موج را انتقال بدهیم و قسمتی را حذف کنیم. مدارهای آزمایش قبل شکل موج ورودی را در خروجی حفظ می‌کردند در حالی که در مدارهای Clipper شکل (۸-۱) موج ورودی بریده می‌شود و در خروجی نمایش داده می‌شود. معمولاً در این نوع مدارها از ولتاژهای مرجع برای سطح برش استفاده می‌شود.

### مدارهای برش دهنده سیکل مثبت سیگنال

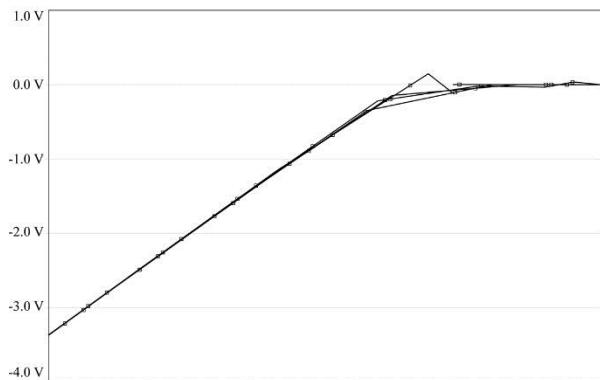
برشگرهای سیکل مثبت سیگنال در شکل (۹-۱) نشان داده شده‌اند. مشخصه‌ی ورودی و خروجی در شکل های (۹-۱) و (۱۰-۱) نشان داده شده است.



شکل (۹-۱)



شکل (۱۰-۱)



شکل (۱۱-۱)

**برای اتصال سری دیود:**

هنگامی که ولتاژ ورودی کمتر از صفر می‌باشد، دیود روشن است، و ولتاژ خروجی همان ولتاژ ورودی می‌باشد. زمانی که ولتاژ ورودی بیشتر از صفر می‌شود، دیود خاموش خواهد شد و ولتاژ ورودی به خروجی منتقل نخواهد شد در نتیجه خروجی صفر باقی خواهد ماند.

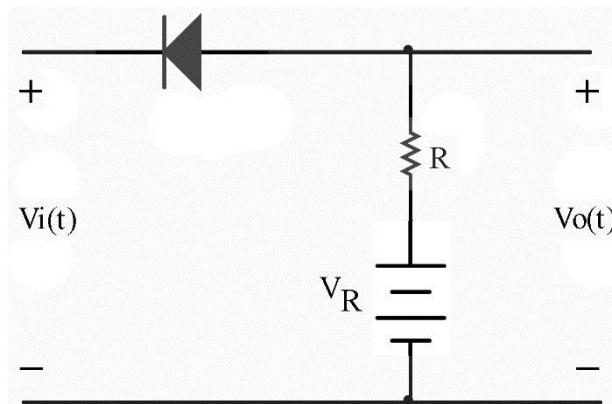


برای اتصال موازی دیود:

هنگامی که ولتاژ ورودی کمتر از صفر می‌باشد، دیود خاموش است در نتیجه ولتاژ ورودی را در خروجی خواهیم دید. اما زمانی که ولتاژ ورودی بیشتر از صفر می‌شود، دیود روشن خواهد شد و ولتاژ خروجی را صفر خواهد کرد.

### مدارهای برش دهنده مثبت‌دارای ولتاژ مرجع مثبت

این مدار در شکل (۱۲-۱) نشان داده شده است، همان طور که از شماتیک مدار پیدا است از ولتاژ مرجع مثبتی در مدار استفاده شده است. این طرح هنگامی کاربرد دارد که ما نمی‌خواهیم تمام سیکل مثبت را برش دهیم.

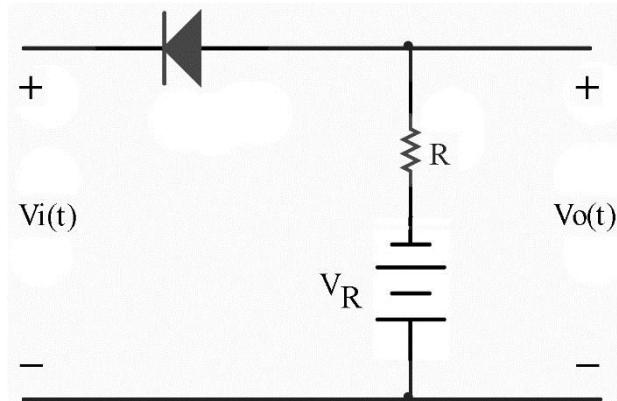


شکل (۱۲-۱)

در مدار بالا، هنگامی که ولتاژ ورودی از ولتاژ مرجع کوچکتر می‌باشد، دیود روشن می‌باشد در نتیجه ولتاژ خروجی همان ولتاژ ورودی می‌باشد. اما به محض اینکه ولتاژ ورودی از ولتاژ مرجع بیشتر شود، دیود خاموش خواهد شد و ولتاژ خروجی به دلیل اینکه روی مقاومت افت ولتاژ نداریم همان ولتاژ ثابت مرجع خواهد بود. توجه داریم با استفاده از این مدار می‌توانیم نمودار شکل (۱۱-۱) را به سمت راست و بالا انتقال دهیم.

### مدارهای برش دهنده مثبت‌دارای ولتاژ مرجع منفی

اگر بخواهید که تنها قسمتی از نیمه‌ی منفی سیکل ولتاژ را برش دهید، باید از مداری با مرجع ولتاژ منفی استفاده کنید (شکل ۱۳-۱). در این مدار تنها قسمتی از سیکل منفی در خروجی نمایش داده خواهد شد.

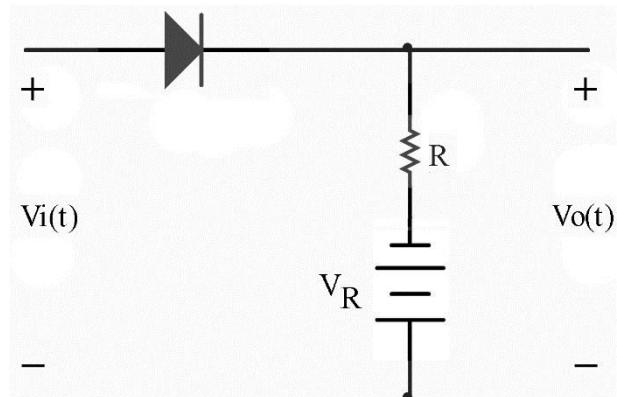


شکل (۱۳-۱)

در این مدار هنگامی که، دیود روشن و ولتاژ ورودی به خروجی منتقل می‌شود. اما به محض اینکه دیود خاموش خواهد شد. در این حالت ورودی مدار به خروجی راهی ندارد و ولتاژ خروجی همان ولتاژ مرجع منفی خواهد شد. بنابراین تمام سیکل مثبت و قسمتی از سیکل منفی سیگنال برش داده خواهد شد. توجه داریم با استفاده از این مدار می‌توانیم نمودار شکل (۱۱-۱) را به اندازه‌ی  $V_R$  به سمت چپ و پایین انتقال دهیم.

### مدارهای برش دهنده سیکل منفی سیگنال همراه با ولتاژ مرجع

در مدارهای برش دهنده‌ی مثبت اگر دیود را بر عکس در مدار قرار دهیم مدار برش دهنده منفی ساخته ایم. شماتیک این مدار در شکل (۱۴-۱) نشان داده شده است. توجه داریم که تحلیل مداری مانند قسمت‌های قبلی می‌باشد.



شکل (۱۴-۱)



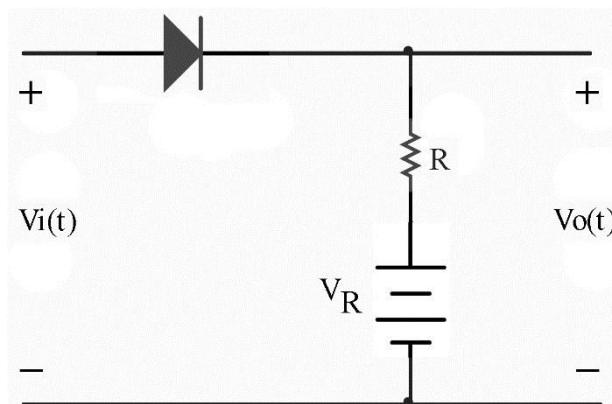
### مدارهای برش دهنده با استفاده از دیودهای زنر

در مدارهایی که از دیود زنر استفاده شده است. می‌توانیم دیود زنر را مانند ولتاژ مرجع در نظر بگیریم با این تفاوت که دیود زنر هنگامی مانند مرجع ولتاژ عمل خواهد کرد که وارد ناحیه زنری خودش شده باشد، در غیر این صورت مانند دیود معمولی عمل خواهد کرد.

#### شرح آزمایش:

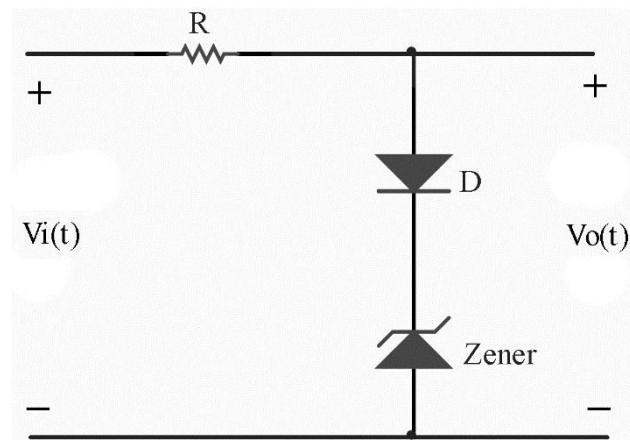
**پیش‌گزارش - ۴)** مدارهای مربوط به شکل‌های زیر (۱۵-۱ تا ۱۷-۱) با شبیه سازی کنید و شکل موج خروجی را رسم کنید.

۱) شکل موج خروجی را برای مدار شکل (۱۵-۱) رسم کنید. ولتاژ ورودی سینوسی دارای ۱۰ ولت پیک تا پیک و بدون آفست می‌باشد. فرض کنید ولتاژ مرجع (+۲) V، است. ( $R=1\text{ K}$ )



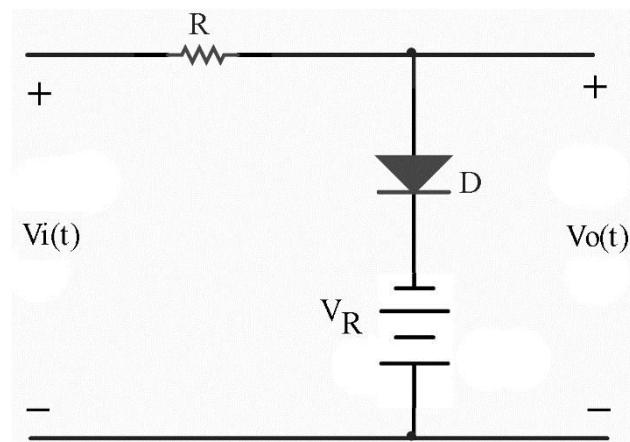
شکل (۱۵-۱)

۲) شکل موج خروجی را برای مدار شکل (۱۶-۱) رسم کنید. ولتاژ ورودی سینوسی دارای ۱۰ ولت پیک تا پیک و بدون آفست می‌باشد. فرض کنید ولتاژ شکست دیود زنر (۳,۱) V، است. ( $R=1\text{ K}$ )



شکل (۱۶-۱)

۳) شکل موج خروجی را برای مدار شکل (۱۷-۱) را با پلاریته‌ی مشخص شده در شکل (۳) V، در نظر بگیرید.  
( $R=1\text{ K}$ )



شکل (۱۷-۱)

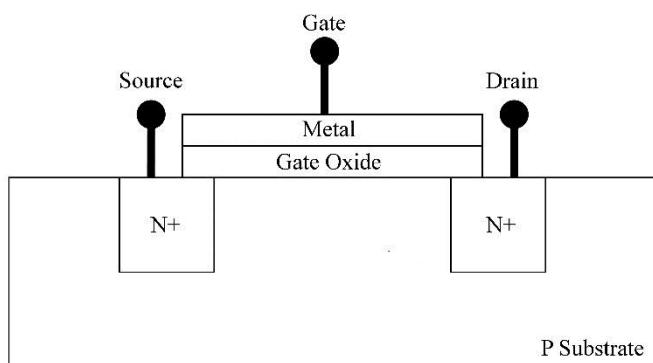


## ۹ آزمایش

### آشنایی با ترانزیستورهای MOS

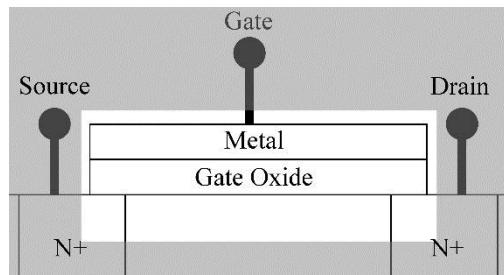
هدف از آزمایش: در این آزمایش به طور مختصر با ترانزیستورهای MOS و نحوه عملکرد آن‌ها آشنا می‌شویم.

در این ترانزیستورها می‌توانید با استفاده از ولتاژ مقدار جریان خروجی را کنترل نمایید. لایه‌های یک ترانزیستور NMOS که برش عرضی داده شده در شکل (۱-۹) نشان داده شده است.



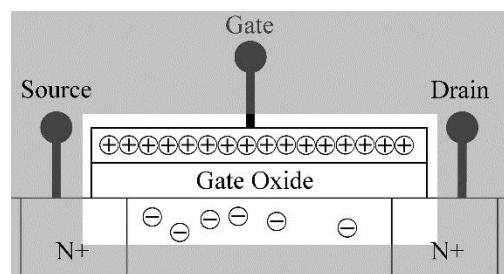
شکل (۱-۹)

برای این که جریان بین پایه‌های درین و سورس شارش داشته باشد ابتدا باید حامل‌هایی مانند الکترون به این منظور وجود داشته باشند، بدون حضور الکترون هیچگاه جریانی بین این دو پایه برقرار نخواهد شد. حالتی که گفته شد زمانی اتفاق می‌افتد که  $V_{gs} = 0$  باشد. فرض کنید به تدریج این ولتاژ را افزایش دهیم در این صورت بارهای الکترونیکی مشبت روی فلز جمع می‌شوند، باید توجه داشته باشید که لایه‌ای که در وسط قرار دارد اکسید می‌باشد و مانند عایق عمل می‌کند، با کمی دقت متوجه می‌شویم که ساختاری که در شکل (۲-۹) نشان داده شده، مانند خازنی می‌باشد که یک صفحه‌ی آن باردار شده است.



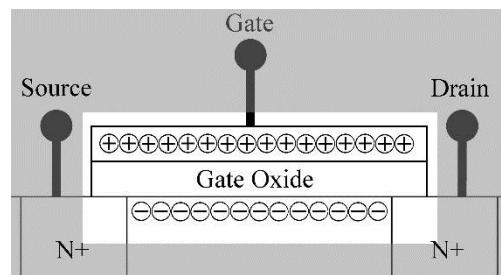
شکل (۲-۹)

بارهای مثبت روی فلز، الکترون‌های پراکنده‌ی زیر لایه را در سطح زیرین اکسید جمع آوری می‌کنند. بنابراین همان طور که در شکل (۳-۹) نشان داده شده است اگر همچنان ولتاژ گیت-سورس را افزایش دهیم الکترون‌های بیشتری در سطح زیر گیت خواهیم داشت. هنگامی که ولتاژ گیت-سورس به مقدار مشخصی می‌رسد، یک لایه تک الکترون از درین تا سورس همان طور که در شکل (۴-۹) مشاهده می‌کنید زیر سطح گیت شکل خواهد گرفت، این ولتاژ مشخص همان ولتاژ آستانه یا  $V_t$  نام دارد. به یاد داریم که عامل حرکت بارهای الکترونیکی میدان‌های الکترونیکی بودند، به عبارت بهتر تا زمانی که میدان الکترونیکی نداشته باشیم این الکترون‌ها در جای خود ثابت می‌مانند و می‌دانیم که با حرکت الکترون‌ها جریان الکترونیکی به وجود خواهد آمد. حتماً به خاطر دارید که ولتاژ با میدان رابطه‌ای مستقیم دارد. بنابراین اگر اختلاف پتانسیل داشته باشیم، میدان خواهیم داشت در نتیجه الکترون‌های بی‌حرکت زیر سطح گیت، در جهت میدان حرکت خواهند کرد و در نهایت جریان خواهیم داشت.



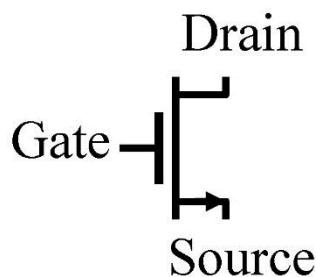
شکل (۳-۹)

این اختلاف پتانسیل را می‌توان به پایه‌های درین-سورس اعمال کرد در این صورت الکترون‌ها از سورس به سمت درین حرکت خواهند کرد و جهت جریان از درین به سمت سورس خواهد بود. دقت داشته باشید که نام‌های سورس و درین به همین منظور انتخاب شده‌اند.



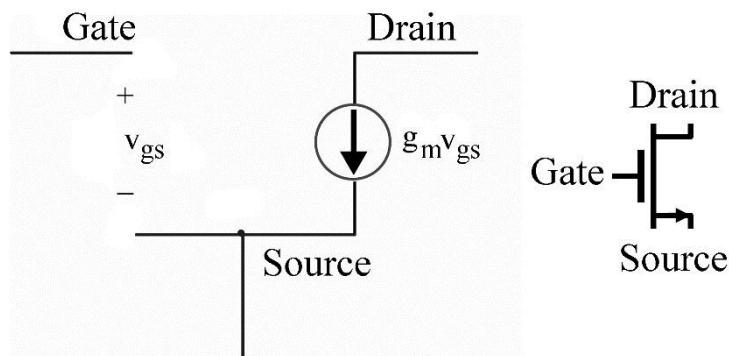
شکل (۴-۹)

سمبل مداری این اممان را در شکل (۵-۹) مشاهده می‌کنید. برای تحلیل مداری ترانزیستورهای MOS ابتدا مانند ترانزیستورهای Bjt DC انجام دهید و از پارامترهایی که در این تحلیل بدست می‌آورید در تحلیل ac استفاده کنید. برای این منظور باید بدانید که ترانزیستور در چه ناحیه‌ای عمل می‌کند. نواحی عملکرد ترانزیستور NMOS به طور مختصر در جدول (۱-۹) آمده است.



شکل (۵-۹)

مانند ترانزیستورهای Bjt ترانزیستورهای MOS را می‌توان با سه ترکیب در مدارهای تقویت کننده به کاربرد. مدار معادل ac این ترانزیستور در شکل (۶-۹) نشان داده شده است.

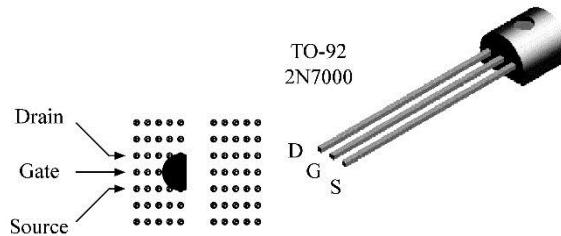


شکل (۶-۹)



پارامتر  $g_m$  را می‌توان از روی مشخصه‌ی ورودی با توجه به رابطه‌ی،  $g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}} |_{V_{DS}=Constant}$ ، استخراج کرد. برای تحلیل ac به صورت تئوری کافی است به جای ترانزیستور مدار معادل آن را قرار دهید و با استفاده از تحلیل گره و مش روابط خواسته شده را محاسبه کنید.

برای آزمایش‌هایی که پیش رو دارید از ترانزیستور 2N7000 در آزمایشگاه استفاده کنید. پایه‌های این ترانزیستور در شکل (۷-۹) نشان داده شده است.



شکل (۷-۹)

برای اطلاع بیشتر از پارامترهای این ترانزیستور می‌توانید از سایت [www.alldatasheet.com](http://www.alldatasheet.com) برگه‌های اطلاعاتی مربوط به این إلمان را دانلود و مطالعه کنید. مهمترین پارامترهایی که می‌توان برای این إلمان نام برد، حداکثر جریان عبوری از درین، حداکثر ولتاژ قابل تحمل درین-سورس و حداکثر توان قابل تحمل توسط ترانزیستور می‌باشد.

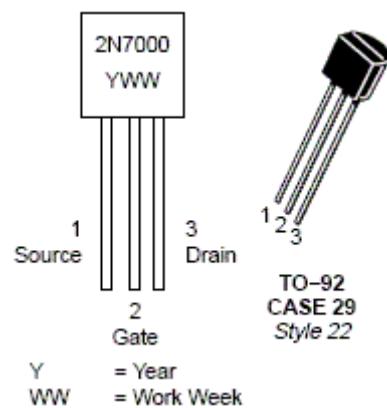
جدول (۱-۹)

ناحیه قطع	ناحیه
در این ناحیه ولتاژ گیت-سورس کمتر از ولتاژ آستانه می‌باشد. یعنی اینکه هیچ الکترونی برای هدایت جریان الکتریکی وجود ندارد.	ناحیه هدایت جریان الکتریکی وجود ندارد.
در این ناحیه $V_t > V_{gs}$ ، می‌باشد یعنی الکترون‌ها برای هدایت الکتریکی در سطح زیرین گیت موجود می‌باشند، اما اختلاف ولتاژ درین-سورس کمتر از مقدار لازم می‌باشد، در این ناحیه $I_D = k \left[ (V_{gs} - V_{th})V_{ds} - \frac{V_{ds}^2}{2} \right]$ ، جریان در این ناحیه از رابطه‌ی $V_{ds} < V_{gs} - V_{th}$ محاسبه می‌شود.	ناحیه خطی
در این ناحیه $V_t > V_{gs}$ ، می‌باشد یعنی الکترون‌ها برای هدایت الکتریکی در سطح زیرین گیت موجود می‌باشند و اختلاف ولتاژ درین-سورس به مقدار لازم می‌باشد، در این ناحیه $I_D = \frac{k}{2} (V_{gs} - V_{th})^2$ ، جریان در این ناحیه از رابطه‌ی $V_{ds} > V_{gs} - V_{th}$ محاسبه می‌شود.	ناحیه اشباع



در جدول (۱-۹)،  $k$  تو سط کارخانه سازنده ترانزیستور تعیین می‌شود. این پارامتر را از روی مشخصه ورودی می‌توانید بدست آورید.

ترانزیستور NMOS مورد نیاز برای انجام آزمایش‌ها 2N7000 می‌باشد.

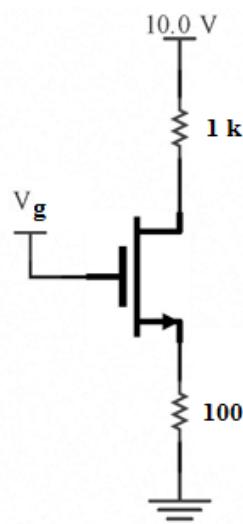




### ۱-۹- تعیین ولتاژ آستانه ترانزیستور NMOS

ابتدا با استفاده از یکی از ترانزیستورهای NMOS موجود در تراشه CD4007، مدار شکل زیر را بسازید. در این بخش با استفاده از اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین درین و سورس میزان ولتاژ آستانه ترانزیستور تعیین خواهد گرد. برای یافتن مقدار ولتاژ آستانه ابتدا منبع تغذیه مربوط به ولتاژ گیت را بر روی صفر تنظیم کرده و سپس به آرامی مقدار آن را افزایش دهید. هنگامی که عبور جریان از مقاومت درین آغاز گردد (جریان درین به مقدار  $1\text{ mA}$  برسد) ترانزیستور روشن شده است. در حقیقت با افزایش تدریجی ولتاژ منبع تغذیه مقدار  $V_{gs}$  افزایش می‌یابد و به ولتاژ آستانه می‌رسد و ترانزیستور روشن خواهد شد.

به محض اینکه جریان درین به مقدار خواسته شده رسید، ولتاژ گیت-سورس نشان‌دهنده ولتاژ آستانه خواهد بود.



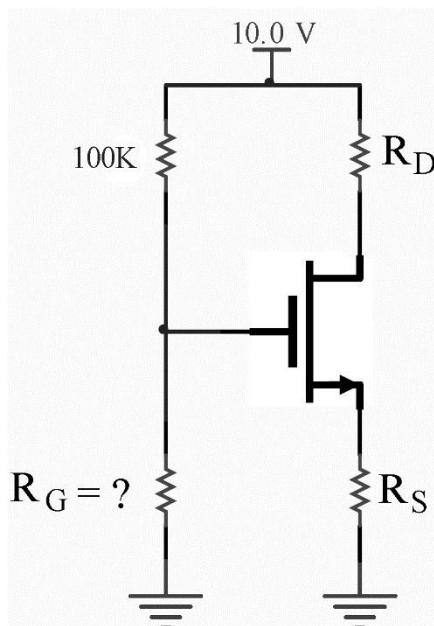
شکل (۸-۹)



## ۲-۹- بایاس ساده ترانزیستور NMOS

در مدار شکل (۹-۹) با استفاده از نتیجه بدست آمده برای ولتاژ آستانه، مقاومت سورس را طوری انتخاب کنید که جریان درین  $20\text{ mA}$  باشد. مقاومت درین را طوری انتخاب کنید که ولتاژ درین  $8\text{ V}$  شود.

مدار شکل (۹-۹) را روی برد بیندید. ولتاژ درین و سورس را اندازه بگیرید و با مقدار تئوری خود مقایسه کنید. چقدر خطأ دارید؟ دلیل آن را توضیح دهید.



شکل (۹-۹)

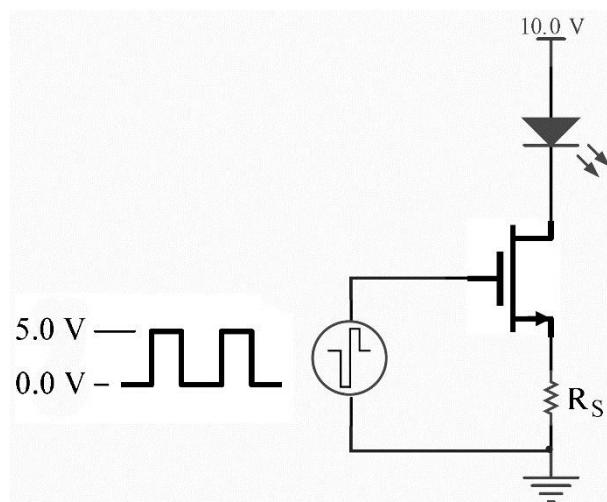


### ۳-۹ - چشمک زن ساده و خاصیت کلیدزنی ترانزیستور MOS

مداری که در آزمایش قبل طراحی کردید، دارای جریانی معادل  $20\text{ mA}$  و افت ولتاژی تقریباً  $2V$  روی مقاومت درین بود. اگر کمی دقت کنید متوجه خواهید شد که یک LED برای روشن شدن به همین شرایط نیاز دارد، بنابراین با استفاده از بایاس مدار آزمایش قبل و تعویض مقاومت با LED می‌توانید آن را روشن کنید.

حال اگر گیت ترانزیستور را به زمین اتصال دهید LED خاموش خواهد شد. بنابراین اگر بتوانید ولتاژ گیت را بین صفر و  $5V$  سوییچ کنید توانسته اید مداری چشمک زن بسازید.

- مدار شکل (۱۰-۹) را روی برد بیندید. مقاومت سورس همان مقداری است که در آزمایش قبل طراحی کرده اید. سیگنال ورودی را روی موج ورودی بین صفر تا  $5V$  با فرکانس  $1\text{ Hz}$  قرار دهید.



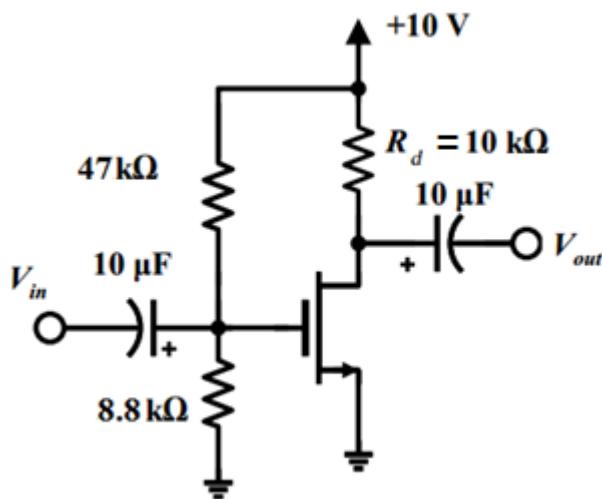
شکل (۱۰-۹)



#### ۴-۹- تقویت کننده سورس مشترک با ترانزیستور NMOS

پیش‌گزارش: بهره ولتاژ  $V_{out}$  بر حسب  $V_{in}$  را حساب کنید.

- مدار شکل (۱۱-۹) یک مدار سورس مشترک می‌باشد که در آن ورودی به گیت اعمال شده و خروجی از درین گرفته می‌شود. این مدار را روی برد بیندید و جدول (۲-۹) و (۳-۹) را تکمیل کنید.  
ولتاژ ورودی به گیت یک موج سینوسی با دامنه ۱۰۰ میلی‌ولت و فرکانس ۱ KHz است.



شکل (۱۱-۹)

جدول (۲-۹)

$I_d$	$V_d$	$V_g$	پارامتر
			مقدار اندازه گیری شده

مقدار مقاومت درین را مطابق جدول (۳-۹) تغییر دهید و نتایج بدست آمده را یادداشت نمایید.

جدول (۳-۹)

درصد خطأ	تئوری $A_v$	عملی $A_v$	$V_o$	$V_{in}$	$R_d$
					۱۰ KΩ
					۵ KΩ



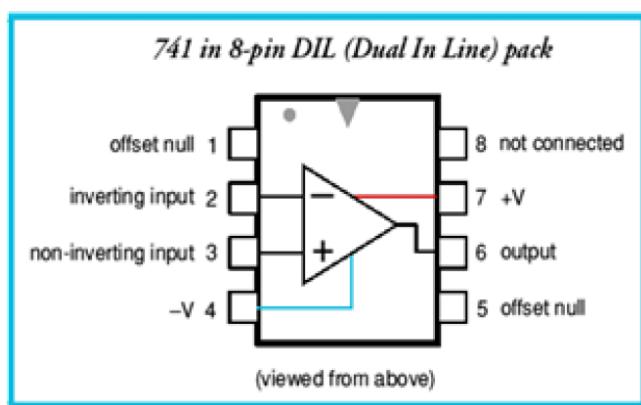
## آزمایش ۱۰

### کاربردهای خطی تقویت کننده عملیاتی

هدف از آزمایش: بررسی تقویت کننده‌های معکوس کننده و غیرمعکوس کننده و پاسخ فرکانسی مدار RC پایین‌گذار با استفاده از آپ‌امپ

تقویت کننده عملیاتی در واقع یک تقویت کننده ولتاژ با بهره ولتاژ بسیار بالاست و معمولاً دارای یک سر خروجی و دو سر ورودی است که سرهای ورودی به صورت تفاضلی عمل می‌کنند. به عبارت دیگر این تقویت کننده اختلاف ولتاژ بین ورودی را تقویت می‌کند. یکی از دو سر، ورودی منفی (-) یا معکوس کننده نام دارد، زیرا تقویت کننده برای ورودی‌های اعمال شده به این سر دارای بهره منفی خواهد بود. سر دیگر ورودی مثبت (+) یا غیر معکوس کننده است و سیگنال‌های ورودی به این سر، در خروجی با بهره مثبت ظاهر می‌شوند. این تقویت کننده دارای مقاومت خروجی بسیار کوچک (حدود چند اهم) بوده و از مقاومت ورودی بسیار بزرگی (بیش از چند صد کیلو اهم) برخوردار است. چون تقویت کننده عملیاتی یک قطعه فعال است برای تأمین انرژی مصرفی و بایاس ترانزیستورهای داخلی خود به تغذیه DC نیاز دارد.

آپ‌امپ با شماره LM741 به صورت مستطیلی و ۸ پایه ساخته می‌شود. در شکل (۱۰-۱) دیاگرام پایه‌های آپ‌امپ آمده است. پایه‌های ۲ و ۳ به ترتیب ورودی‌های معکوس کننده و غیرمعکوس کننده هستند. در اکثر IC‌ها پایه‌هایی برای روشن کردن و در واقع تغذیه موجود می‌باشد. معمولاً برای تقویت کننده‌ها یک تغذیه منفی و یک تغذیه مثبت مورد نیاز است.



پایه‌های ۴ و ۷ به ترتیب  $-V_{CC}$  و  $V_{CC}$  تغذیه منفی و مثبت) هستند. از پایه‌های ۱ و ۵ جهت حذف آفست آپ‌امپ در شرایط مختلف محیطی استفاده می‌شود. در مقابل پایه ۸ در شکل (۱۰-۱) عبارت NC نوشته شده است، که به معنی Not Connected می‌باشد. این پایه در مدار داخلی آپ‌امپ به هیچ قسمتی متصل نیست و تنها به منظور تکمیل تعداد پایه‌ها جهت مستطیلی شدن IC در نظر گرفته شده است.



شکل (۱-۱۰)

### ۱- تقویت کننده معکوس کننده:

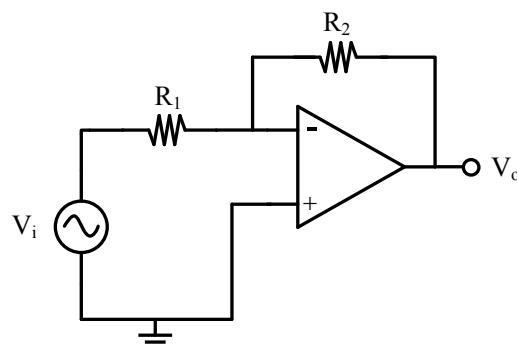
در این آزمایش می‌خواهیم یک تقویت کننده با بهره منفی توسط آپ‌امپ (که فیدبک منفی دارد) بسازیم. مدار مربوط به این آزمایش در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است.

**پیش گزارش ۱:** مدار معکوس کننده شکل (۲-۱۰) را برای بهره  $5/6$  طراحی کنید. (تعیین مقدار مقاومت  $R_2$  با فرض  $(R_1=1k)$ .

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

### شرح آزمایش:

در این آزمایش از دو باتری ۹ ولت به عنوان منبع تغذیه استفاده می‌شود. این دو باتری با یکدیگر سری خواهند شد و وسط آنها به عنوان زمین اختیار می‌شود. بنابراین قطب مثبت باتری اول دارای ولتاژ مثبت ۹ ولت و قطب منفی باتری دوم دارای ولتاژ منفی ۹ ولت نسبت به زمین خواهد بود. ولتاژهای تغذیه مثبت و منفی را به ترتیب به پایه‌های  $V_{CC}$  و  $-V_{CC}$  آپ‌امپ متصل نمایید. حال مدار مربوط به معکوس کننده را مطابق با شکل (۲-۱۰) و مقادیر مقاومتهای  $R_1$  و  $R_2$  طراحی شده، بیندید. یک ولتاژ سینوسی با دامنه  $2V_{p-p}$  و فرکانس  $1kHz$  به ورودی مدار اعمال کنید. خروجی و ورودی مدار را روی اسیلسکوپ مشاهده نمایید و بهره مدار را محاسبه کنید.



شکل (۲-۱۰)



## ۲- تقویت کننده غیرمعکوس کننده:

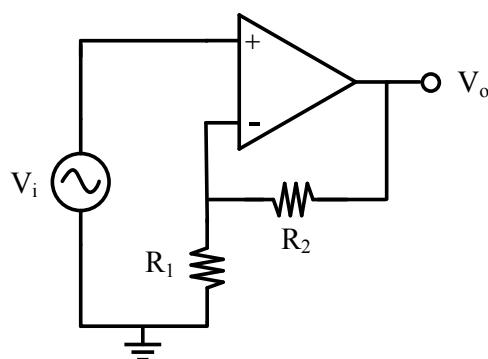
در این آزمایش می‌خواهیم یک تقویت کننده با بهره مثبت توسط آپ‌امپ (که فیدبک منفی دارد) بسازیم. مدار مربوط به این آزمایش در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است.

**پیش گزارش ۳:** مدار غیرمعکوس کننده شکل (۳-۱۰) را برای بهره ۶۶ طراحی کنید. (تعیین مقدار مقاومت  $R_2$  با فرض  $R_1=1k$ ).

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

### شرح آزمایش:

همانند آزمایش قبل ولتاژهای تغذیه مثبت و منفی ۹ ولت را به ترتیب به پایه‌های  $V_{CC}$  و  $-V_{CC}$ - آپ‌امپ متصل نمایید. حال مدار مربوط به غیرمعکوس کننده را مطابق با شکل (۳-۱۰) و مقادیر مقاومتهای  $R_1$  و  $R_2$  طراحی شده، بیندید. یک ولتاژ سینوسی با دامنه  $4V_{p-p}$  و فرکانس  $1kHz$  به ورودی مدار اعمال کنید. خروجی و ورودی مدار را روی اسیلосکوپ مشاهده نمایید و بهره مدار را محاسبه کنید.



شکل (۳-۱۰)



### ۳- پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر

#### ۱-۳ فیلتر پایین گذر

شکل (۴-۱۰) مدار یک فیلتر RC پایین گذر را نشان می‌دهد. هنگامی که یک موج سینوسی با دامنه ثابت  $V_m$  و فرکانس متغیر  $f$  به دو سر ورودی این مدار اعمال می‌شود، 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.

**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.

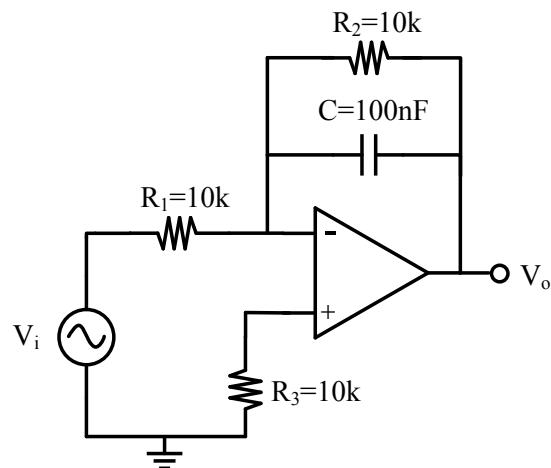
**پیش گزارش ۷:** مدار مربوط به فیلتر پایین گذر را با استفاده از تحلیل Time Domain شبیه سازی کنید.

#### 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 ماقریزیم 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.

### ۲-۳ مدار انتگرالگیر RC

مدار پایین گذر RC را با خازن  $C=100nF$  و به ازای مقادیر مختلف  $R$  (۱۵۰k، ۲۲k، ۶.۸k و ۱۰k) بسازید. نوسان ساز را به ورودی مدار متصل کرده و یک موج مربعی با دامنه  $4V_{p-p}$  و فرکانس  $100Hz$  به مدار اعمال کنید و پاسخ مدار را در هر چهار حالت بوسیله اسیلوسکوپ مشاهده نمایید.



شکل (۴-۱۰)

جدول (۱-۱۰)

فرکانس $f$	$V_o$ اندازه‌گیری شده	$\varphi$ اندازه‌گیری شده	$V_o$ محاسبه شده	$\varphi$ محاسبه شده
۲۰ Hz				
۵۰ Hz				
۱۰۰ Hz				
۱۵۰ Hz				
۲۵۰ Hz				
۵۰۰ Hz				
۱۰۰۰ Hz				
۳۰۰۰ Hz				
۱۰۰۰۰ Hz				