



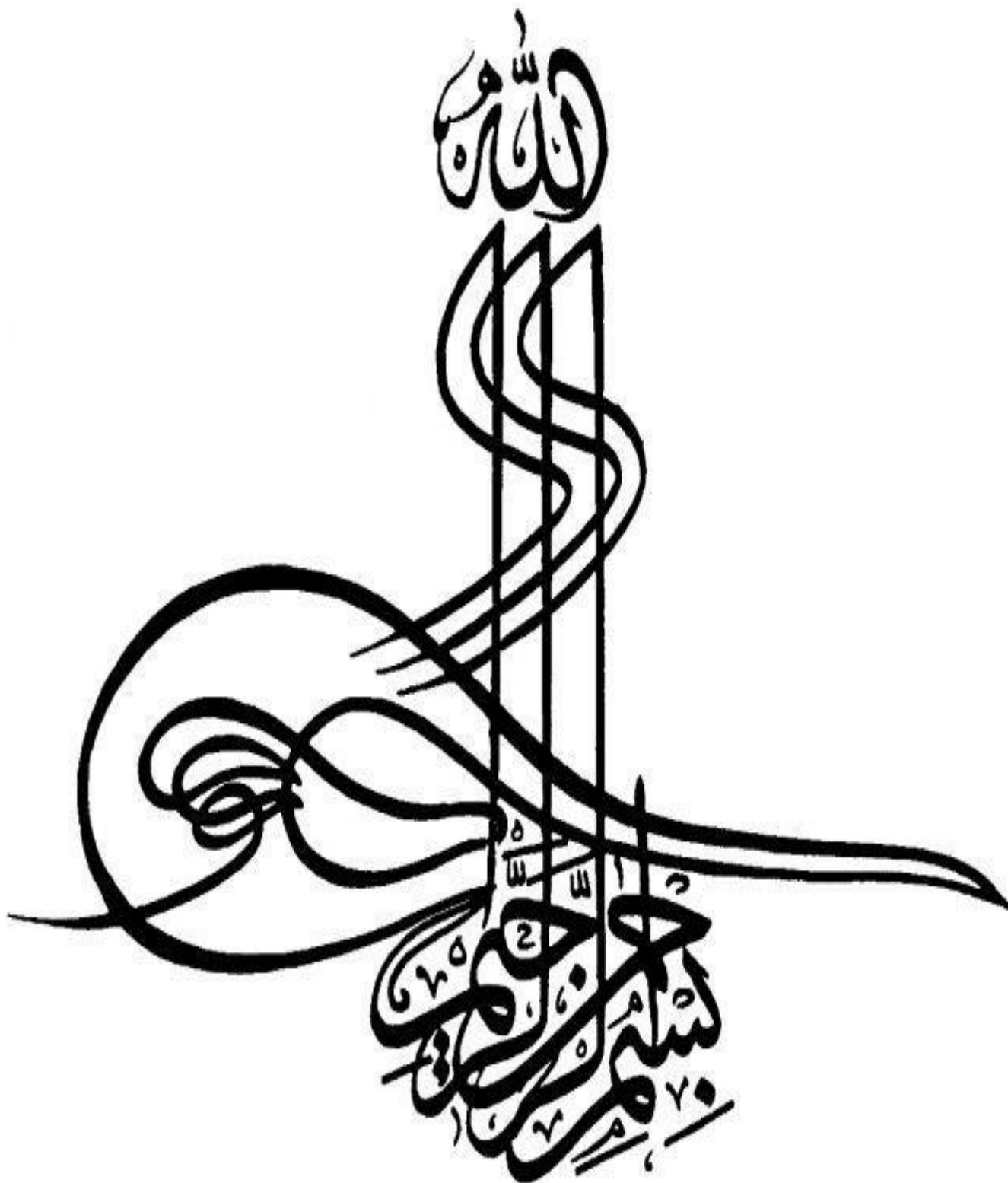
دانشکده مهندسی کامپیوتر  
و فناوری اطلاعات



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

# دستور کار آزمایشگاه

## مدارهای الکتریکی





## فهرست دستور کار آزمایشگاه مدارهای الکتریکی

صفحه

عنوان

- 
- 
- ۱- آشنایی با اجزاء مدار و تجهیزات آزمایشگاه..... ۱
  - ۲- بررسی قوانین اهم و کرشهف..... ۲۳
  - ۳- بررسی مدار معادل تونن و نورتن..... ۲۵
  - ۴- آشنایی با نرم افزار OrCAD..... ۲۸
  - ۵- پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر..... ۴۳
  - ۶- پاسخ فرکانسی مدار RC بالا گذر و RC میان گذر..... ۴۸
  - ۷- پاسخ فرکانسی مدار RLC سری..... ۵۵
  - ۸- پاسخ گذرای مدارهای RC و RL..... ۶۳
  - ۹- پاسخ گذرای مدار RLC سری..... ۷۰
  - ۱۰- کاربردهای خطی تقویت کننده عملیاتی..... ۷۷



## 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 می باشد. این المان دارای پلاریته نمی باشد به این معنی که بدون توجه به جهت جریان عبوری در مقابل جریان از خود مقاومت نشان می دهد.

نحوه مشخص کردن مقدار مقاومت

۱- با استفاده از اهم متر

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

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

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

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

د: رنگ چهارم که معمولاً تلرانس یا میزان خطای مقاومت را نشان می دهد. مقدار خطا برای رنگ طلایی ۵٪، برای رنگ نقره ای ۱۰٪ می باشد و اگر مقاومت سه نوار رنگی داشته باشد ضریب خطا را ۲۰٪ در نظر می گیریم. جدول ۱ اعداد متناظر با رنگها را نشان می دهد.



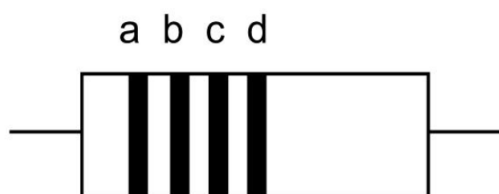
شکل ۱



جدول ۱

رنگ	اعداد صحیح		تعداد صفرها نوار سوم	ضریب خطا نوار چهارم
	نوار دوم	نوار اول		
سیاه	۰	۰	$\times 1$	–
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 ۴۷۰۰ اهم با خطای ۵٪ 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

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

(۱)

مقادیر استاندارد مقاومت‌هایی که موجود هستند عبارتند از:

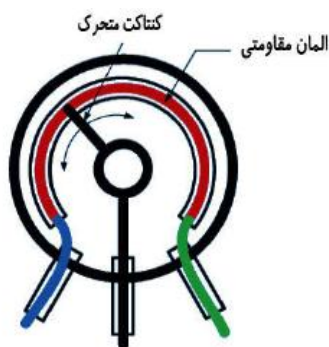


۸/۲ و ۶/۸ و ۵/۶ و ۴/۷ و ۳/۹ و ۳/۳ و ۲/۷ و ۲/۲ و ۱/۸ و ۱/۵ و ۱/۲ و ۱

مقدار مقاومتها با واحدهایی مانند اهم، کیلو اهم و مگا اهم بیان می شوند. اگر در طراحی مدار به مقاومت هایی برخورد کردید که در محدوده استاندارد نبود با استفاده از سری یا موازی کردن آنها می توانید به مقادیر مورد نظر دست یابید.

### پتانسیومتر

پتانسیومتر از یک المان مقاومتی دوار که درون محفظه ای 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 کنتاکت متحرک متصل است و این کنتاکت متحرک می تواند بر روی المان مقاومتی حرکت کند و سبب تغییر مقاومت بین ترمینال وسط و هر یک از ترمینال های کناری گردد. برای حرکت کنتاکت متحرک بر روی المان مقاومتی، انتهای المان مقاومتی را به یک ولوم و یا یک صفحه شیاردار که توسط پیچ گوشتی قابل حرکت است متصل می کنند



شکل 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 خازنهایی که بیشتر در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌پردازیم.

### خازنهای الکترولیتی

این خازنها برای ظرفیت‌های بیشتر از  $1 \mu F$  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  $50V$  و  $100 \mu F$  می‌تواند در ولتاژهای کمتر از  $50V$  در مدار به کار گرفته شود. این خازنها برای کاربرد در مدارات فرکانس بالا مناسب نمی‌باشند.

### خازنهای سرامیکی

این خازنها در ظرفیت‌های پایین‌تر از  $1 \mu F$  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  $150000 \text{ pF}$  که معادل با  $150 \text{ nF}$  است، می‌باشد.



شکل ۵

### ۳- سلف

سلف که به نام‌هایی مانند پیچه، کوئل 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 کوئل 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.



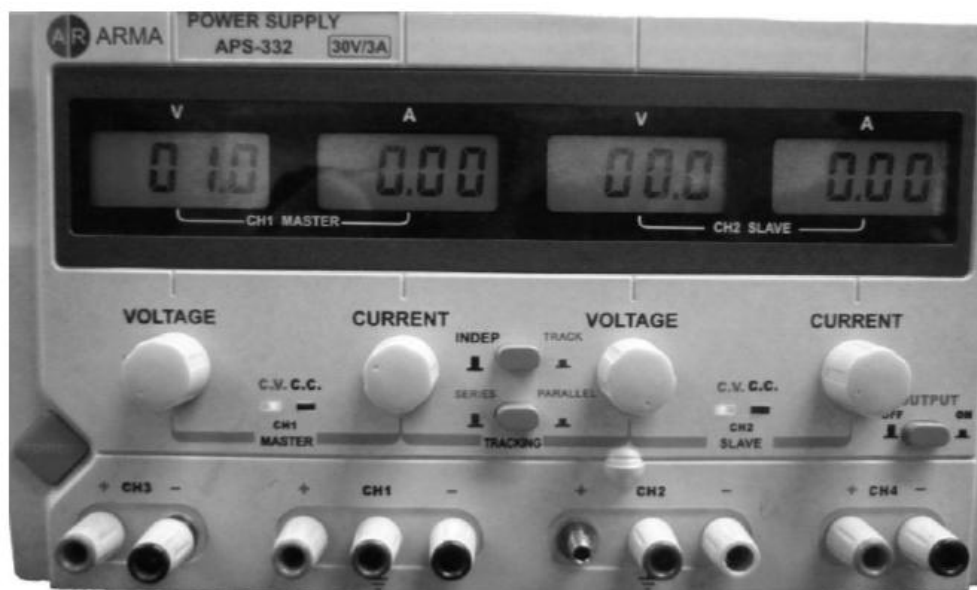
شکل ۶

### 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 تعبیه شده‌اند قابلیت جریان‌دهی حداکثر ۳ آمپر را دارند. این دو منبع با نام‌های CH<sub>1</sub> و CH<sub>2</sub> روی دستگاه مشخص 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 تعبیه 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 نخواهند داشت. بنابراین به خاطر داشته باشید که



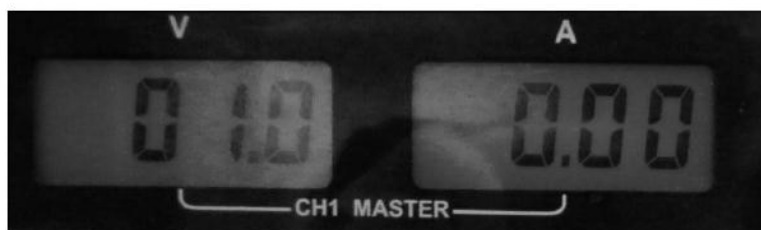
اگر خواستید تغییری در نحوه سیم‌بندی و المان‌های مدار دهید از کلید Output استفاده کنید. خاموش و روشن کردن مداوم منبع ولتاژ باعث کاهش عمر مفید دستگاه خواهد شد.

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 و 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 سوسماری را به پایه‌های مثبت و منفی اتصال دهیم. برای این کار بهتر است که از سیم قرمز برای پایه مثبت و از سیم مشکی برای پایه 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 ۱۰۰ میلی آمپر تنظیم نمایید. در این صورت حتی اگر قسمتی از مدار سیم بندی شده روی بردبرد اتصال کوتاه شده باشد حداکثر جریان عبوری از المان های مدار ۱۰۰ میلی آمپر 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 ۱۰۰ میلی آمپر تجاوز نکند. در نهایت با استفاده از ولوم محدود کننده جریان، مقدار جریان خروجی را روی مقدار موردنظر تنظیم نمایید.

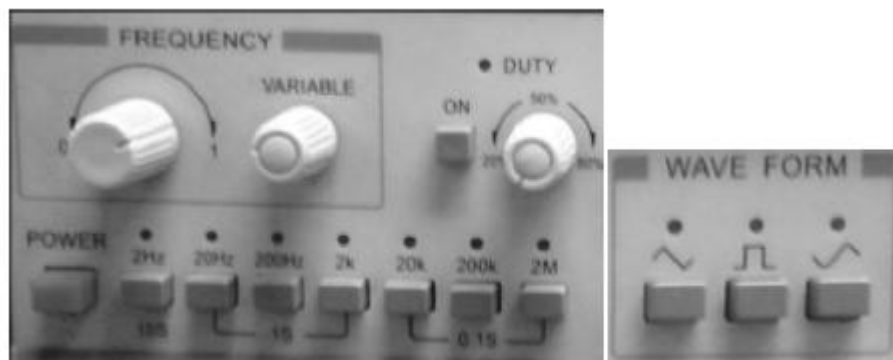
## ۵- فانکشن ژنراتور و نحوه استفاده از آن

فانکشن ژنراتور دستگاهی برای تولید انواع موج های الکتریکی با فرکانس دلخواه می باشد. نمونه این دستگاه که در آزمایشگاه استفاده می شود در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در ادامه به بررسی قسمتهایی از دستگاه می پردازیم.



شکل ۱۱

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



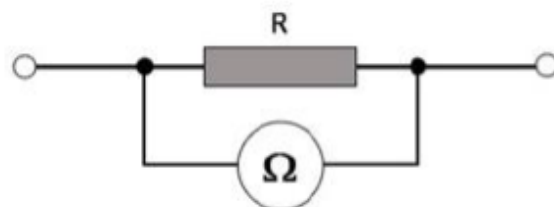
شکل ۱۲



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 پنل دستگاه وجود دارد مقدار دامنه و فرکانس سیگنال را نشان می‌دهد. برای خروجی باید پروب را به پایانه‌ای که Output نام دارد اتصال دهید.

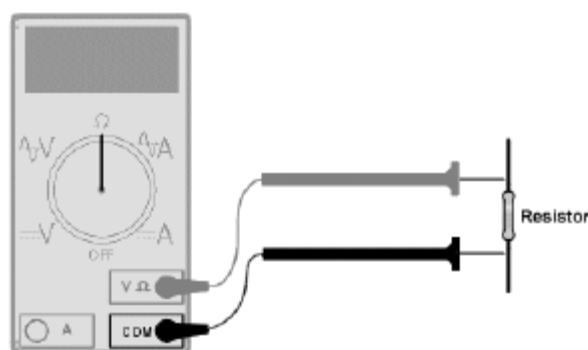
## ۶- مولتی‌متر و نحوه استفاده از آن

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.

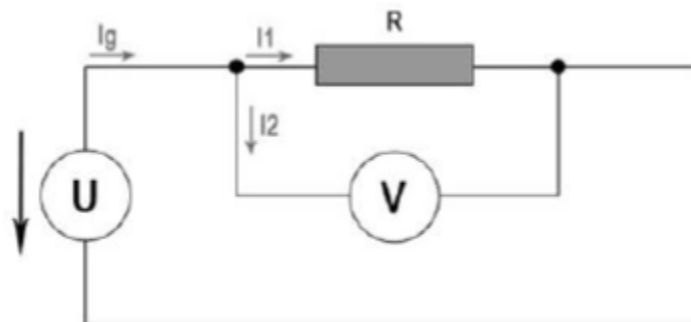


شکل ۱۴

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.

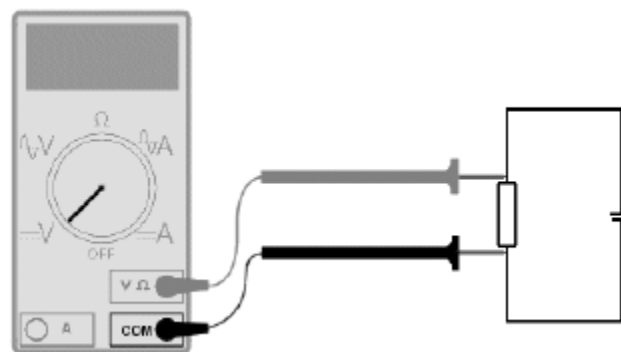


مقاومت داخلی مولتی متر در این حالت بسیار زیاد می باشد که تا حد امکان جریان  $I_2$  به حداقل مقدار خود برسد و خطای اندازه گیری نداشته باشیم.



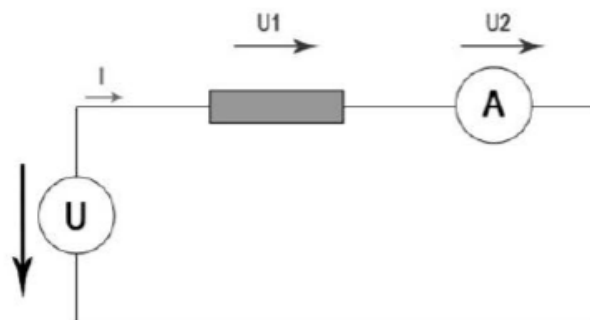
شکل ۱۵

در واقعیت برای اندازه گیری ولتاژ مانند شکل ۱۶ عمل می کنیم. باید توجه داشته باشیم که سلکتور روی ولتاژ تنظیم شده باشد و پروب های مولتی متر مانند شکل ۱۶ اتصال داشته باشند.



شکل ۱۶

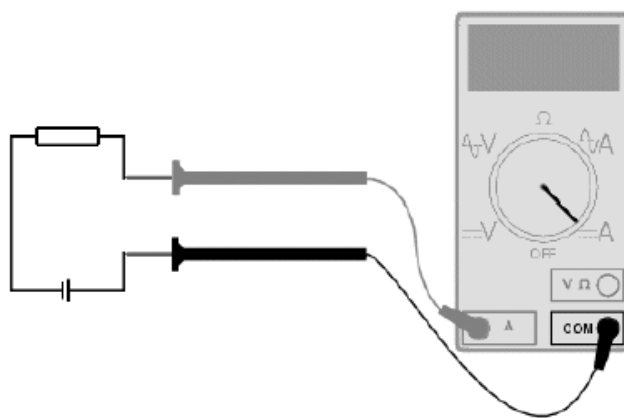
برای اندازه گیری جریان با استفاده از مولتی متر باید آن را در مدار به صورت سری قرار دهیم. شماتیک مداری این حالت در شکل ۱۷ نشان داده شده است.





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 آمپر متر در مدار به صورت شکل ۱۸ قرار می‌گیرد.



شکل ۱۸

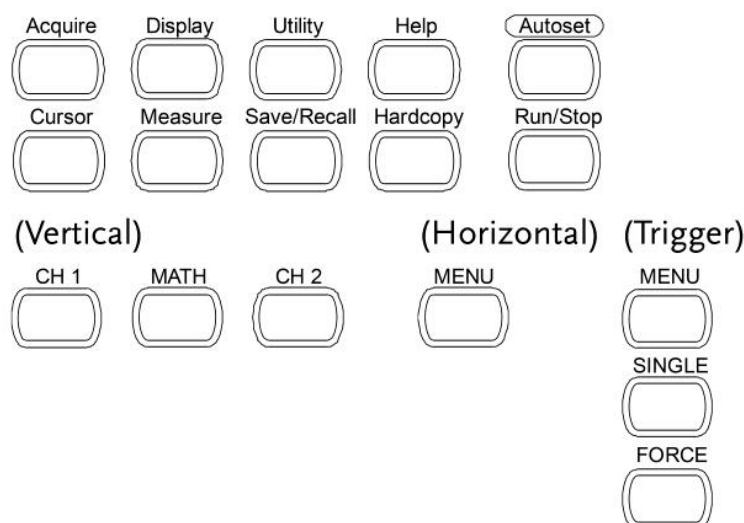
## ۷- اسیلوسکوپ و نحوه استفاده از آن

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.



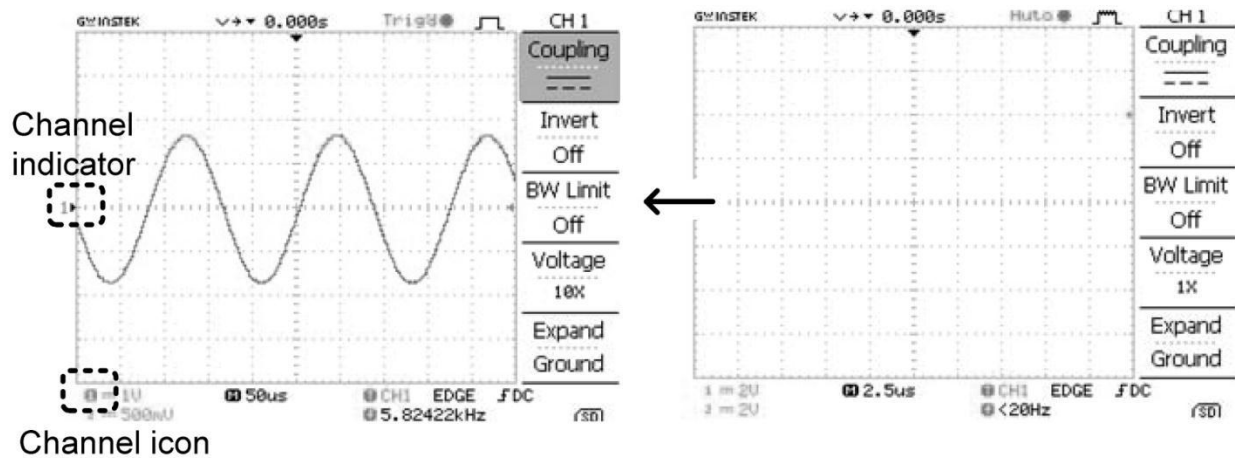
شکل ۱۹

برای استفاده از دستگاه ابتدا باید از صحت عملکرد آن اطمینان حاصل نمائید. برای این کار می‌توانید پروبی را که به یکی از کانالهای دستگاه متصل نموده‌اید، به زائده‌ی فلزی روی پنل اسیلوسکوپ اتصال دهید. در این حالت باید شکل موج مربعی را روی صفحه نمایش مشاهده کنید. در ادامه برخی از کلیدها و ولوم‌های روی پنل دستگاه توضیح داده شده است، شکل ۲۰.



شکل ۲۰

CH<sub>1</sub> و CH<sub>2</sub>: 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 کانال یک/دو در سمت چپ صفحه نمایش نشان داده خواهد شد و آیکون مربوط به کانال متناظر تغییر خواهد کرد، شکل ۲۱.

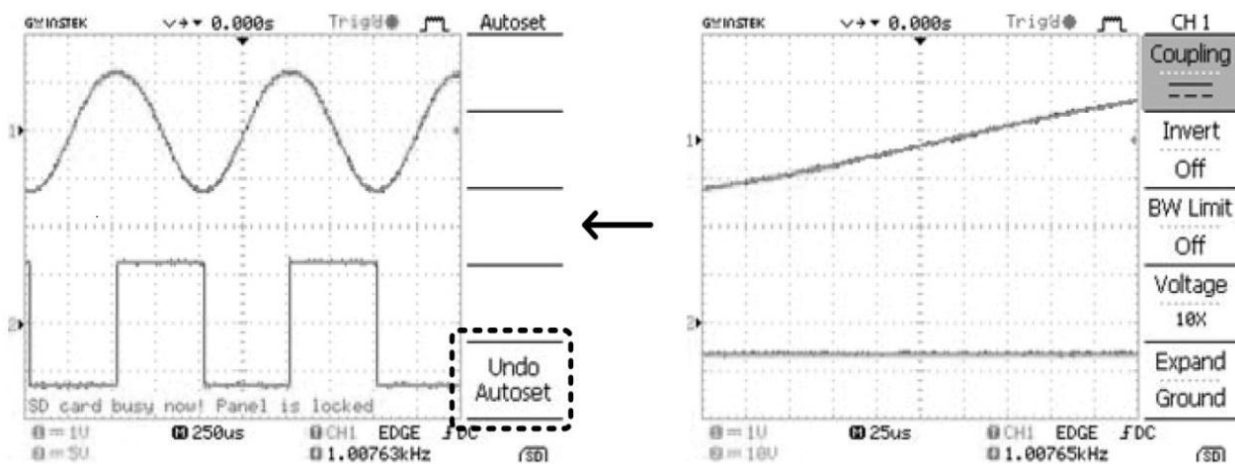


ب

الف

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

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 AutoSet می‌توانید از Undo استفاده کنید. چنانچه شکل موج همچنان ناپایدار بود می‌توانید از ولوم Level 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.



ب

الف

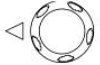

شکل ۲۲. الف- قبل از فشردن کلید AutoSet. ب- بعد از فشردن کلید AutoSet.

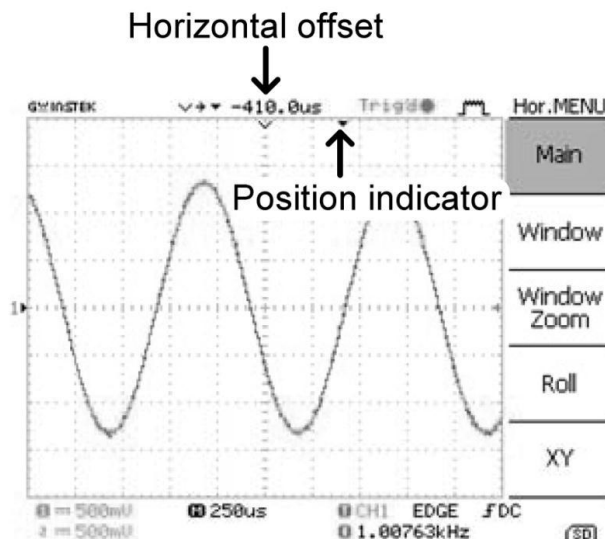
Run/Stop: در حالت Run، اسیلوسکوپ به طور مداوم لحظه تریگر شدن سیگنال را جستجو می‌کند. نتیجه این می‌شود که به نظر می‌رسد سیگنال حرکت می‌کند. در حالت Stop، در واقع شما خواسته‌اید که دستگاه لحظه





تریگر شدن را ثابت در نظر بگیرد، بنابراین سیگنال بی حرکت 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 مکان نما 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.



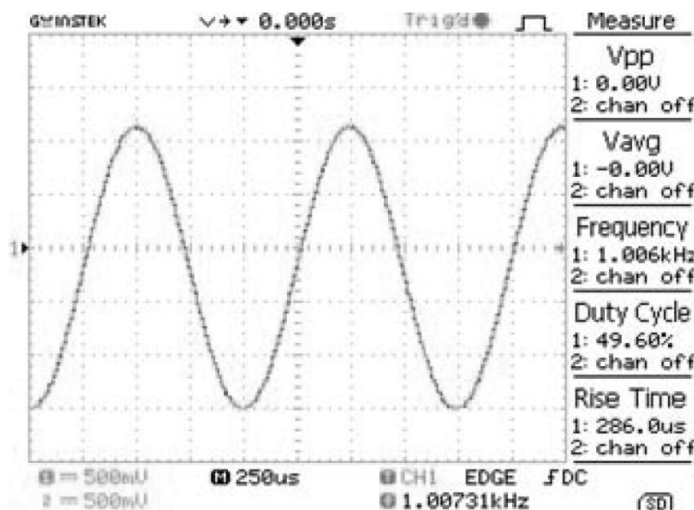
شکل ۲۳

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 سرعت سیگنال کندتر خواهد شد.

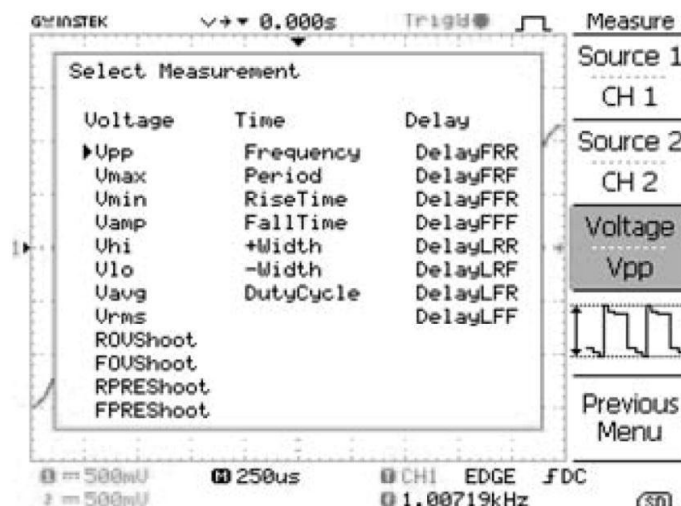
تنظیم مقیاس سیگنال در راستای محور عمودی: برای انتخاب مقیاس مورد نظر در راستای محور عمودی می‌توانید از ولوم Volts/Div استفاده کنید.



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  $F_1$  تا  $F_5$  هستند، در سمت راست LCD، نمایش داده می‌شوند، شکل ۲۴. برای انتخاب سایر پارامترهایی که در این منو وجود ندارند می‌توانید کلید منوی متناظر  $F_1$  تا  $F_5$  را فشار دهید. در این صورت منویی 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  $F_5$  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 افقی و عمودی محدود کرد و مقدار اندازه‌گیری شده را روی صفحه نمایش مشاهده نمود. برای شروع، با فشردن کلید Cursor خطوط مکان‌نما روی صفحه ظاهر می‌شوند. با انتخاب  $X \leftrightarrow Y$  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.

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

جدول ۲


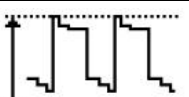
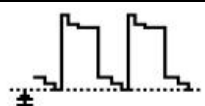
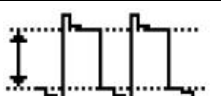
پارامترها	توضیحات
$X_1$	زمان خط مکان‌نمایی که در سمت چپ نسبت به صفر قرار دارد








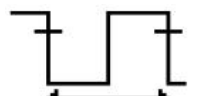
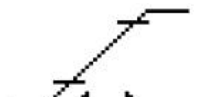
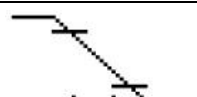
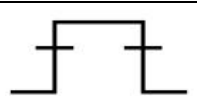
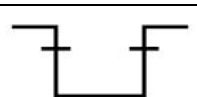
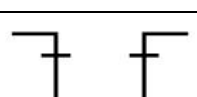
$X_2$	زمان خط مکان‌نمایی که در سمت راست نسبت به صفر قرار دارد
$X_1X_2$	اختلاف بین $X_1$ و $X_2$
$\Delta(\mu s)$	اختلاف زمانی بین $X_1$ و $X_2$ بر حسب ثانیه
F (Hz)	فرکانس موجی که بین خطوط مکان‌نما قرار دارد

Menu: 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 برحسب نمودار دیگر روی صفحه نمایش رسم می‌شود. برای مشاهده XY، ابتدا باید  $CH_1$  و  $CH_2$  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

پارامتر	نماد	توضیحات
$V_{pp}$		تفاوت بین مثبت‌ترین و منفی‌ترین نقاط سیگنال
$V_{max}$		پیک مثبت ولتاژ
$V_{min}$		پیک منفی ولتاژ
$V_{amp}$		تفاوت طولانی‌ترین ولتاژ مثبت و طولانی‌ترین ولتاژ منفی

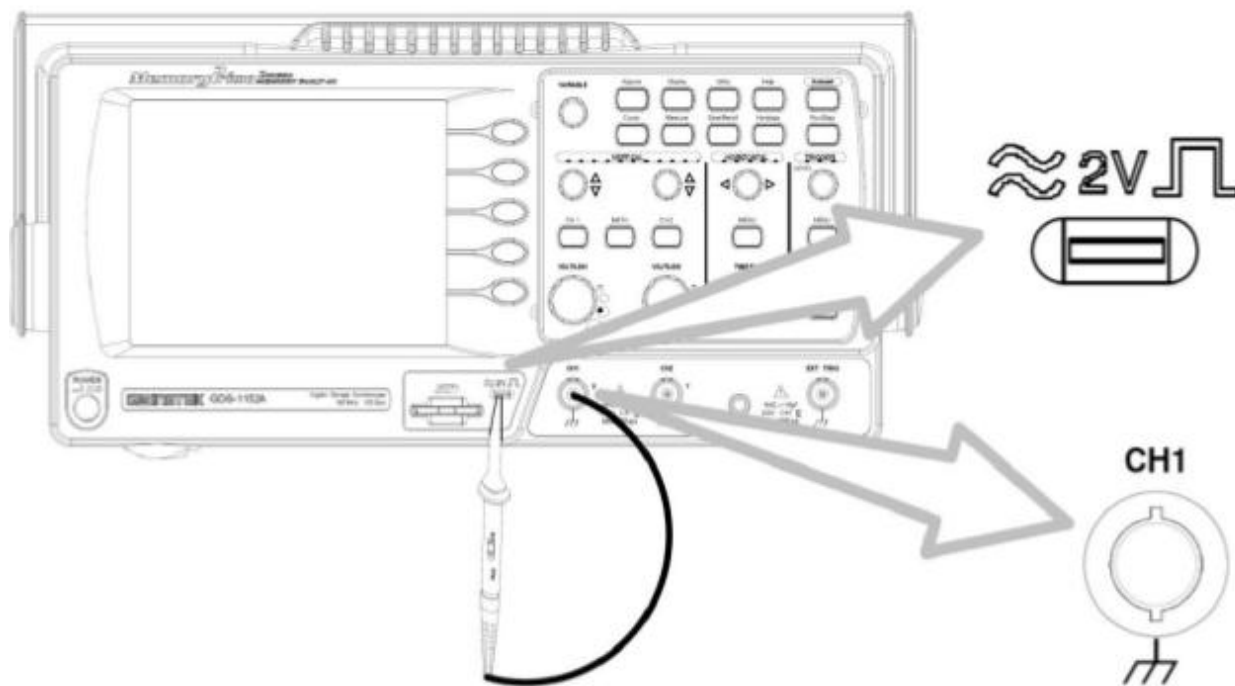


طولانی ترین ولتاژ مثبت		$V_{hi}$
طولانی ترین ولتاژ منفی		$V_{lo}$
میانگین ولتاژ در اولین سیکل		$V_{avg}$
مقدار موثر ولتاژ		$V_{rms}$
فرکانس شکل موج		Freq
مدت زمان یک سیکل شکل موج		Period
زمان صعود پالس ۹۰٪		Risetime
زمان نزول پالس ۹۰٪		Falltime
مقدار مثبت عرض پالس		+Width
مقدار منفی عرض پالس		-Width
سیکل کاری		Duty Cycle

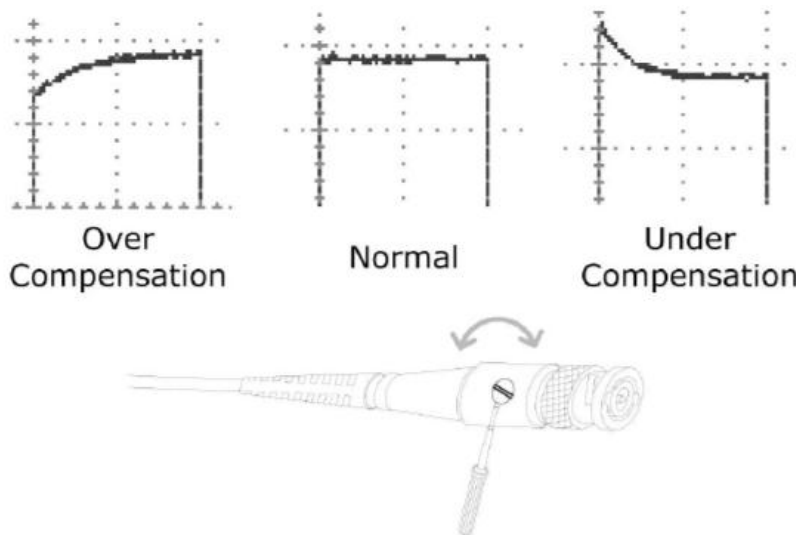
۸- پروب های اسیلوسکوپ و نحوه استفاده از آن



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 زائده‌ی فلزی که روی دستگاه برای تست پروب تعبیه 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 تعبیه 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.



شکل ۲۶

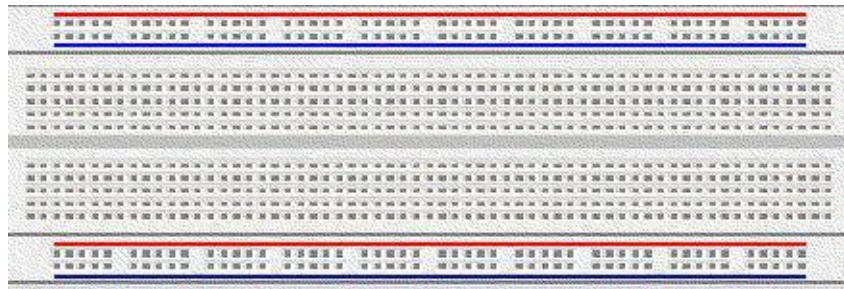


شکل ۲۷

## ۹- بردبورد و نحوه استفاده از آن

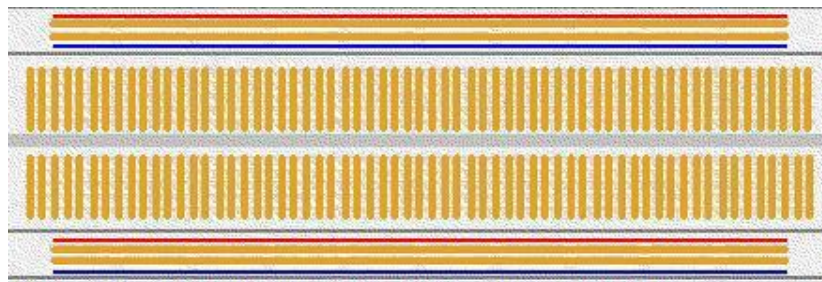
لایه‌های داخلی بردبورد از نوارهای فلزی، معمولاً مسی، تشکیل شده است. برای استفاده از بردبورد کافیست پایه‌های قطعات را درون شکاف مورد نظر فرو ببریم، به این شکافها اصطلاحاً سوکت می‌گویند. این سوکتها طوری طراحی شده‌اند که قطعات را کاملاً محکم در خود بگیرند و هر حفره یا همان سوکت پایه قطعه را به لایه مسی 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 پایه‌هایشان با هم تشکیل گره بدهند. برای این کار کافیست پایه آنها را در حفره‌هایی که همگی در راستای لایه مسی مشترکی هستند، قرار دهیم.

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



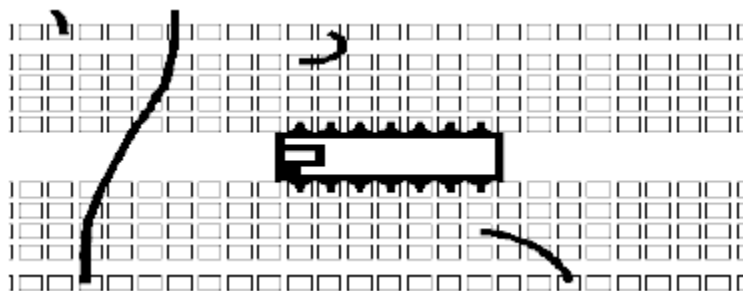
شکل ۲۸

اتصالات این بوردها می‌تواند دارای ساختارهای متفاوتی باشد، اما به طور کلی به یاد داشته باشید که در بردبورهایی 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

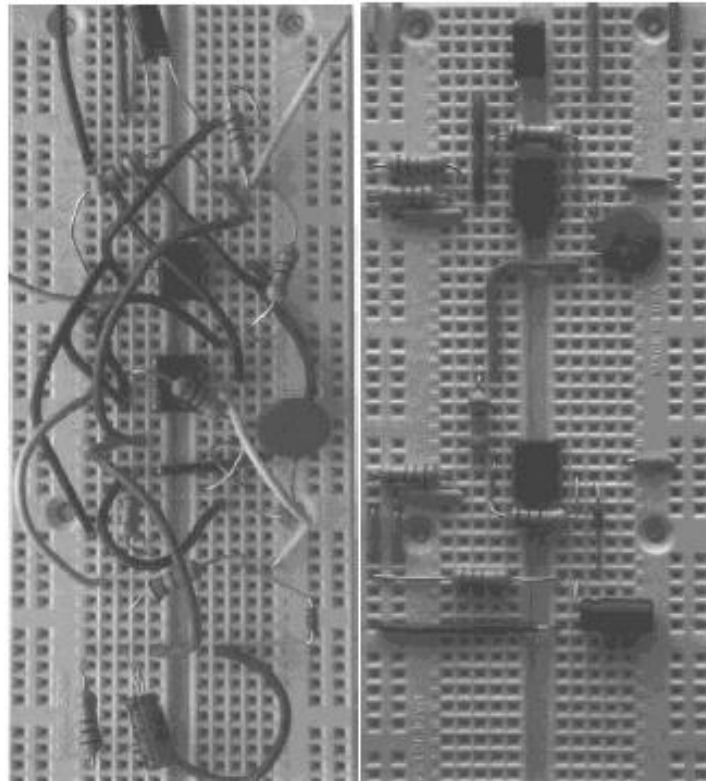
معمولا از دو ردیف بالا و پایین برای اتصالات منابع تغذیه و زمین مدار استفاده می‌شود. توصیه می‌شود برای عملکرد بهتر، مدار مانند شماتیک داده شده در دستورکار، روی بردبورد پیاده‌سازی شود. اگر در آزمایش‌ها مجبور به استفاده از IC شدید، باید آن را مانند شکل ۳۰ بین دو ردیف قرار دهید در غیر این صورت پایه‌های IC به یکدیگر اتصال کوتاه شده و باعث آسیب دیدگی 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 برد قرار داده شده‌اند.







شکل ۳۰



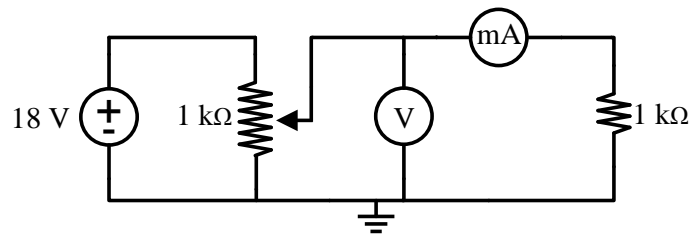
شکل ۳۱

## آزمایش ۲

### بررسی قوانین اهم و کرشهف

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

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

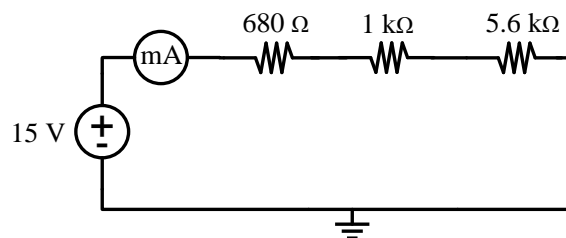


شکل ۱

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 مقاومت‌های مدار را تعیین کنید.

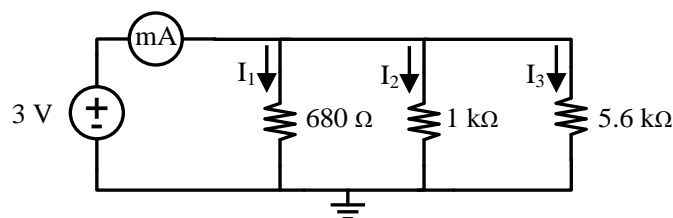
۲- مدار شکل ۲ را ببندید. جریان را با آمپرتر و ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت‌ها را با ولتمتر مشخص کرده و در مورد فرمول زیر (تقسیم ولتاژ) برای هر یک از مقاومت‌ها تحقیق کنید.



شکل ۲

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

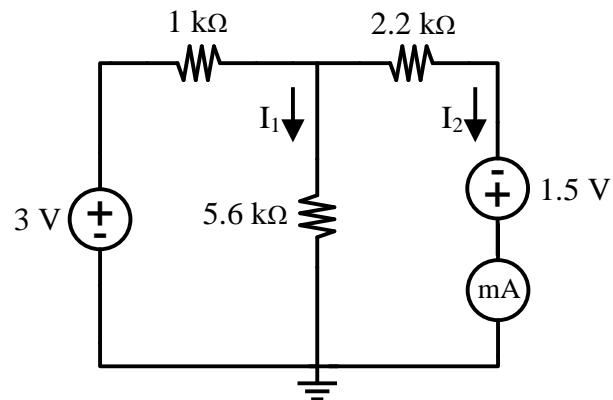
۳- مدار شکل ۳ را ببندید. جریان را در هر یک از شاخه ها و همچنین شاخه اصلی پیدا کرده و رابطه تقسیم جریان را برای هر یک از شاخه ها تحقیق کنید.





شکل ۳

۴- مدار شکل ۴ را ببندید. جریانهای  $I_1$  و  $I_2$  را یادداشت نمایید. سپس یک منبع  $1.5$  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



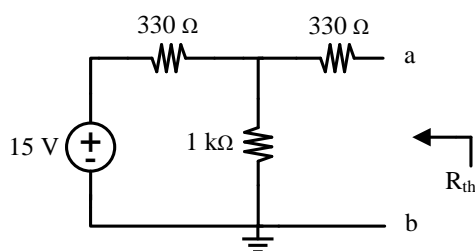
## آزمایش ۳

### بررسی مدار معادل تونن و نورتن

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

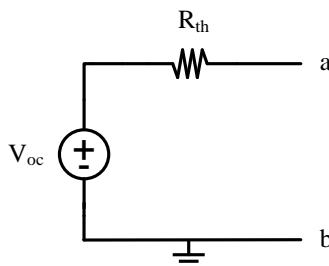
پیش گزارش ۱: در مدار شکل ۱ مقاومت تونن دیده شده از دو سر a و b را محاسبه کنید؟

۱- مدار شکل ۱ را ببندید. با اتصال کوتاه کردن دو نقطه a و b جریان  $I_{sc}$  (جریان اتصال کوتاه بین دو نقطه a و b) را اندازه گیری 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

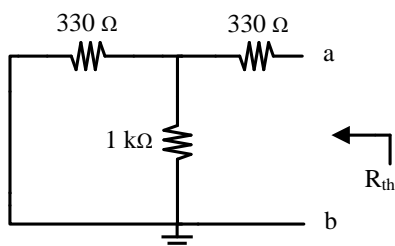
۲- حال مدار شکل ۲ را با توجه به مقادیر بدست آمده از مرحله ۱ ببندید. (برای جایگزینی  $R_{th}$  در مدار از پتانسیومتر استفاده کنید) مجدداً مقادیر  $I_{sc}$  و  $V_{oc}$  را بدست آورید و سپس با اعداد قبلی مقایسه نمایید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟ بنویسید.



شکل ۲



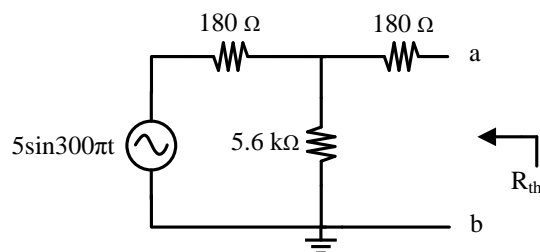
۳- منبع مدار شکل ۱ را غیرفعال کنید. توسط اهمتر دیجیتالی مقاومت  $R_{th}$  در مدار شماره ۳ را اندازه گیری و مقدار آن را یادداشت کنید. سپس نتیجه را با آزمایشهای قبلی مقایسه کرده، علت اختلاف احتمالی را بنویسید.



شکل ۳

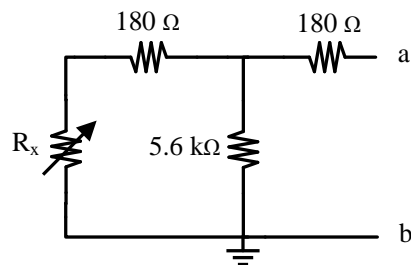
پیش گزارش ۲: در مدار شکل ۴ مقاومت تونن دیده شده از دو سر  $a$  و  $b$  را محاسبه کنید؟

۴- مدار شکل ۴ را ببندید. مراحل ۱ و ۲ و ۳ را در مورد این شکل مجدداً آزمایش نمایید. مشاهده می کنید که در این حالت نتایج آزمایشها 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 ببندید. 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 اندازه گیری کرده و در مورد آن مختصراً توضیح دهید.

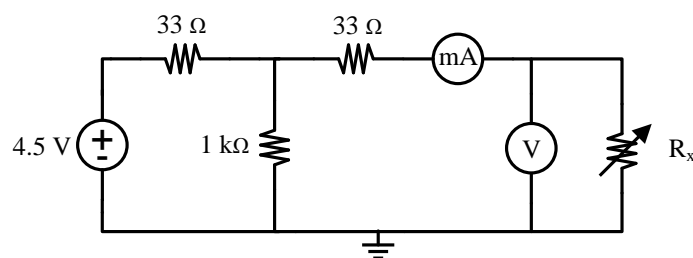


شکل ۵

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

۶- (قضیه انتقال حداکثر توان): مدار شکل ۶ را ببینید. 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 نمائید. در صورتی که اختلافی مشاهده می کنید 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

#### ۴-۱ ایجاد پروژه و ترسیم مدار

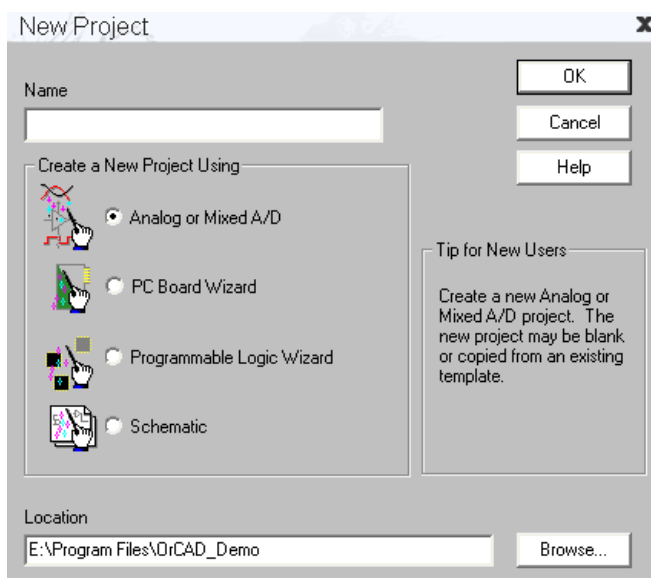
پس از نصب نرم افزار OrCAD می‌توانید از آدرس زیر برنامه را اجرا کنید:

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 Location آدرس دایرکتوری مورد نظر را برای ذخیره پروژه وارد کنید. در قسمت میانی Create a New Project Using چهار گزینه برای انتخاب نوع پروژه وجود دارد:

##### ۱- Analog or Mixed A/D

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.



##### ۲- PC Board Wizard

امکان رسم مدار و ایجاد PCB

##### ۳- Programmable Logic Wizard

طراحی مدار با CPLD یا FPGA

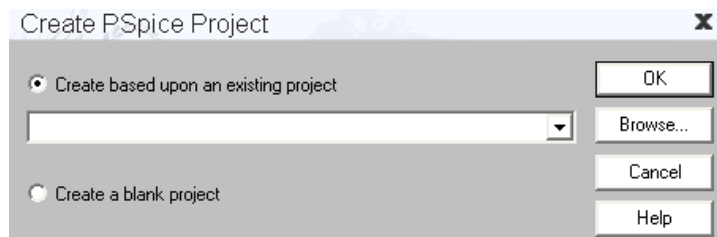
##### ۴- Schematic

امکان رسم مدار بدون تحلیل و شبیه سازی



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

#### ۱- Create based upon an existing project

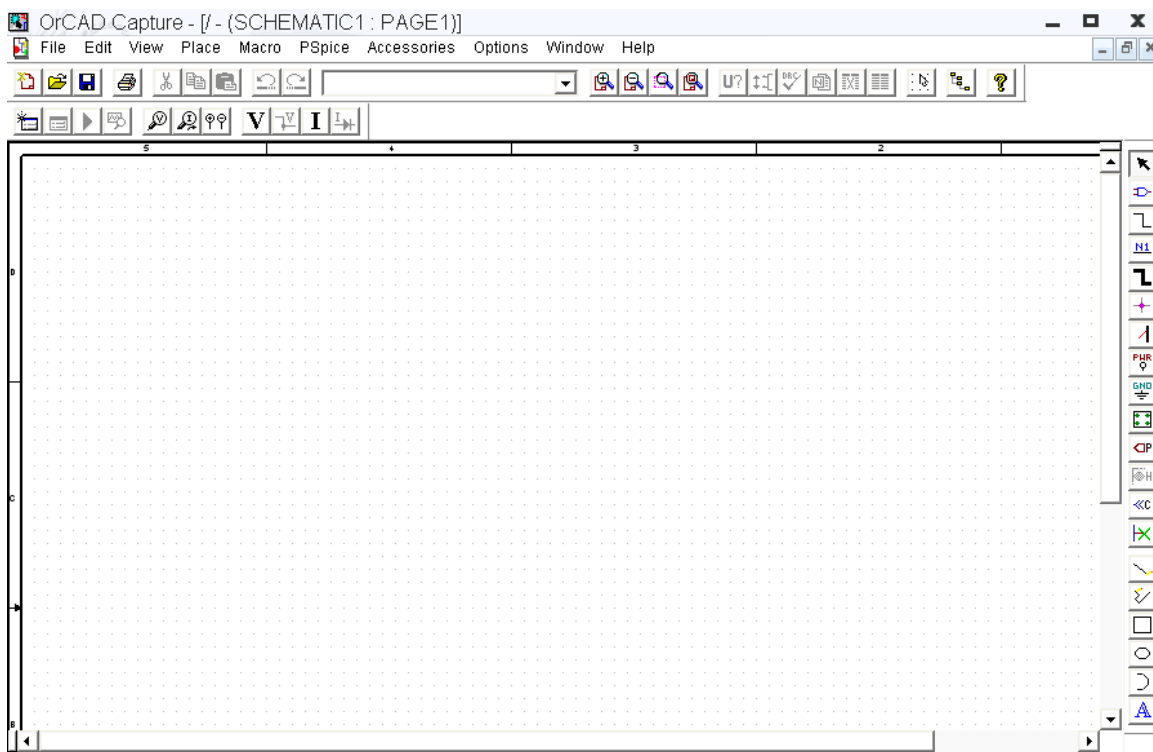


این گزینه پروژه ای برای مدارهای سلسله مراتبی که شامل چند صفحه اند براساس یک پروژه از قبل تعریف شده ایجاد می کند که فعلا به بحث ما مربوط نمی شود.

#### ۲- Create a blank project

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

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








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

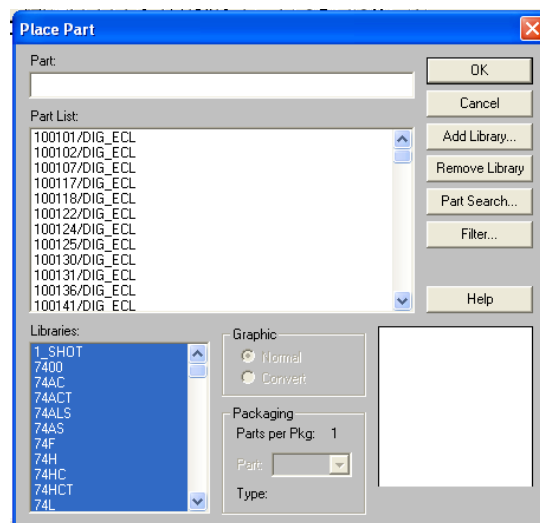
۱- جایگذاری قطعات در محیط شماتیک

۲- سیم کشی مدار

۳- نصب گره زمین

۴- شماره گذاری گره ها

برای جایگذاری قطعات در محیط شماتیک می توان 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 می توان کتابخانه جدید را اضافه کرد. و با تایپ نام قطعه در قسمت Part نیز می توان به طور مستقیم به قطعه دسترسی پیدا کرد.



تایپ نام در قسمت Place

البته این کار را می توان از طریق

Part در صفحه شماتیک مانند شکل زیر انجام داد.



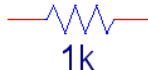
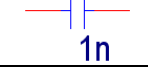
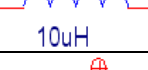

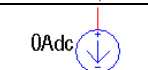
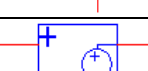

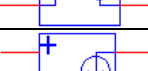
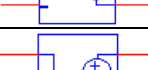
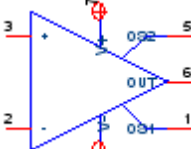
برای قرینه کردن قطعه نسبت به محورهای عمودی و افقی می توان از کلیدهای Ctrl+R استفاده کرد. برای سیم کشی مدار نیز می توان روی نماد (  $\overline{\text{L}}$  ) کلیک نمود یا دکمه (W) روی کیبورد را فشار داد تا اشاره گر ماوس به صورت نماد (+) ظاهر شود. حال می توان با بردن ماوس به ابتدا یا انتهای قطعات آنها را 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 را




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


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 می توان از نمادهای روبرو استفاده کرد. فقط دقت داشته باشید که بین مقدار و نماد فاصله ای نباشد. برای تغییر نام قطعه نیز مانند حالت قبل عمل می کنیم اما به جای مقدار قطعه بر روی نام آن دابل کلیک می کنیم.

قطعات مورد نیاز در شبیه سازی 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 Ground 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 برده 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.

OrCAD 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 کلیک کنید (یا روی نماد  کلیک کنید) N1 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 نشوید.





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

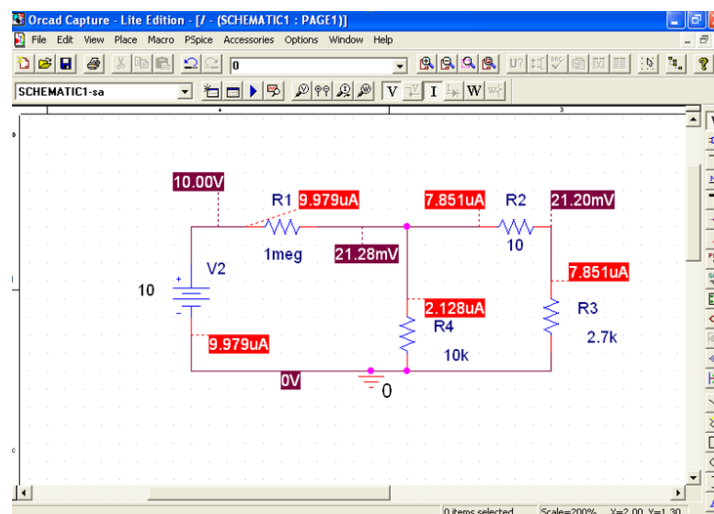


## ۴-۲ تحلیل نقطه کار DC (Bias Point):

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 Profile و یا  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 Edit Simulation Profile و یا  کلیک کنید و در قسمت Analysis type نوع آنالیز مدار را که در اینجا Bias Point می‌باشد را مشخص کنید. با این کار پنجره ای 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.



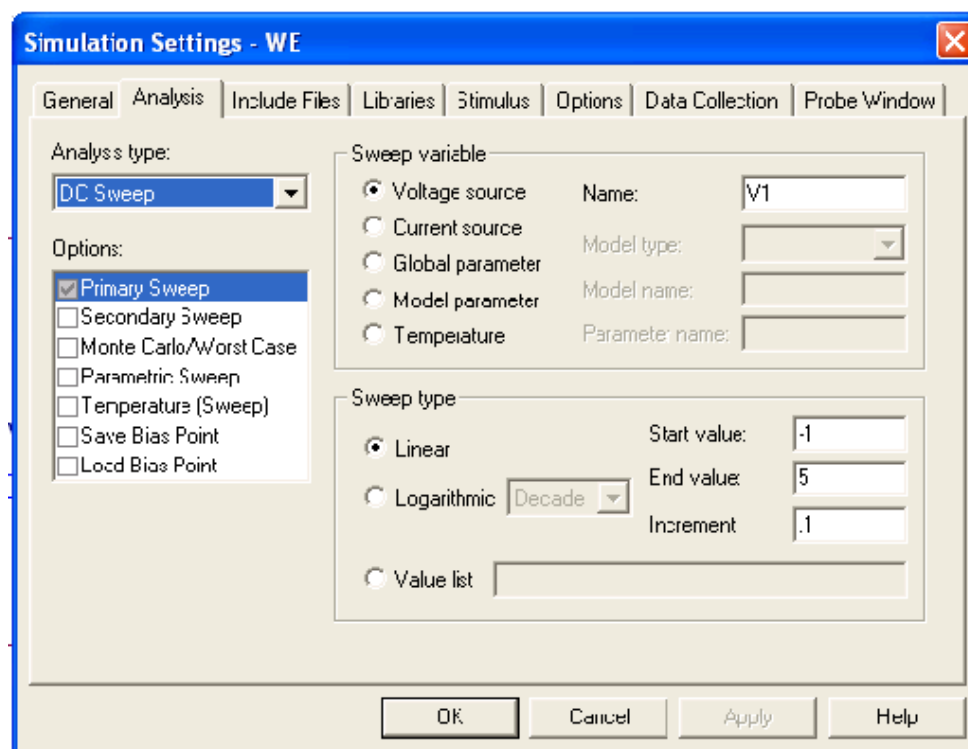


برای مرتب کردن مقادیر می‌توانید با اشاره گر ماوس، آنها را به مکان مورد نظر منتقل کنید.

### ۳-۴ تحلیل جاروب DC (DC Sweep)

تحلیل DC Sweep 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 المانهای 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 احتمالا به این دلیل است که قبل از DC Sweep تحلیل Bias Point را اجرا کرده‌اید و این نتایج مربوط به آن تحلیل می‌باشد.



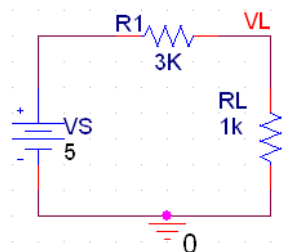
در قسمت Voltage source نام منبع ولتاژ را می‌نویسیم. در Start value ولتاژ اولیه و در End value ولتاژ نهایی را مشخص می‌کنیم. Increment نیز مقدار گامها را مشخص می‌کند. Ok را بزنید و دکمه (▶) را



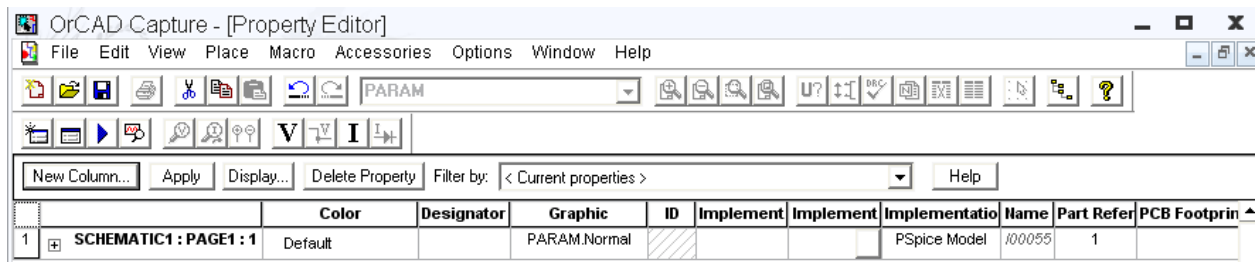
فشار دهید. در صفحه Schematics باز شده از منوی Trace و با استفاده از گزینه Add Trace می‌توان ولتاژها، جریانها و توانهای المانهای مختلف مدار را به ازای تغییرات ولتاژ ورودی مشاهده کرد.

همچنین با استفاده از این تحلیل می‌توان دو پارامتر مدار را همزمان تغییر داد و خروجی را به ازای این تغییرات مشاهده کرد. فقط کافسیت 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 ماکزیمم 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.

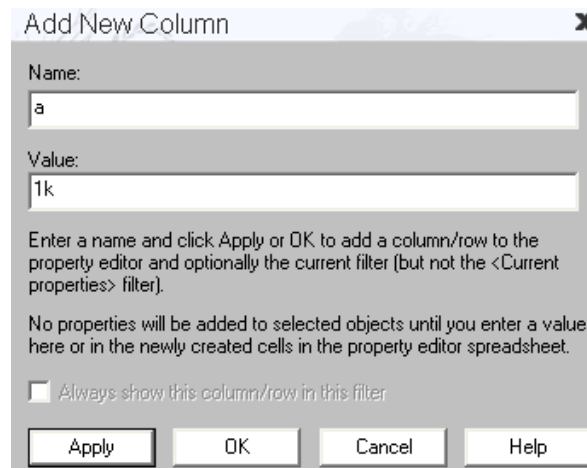


برای این کار باید ابتدا  $R_L$  را به صورت پارامتری تعریف کنیم. برای تعریف پارامتری  $R_L$  روی مقدار آن دابل کلیک کرده و آن را به  $\{a\}$  تغییر می‌دهیم. در قسمت بعد باید پارامتر  $a$  تعریف شود برای این کار در قسمت Part Place عبارت PARAM را تایپ می‌کنیم تا شماتیک PARAMETERS: ظاهر شود بعد آن را بالای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

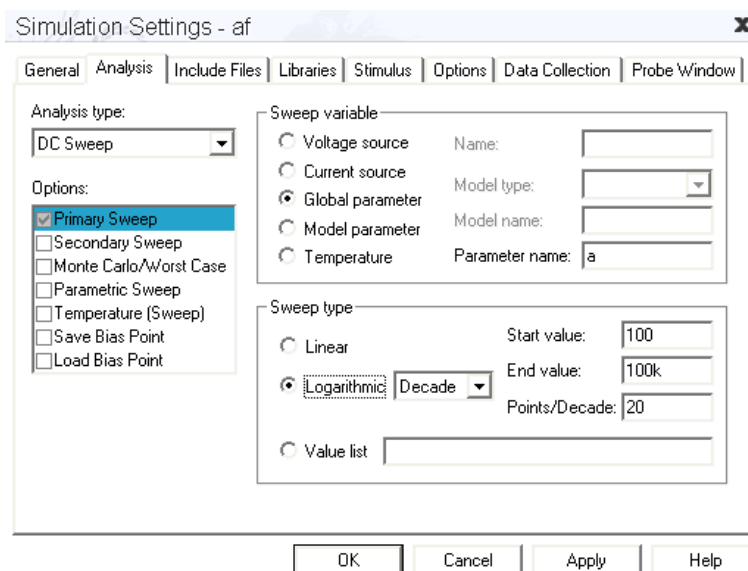




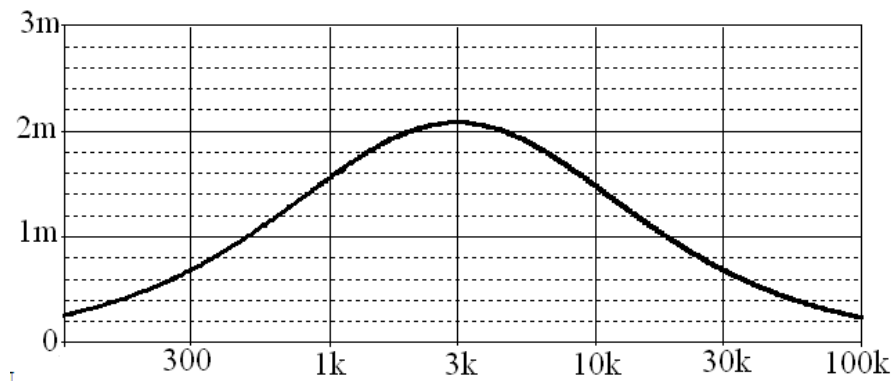
بعد New Column را زده و پنجره ای را که باز می شود به صورت زیر پر می کنیم. در قسمت Name نام پارامتر و در قسمت Value مقدار آن را قرار می دهیم بعد زدن OK پارامتر a تعریف می شود و گزینه ای به صورت در قسمت  بالا ظاهر می شود.



در قسمت Analysis type نوع آنالیز مدار را DC Sweep انتخاب می کنیم و در Sweep Variable قسمت Global Parameter را انتخاب می کنیم. و مقادیر را به صورت زیر پر می کنیم.



بعد از Run کردن مدار برای دیدن ماکزیمم توان انتقالی به ترتیب عبارت  $V_L \cdot V_L / a$  را انتخاب کنید. با این کار شکل موج خروجی (ولتاژ خروجی به ازای مقادیر مختلف  $R_L$ ) دیده می شود.



#### ۴-۴ تحلیل حوزه فرکانس (AC Sweep)

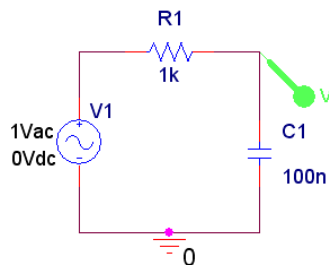
AC Sweep تحلیلی است که در آن ورودی سینوسی با فرکانس متغیر (VAC یا IAC) به مدار داده می‌شود و نمودار تغییرات خروجی بر حسب فرکانس رسم می‌شود. با توجه به اینکه این تحلیل همان تحلیل حالت دائمی سینوسی است، متغیرها به صورت فازور (اعداد مختلط) می‌باشند و امکان محاسبه اندازه، فاز، قسمت حقیقی و قسمت موهومی آنها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

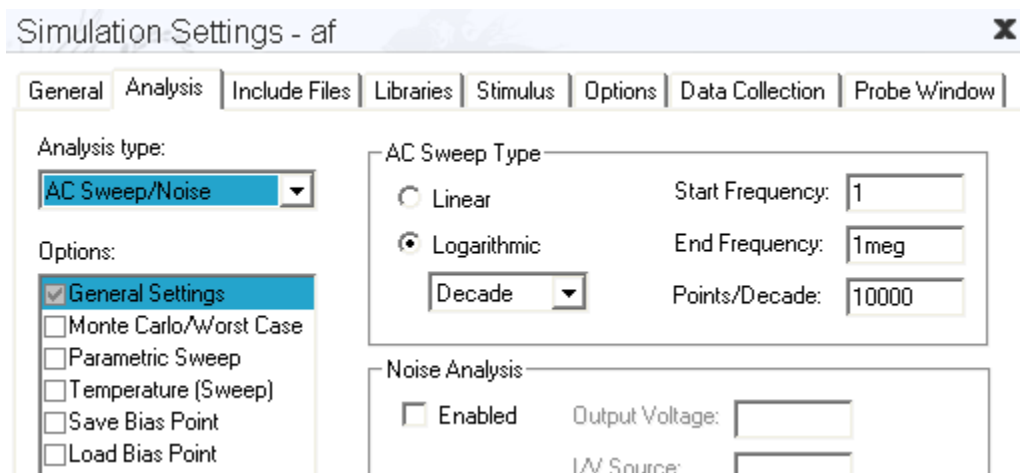
منابع ورودی که در این بخش استفاده می‌شوند VAC و IAC هستند که دو پارامتر اصلی دارند. یکی Vac (Iac) که نشاندهنده دامنه ولتاژ ورودی است و دیگری Vdc (Idc) که نشاندهنده سطح DC (Offset) ولتاژ ورودی است.

در مدار زیر می‌خواهیم پاسخ فرکانسی را بررسی کنیم:

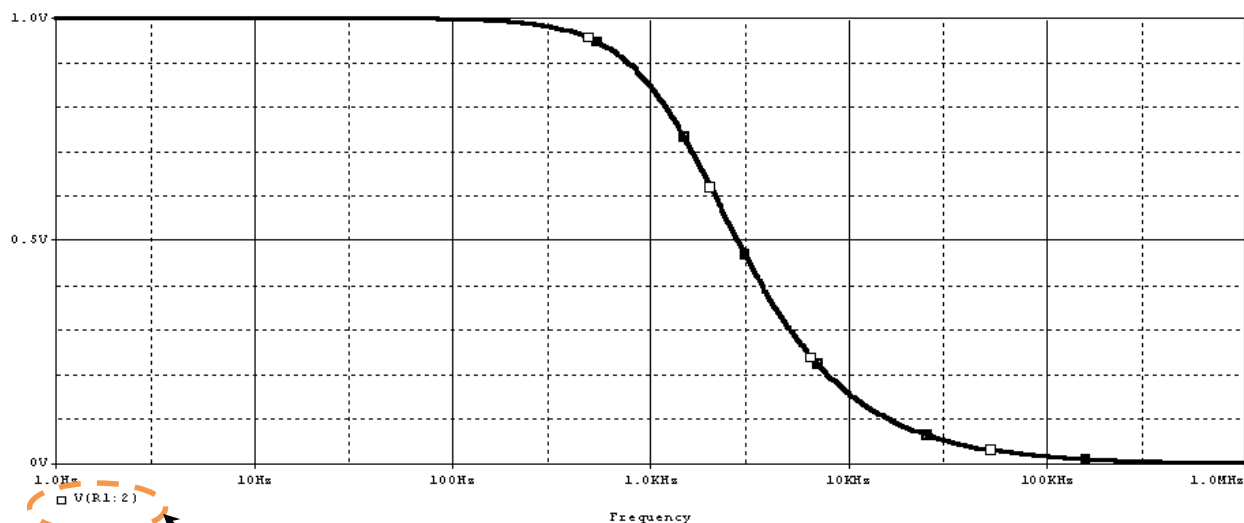




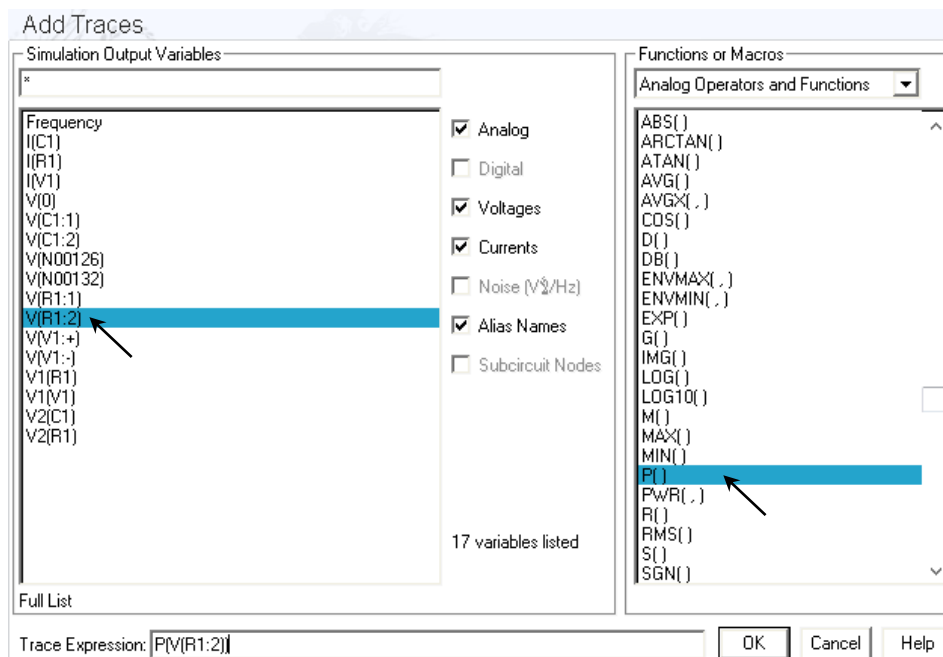
بعد از رسم مدار، برای دیدن شکل موج خروجی باید از پروب استفاده کنیم برای این منظور می توان از پروب ولتاژ  خروجی استفاده کرد. در قسمت Analysis type نوع آنالیز مدار را AC Sweep انتخاب می کنیم. بعد از مقدار دهی Start Frequency و Stop Frequency، در قسمت Points/Decade باید تعداد نقاطی که بین Start Frequency و Stop Frequency می خواهیم مدار به ازای آنها شبیه سازی شود، مشخص کنیم. هر چه این مقدار بزرگتر باشد شکل موج خروجی بهتر دیده می شود. این مقادیر به صورت زیر مقدار دهی شده اند:



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

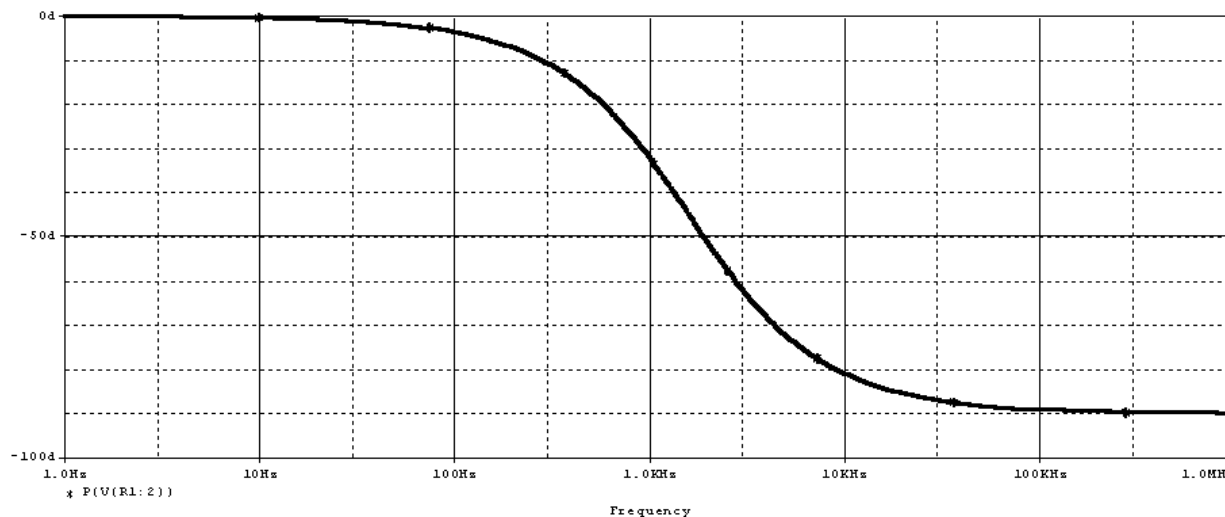


با استفاده از شکل موج خروجی (که به آن پاسخ دامنه خروجی نیز گفته می شود) می توان نوع فیلتر را تشخیص داد. که پاسخ دامنه خروجی نشان می دهد مدار شبیه سازی شده یک فیلتر پایین گذر است. برای رسم پاسخ فاز در صفحه Schematics از منوی Trace گزینه Add Trace را انتخاب کنید. در صفحه باز شده از قسمت سمت راست می توان 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 می کنیم.





با زدن OK پاسخ فاز مدار به صورت زیر بدست می آید:


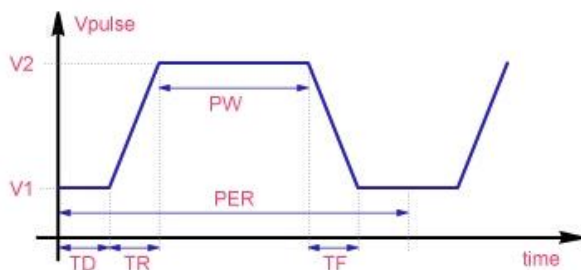

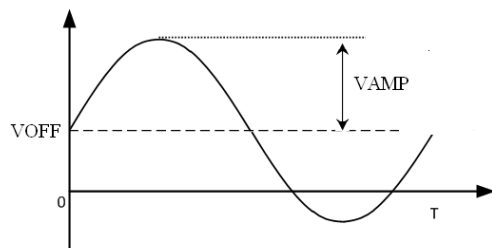

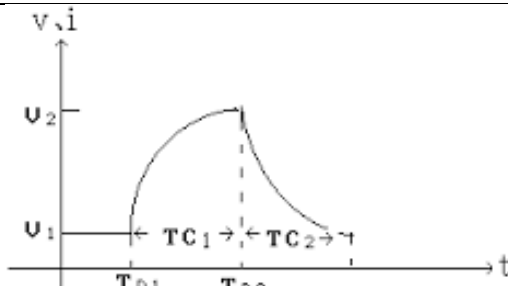


#### ۴-۵ تحلیل حوزه زمان (Time Domain)

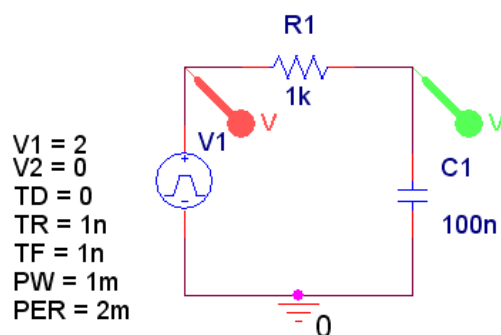
تحلیل Time Domain یا Transient تحلیل مدار در حوزه زمان است که ورودی آن منابع DC یا منابع متغیر با زمان و خروجی آن بر حسب زمان در یک گستره خاص محاسبه می شود. کاربرد عمده این تحلیل رسم شکل موجهای ورودی و خروجی مدارها و محاسبه پاسخ پله مدار و ضربه مدار است.


- همزمان با اجرای این تحلیل Bias Point نیز اجرا می شود که نتایج آن در شماتیک قابل مشاهده است.
  - منابع AC در این تحلیل صفر در نظر گرفته می شوند.
  - 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 می شود در جدول زیر آمده است.



PART	PART NAME	SYMBOL	PICTURE
موج مربعی و مثلثی	VPULSE	$V1 =$ $V2 =$ $TD =$ $TR =$ $TF =$ $PW =$ $PER =$ 	
موج سینوسی	VSIN	$VOFF =$ $VAMPL =$ $FREQ =$ 	
موج نمایی	VEXP	$V1 =$ $V2 =$ $TD1 =$ $TC1 =$ $TD2 =$ $TC2 =$ 	

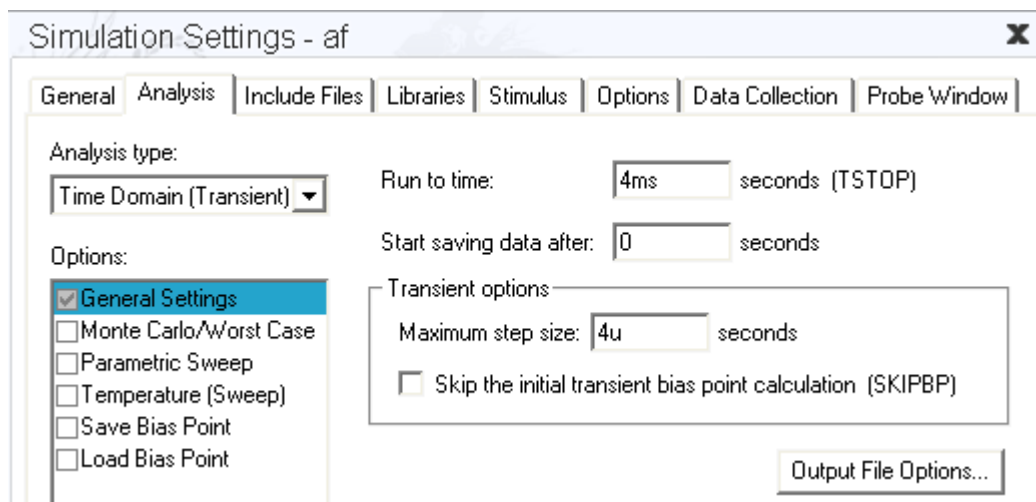
تحلیل زمانی مداری مطابق شکل زیر را انجام می‌دهیم



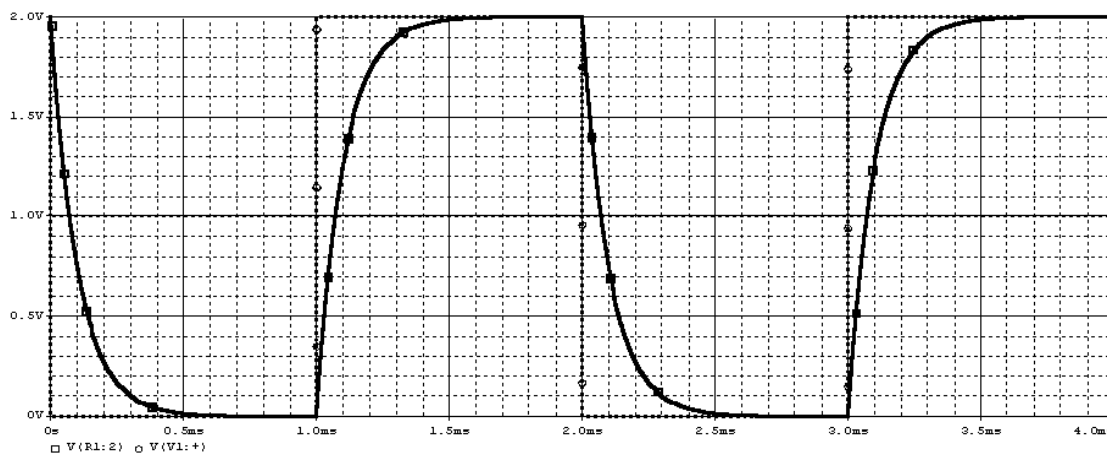
بعد از رسم مدار، برای دیدن شکل موجهای ورودی و خروجی باید از پروب استفاده کنیم برای این منظور می‌توان از  (پروبهای ولتاژ و جریان) در خروجی استفاده کرد. در قسمت Analysis type نوع آنالیز



مدار را Time Domain انتخاب می‌کنیم. در این قسمت دو پارامتر اساسی باید مقداردهی شوند، که عبارتند از Run to Time و Maximum Step Size. Run to Time 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.

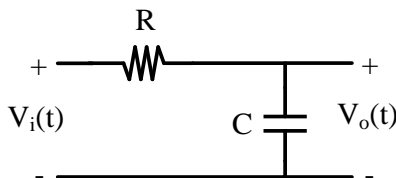
## آزمایش ۵



### پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر

هدف از آزمایش: بررسی مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز و انتگرالگیری در مدار RC پایین گذر

شکل ۱ مدار RC پایین گذر را نشان می دهد.



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، می توان 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 می شود:

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

بطوریکه خواهیم دید،  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right|$  و  $\varphi$  تابع فرکانس  $f$  خواهند بود. منحنی نمایش تغییرات  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right|$  نسبت 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 می گیریم. تابع پاسخ فرکانسی برای این مدار بصورت زیر تعیین می شود:

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



که در آن:

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

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

رابطه نخست نشان می دهد که در فرکانسهای پایین، وقتی که  $\omega RC \ll 1$  است  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| \approx 1$  خواهد بود. همچنین در فرکانسهای بالا، وقتی که  $\omega RC \gg 1$  می باشد،  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| \approx 0$  است. مدار  $RC$  فوق که ولتاژهای با فرکانس پایین را از خود عبور می دهد و ولتاژهای با فرکانس بالا را به شدت تضعیف می نماید به "فیلتر پایین گذر" موسوم است. خاصیت دیگر این مدار اختلاف فازی است که بین ولتاژ خروجی و ولتاژ ورودی ایجاد می نماید. بطوریکه از رابطه دوم (فاز) بر می آید، در فرکانسهای پایین،  $\varphi \approx 0$  بوده و در فرکانسهای بالا،  $\varphi \approx -90^\circ$  خواهد بود.

فرکانس قطع یا فرکانس نصف قدرت که با  $f_c$  نشان داده می شود، فرکانسی است که صافی پایین گذر فرکانسهای بالاتر از آن را به شدت تضعیف می کند. در این فرکانس اندازه توان خروجی به نصف ماکزیمم توان خروجی می رسد (در این مدار ولتاژ خروجی به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  ولتاژ ورودی در فرکانس عبور کاهش می یابد). بنابراین فرکانس قطع برابر است با:

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

### انتگرال گیر RC:

چنانچه مقادیر  $R$  و  $C$  طوری انتخاب شوند که  $\omega RC \gg 1$  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 می توان نوشت:

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

<sup>1</sup> Low Pass Filter



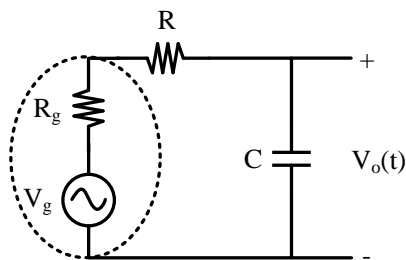
رابطه فوق نشان می دهد که ولتاژ خروجی انتگرال (تابع اولیه) ولتاژ ورودی است. لذا تحت شرایط  $\omega RC \gg 1$  مدار فوق را یک انتگرال گیر می نامند.

**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 ببندید:



شکل ۲

۱- بوسیله نوسان ساز یک موج سینوسی با مقدار دامنه ۴ ولت (پیک تو پیک) به مدار اعمال نمایید و با فرکانسهای که در جدول زیر 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 می دهید، دامنه ولتاژ ورودی تغییر نکند و همواره روی دامنه ۴ ولت ثابت بماند. در جدول زیر سطر مربوط به  $V_o$  محاسبه شده و  $\phi$  محاسبه شده از طریق روابط تئوری را در گزارش کار تحویلی کامل کنید.

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

$\phi$ محاسبه شده	$V_o$ محاسبه شده	$\phi$ اندازه گیری شده	$V_o$ اندازه گیری شده	فرکانس $f$
				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 شبیه سازی در پیش گزارش ۱ را مورد بررسی قرار دهیم. یک مقاومت  $5.6k\Omega$  را به صورت موازی با خازن C در مدار قرار دهید. بوسیله نوسان ساز یک موج سینوسی با دامنه ۴ ولت (پیک تو پیک) به مدار اعمال نمایید. فرکانس نوسان ساز را روی مقادیر  $20kHz$  و  $20Hz$  تنظیم کنید و مقادیر ولتاژ خروجی در هر حالت را یادداشت کنید. به ازای  $f = 20Hz$  ولتاژ خروجی ماکزیمم ( $V_{max}$ ) خواهد بود. سپس با تغییر فرکانس ورودی مدار، ولتاژ خروجی را روی  $0.7V_{max}$  تنظیم کنید. فرکانسی که به ازای آن ولتاژ خروجی  $0.7V_{max}$  می شود، فرکانس قطع خواهد بود. این فرکانس را یادداشت کرده و با نتایج بدست آمده از شبیه سازی 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 شبیه سازی 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 شبیه سازی 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 اسیلسکوپ مشاهده نمایید. فرکانس موج ورودی را در حدود  $100Hz$  انتخاب کنید. با استفاده از مقاومت های  $6.8k\Omega$ ،  $10k\Omega$ ،  $22k\Omega$  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 ۴ ولت به مدار اعمال کنید به فاز ولتاژ خروجی نسبت به ورودی توجه کنید. این اختلاف فاز را چگونه توجیه می کنید؟





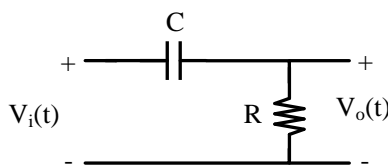
## آزمایش ۶

### پاسخ فرکانسی مدار RC بالاگذر و میان گذر

هدف از آزمایش: بررسی مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز در مدار RC بالاگذر و میان گذر

#### ۶-۱ مدار RC بالا گذر

شکل ۱ مدار RC بالا گذر را نشان می دهد. تابع پاسخ فرکانسی برای این مدار عبارت است از:



شکل ۱

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

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

$$\varphi = \text{Arctg} \left( \frac{1}{\omega RC} \right)$$

در فرکانسهای بالا، وقتی که  $\omega RC \gg 1$  است، خواهیم داشت:  $\varphi \approx 0$  و  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| \approx 1$  و وقتی که  $\omega RC \ll 1$  باشد،

$\varphi \approx 90^\circ$  و  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| \approx 0$  می شود. مدار فوق که فرکانسهای بالا را به خوبی از خود عبور می دهد، به صافی بالاگذر

موسوم است.

در این حالت نیز فرکانس قطع جایی است که ولتاژ خروجی به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  ولتاژ ورودی در فرکانس عبور کاهش می

یابد. بنابراین داریم:



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

### مشتق گیر RC

اگر مقادیر R و C طوری انتخاب شوند که  $\omega RC \ll 1$  باشد، در این صورت  $V_o$  در فرکانس‌های کوچکتر از  $f_c$  بسیار کوچکتر از  $V_i$  (تقریباً صفر) خواهد بود و در این حالت می‌توان نوشت:

$$V_i(t) = \frac{1}{C} \int i(t) dt + V_o(t) \approx \frac{1}{C} \int \frac{V_o(t)}{R} dt \Rightarrow V_o(t) = RC \frac{dV_i(t)}{dt}$$

رابطه بالا نشان می‌دهد که تحت شرایط یاد شده، ولتاژ خروجی مشتق ولتاژ ورودی است. بنابراین تحت این شرایط مدار RC را یک مشتق‌گیر می‌نامند.

**پیش‌گزارش ۱:** مدار مربوط به فیلتر بالا گذر (مقادیر  $R=10k\Omega$  و  $C=100nF$ ) را با استفاده از نرم افزار Orcad شبیه‌سازی 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.

### روش آزمایش:

#### الف - فیلتر بالاگذر RC

۱- با استفاده از مقاومت  $R=10k\Omega$  و  $C=100nF$  یک مدار صافی بالاگذر ببندید. یک موج سینوسی با ولتاژ پیک ۲ ولت به مدار اعمال نموده و برای فرکانس‌های داده شده در جدول ۱ مقدار ولتاژ خروجی و اختلاف فاز را اندازه‌گیری نمایید. دقت داشته باشید که هنگامی که فرکانس نوسان ساز را تغییر می‌دهید دامنه ولتاژ ورودی تغییر نکند و همواره روی ۲ ولت پیک ثابت بماند.

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



۲- در این مرحله قصد داریم تا نتایج بدست آمده از شبیه سازی 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 مقدار دامنه ۴ ولت (پیک تو پیک) به مدار اعمال نمایید. فرکانس نوسان ساز را روی مقادیر  $20kHz$  و  $20Hz$  تنظیم کنید و مقادیر ولتاژ خروجی در هر حالت را یادداشت کنید. به ازای  $f = 20kHz$  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  $0.7V_{max}$  می شود، فرکانس قطع خواهد بود. این فرکانس را یادداشت کرده و با نتایج بدست آمده از شبیه سازی در پیش گزارش ۱ مقایسه کنید.

پیش گزارش ۲: در مدار مشتق گیر، اگر یک موج مربعی با فرکانس  $10kHz$  به ورودی اعمال شود، با داشتن  $R = 100k\Omega$  چه مقداری از  $C$  برای داشتن پالسهای باریک در خروجی کافیست؟ (با استفاده از شبیه سازی در Orcad و تحلیل Time Domain بررسی کنید).

### ب - مدار مشتق گیر RC

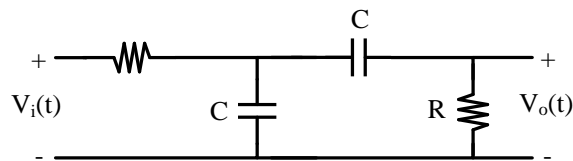
مدار بالاگذری را با مقاومت  $R$  و خازن  $C = 100nF$  بسته و یک موج مربعی با دامنه  $4V_{p-p}$  و فرکانس حدود ۱۰۰ هرتز انتخاب نموده و به مدار اعمال کنید. با استفاده از مقاومت های  $15k\Omega$ ،  $10k\Omega$ ،  $4.7k\Omega$  و  $2.2k\Omega$  (بجای  $R$ ) شکل موج خروجی را در هر حالت مشاهده و به دقت رسم نمایید (دامنه و زمان ها کاملاً مشخص باشند).

در حالتی که به مدار بالاگذر یک موج مربعی اعمال کنیم یک جهشی در ولتاژ خروجی خواهیم داشت، وجود جهش در خروجی را چگونه توجیه می کنید؟ در حالیکه در یک مدار پایین گذر با اعمال یک موج مربعی در خروجی جهش وجود ندارد.

به جای موج مربعی در حالت آخر یک موج سینوسی با همان مشخصات موج مربعی به مدار اعمال کنید. به فاز ولتاژ خروجی نسبت به ورودی توجه کنید. این اختلاف فاز را چگونه توجیه می کنید؟

### ۲-۶ مدار RC میان گذر

شکل ۲ ترکیب دو فیلتر پایین گذر و بالاگذر را به طور سری نشان می دهد. 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 است، خواهیم داشت:  $\varphi \approx 0$  و  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| \approx 1$  و وقتی که باشد،  $\varphi \approx 90^\circ$  و می شود

در فرکانسهای بالا  $\omega RC \gg 1$  و همچنین در فرکانسهای پایین  $\omega RC \ll 1$  خواهیم داشت:  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| \approx 0$ ، 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 میان گذر<sup>۲</sup> موسوم است.

فرکانسی را که در آن خروجی به ماکزیمم خود می رسد فرکانس مرکزی<sup>۳</sup> یا میانی می نامند و با  $f_0$  نشان می دهند. اختلاف بین دو فرکانس که در آنها خروجی به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  برابر ماکزیمم خودش می رسد پهنای باند<sup>۴</sup> نامیده می شود (در این دو فرکانس توان خروجی  $\frac{1}{2}$  توان ماکزیمم خروجی است).

محاسبه ی فرکانس مرکزی  $f_0$ :

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

<sup>2</sup> Band Pass Filter

<sup>3</sup> Central Frequency

<sup>4</sup> Band Width



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

محاسبه ی پهنای باند (BW):

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

$$BW = f_1 - f_2$$

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

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

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

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

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

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

روش آزمایش:

الف - صافی میان گذر RC :

با استفاده از مقاومت  $R=10k\Omega$  و  $C=100nF$  مدار میان گذری بسازید. یک موج سینوسی با ولتاژ ماکزیمم ۲ ولت به مدار اعمال نموده و برای فرکانس های داده شده در جدول ۲ مقدار ولتاژ خروجی و اختلاف فاز را اندازه گیری کنید. دقت داشته باشید که هنگامی که فرکانس نوسان ساز را تغییر می دهید، ولتاژ ورودی تغییر نکند و همواره روی ۲ ولت ثابت بماند.

-فرکانس قطع و پهنای 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 بالاگذر عوض شود، آیا در مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز اثر خواهد داشت؟ (با استفاده از شبیه سازی در Orcad و تحلیل AC Sweep بررسی کنید).

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 فرکانس های خیلی بالا و خیلی پایین:

به مدار میان گذر ساخته شده در قسمت الف موج مربعی با دامنه  $4V_{p-p}$  اعمال نمایید. شکل ولتاژ خروجی را برای فرکانس های  $30Hz$ ،  $150Hz$  و  $2kHz$  رسم نمایید. شکل ولتاژ خروجی را چگونه توجیه می نمایید؟

آیا می توان از یک فیلتر میان گذر به عنوان یک مدار انتگرال گیر یا مشتق گیر استفاده نمود؟ در صورت امکان محدوده ای از فرکانس را تعیین کنید که چنین عملی صورت گیرد؟

جدول ۱

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





جدول ۲

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



## آزمایش ۷

### پاسخ فرکانسی مدار RLC سری

هدف از آزمایش: بررسی مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز در مدار RLC سری

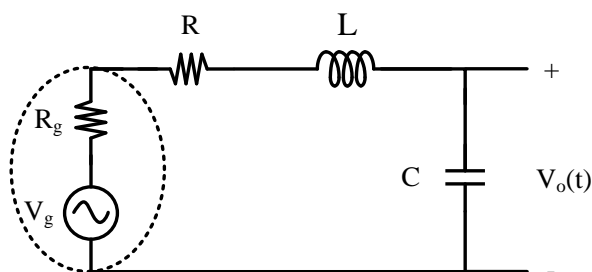
مدار RLC را می توان برای نمایش هر نوع شبکه بکار برد زیرا کلیه شبکه ها ترکیبی از مقاومت، خازن و القاگر می باشند. ترکیب سری یا موازی اجزاء R، L و C اصولاً دارای یک پاسخ طبیعی یا فرکانس طبیعی معین می باشد. هنگامی که این مدارها با یک منبع سینوسی که فرکانس آن برابر و یا نزدیک به فرکانس طبیعی مدار است، تحریک می شوند، اثر جالبی از آنها بروز می کند که به "تشدید" موسوم است.

در این آزمایش مدار تشدید RLC سری را مورد بررسی قرار می دهیم.

#### ۱- خروجی: ولتاژ خازن

شکل ۱ مدار سری RLC را نشان می دهد که خروجی از دو سر خازن گرفته شده است. هنگامی که فرکانس نوسان ساز تغییر می کند و ولتاژ آن ثابت می ماند، پاسخ مدار و یا جریان I تغییر می کند. امپدانس مدار که از دو سر منبع دیده می شود برابر است با:

$$Z = R_t + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)$$



شکل ۱

که در آن  $R_t = R_g + R$  مقاومت کل مدار است. بررسی رابطه بالا نشان می دهد که در فرکانس

$$\omega_s = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad \Rightarrow \quad f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



امپدانس مدار به حداقل مقدار خود یعنی:  $Z = Z_s = R_t$  کاهش می یابد. بدیهی است که در این فرکانس، جریان مدار ماکزیمم خواهد بود و مقدار آن برابر است با:

$$I = I_s = \frac{V_g}{R_t}$$

فرکانس  $f_s$  که در آن مدار شکل ۱ بصورت یک مقاومت خالص در می آید به فرکانس تشدید موسوم است. نکته جالب در فرکانس تشدید، رابطه بین ولتاژ دو سر خازن و دو سر القاگر، با ولتاژ منبع می باشد که عبارت است از:

$$|V_{CS}| = \frac{1}{\omega_s C} I_s = \frac{1}{\omega_s C} \frac{V_g}{R_t} = Q_s V_g$$

$$|V_{LS}| = \omega_s L I_s = \omega_s L \frac{V_g}{R_t} = Q_s V_g$$

که در آن  $Q_s = \frac{\omega_s L}{R_t} = \frac{1}{\omega_s C R_t}$ ، "ضریب کیفیت" مدار سری در فرکانس تشدید است. روابط بالا نشان می دهند که دامنه ولتاژ دو سر خازن و سلف در فرکانس تشدید برابر است و در صورتیکه  $Q_s > 1$  باشد (که غالبا چنین است)، ولتاژ دو سر خازن و سلف،  $Q_s$  برابر ولتاژ منبع است. به این ترتیب مدار فوق بصورت یک تقویت کننده ولتاژ عمل می کند.

### مشخصه پاسخ فرکانسی :

با توجه به مدار شکل ۱ خواهیم داشت :

$$A_v = \frac{V_o}{V_g} = \frac{1}{1 - LC\omega^2 + jR_t C\omega}$$

$$|A_v| = \frac{1}{\sqrt{(1 - LC\omega^2)^2 + R_t^2 C^2 \omega^2}}$$

$$\varphi = \text{Arctg}\left(\frac{R_t C \omega}{LC\omega^2 - 1}\right)$$



در فرکانسهای بسیار پایین  $|A_v| \approx 1$ ،  $\phi \approx 0$  می باشد. همانطور که قبلاً گفته شد در صورتی که  $Q_s > 1$  باشد، مدار بصورت یک تقویت کننده عمل می نماید، لذا در فرکانس مشخصی باید ولتاژ خازن به ماکزیمم مقدار برسد. برای محاسبه مقدار ماکزیمم ولتاژ خازن از  $|A_v|$  نسبت به  $\omega$  مشتق می گیریم:

$$|A_v|' = \frac{d|A_v|}{d\omega} = 0 \Rightarrow \omega_1 = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_t^2}{2L^2}} \Rightarrow f_1 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_t^2}{2L^2}}$$

$$f_1 < f_2$$

$$|A_v|_{\max} = \frac{Q_s}{\sqrt{1 - \frac{R_t^2}{4L}}}$$

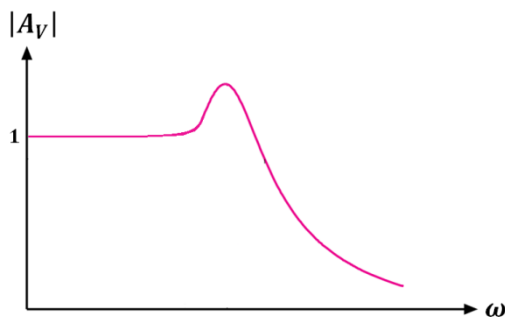
با شرط  $Q_s > 1$  :

$$R_t^2 < \frac{L}{C}$$

ولی شرط وجود نقطه ماکزیمم برای ولتاژ خازن عبارتست از :

$$R_t^2 < \frac{2L}{C}$$

مشخصه پاسخ دامنه برای ولتاژ خازن به صورت یک فیلتر پایین گذر می باشد و در بعضی حالتها که شرط بالا صدق می کند دارای یک ماکزیمم نیز خواهد بود. (مطابق شکل ۲)

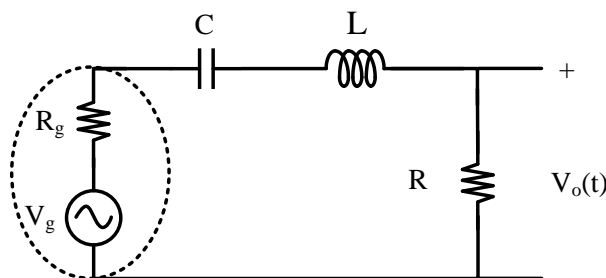


شکل ۲

۲- خروجی : ولتاژ مقاومت



معمولا منظور از پاسخ مدار RLC سری، ولتاژ دو سر مقاومت است. شکل ۳ را در نظر بگیرید. پاسخ فرکانسی مدار عبارتست از:



شکل ۳

( در محاسبات زیر مقاومت  $R_g$  در نظر گرفته نشده است).

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R}{R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)}$$

که می توان آن را بصورت زیر نوشت:

$$A_v = \frac{1}{1 + jQ_s\left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right)} = |A_v| \angle \varphi$$

بطوری که :

$$|A_v| = \frac{1}{\sqrt{1 + Q_s^2\left(\frac{\omega}{\omega_s} - \frac{\omega_s}{\omega}\right)^2}}$$

$$\varphi = \text{Arctg} Q_s \left( \frac{\omega_s}{\omega} - \frac{\omega}{\omega_s} \right)$$

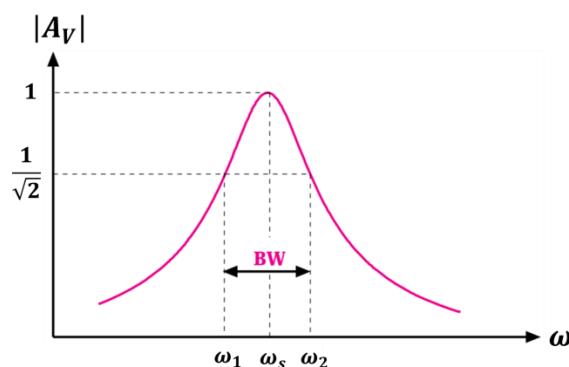
روابط بالا نشان می دهند که وقتی فرکانس منبع برابر  $\omega = \omega_s$  باشد،  $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = 1$  و برای فرکانسهای  $\omega \ll \omega_s$  و

$\omega \gg \omega_s$  و با فرض  $Q_s > 1$  ولتاژ خروجی تقریبا صفر است ( $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = 0$ ). شکل ۴ منحنی پاسخ دامنه را نشان



می‌دهد. نقاط  $\omega_s$ ،  $\omega_1$  و  $\omega_2$  در این شکل حائز اهمیت زیادی هستند. نقاط  $\omega_1$  و  $\omega_2$  به فرکانسهای نصف قدرت یا فرکانسهای قطع موسومند. (فرکانسهایی که در آنها ولتاژ خروجی  $V_o$ ، به  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  ولتاژ ماکزیمم خود ( $V_i$ ) می‌رسد). تفاضل  $\omega_1$  و  $\omega_2$  به "عرض باند" موسوم است که با  $BW$  نشان داده می‌شود. برای فرکانسهای نزدیک به فرکانس تشدید، می‌توان نشان داد:

$$BW = \omega_2 - \omega_1 \approx \frac{R}{L}$$



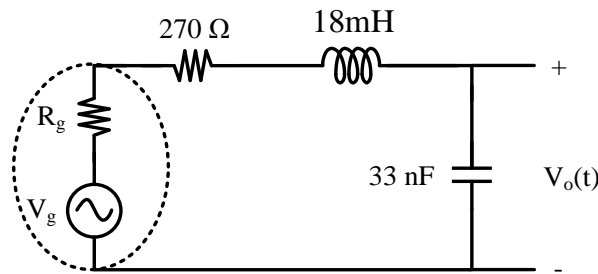
شکل ۴

به این ترتیب مدار RLC سری که فرکانسهای میانی  $\omega_1$  تا  $\omega_2$  را براحتی از خود عبور داده و فرکانسهای دیگر را به شدت تضعیف می‌کند، به صافی "میان گذر" موسوم است. رابطه فاز برای مدار RLC سری نیز بیان می‌کند که برای  $\omega = \omega_s$ ، اختلاف فاز بین دو ولتاژ ورودی و ولتاژ خروجی صفر ( $\varphi = 0$ ) و برای  $\omega \ll \omega_s$ ،  $\varphi \approx \frac{\pi}{2}$  و برای  $\omega \gg \omega_s$ ،  $\varphi \approx -\frac{\pi}{2}$  است.

**پیش گزارش ۱:** مدار مربوط به RLC سری با مقادیر ذکر شده در شکل ۵ را با استفاده از نرم افزار Orcad شبیه‌سازی کنید و مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز را با استفاده از تحلیل AC Sweep بدست آورید و از روی پاسخ فاز، فرکانسهای قطع را تعیین کنید.

### روش آزمایش:

۱- پاسخ فرکانسی دو سر خازن (از نوسان ساز با امپدانس زیاد استفاده کنید).



شکل ۵

مداری مطابق شکل ۵ بسته و یک موج سینوسی با مقدار ماکزیمم ۲ ولت به آن اعمال کنید. حال فرکانس منبع را تغییر داده تا جریان مدار ماکزیمم گردد. در این حالت (حالت تشدید) مدار مقاومتی بوده و اگر سلف  $L$  ایده آل باشد ولتاژ دو سر  $AB$  صفر خواهد شد. ولی چون در عمل سلف ایده آل نیست، ماکزیمم جریان با مینیمم شدن ولتاژ دو سر  $AB$  حاصل می گردد. فرکانس تشدید را با اسیلوسکوپ اندازه گیری نموده و در جدول ۱ مقابل  $f_s$  قرار دهید. برای یافتن  $V_{Cmax}$  می توانید با تغییر فرکانس منبع هر وقت خروجی ماکزیمم شد آن را یادداشت نمایید ( $f_l$ ) سپس با فرکانسهای مشخص شده در جدول آزمایش را ادامه دهید. برای هر فرکانس در جدول ۱،  $\phi$  اختلاف فاز بین  $V_o$  و  $V_g$  را اندازه گیری نموده و در جدول یادداشت نمایید.

-  $Q_s$  را بصورت تئوری و عملی محاسبه نمایید.

- فرکانس قطع مدار را به دست آورید.

جدول ۱

$\phi$ "درجه"	دامنه $V_o$ "ولت"	مقدار فرکانس ( $f$ ) kHz	فرکانس ( $f$ ) kHz
			$f_s - 5$
			$f_s - 3$
			$f_s - 2$
			$f_s - 1$
			$f_l$
			$f_s$
			$f_s + 1$
			$f_s + 2$
			$f_s + 4$
			$f_s + 7$

$f_l$  فرکانسی است که ولتاژ خازن ماکزیمم می شود.

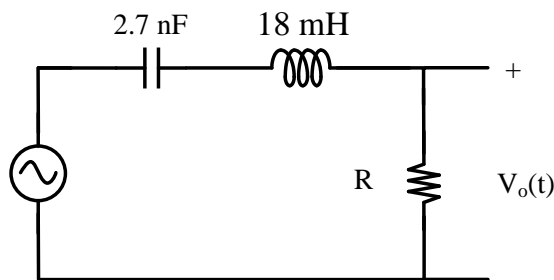


پیش گزارش ۲: در مدار RLC سری، چنانچه ولتاژ خروجی از دو سر القاگر گرفته شود پاسخ دامنه آن چه تفاوتی با حالتی که خروجی از سر خازن گرفته شده است دارد، توضیح دهید؟

پیش گزارش ۳: در شکل ۶ اگر سلف دارای مقاومت بسیار کوچک و غیر قابل نظر کردن باشد، چه تاثیری روی فرکانس تشدید و ضریب کیفیت مدار خواهد داشت. (با استفاده از شبیه سازی در Orcad و تحلیل AC Sweep بررسی کنید).

۲- اثر تغییر مقاومت مدار بر روی  $Q_s$ : (از نوسان ساز با امپدانس کم استفاده کنید)

اکنون مداری مطابق شکل ۶ با مقاومت  $R=1.2k\Omega$  ببندید. در این حالت فرکانس تشدید با ماکزیمم شدن  $V_R$  بدست می آید.



شکل ۶

یک موج سینوسی با مقدار ماکزیمم ۲ ولت به آن اعمال کنید. حال فرکانس منبع را تغییر داده تا ولتاژ خروجی مدار ماکزیمم گردد. فرکانسی که به ازای آن ولتاژ خروجی مدار ماکزیمم می شود، فرکانس تشدید ( $f_s$ ) خواهد بود. فرکانس  $f_s$  و  $V_{Omax}$  را در جدول ۲ یادداشت کنید. همچنین اختلاف فاز در این حالت را با استفاده از اسیلوسکوپ اندازه گیری کرده و در جدول ثبت نمایید. در مرحله بعد هدف بدست آوردن فرکانس های قطع پایین ( $f_L$ ) و بالا ( $f_H$ ) می باشد برای این کار ابتدا مقدار  $0.7V_{Omax}$  را محاسبه کرده و سپس فرکانس هایی که به ازای آن ولتاژ خروجی  $0.7V_{Omax}$  می شود را تعیین می کنیم. برای این کار فرکانس نوسان ساز را یکبار برای فرکانس های کمتر از  $f_s$  تغییر می دهیم تا ولتاژ خروجی به مقدار  $0.7V_{Omax}$  برسد در این حالت فرکانس بدست آمده  $f_L$  خواهد بود برای این حالت اختلاف فاز را اندازه گیری کرده و در جدول یادداشت کنید. بار دیگر فرکانس نوسان ساز را برای فرکانس های بیشتر از  $f_s$  تغییر می دهیم تا ولتاژ خروجی به مقدار  $0.7V_{Omax}$  برسد در این حالت فرکانس بدست آمده  $f_H$  خواهد بود برای این حالت نیز اختلاف فاز را اندازه گیری کرده و در جدول یادداشت کنید.





مجدداً با تغییر  $R$  به  $1.5k\Omega$  و  $1.8k\Omega$  اندازه گیری را تکرار و جدول ۲ را پر کنید ( دامنهء ورودی ۲ ولت پیک است).

- در هر سه حالت فرکانس های قطع و پهنای باند را بدست آورید.

جدول ۲

	فرکانس $(f)$ $kHz$	مقدار فرکانس $kHz (f)$	دامنه $V_o$ "ولت"	$\phi$ "درجه"	پهنای باند	ضریب کیفیت
$R = 1.2k\Omega$	$f_L$					
	$f_s$					
	$f_H$					
$R = 1.5k\Omega$	$f_L$					
	$f_s$					
	$f_H$					
$R = 1.8k\Omega$	$f_L$					
	$f_s$					
	$f_H$					



## آزمایش ۸

### 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.

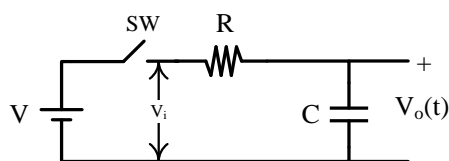
در این آزمایش پاسخ گذرای مدارهای RC و RL و روش اندازه گیری زمان ناپایداری (یا تاخیر زمانی) را ارائه می‌کنیم.

### ۸-۱ 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:

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

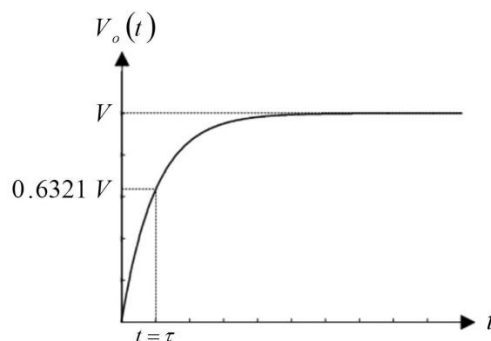
$$\tau = RC$$



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:



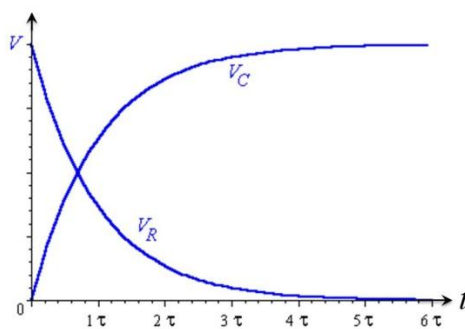
شکل ۲

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:

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

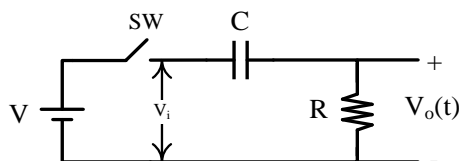
چنانچه درصد ولتاژ (یا جریان) خروجی بر حسب ثابت زمانی  $\tau$  رسم شود منحنی پاسخ شکل ۳ که یک منحنی استاندارد می‌باشد، حاصل می‌گردد. این منحنی وسیله بسیار جالب و ساده‌ای برای تعیین پاسخ هر نوع مدار RC یا RL می‌باشد.



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:

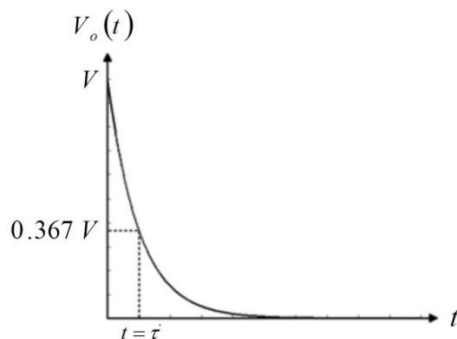


شکل ۴

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

$$\tau = RC$$

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.

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

پیش گزارش 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.

پیش گزارش ۲: در مدار مربوط به  $RC$  پایین گذر، چنانچه یک خازنی با مقدار ۱۰ نانوفاراد به موازات خازن مدار قرار گیرد پاسخ مدار را چگونه توجیه می‌کنید؟



روش آزمایش:

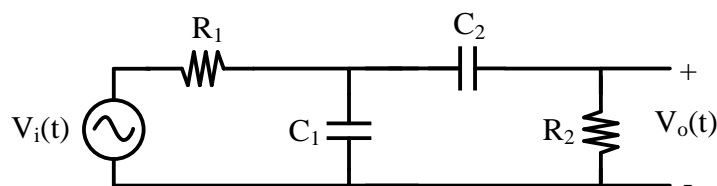
۱- مدار شکل ۱ را با  $R=10k\Omega$  و  $C=100nF$  بسته و یک ولتاژ پله‌ای با دامنه ۲ ولت ماکزیمم به مدار اعمال کنید (از موج مربعی با فرکانس حدود ۱۰۰ هرتز به عنوان ولتاژ پله‌ای استفاده کنید). ورودی مدار را به کانال ۱ و خروجی آن را به کانال ۲ نوسان نگار متصل نمایید. پاسخ مدار را مشاهده و رسم کنید و از روی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

۲- حال با خازن  $C=10nF$  و با مقاومت‌های مجهولی که در اختیار دارید ( $33k\Omega$  و  $22k\Omega$ ،  $1k\Omega$ ) آزمایش را تکرار و مقاومت‌های مجهول 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.

## ۸-۲ 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 ماکزیممی خواهد رسید و در  $t = \infty$ ،  $V_{C1} = V_{C2} = V$  خواهد بود. با نوشتن 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 می آید:

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

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:

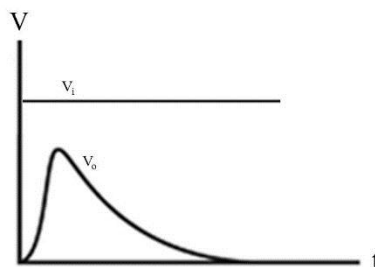
$$V_o(t) = \frac{V}{\sqrt{5}} e^{-\frac{3-\sqrt{5}}{2RC}t} - \frac{V}{\sqrt{5}} e^{-\frac{3+\sqrt{5}}{2RC}t}$$

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

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

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

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



شکل ۷

عملای پس از  $t = 11\tau$ ، ولتاژ خروجی تقریباً صفر (۰/۰۰۶۷) 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:

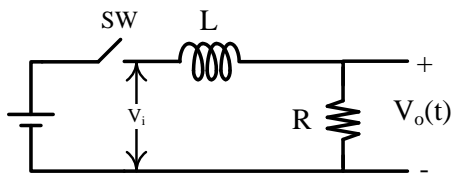
۱- مدار شکل ۶ را با  $R=10k\Omega$  و  $C=100nF$  بسته و یک ولتاژ پله‌ای با دامنه ۲ ولت ماکزیمم به مدار اعمال کنید. (از موج مربعی با فرکانس حدود ۵۰ هرتز به عنوان ولتاژ پله‌ای استفاده کنید). ورودی مدار را به کانال ۱ و خروجی را به کانال ۲ نوسان نگار متصل نمائید و از روی آن پاسخ مدار را مشاهده و رسم کنید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

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

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

### ۸-۳ 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.



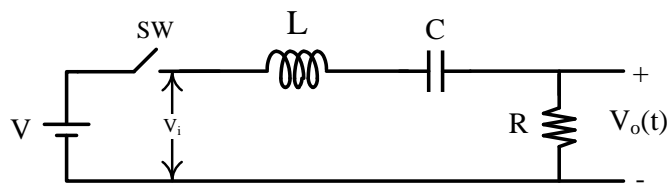


## آزمایش ۹

### 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 شدیدا اثر خود را اعمال و خازن اتصال کوتاه است ( $V_C \cong 0$ ).



شکل ۱

و بنابراین یک مدار RL (پایین گذر) 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 شدیدا ظاهر می‌سازد و یک مدار RC (بالا گذر) خواهیم داشت که قاعدتا 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 شکل ۲ کاملاً متمایز خواهد بود، برای تعیین معادله پاسخ، معادله ولتاژ مدار را پس از بسته شدن کلید می‌نویسیم:

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

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 ریشه های  $S_1$  و  $S_2$  می باشد.

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

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

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

بنابراین خواهیم داشت:

$$i(t) = K_1 e^{S_1 t} + K_2 e^{S_2 t}$$

شرایط اولیه عبارتند از:

$$i(0) = 0$$

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

برحسب این که  $\frac{R}{2L}$  بزرگتر از، مساوی با، کوچکتر از  $\frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد، پاسخ مدار (یا جریان  $i(t)$ ) دارای شکل های زیر خواهد بود:

۱- اگر  $\frac{R}{2L} > \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد، پاسخ مدار به یک مقدار ماکزیمم می رسد و با ثابت زمانی معینی به صفر میل می کند. این پاسخ به حالت "فوق میرایی" (over damped) موسوم است.

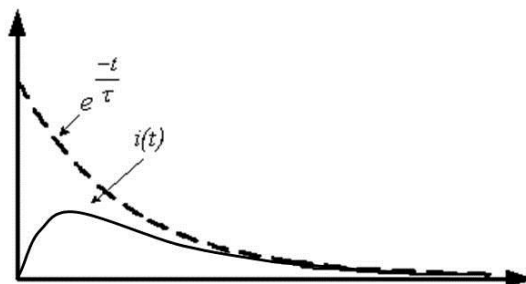
$$i(t) = \frac{V}{L\omega} e^{-\frac{t}{\tau}} \left[ \frac{e^{\omega t} - e^{-\omega t}}{2} \right]$$

که در آن:



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

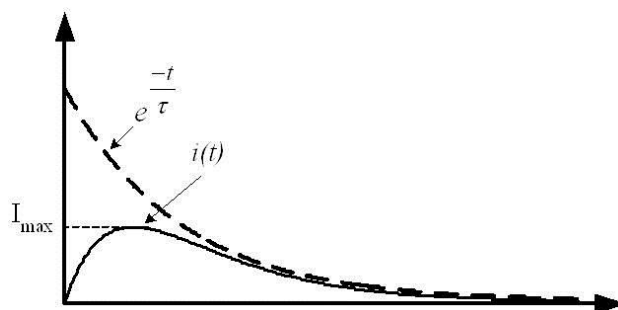
$$\tau = \frac{2L}{R}$$



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.

۲- 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

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

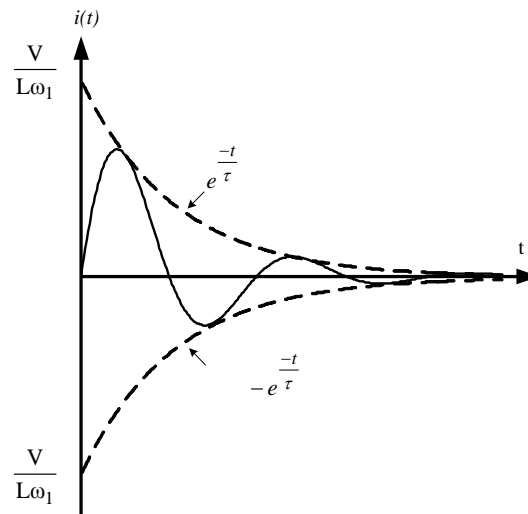


$$\tau = \frac{2L}{R}$$

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

۳- اگر  $\frac{R}{2L} < \frac{1}{\sqrt{LC}}$  باشد، پاسخ مدار بصورت یک موج سینوسی است که دامنه آن رفته 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 می توان

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

### ضریب میرایی (Damping Factor):

در مدار RLC، هنگامی که مقاومت  $R$  خیلی کوچک می شود، دامنه پاسخ نوسانی تقریباً ثابت می ماند و وقتی که

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

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

$\frac{L}{R}$  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 می دهد.

### مقاومت بحرانی (Critical Resistance):

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

مقاومت بحرانی موسوم بوده و مقدار آن برابر است با:

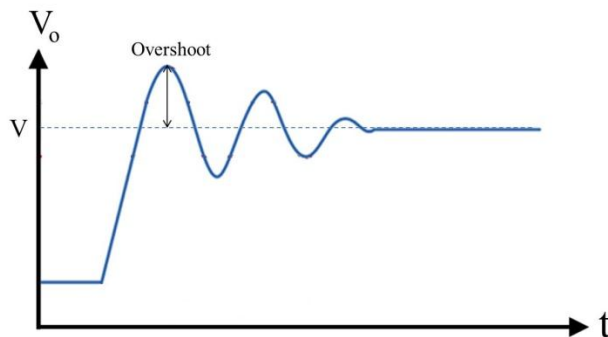
$$R_c = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

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

### نوسان های اضافی (Overshoot):



چنانچه ولتاژ دو سر خازن را در نوسان نگار ملاحظه کنیم (حالت نوسانی میرا)، ولتاژ خازن از ولتاژ  $V$  تجاوز نموده و پس از نوسان هایی به مقدار نهایی  $V$  می رسد. این نوسانات اضافی به Overshoot موسوم است. در پاسخ فرکانسی تقویت کننده ها ممکن است چنین شکلی ظاهر شود که در این صورت می توان تقویت کننده را مرکب از یک تقویت کننده با باند عریض به اضافه یک مدار RLC دانست.



شکل ۵

**پیش گزارش ۱:** پاسخ گذرای مدار مربوط به RLC سری با  $L=18mH$  و  $R=4.7k\Omega$  و به ازای سه مقدار مختلف خازن  $C=68pF$ ،  $C=220pF$  و  $C=680pF$  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 اندازه گیری کنید و روشی را برای اندازه گیری 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  $C = 68pF$  و  $C = 220pF$  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 می کنید؟

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 ( $C = 680pF$ ).

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 کامپیوتری 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 می رسد (منظور ولتاژ  $4V_{p-p}$  است).

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



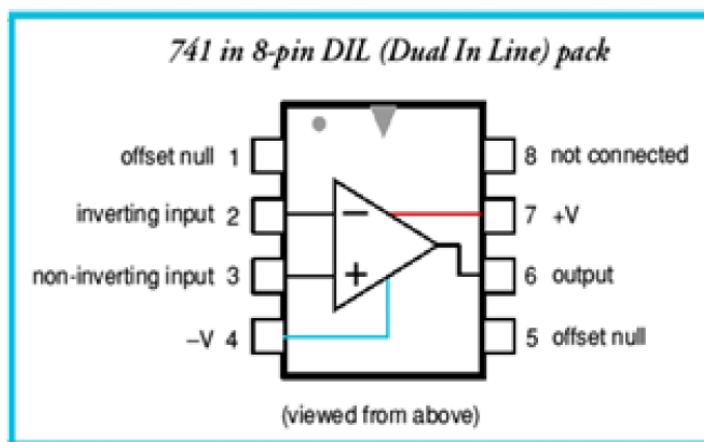
## آزمایش ۱۰

### کاربردهای خطی تقویت کننده عملیاتی

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

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 می کنند. به عبارت دیگر این تقویت کننده اختلاف ولتاژ بین ورودی را تقویت می کند. یکی از دو سر، ورودی منفی (-) یا معکوس کننده نام دارد، زیرا تقویت کننده برای ورودی های اعمال شده به این سر دارای بهره منفی خواهد بود. سر دیگر ورودی مثبت (+) یا غیر معکوس کننده است و سیگنال های ورودی به این سر، در خروجی با بهره مثبت ظاهر می شوند. 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.

آپ امپ با شماره LM741 به صورت مستطیلی و ۸ پایه ساخته می شود. در شکل ۱ دیاگرام پایه های IC آپ امپ آمده است. پایه های ۲ و ۳ به ترتیب ورودی های معکوس کننده و غیرمعکوس کننده هستند. در اکثر IC ها پایه هایی برای روشن کردن و در واقع تغذیه موجود می باشد. معمولاً برای تقویت کننده ها یک تغذیه منفی و یک تغذیه مثبت مورد نیاز است.



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

شکل ۱





## ۱- تقویت کننده معکوس کننده:

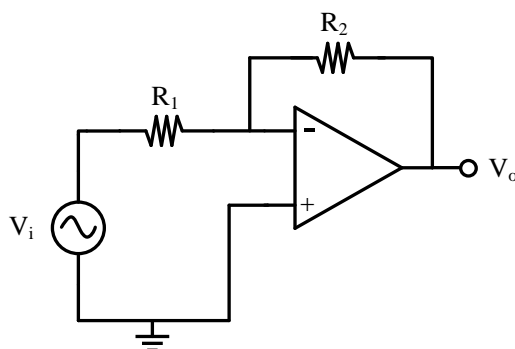
در این آزمایش می خواهیم یک تقویت کننده با بهره منفی توسط آپ امپ (که فیدبک منفی دارد) بسازیم. مدار مربوط به این آزمایش در شکل ۲ نشان داده شده است.

پیش گزارش ۱: مدار معکوس کننده شکل ۲ 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 شبیه سازی کنید.

### شرح آزمایش:

در این آزمایش از دو باتری ۹ ولت به عنوان منبع تغذیه استفاده می شود. این دو باتری با یکدیگر سری خواهند شد و وسط آنها به عنوان زمین اختیار می شود. بنابراین قطب مثبت باتری اول دارای ولتاژ مثبت 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 پایه های  $V_{CC}$  و  $-V_{CC}$  آپ امپ متصل نمایید. حال مدار مربوط به معکوس کننده را مطابق با شکل ۲ و مقادیر مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  طراحی شده، ببندید. یک ولتاژ سینوسی با دامنه  $2V_{p-p}$  و فرکانس  $1kHz$  به ورودی مدار اعمال کنید. خروجی و ورودی مدار را روی اسیلوسکوپ مشاهده نمایید و بهره مدار را محاسبه کنید.



شکل ۲

## ۲- تقویت کننده غیرمعکوس کننده:

در این آزمایش می خواهیم یک تقویت کننده با بهره مثبت توسط آپ امپ (که فیدبک منفی دارد) بسازیم. مدار مربوط به این آزمایش در شکل ۳ نشان داده شده است.

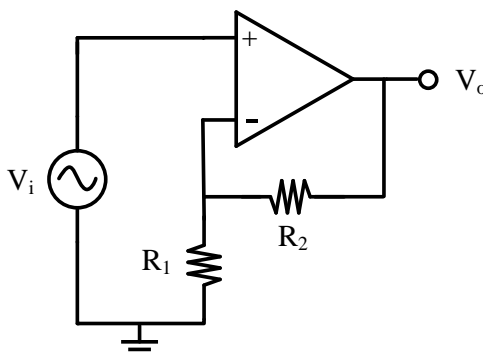
پیش گزارش ۳: مدار غیرمعکوس کننده شکل ۳ را برای بهره  $6/6$  طراحی کنید. (تعیین مقدار مقاومت  $R_2$  با فرض  $R_1=1k$ ).



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

### شرح آزمایش:

همانند آزمایش قبل ولتاژهای تغذیه مثبت و منفی ۹ ولت را به ترتیب به پایه های  $V_{CC}$  و  $-V_{CC}$  آپ امپ متصل نمایید. حال مدار مربوط به غیرمعکوس کننده را مطابق با شکل ۳ و مقادیر مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  طراحی شده، ببندید. یک ولتاژ سینوسی با دامنه  $4V_{p-p}$  و فرکانس  $1kHz$  به ورودی مدار اعمال کنید. خروجی و ورودی مدار را روی اسیلوسکوپ مشاهده نمایید و بهره مدار را محاسبه کنید.



شکل ۳

### ۳- پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر

#### ۳-۱ فیلتر پایین گذر

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

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

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.

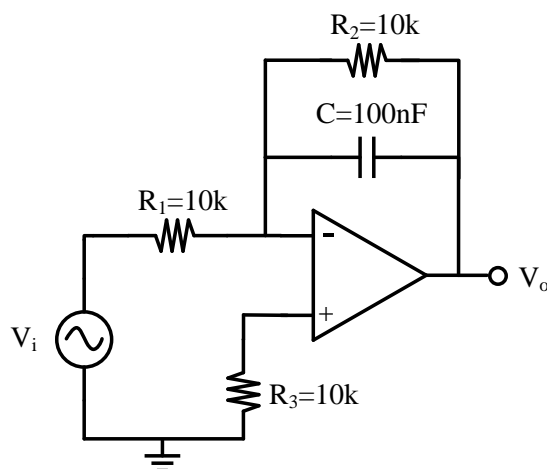
### شرح آزمایش:



با استفاده از مقاومت  $R=10k$  و خازن  $C=100nF$  مداری مطابق با شکل ۴ بسازید. بوسیله نوسان ساز یک موج سینوسی با مقدار ماکزیمم ۲ ولت به مدار اعمال کنید و با فرکانسهایی که در جدول ۱ 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  $R$  (6.8k, 10k, 22k و 150k) ببندید. 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

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