



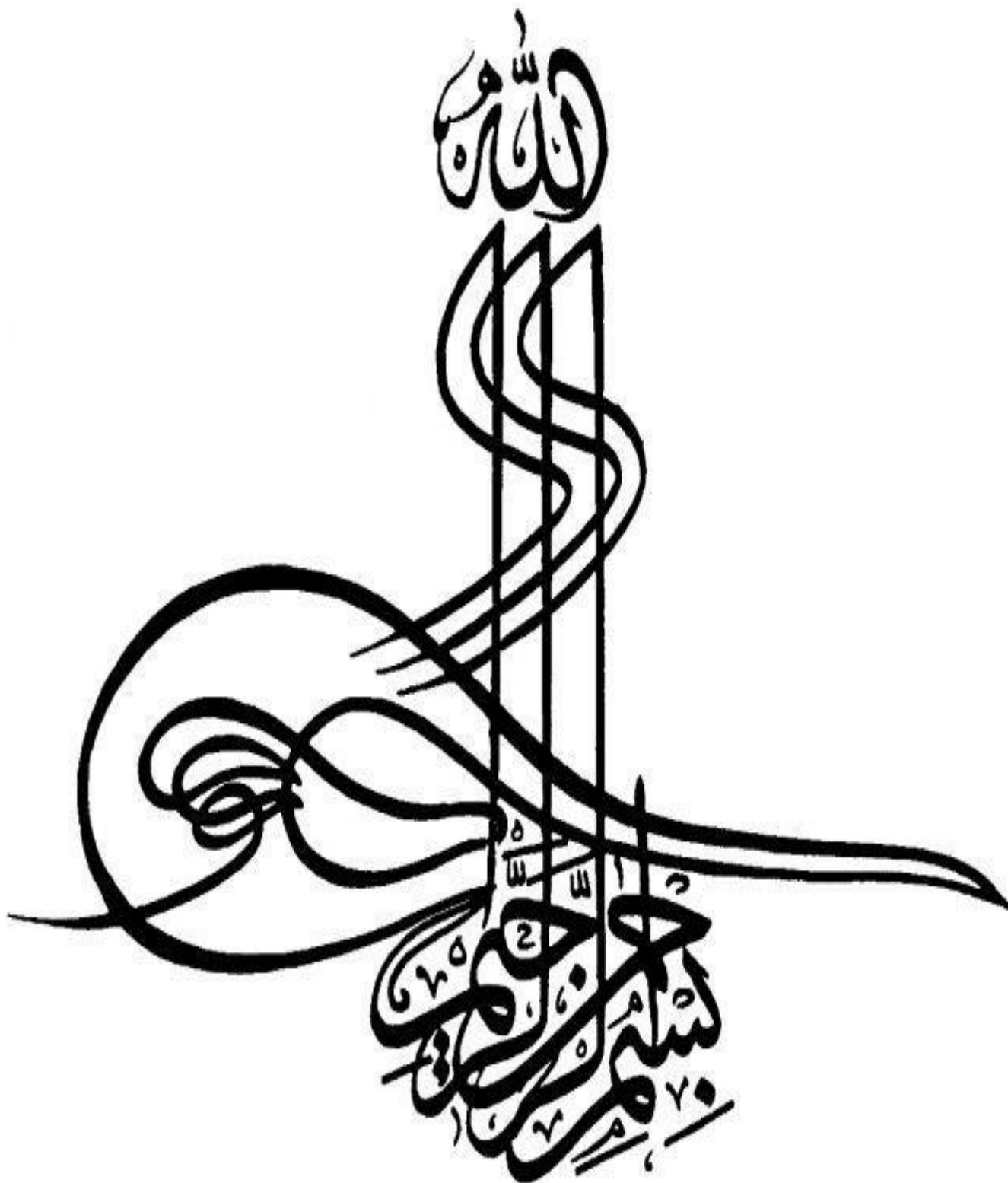
دانشکده مهندسی کامپیوتر
و فناوری اطلاعات



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دستور کار آزمایشگاه

مدارهای الکتریکی





فهرست دستور کار آزمایشگاه مدارهای الکتریکی

عنوان

صفحه

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



آزمایش ۱

آشنایی با اجزای مدار و تجهیزات آزمایشگاه

۱- مقاومت

مقاومت یکی از مهمترین اجزاء مدارهای الکتریکی است که وظیفه آن محدود و یا کنترل کردن مقدار جریان الکتریکی 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 معمولا تفرانس 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.



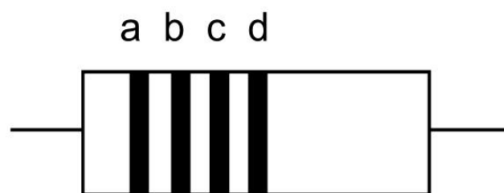
شکل ۱

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:

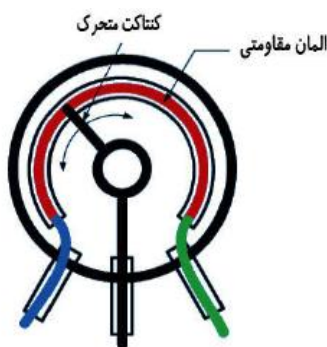


۸/۲ و ۶/۸ و ۵/۶ و ۴/۷ و ۳/۹ و ۳/۳ و ۲/۷ و ۲/۲ و ۱/۸ و ۱/۵ و ۱/۲ و ۱

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 می گردد. خازنها را براساس عایق دی الکتریکی آنها که می توانند کاغذ، روغن، هوا، سرامیک و یا میکا باشد، نامگذاری و طبقه بندی می کنند. برای یادآوری به معرفی دو نوع از خازنهایی که بیشتر در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می گیرند، می پردازیم.

خازنهای الکترولیتی

این خازنها برای ظرفیت های بیشتر از $1 \mu F$ ساخته می شوند.



شکل ۴

این خازنها دارای پلاریته مثبت و منفی می باشند. در هنگام استفاده از این خازنها باید بدانید که جهت جریان در مدار چگونه است به عبارت دیگر ولتاژ DC کدام پایانه بیشتر می باشد. اگر این نوع از خازنها را به صورت معکوس در مدار قرار دهید احتمال انفجار آنها می باشد. معمولا پایانه منفی دارای یک باند رنگی متفاوت می باشد که بر روی آن علامت منفی درج شده است. علاوه بر این اگر پایه های خازن از قبل کوتاه نشده باشند، پایه ی کوتاه تر نشان دهنده پایه منفی خازن می باشد. ظرفیت و حداکثر ولتاژ قابل تحمل این خازنها روی بدنه آنها درج شده است. به عنوان مثال خازنی با مشخصات $50V$ و $100 \mu F$ می تواند در ولتاژهای کمتر از $50V$ در مدار به کار گرفته شود. این خازنها برای کاربرد در مدارات فرکانس بالا مناسب نمی باشند.

خازنهای سرامیکی

این خازنها در ظرفیت های پایین تر از $1 \mu F$ ساخته می شوند و دارای پلاریته نمی باشند. برای محدوده کاری فرکانس بالا مناسب می باشند. مقدار ظرفیت آنها به صورت یک عدد سه رقمی روی بدنه ی آنها درج شده است.



عدد اول و دوم، اعداد اول و دوم از ظرفیت خازن می باشند و عدد سوم تعداد صفرها را مشخص می کند. عددی که در نهایت به دست می آید 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 pF که معادل با 150 nF است، می باشد.



شکل ۵

۳- سلف

سلف که به نام‌هایی مانند پیچه، کوئل و راکتور نیز شناخته می شود، یک المان الکترونیکی ۲ پایه پسیو است که در مقابل تغییرات جریان الکتریکی از خود مقاومت نشان می دهد. 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 می شود.

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

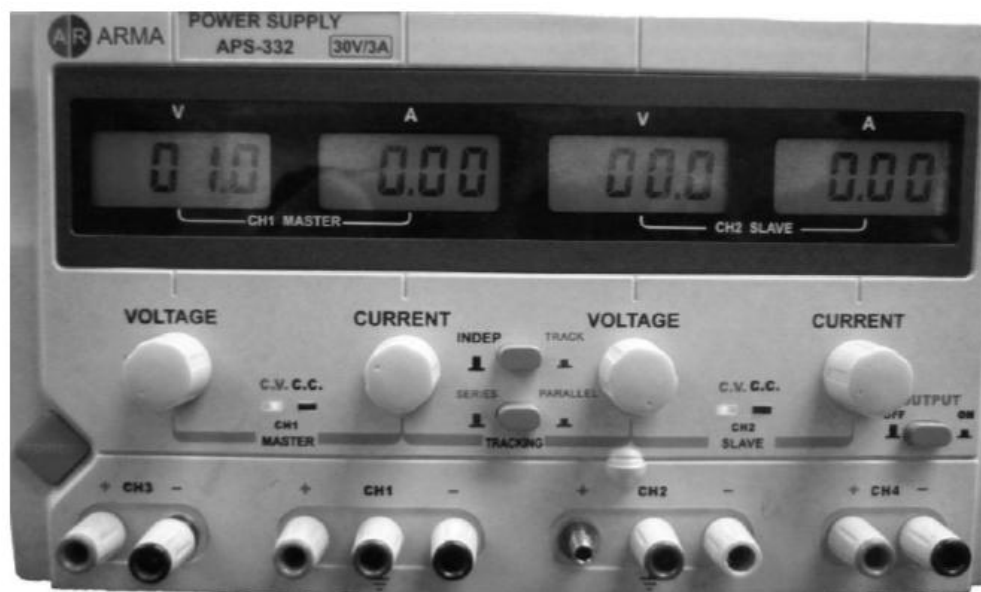


شکل ۶



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 CH₁ و CH₂ روی دستگاه مشخص شده‌اند. دو منبع دیگر ثابت و ولتاژهای معمولی هستند که در مدارهای الکترونیکی کاربرد دارند. CH₃ دارای ولتاژ ثابت ۵ ولت و CH₄ دارای ولتاژ ثابت ۱۲ ولت می‌باشد. خروجی‌های این ۴ منبع در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸



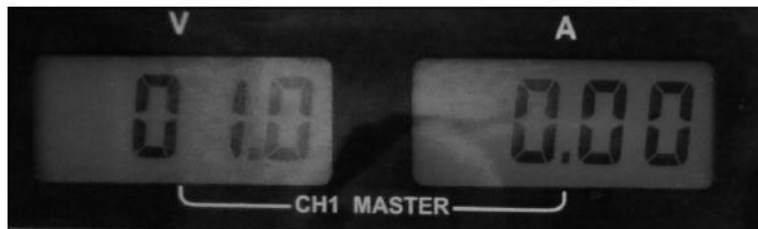
برای روشن کردن منبع ولتاژ باید از کلید Power که در قسمت چپ دستگاه تعبیه شده است، استفاده کنید. بعد از روشن کردن دستگاه توجه داشته باشید حتماً کلید Output که در سمت راست دستگاه قرار دارد، فشرده شده باشد در غیر این صورت پایانه‌های خروجی ولتاژ متغیر، ولتاژ نخواهند داشت. بنابراین به خاطر داشته باشید که اگر 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 پایانه‌های مثبت و منفی اتصال دهیم. برای این کار بهتر است که از سیم قرمز برای پایانه مثبت و از سیم مشکی برای پایانه منفی استفاده کنیم. هر کدام از منابع متغیر دارای دو ولوم می‌باشد که یکی برای کنترل ولتاژ و دیگری برای کنترل جریان می‌باشد. با استفاده از ولوم ولتاژ می‌توانید ولتاژ اعمالی به مدار خود را کنترل کنید، با توجه به شکل ۱۰ عددی که روی نمایشگر نشان می‌دهد نمایانگر ولتاژ اعمالی به مدار شما می‌باشد. با استفاده از ولوم جریان می‌توانید تعیین کنید مداری که شما طراحی کرده‌اید چقدر مجاز است که جریان از منبع ولتاژ بکشد. عددی که روی نمایشگر جریان نشان داده می‌شود مقدار جریانی است که مدار شما از منبع ولتاژ می‌کشد.



شکل ۱۰

برای جلوگیری از آسیب دیدن قطعات بهتر است که محدوده جریان را روی 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.

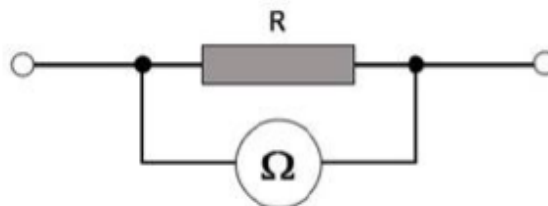


شکل ۱۲

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.

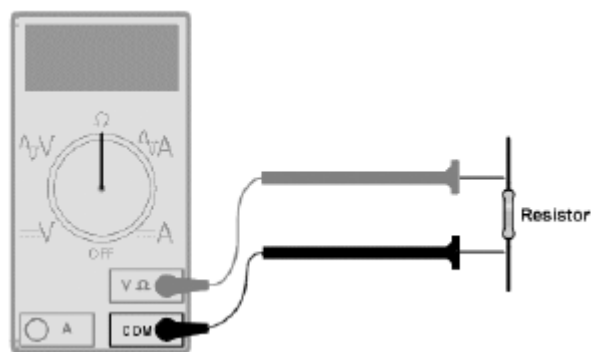
۶- مولتی‌متر و نحوه استفاده از آن

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.



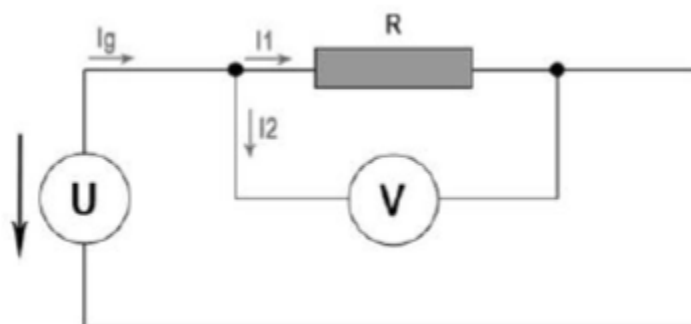
شکل ۱۳

در واقع برای اندازه‌گیری مقاومت مانند شکل ۱۴ عمل می‌کنیم.



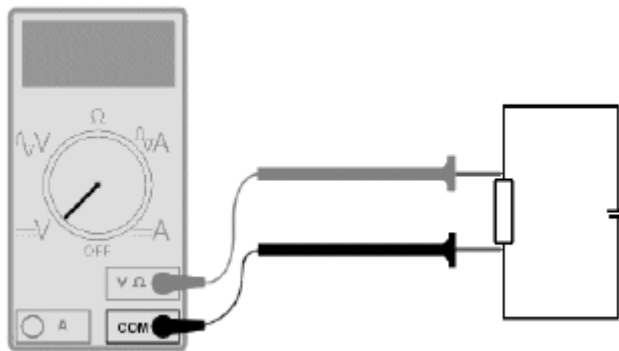
شکل ۱۴

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 مولتی‌متر در این حالت بسیار زیاد می‌باشد که تا حد امکان جریان I_2 به حداقل مقدار خود برسد و خطای اندازه‌گیری نداشته باشیم.



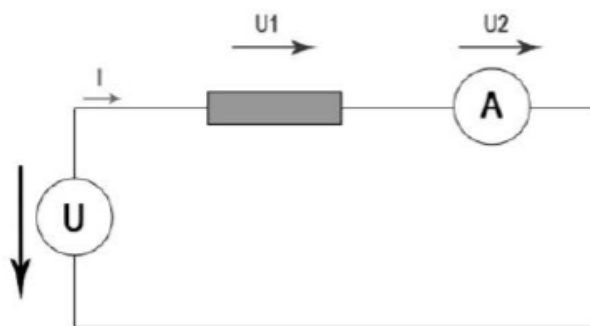
شکل ۱۵

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



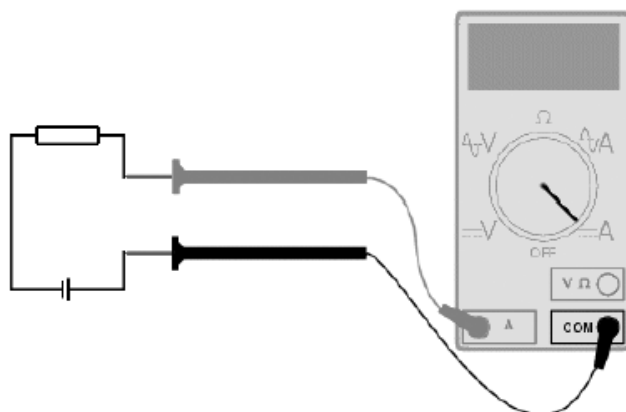
شکل ۱۶

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



شکل ۱۷

در این حالت مقاومت مولتی‌متر بسیار پایین می‌باشد که خطای اندازه‌گیری به حداقل مقدار خود برسد. بنابراین اگر مولتی‌متر را در این حالت در مدار به صورت موازی قرار دهیم جریان زیادی از آن عبور خواهد کرد و مولتی‌متر آسیب خواهد دید. برای اندازه‌گیری جریان در حالت سری ابتدا باید مدار را به صورت کمی تحلیل کرده باشید و محدوده مناسبی را برای جریان انتخاب کنید در غیر این صورت مولتی‌متر آسیب خواهد دید. در عمل 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 می باشد. تمام اسیلوسکوپ هایی که در آزمایشگاه موجود هستند، دیجیتال می باشند، شکل ۱۹. از این دستگاه برای نشان دادن تغییرات یک شکل موج بر حسب زمان استفاده می شود. در ادامه به توضیح قسمت ها و نکته هایی می پردازیم که در این آزمایشگاه کاربرد بیشتری دارند.

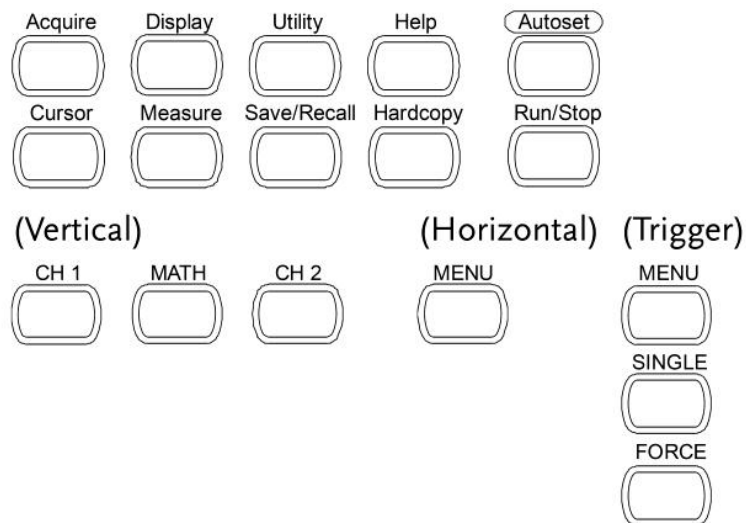


شکل ۱۹

برای استفاده از دستگاه ابتدا باید از صحت عملکرد آن اطمینان حاصل نمائید. برای این کار می توانید پروبی را که به یکی از کانال های دستگاه متصل نموده اید، به زائده ی فلزی روی پنل اسیلوسکوپ اتصال دهید. در این حالت

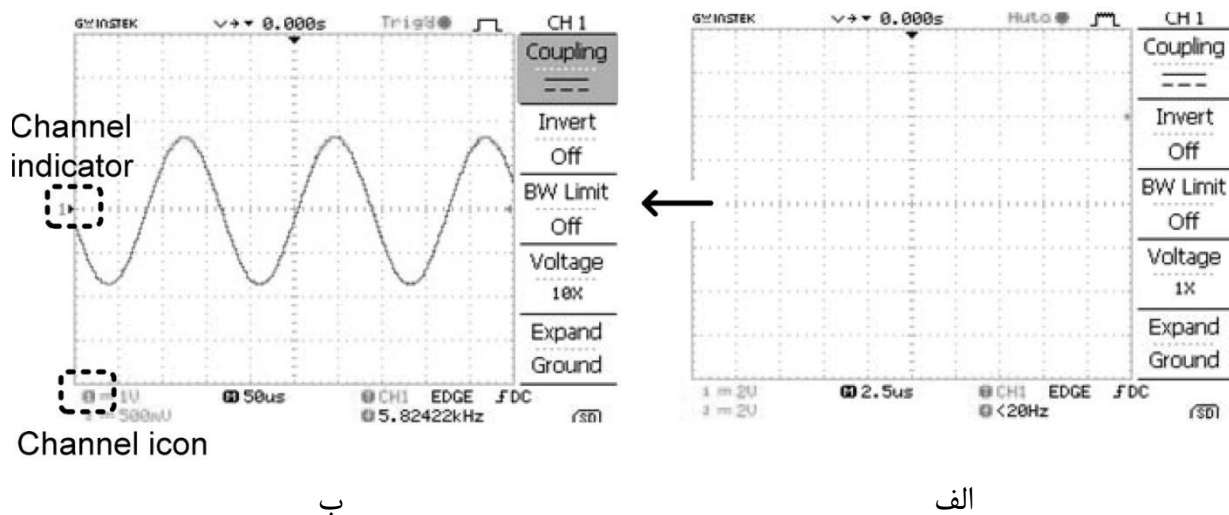


باید شکل موج مربعی را روی صفحه نمایش مشاهده کنید. در ادامه برخی از کلیدها و ولوم‌های روی پنل دستگاه توضیح داده شده است، شکل ۲۰.



شکل ۲۰

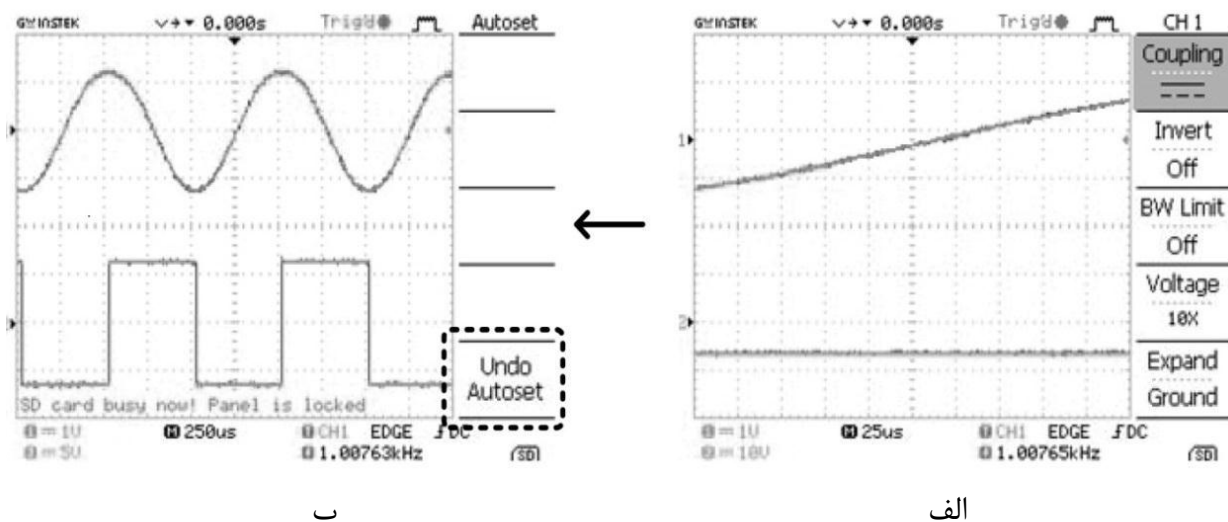
CH₁ و CH₂: برای فعال کردن کانالهای یک و دو به ترتیب می‌توانید از کلیدهای CH₁ و CH₂ استفاده کنید. پس از انتخاب نشانگر کانال یک/دو در سمت چپ صفحه نمایش نشان داده خواهد شد و آیکون مربوط به کانال متناظر تغییر خواهد کرد، شکل ۲۱.



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





AutoSet: با فشردن این کلید دستگاه برای بهترین وضعیت نمایش سیگنال به صورت خودکار تنظیم خواهد شد. شکل ۲۲ سیگنالی را قبل و بعد از فشرده شدن 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.



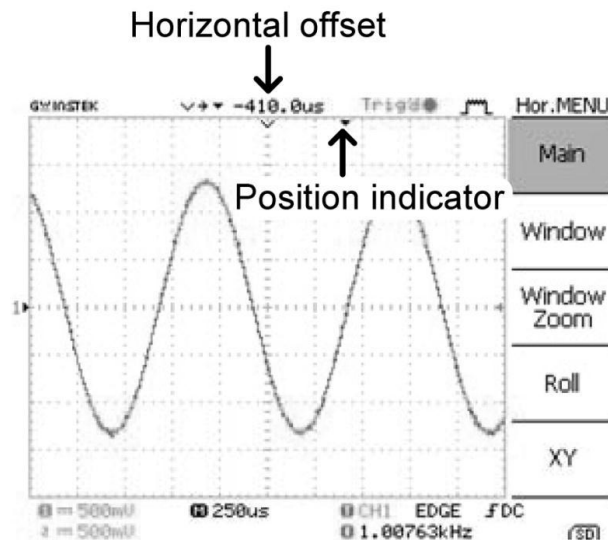
شکل ۲۲. الف- قبل از فشردن کلید AutoSet. ب- بعد از فشردن کلید AutoSet.

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 بی‌حرکت به نظر می‌رسد. آیکن Run/Stop در بالا سمت راست LCD دستگاه، نمایش داده می‌شود. با فشردن این کلید می‌توانید بین Run و Stop تغییر حالت داشته باشید.

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



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

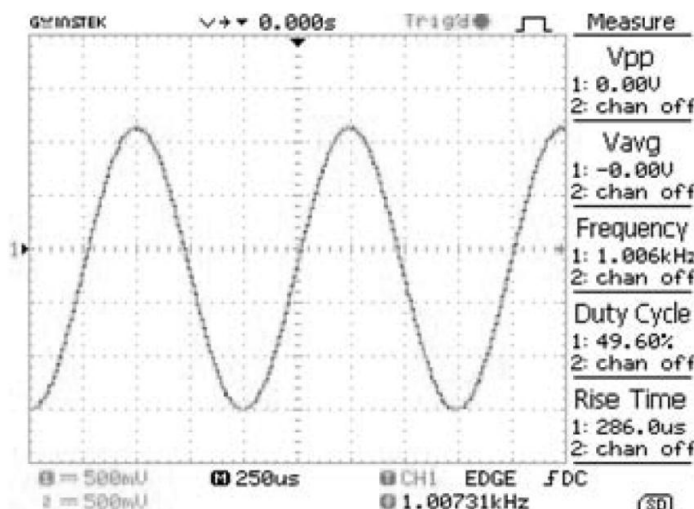


شکل ۲۳

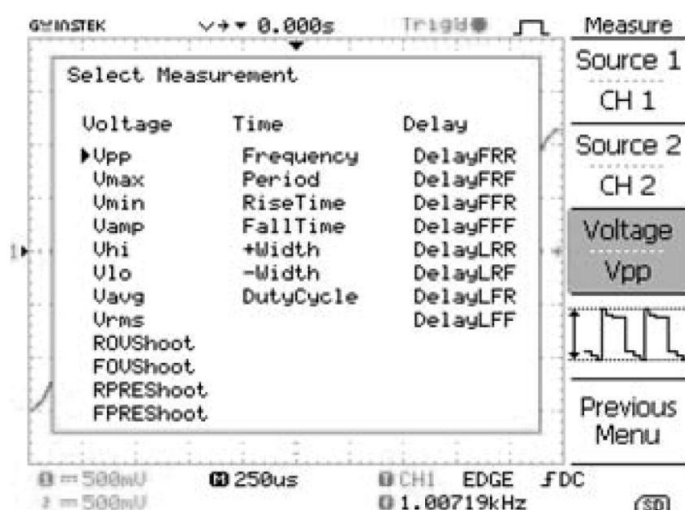
تنظیم مقیاس سیگنال در راستای محور افقی: برای انتخاب مقیاس مورد نظر در راستای محور افقی می‌توانید از ولوم Time/Div استفاده کنید. با چرخاندن ولوم در جهت عقربه‌های ساعت سرعت سیگنال سریع‌تر و با چرخاندن آن در جهت عکس عقربه‌های ساعت سرعت سیگنال کندتر خواهد شد.

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

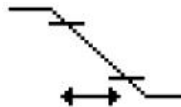
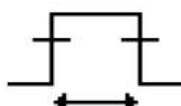
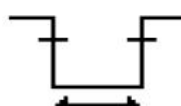
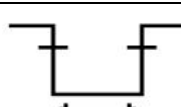
Menu: این کلید قابلیت‌های مختلفی را مانند بزرگنمایی در اختیار کاربر قرار می‌دهد. مهمترین ویژگی کاربردی این کلید حالت XY می‌باشد. XY حالتی است که در آن نموداری برحسب نمودار دیگر روی صفحه نمایش رسم می‌شود. برای مشاهده XY، ابتدا باید CH_1 و CH_2 را فعال نماییم سپس کلید Menu را فشار دهیم، از منوی ظاهر شده 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

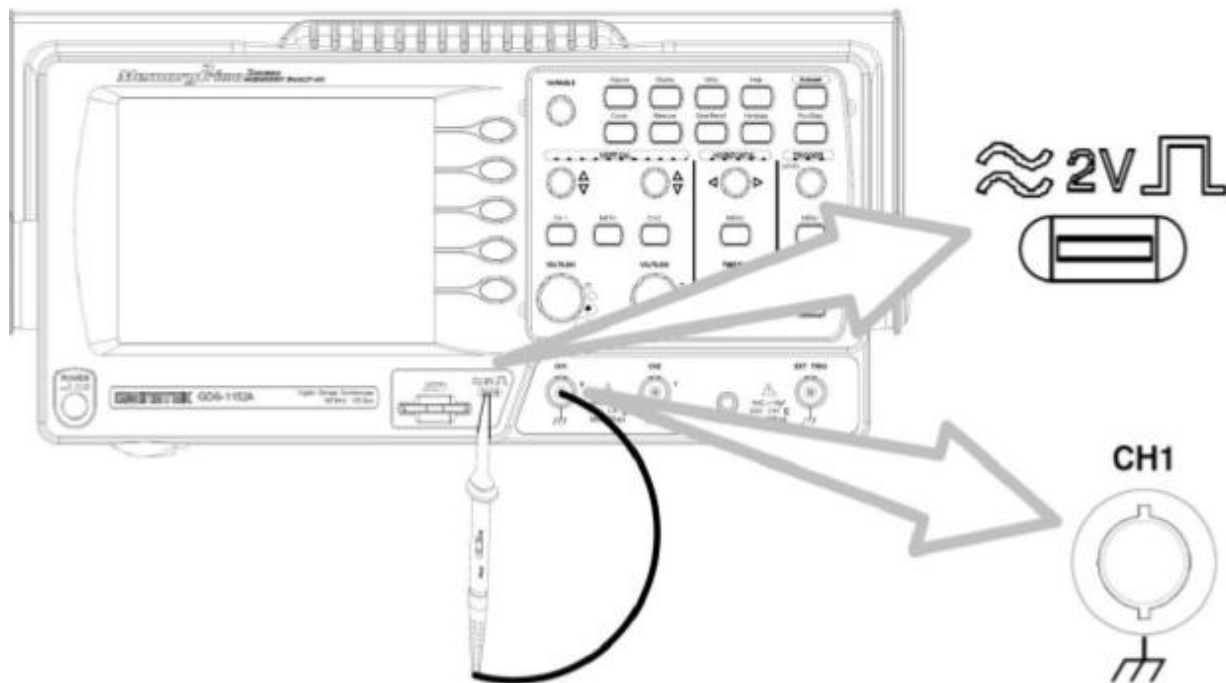
توضیحات	نماد	پارامتر
تفاوت بین مثبت‌ترین و منفی‌ترین نقاط سیگنال		V_{pp}
پیک مثبت ولتاژ		V_{max}
پیک منفی ولتاژ		V_{min}
تفاوت طولانی‌ترین ولتاژ مثبت و طولانی‌ترین ولتاژ منفی		V_{avg}
طولانی‌ترین ولتاژ مثبت		V_{hi}
طولانی‌ترین ولتاژ منفی		V_{lo}
میانگین ولتاژ در اولین سیکل		V_{avg}
مقدار موثر ولتاژ	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



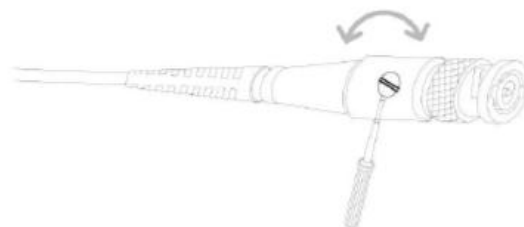
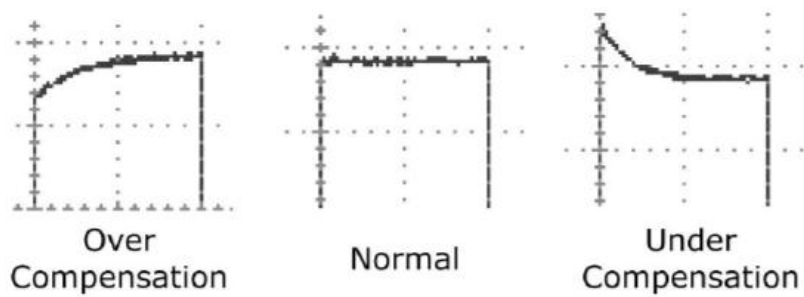
زمان نزول پالس ۹۰٪		Falltime
مقدار مثبت عرض پالس		+Width
مقدار منفی عرض پالس		-Width
سیکل کاری		Duty Cycle

۸- پروب‌های اسیلوسکوپ و نحوه استفاده از آن

این پروبها بسیار حساس هستند و هنگام استفاده از آنها باید دقت کافی داشته باشید. اگر پروبی که استفاده می‌کنید دارای کلید ضریب یک و ده می‌باشد، باید آن را روی ضریب یک قرار دهید. برای تست پروب، آن را به یکی از کانال‌های اسیلوسکوپ اتصال دهید، سیم قرمز پروب را به 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



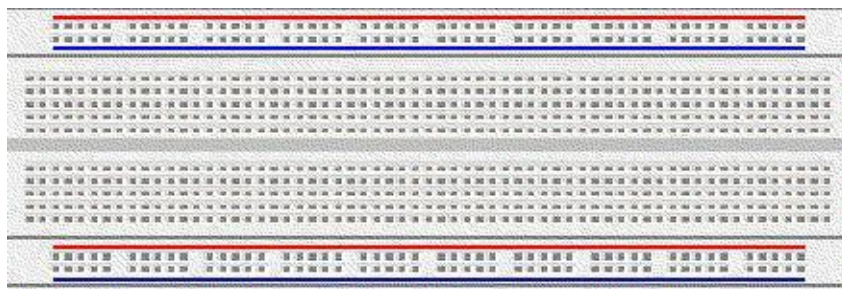
شکل ۲۷



۹- بردبورد و نحوه استفاده از آن

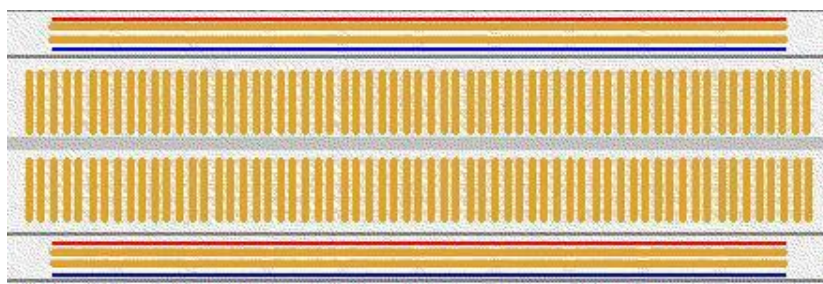
لایه‌های داخلی بردبورد از نوارهای فلزی، معمولاً مسی، تشکیل شده است. برای استفاده از بردبورد کافیست پایه‌های قطعات را درون شکاف مورد نظر فرو ببریم، به این شکافها اصطلاحاً سوکت می‌گویند. این سوکتها طوری طراحی شده‌اند که قطعات را کاملاً محکم در خود بگیرند و هر حفره یا همان سوکت پایه قطعه را به لایه مسی 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

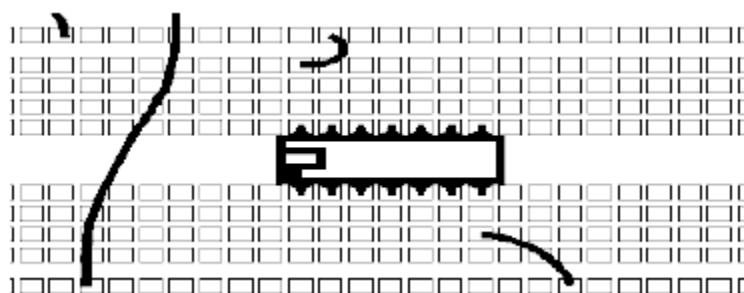
اتصالات این بوردها می‌تواند دارای ساختارهای متفاوتی باشد، اما به طور کلی به یاد داشته باشید که در بردبوردهایی که در ایران معمول شده یک گره شامل حفره‌های ردیف عمودی در هر یک از دو طرف است. اتصالات یک بردبورد نمونه، مانند شکل ۲۹ می‌باشد.



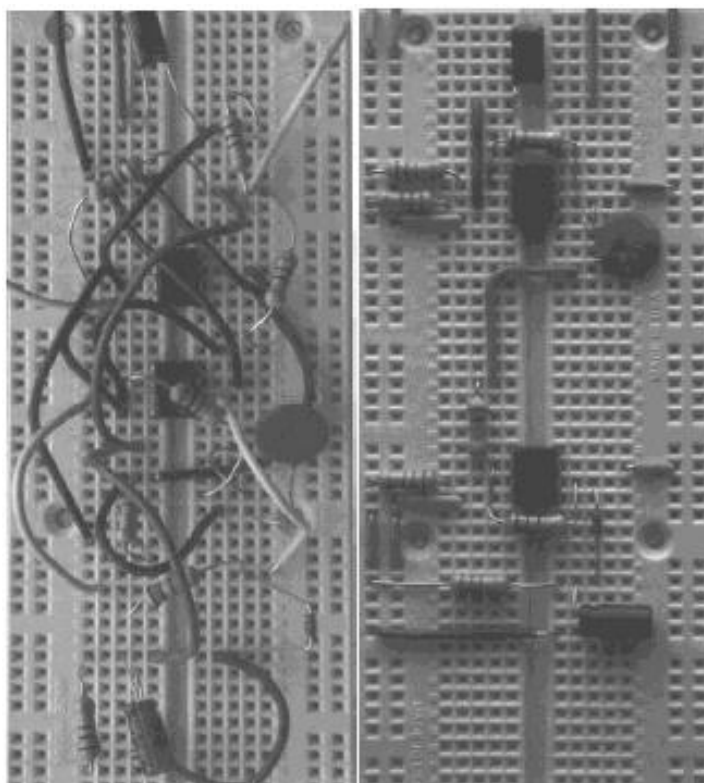
شکل ۲۹



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 دستور کار، روی بردبرد پیاده‌سازی شود. اگر در خلال آزمایش‌ها مجبور به استفاده از IC شدید، باید آن را مانند شکل ۳۰ بین دو ردیف قرار دهید در غیر این صورت پایه‌های IC به یکدیگر اتصال کوتاه شده و باعث 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

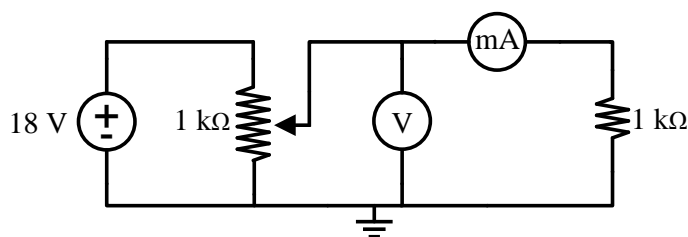


آزمایش ۲

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 نمایید. سپس منحنی تغییرات $I=f(V)$ را به ازای $R=cte$ (مقاومت ثابت) رسم نمایید.

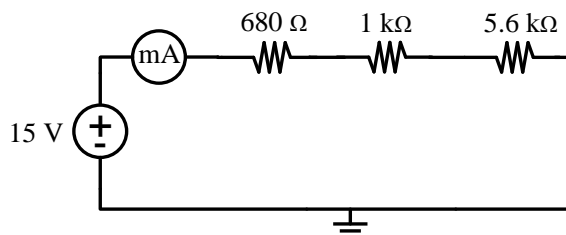


شکل ۱

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.

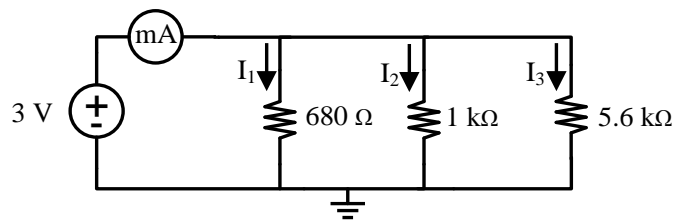


شکل ۲



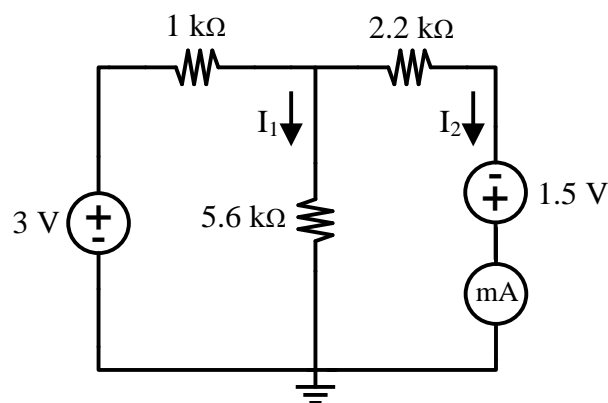
پیش گزارش ۲: در مدار شکل ۳ با استفاده از قانون تقسیم جریان، جریان هر یک از مقاومت‌های مدار را تعیین کنید.

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 ۱/۵ ولتی و بار دیگر منبع ۳ ولتی را غیر فعال کرده و جریانهای I_1 و I_2 را در هر مرحله به طور مجزا بخوانید و در مورد اصل جمع آثار تحقیق نمایید.



شکل ۴



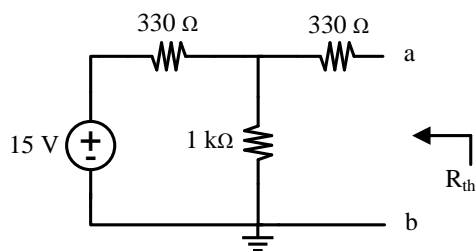
آزمایش ۳

بررسی مدار معادل تونن و نورتن

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

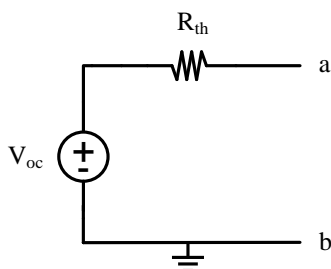
پیش گزارش ۱: در مدار شکل ۱ مقاومت تونن دیده شده از دو سر a و b را محاسبه کنید؟

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

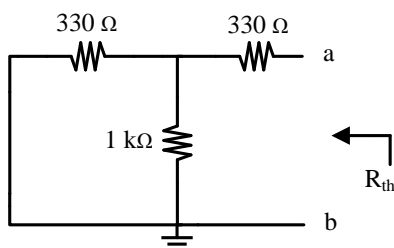
۲- حال مدار شکل ۲ را با توجه به مقادیر بدست آمده از مرحله ۱ ببندید. (برای جایگزینی R_{th} در مدار از پتانسیومتر استفاده کنید) مجدداً مقادیر I_{sc} و V_{oc} را بدست آورید و سپس با اعداد قبلی مقایسه نمایید. چه نتیجه‌ای میگیرید؟ بنویسید.



شکل ۲



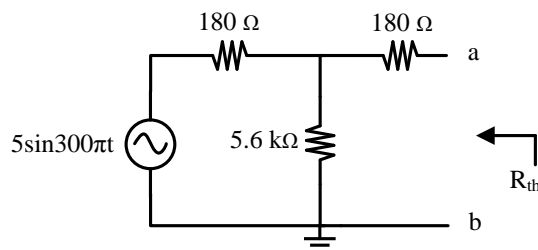
۳- منبع مدار شکل ۱ را غیرفعال کنید. توسط اهمتر دیجیتالی مقاومت R_{th} در مدار شماره ۳ را اندازه گیری و مقدار آن را یادداشت کنید. سپس نتیجه را با آزمایشهای قبلی مقایسه کرده، علت اختلاف احتمالی را بنویسید.



شکل ۳

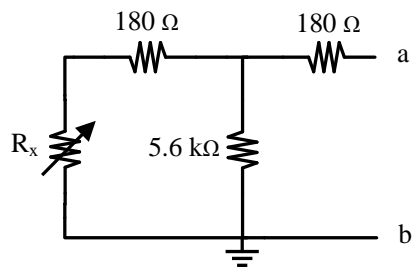
پیش گزارش ۲: در مدار شکل ۴ مقاومت تونن دیده شده از دو سر a و b را محاسبه کنید؟

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.

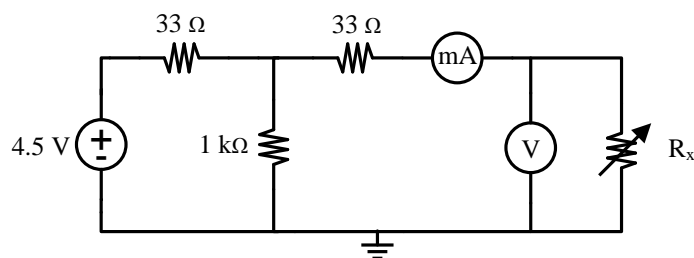


شکل ۵

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 ببندید. با تغییر مقاومت R_x مقدار جریان عبوری از آن و ولتاژ دو سرش را بخوانید (مقادیر ولتاژها را در جدول زیر یادداشت کنید) سپس مقدار توان جذب شده را در هر حالت محاسبه کنید.

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

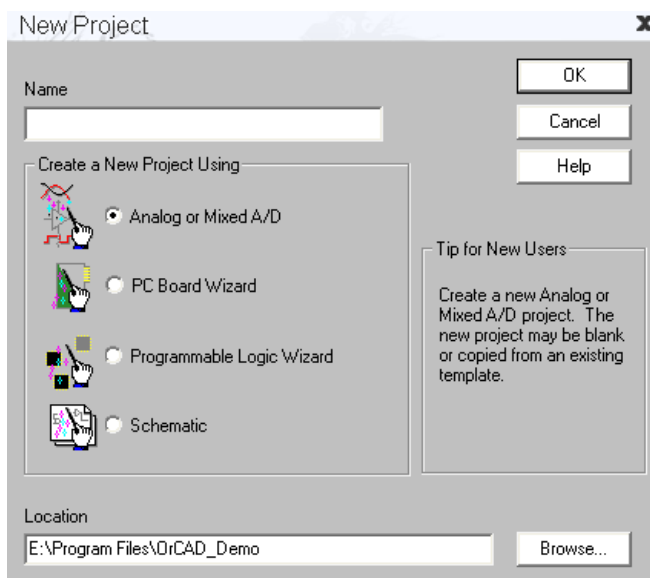
پس از نصب نرم افزار OrCAD می توانید از آدرس زیر برنامه را اجرا کنید:

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 می باشد در این آزمایشگاه چون هدف تحلیل مدارات و مقایسه جوابها با مقادیر عملی بدست آمده است، با همین نوع پروژه ها کار می کنیم.



۲- PC Board Wizard

امکان رسم مدار و ایجاد PCB

۳- Programmable Logic Wizard

طراحی مدار با CPLD یا FPGA

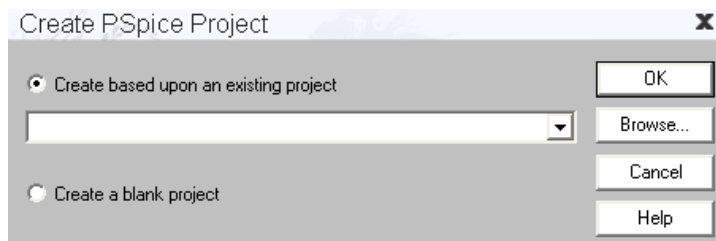
۴- Schematic

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

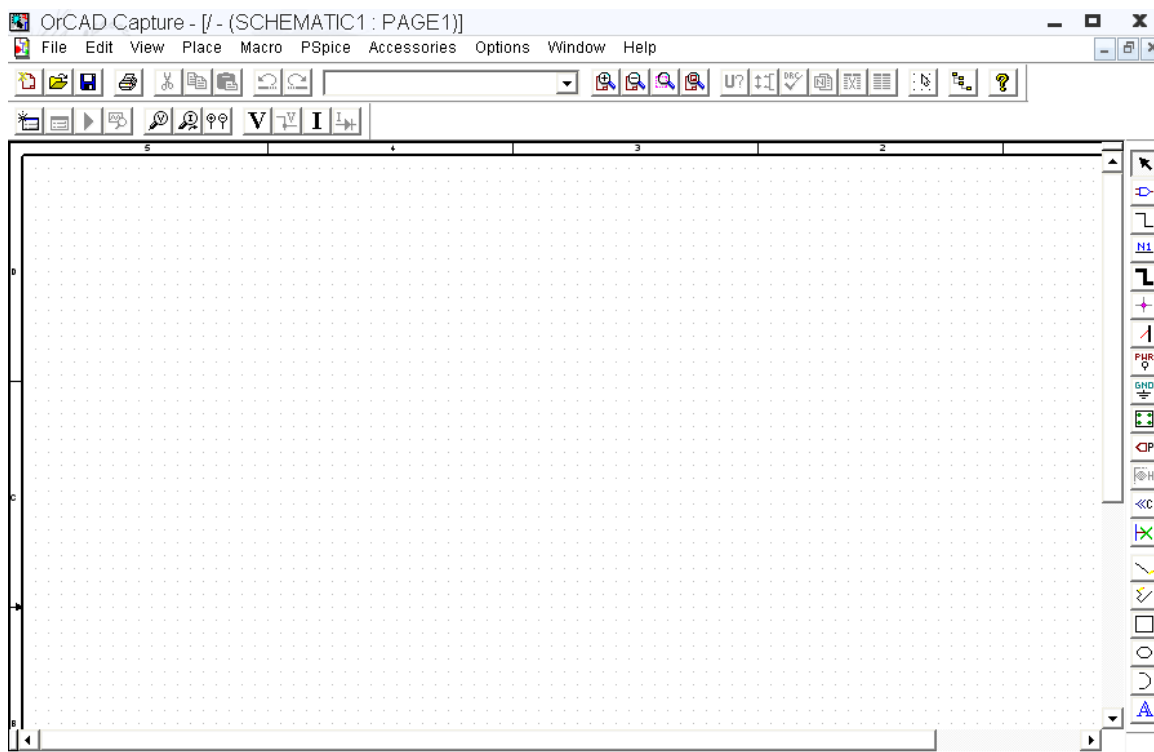


این گزینه پروژه‌ای برای مدارهای سلسله مراتبی که شامل چند صفحه‌اند براساس یک پروژه از قبل تعریف شده ایجاد می‌کند که فعلاً به بحث ما مربوط نمی‌شود.

۲- Create a blank project

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

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



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




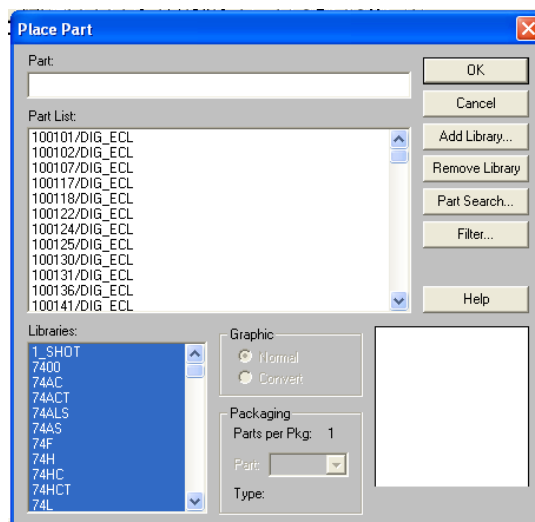
۱- جایگذاری قطعات در محیط شماتیک

۲- سیم کشی مدار

۳- نصب گره زمین


۴- 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.



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



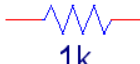

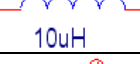
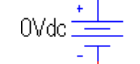

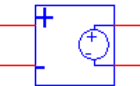
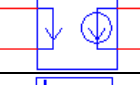
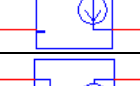
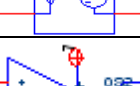
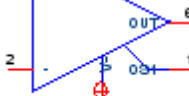
برای قرینه کردن قطعه نسبت به محورهای عمودی و افقی می توان از کلیدهای Ctrl+R استفاده کرد. برای سیم کشی مدار نیز می توان روی نماد () کلیک نمود یا دکمه (W) روی کیبورد را فشار داد تا اشاره گر ماوس به صورت نماد (+) ظاهر شود. حال می توان با بردن ماوس به ابتدا یا انتهای قطعات آنها را به هم متصل کرد. برای تغییر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





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



را بنویسید. اگر مقدار قطعه را بدون نمادی تایپ کنید مقدار برای مقاومت بر حسب اهم، برای خازن بر حسب فاراد و برای سلف بر حسب هانری خواهد بود. برای مقادیر خیلی بزرگ و خیلی کوچک قطعات 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  Palette کلیک کنید (یا روی نماد  کلیک کنید) در پنجره باز شده در فیلد Alias عدد مورد نظر برای نام گره را وارد کنید. در این پنجره نیز گزینه‌هایی برای تغییر ظاهر اسامی گره‌ها وجود دارد. روی گزینه OK کلیک کنید، در این حالت با کلیک چپ روی گره موردنظر، عدد وارد شده در فیلد Alias به عنوان نام گره خواهد بود.

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

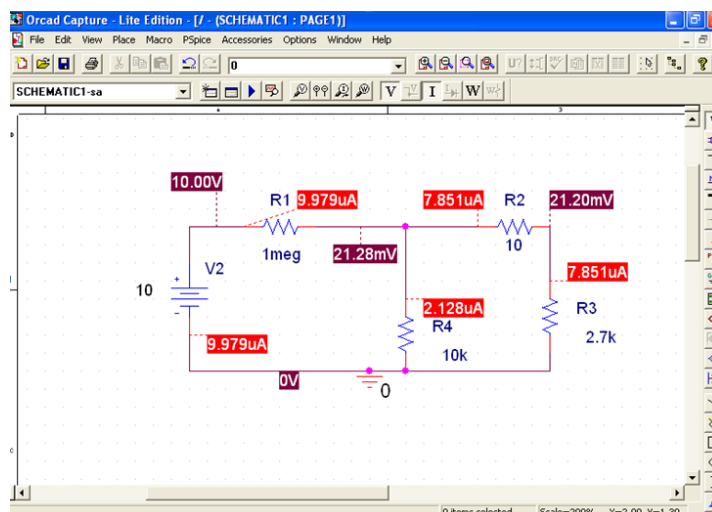


۴-۲ تحلیل نقطه کار DC (Bias Point):

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.



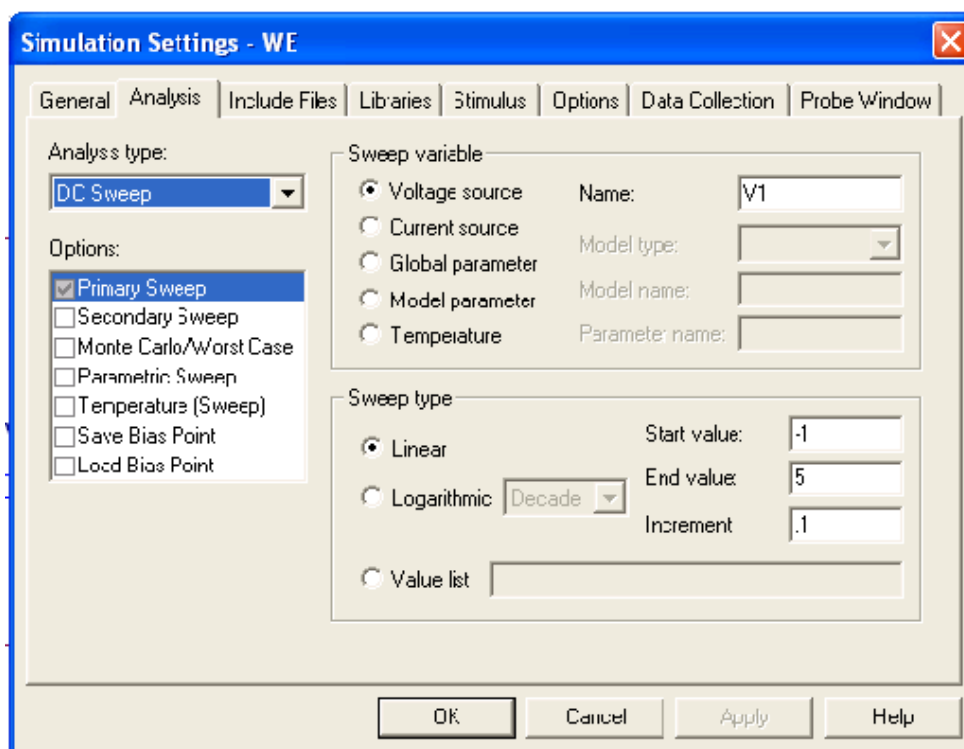


برای مرتب کردن مقادیر می‌توانید با اشاره گر ماوس، آنها را به مکان مورد نظر منتقل کنید.

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.



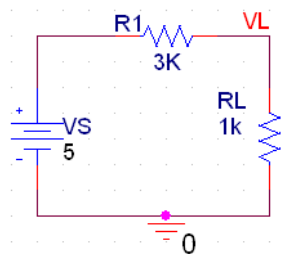
در قسمت Voltage source نام منبع ولتاژ را می‌نویسیم. در Start value ولتاژ اولیه و در End value ولتاژ نهایی را مشخص می‌کنیم. Increment نیز مقدار گامها را مشخص می‌کند. Ok را بزنید و دکمه (▶) را



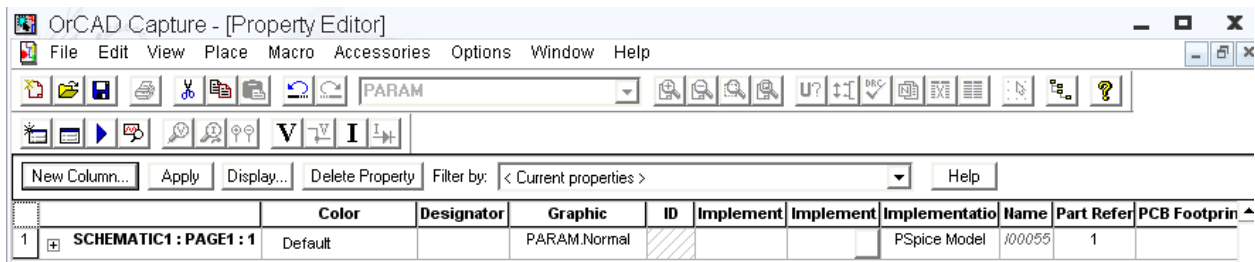
فشار دهید. در صفحه Schematics باز شده از منوی Trace و با استفاده از گزینه Add Trace می‌توان ولتاژها، جریانها و توانهای المانهای مختلف مدار را به ازای تغییرات ولتاژ ورودی مشاهده کرد.

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 PARAMETERS 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.

Add New Column

Name:

Value:

Enter a name and click Apply or OK to add a column/row to the property editor and optionally the current filter (but not the <Current properties> filter).

No properties will be added to selected objects until you enter a value here or in the newly created cells in the property editor spreadsheet.

☐ Always show this column/row in this filter

Apply OK Cancel Help

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.

Simulation Settings - af

General Analysis Include Files Libraries Stimulus Options Data Collection Probe Window

Analysis type:

Options:

- ☒ Primary Sweep
- ☐ Secondary Sweep
- ☐ Monte Carlo/Worst Case
- ☐ Parametric Sweep
- ☐ Temperature (Sweep)
- ☐ Save Bias Point
- ☐ Load Bias Point

Sweep variable

- ☐ Voltage source
- ☐ Current source
- ☒ Global parameter
- ☐ Model parameter
- ☐ Temperature

Name:

Model type:

Model name:

Parameter name:

Sweep type

- ☐ Linear
- ☒ Logarithmic
- ☐ Value list

Decade

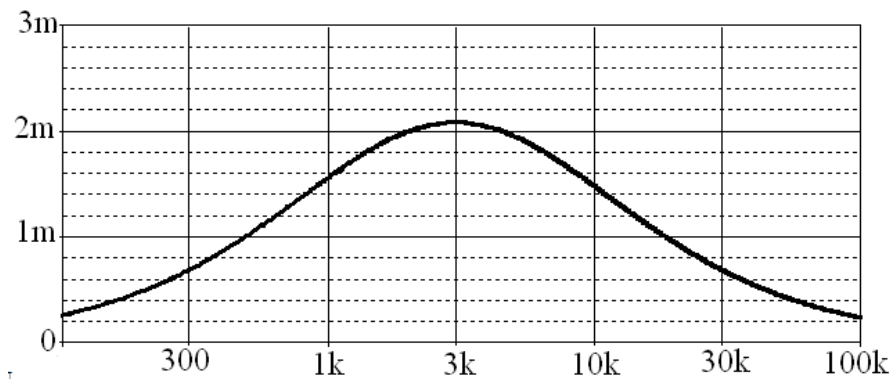
Start value:

End value:

Points/Decade:

OK Cancel Apply Help

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.



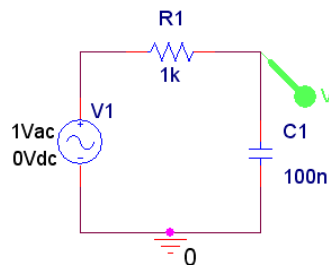
۴-۴ تحلیل حوزه فرکانس (AC Sweep)


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.

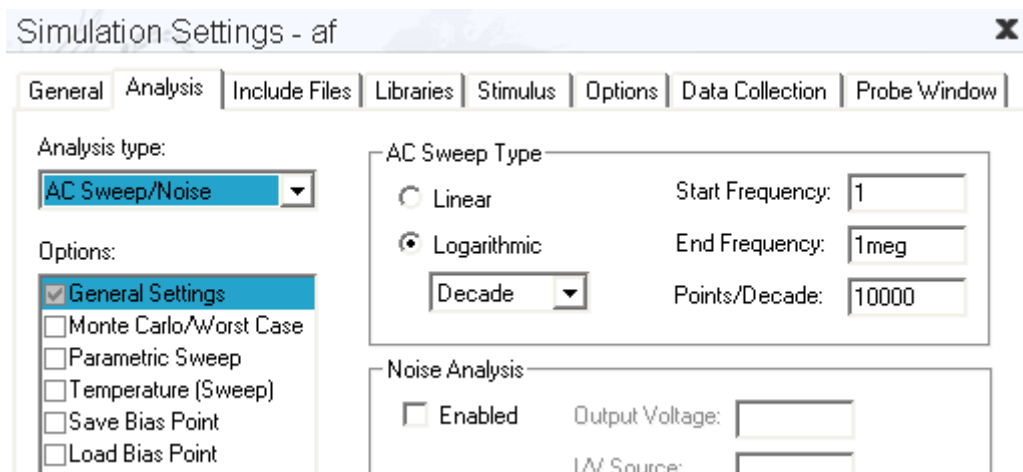
- همزمان با اجرای این تحلیل، تحلیل Bias Point نیز اجرا می‌شود که خروجی‌های آن در شماتیک مدار قابل مشاهده است.
- با توجه به اینکه برای سلف و خازن امپدانس آنها در نظر گرفته می‌شود، شرایط اولیه تاثیری روی نتایج تحلیل ندارند اما بر خروجی Bias Point اثر می‌گذارند. مقدار DC منبع AC، منابع DC و منابع متغیر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

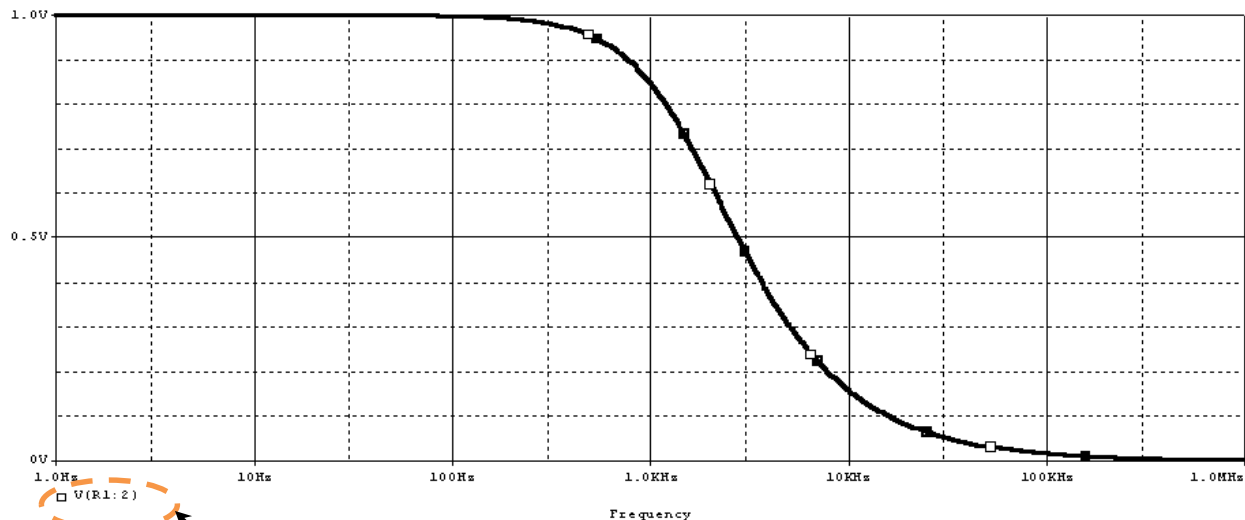
در مدار زیر می‌خواهیم پاسخ فرکانسی را بررسی کنیم:



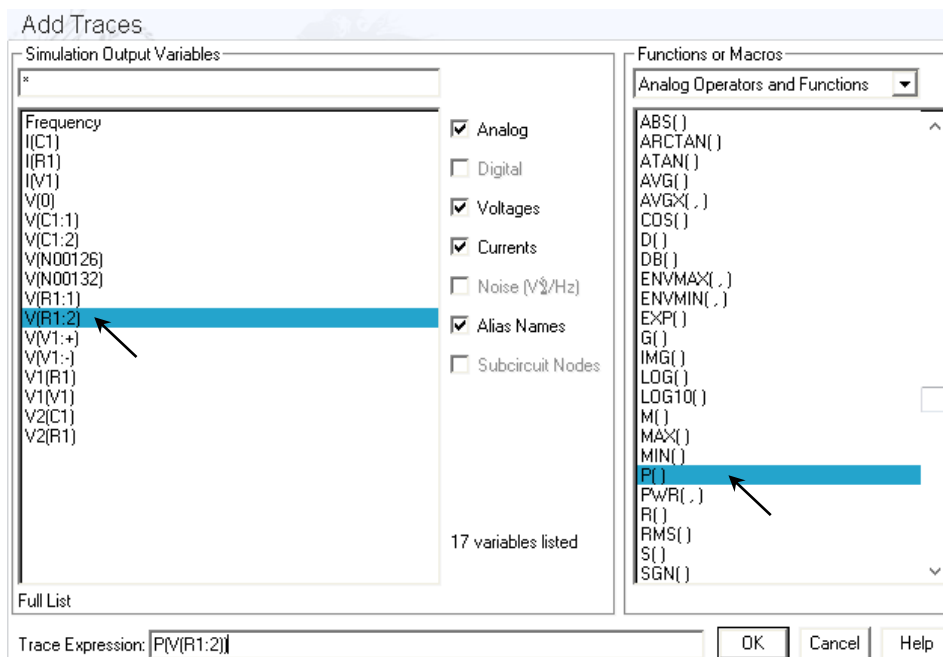
بعد از رسم مدار، برای دیدن شکل موج خروجی باید از پروب استفاده کنیم برای این منظور می‌توان از پروب ولتاژ  در خروجی استفاده کرد. در قسمت Analysis type نوع آنالیز مدار را AC Sweep انتخاب می‌کنیم. بعد از مقدار دهی Start Frequency و Stop Frequency، در قسمت Points/Decade باید تعداد نقاطی که بین Start Frequency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



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

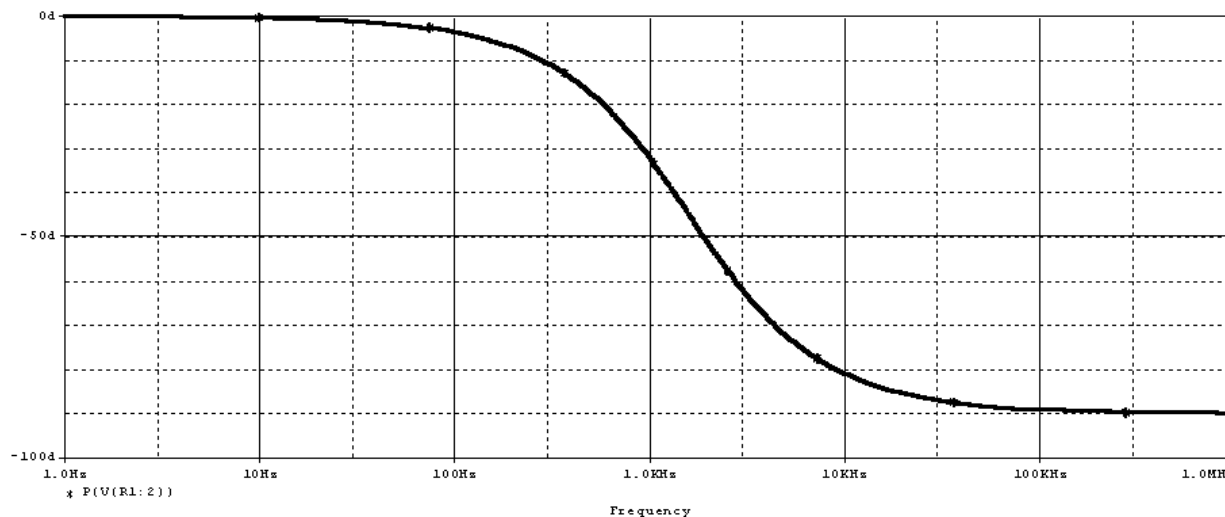


با استفاده از شکل موج خروجی (که به آن پاسخ دامنه خروجی نیز گفته می شود) می توان نوع فیلتر را تشخیص داد. که پاسخ دامنه خروجی نشان می دهد مدار شبیه سازی شده یک فیلتر پایین گذر است. برای رسم پاسخ فاز در صفحه Schematics از منوی Trace گزینه Add Trace را انتخاب کنید. در صفحه باز شده از قسمت سمت راست می توان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


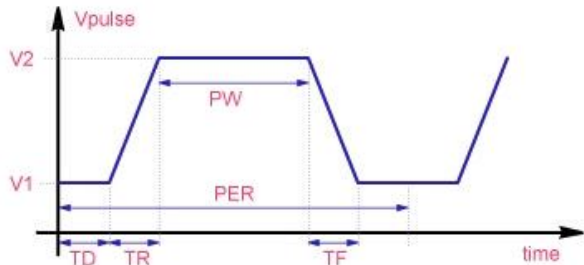

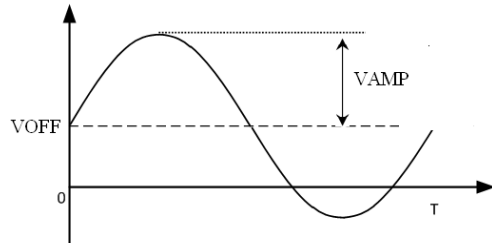

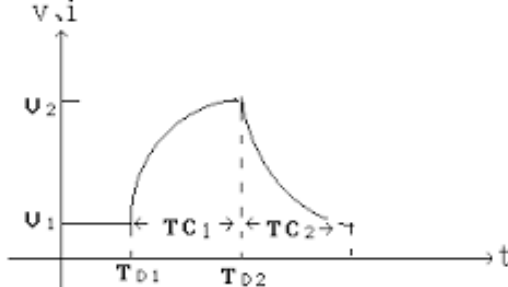


۴-۵ تحلیل حوزه زمان (Time Domain)

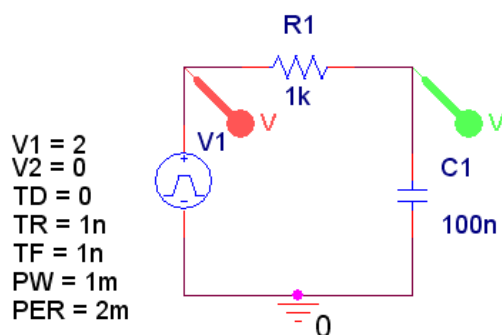
تحلیل Time Domain یا Transient تحلیل مدار در حوزه زمان است که ورودی آن منابع DC یا منابع متغیر با زمان و خروجی آن بر حسب زمان در یک گستره خاص محاسبه می شود. کاربرد عمده این تحلیل رسم شکل موجهای ورودی و خروجی مدارها و محاسبه پاسخ پله مدار و ضربه مدار است.




- 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	$V1 =$ $V2 =$ $TD1 =$ $TC1 =$ $TD2 =$ $TC2 =$ 	

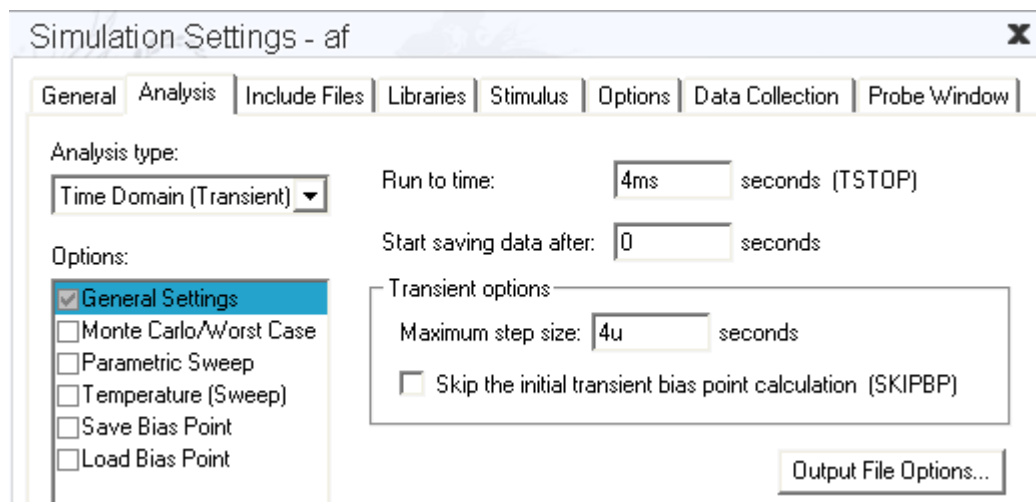
تحلیل زمانی مداری مطابق شکل زیر را انجام می‌دهیم



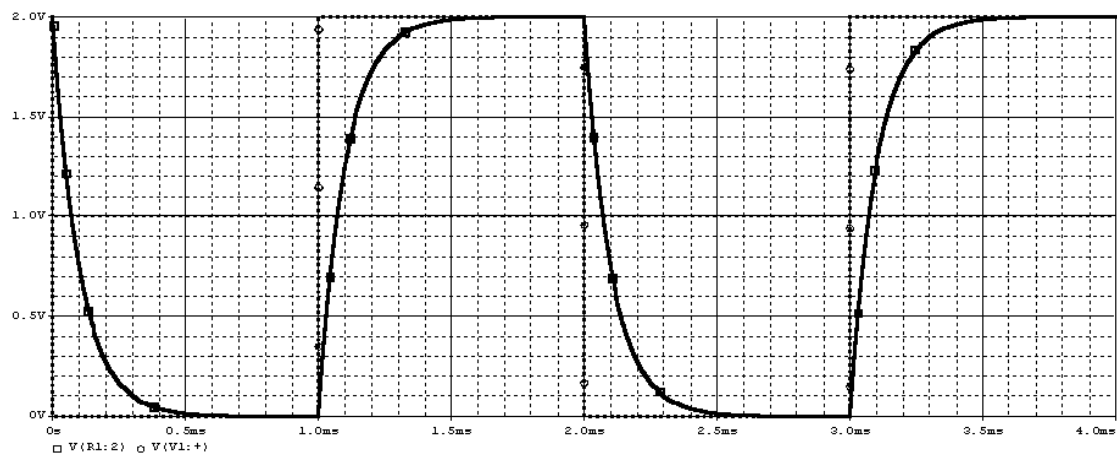
بعد از رسم مدار، برای دیدن شکل موجهای ورودی و خروجی باید از پروب استفاده کنیم برای این منظور می‌توان از    (پروبهای ولتاژ و جریان) در خروجی استفاده کرد. در قسمت Analysis type نوع آنالیز



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

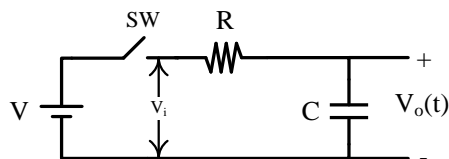
در این آزمایش پاسخ گذرای مدارهای RC و RL و روش اندازه گیری زمان ناپایداری (یا تاخیر زمانی) را ارائه می‌کنیم.

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:

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

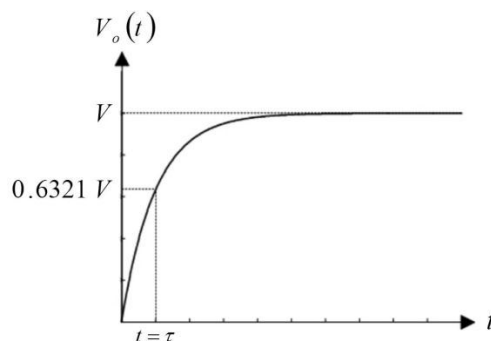
$$\tau = RC$$



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:



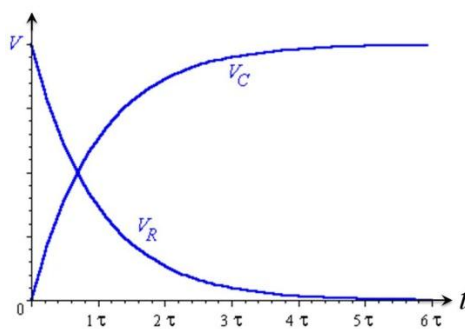
شکل ۲

ثابت زمانی (Time Constant):

به ثابت RC که از جنس زمان است، ثابت زمانی مدار RC گفته می‌شود و به τ 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:

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

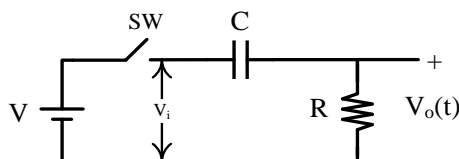
چنانچه درصد ولتاژ (یا جریان) خروجی بر حسب ثابت زمانی τ رسم شود منحنی پاسخ شکل ۳ که یک منحنی استاندارد می‌باشد، حاصل می‌گردد. این منحنی وسیله بسیار جالب و ساده‌ای برای تعیین پاسخ هر نوع مدار RC یا RL می‌باشد.



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:

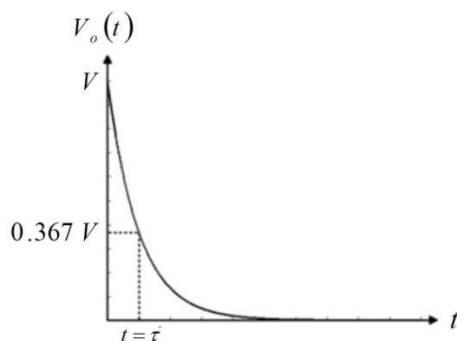


شکل ۴

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

$$\tau = RC$$

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:

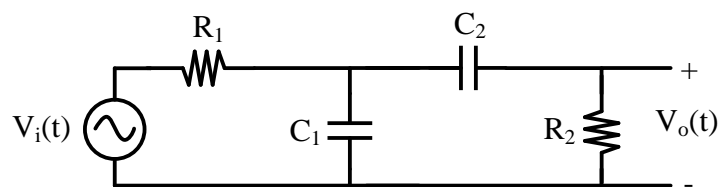
۱- مدار شکل ۱ را با $R=10k\Omega$ و $C=100nF$ بسته و یک ولتاژ پله‌ای با دامنه ۲ ولت ماکزیمم به مدار اعمال کنید (از موج مربعی با فرکانس حدود ۱۰۰ هرتز به عنوان ولتاژ پله‌ای استفاده کنید). ورودی مدار را به کانال ۱ و خروجی آن را به کانال ۲ نوسان نگار متصل نمایید. پاسخ مدار را مشاهده و رسم کنید و از روی منحنی 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 ($22k\Omega$, $1k\Omega$ و $33k\Omega$) 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:

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

با در نظر گرفتن شرط اولیه زیر داریم:

$$V_o(0) = 0$$

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

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

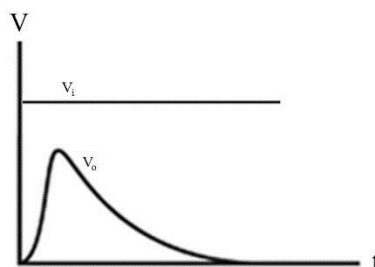
$$V_o(t) = \frac{V}{\sqrt{5}} e^{-\frac{3-\sqrt{5}}{2RC}t} - \frac{V}{\sqrt{5}} e^{-\frac{3+\sqrt{5}}{2RC}t}$$

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

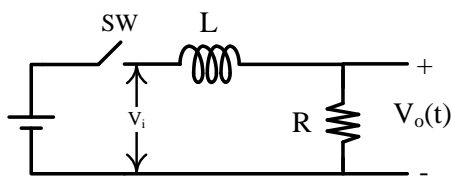
۱- مدار شکل ۶ را با $R=10k\Omega$ و $C=100nF$ بسته و یک ولتاژ پله‌ای با دامنه ۲ ولت ماکزیمم به مدار اعمال کنید. (از موج مربعی با فرکانس حدود ۵۰ هرتز به عنوان ولتاژ پله‌ای استفاده کنید). ورودی مدار را به کانال ۱ و خروجی را به کانال ۲ نوسان نگار متصل نمائید و از روی آن پاسخ مدار را مشاهده و رسم کنید و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

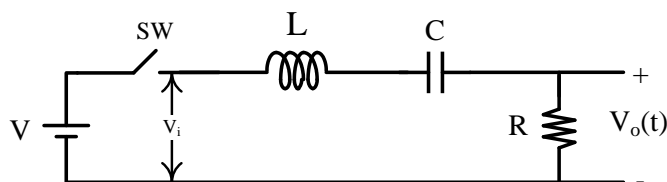


آزمایش ۶

پاسخ گذرای مدار RLC سری

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

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



شکل ۱

و بنابراین یک مدار RL (پایین‌گذر) داریم که شکل ولتاژ خروجی نمایی صعودی خواهد بود. پس از مدتی اثر سلفی نامحسوس و سلف مثل اتصال کوتاه عمل می‌کند و خازن که تقریباً شارژ شده خواص خازنی خود را شدیدا ظاهر می‌سازد و یک مدار RC (بالا‌گذر) خواهیم داشت که قاعدتاً 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 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 ریشه‌های S_1 و S_2 می‌باشد.

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

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

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

بنابراین خواهیم داشت:

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

شرایط اولیه عبارتند از:

$$i(0) = 0$$

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

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

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

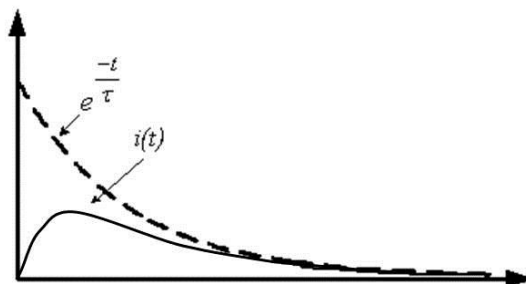
$$i(t) = \frac{V}{L\omega} e^{-\frac{t}{\tau}} \left[\frac{e^{\omega t} - e^{-\omega t}}{2} \right]$$

که در آن:



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

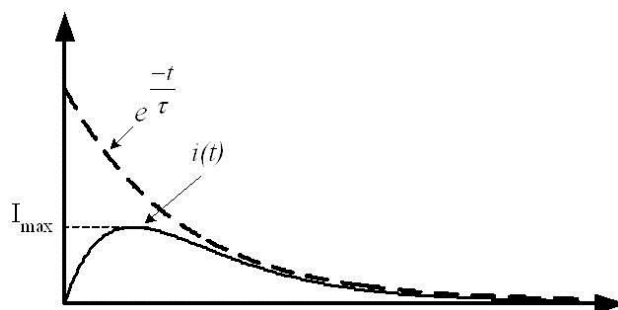
$$\tau = \frac{2L}{R}$$



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 ω و $-\omega$ هم در ایجاد آن نقش دارند و تنها تحت شرایطی که ω خیلی کوچکتر باشد می‌توان گفت که تقریباً ثابت زمانی $\frac{2L}{R}$ است که این وضعیت در حالت بحرانی محسوس‌تر است.

۱- اگر $\frac{R}{2L} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ باشد، جریان مدار به ماکزیمم I_{max} می‌رسد و با ثابت زمانی $\tau = \frac{2L}{R}$ به سمت صفر میل می‌کند. این حالت به «میرایی بحرانی» (Critically Damped) موسوم است.



شکل ۳

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

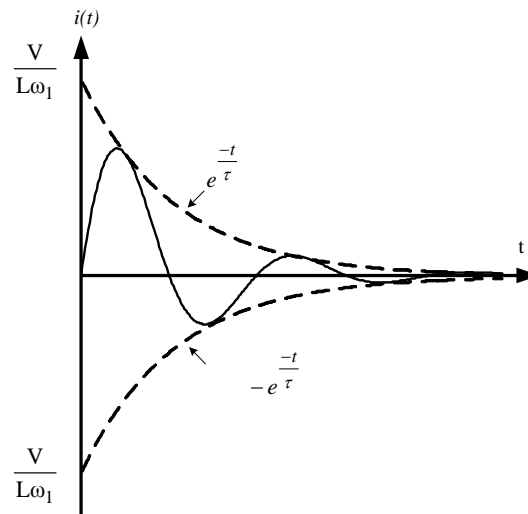


$$\tau = \frac{2L}{R}$$

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

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

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

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:

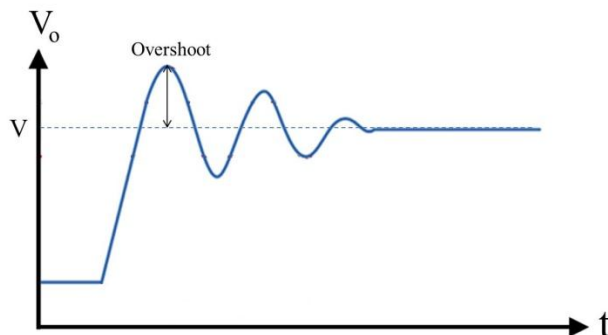
$$R_c = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

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.



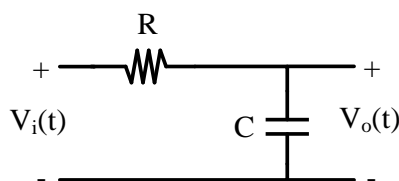
آزمایش ۷

پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر

هدف از آزمایش: بررسی مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز در مدارهای RC پایین گذر و RC میان گذر

۵-۱ 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 φ 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 φ 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"^۱ 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:

^۱ Low Pass Filter



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

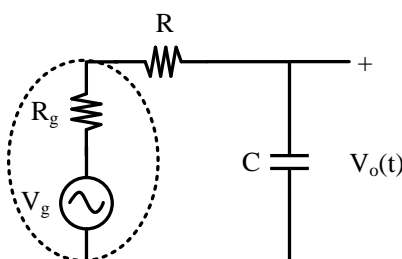
رابطه فوق نشان می دهد که ولتاژ خروجی انتگرال (تابع اولیه) ولتاژ ورودی است. لذا تحت شرایط $\omega RC \gg 1$ مدار فوق را یک انتگرال گیر می نامند.

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 فرکانسهایی که در جدول ۱ قید شده مقدار دامنه ولتاژ خروجی و اختلاف فاز بین موج ورودی و خروجی را بوسیله اسیلوسکوپ اندازه گرفته و یادداشت کنید. دقت داشته باشید در هنگامیکه فرکانس نوسان ساز را تغییر می دهید، دامنه ولتاژ ورودی تغییر نکند و همواره روی دامنه ۴ ولت ثابت بماند. در جدول زیر سطر مربوط به V_o محاسبه شده و ϕ محاسبه شده از طریق روابط تئوری را در گزارش کار تحویلی کامل کنید.

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



جدول ۱

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

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

۲- در این مرحله قصد داریم تا نتایج بدست آمده از 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:

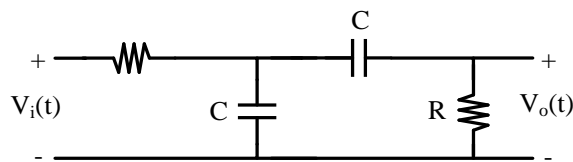
مدار پایین گذر را با مقاومت R و خازن $C=100nF$ تشکیل دهید. نوسان ساز را به ورودی مدار متصل نموده و یک موج مربعی با دامنه ماکزیمم ۴ ولت به مدار اعمال کنید و پاسخ مدار را بوسیله اسیلسکوپ مشاهده نمایید.



فرکانس موج ورودی را در حدود 100Hz انتخاب کنید. با استفاده از مقاومت‌های $22\text{k}\Omega$ ، $10\text{k}\Omega$ ، $6.8\text{k}\Omega$ و $150\text{k}\Omega$ به جای R ، شکل موج خروجی را در هر حالت مشاهده و به دقت (دامنه و زمانها کاملاً مشخص باشد) رسم نمایید. بجای موج مربعی در حالت اخیر ($150\text{k}\Omega$) یک موج سینوسی با دامنه ماکزیمم ۴ ولت به مدار اعمال کنید به فاز ولتاژ خروجی نسبت به ورودی توجه کنید. این اختلاف فاز را چگونه توجیه می‌کنید؟

۵-۲ مدار RC میان‌گذر

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



شکل ۲

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

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

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

در فرکانسهای بالا، وقتی که 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 می‌شود

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 میان‌گذر^۲ موسوم است.

² Band Pass Filter



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

محاسبه ی فرکانس مرکزی f_0 :

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

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

محاسبه ی پهنای باند (BW):

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

$$BW = f_1 - f_2$$

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

(ω_1 و ω_2 ریشه‌های مثبت معادله بالا هستند).

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

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

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

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

³ Central Frequency

⁴ Band Width



روش آزمایش:

الف – صافی میان گذر RC :

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

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

پیش‌گزارش ۳: اگر در فیلتر میان‌گذر جای دو طبقه پایین‌گذر و بالاگذر عوض شود، آیا در مشخصه پاسخ دامنه و پاسخ فاز اثر خواهد داشت؟ (با استفاده از شبیه‌سازی در Orcad و تحلیل AC Sweep بررسی کنید).

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

ب – مدار میان‌گذر در فرکانس‌های خیلی بالا و خیلی پایین:

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

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



جدول ۲

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



آزمایش ۸

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

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

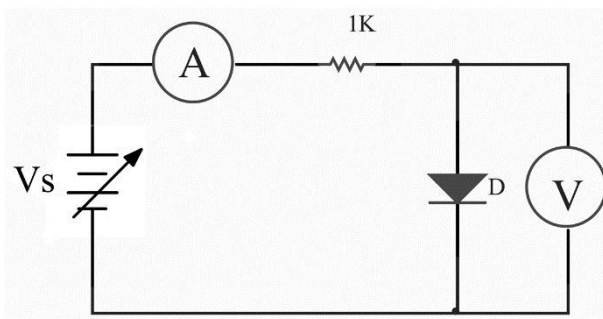
۱-۱- مشخصه دیود 1N4001

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

شرح آزمایش:

- مدار شکل (۱-۱) را ببندید. این نحوه ی اتصال دیود را اتصال مستقیم می گویند. ولتاژ منبع V_s را تا مقدار مشخص شده در جدول افزایش دهید و ولتاژ و جریان دیود را در جدول (۱-۱) یادداشت کنید. توجه ۱: در ابتدا از سالم بودن سیم ها دستگاه ها و دیودی که در اختیار دارید اطمینان حاصل کنید.

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



شکل (۱-۱)



جدول (۱-۱)

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

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

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

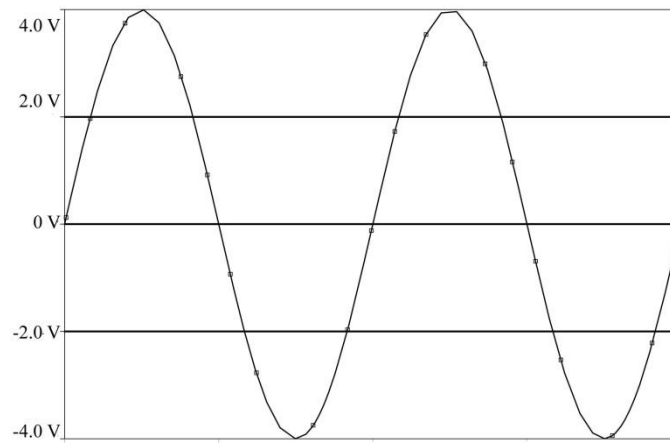
همان طور که می دانید، مقاومت دینامیکی دیود از رابطه ی $r_d = \frac{\Delta V}{\Delta I}$ بدست می آید.

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

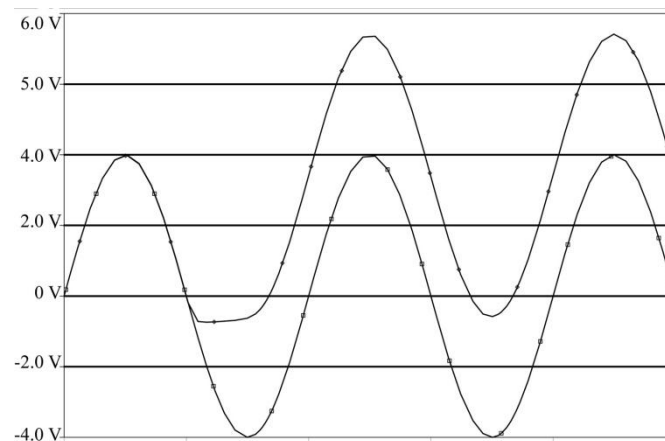
۲-۱ - آشنایی با مدارهای کاربردی دیودی

۱-۲-۱ مدارهای Clamp

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

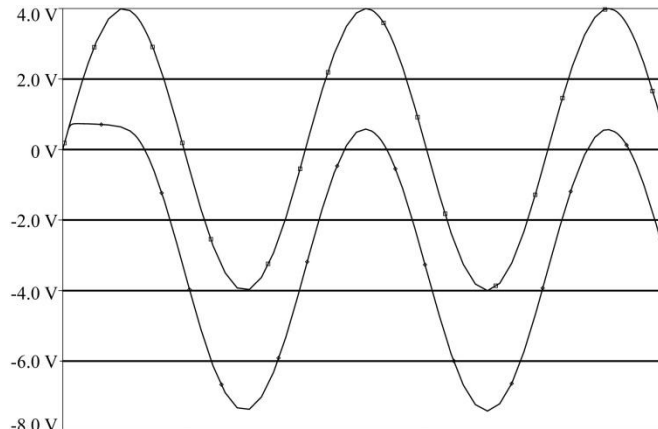


شکل (۱-۲) - سیگنال سینوسی با سطح DC صفر



شکل (۱-۳) - سیگنال سینوسی با سطح DC +۲

مدارهای Clamp در تقویت کننده های ویدئویی گیرنده های تلویزیونی به منظور بازیابی سطح DC سیگنال استفاده می شوند. همچنین از این مدارها در دستگاه Function Generator استفاده می شود. صفر بودن مقدار Offset به معنی مقدار DC صفر در سیگنال AC می باشد.



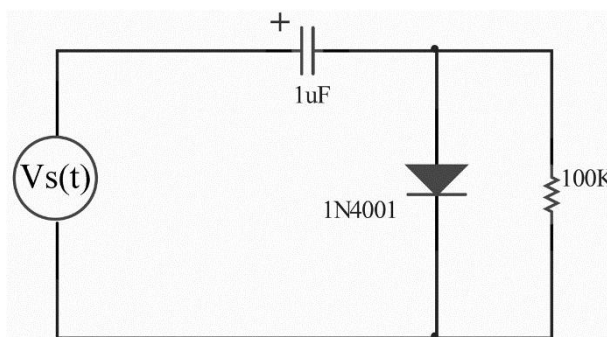
شکل (۴-۱) - سیگنال سینوسی با سطح DC -۲

پیش‌گزارش - (۲) اگر خروجی مدار شکل (۵-۱) دو سر مقاومت $100\text{ K}\Omega$ باشد، خروجی مدار را به ازای یک موج سینوسی با دامنه ی ماکزیمم 6 V ، رسم نمایید و نحوه ی عملکرد آن را به صورت کامل توضیح دهید.

پیش‌گزارش - (۳) اگر خروجی مدار شکل (۶-۱) دو سر مقاومت $100\text{ K}\Omega$ باشد، خروجی مدار را به ازای یک موج سینوسی با دامنه ی ماکزیمم 6 V ، رسم نمایید و نحوه ی عملکرد آن را به صورت کامل توضیح دهید.

شرح آزمایش:

- مدار شکل (۵-۱) را روی برد ببندید. منبع ورودی را روی شکل موج سینوسی با دامنه ی ماکزیمم 4 V قرار دهید.



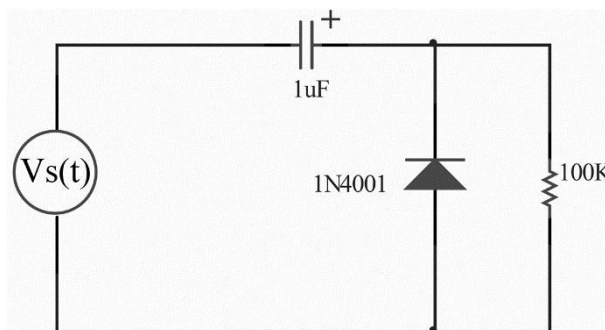
شکل (۵-۱)



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

گزارش کار- (۲) اگر در مدار شکل (۵-۱) از مقاومت هایی با مقادیر کمتر استفاده کنیم چه اتفاقی خواهد افتاد؟

- مدار شکل (۶-۱) را روی برد ببنیدید. منبع ورودی را روی شکل موج سینوسی با دامنه ی ماکزیمم ۴ V قرار دهید.

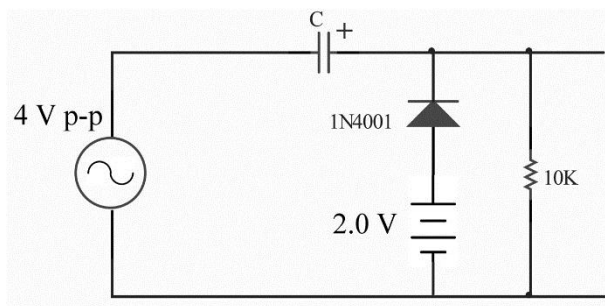


شکل (۶-۱)

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

گزارش کار- (۴) اگر در مدار شکل (۶-۱) از مقاومت هایی با مقادیر کمتر استفاده کنیم چه اتفاقی خواهد افتاد؟

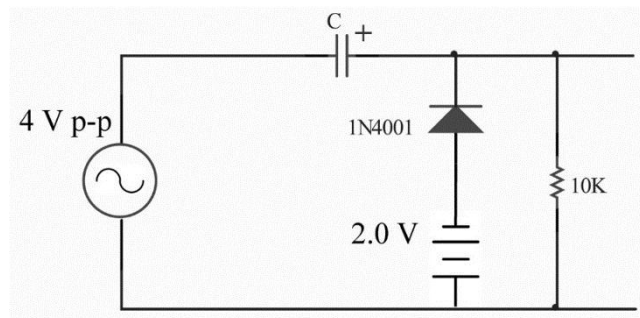
گزارش کار- (۵) در مدار شکل (۷-۱) اگر ورودی دارای ولتاژ پیک تا پیک ۴ V بدون Offset باشد، خروجی مدار را رسم نمایید.



شکل (۷-۱)



گزارش کار- ۶) در مدار شکل (۸-۱) اگر ورودی دارای ولتاژ پیک تا پیک ۴ V، بدون Offset باشد، خروجی مدار را رسم نمایید.



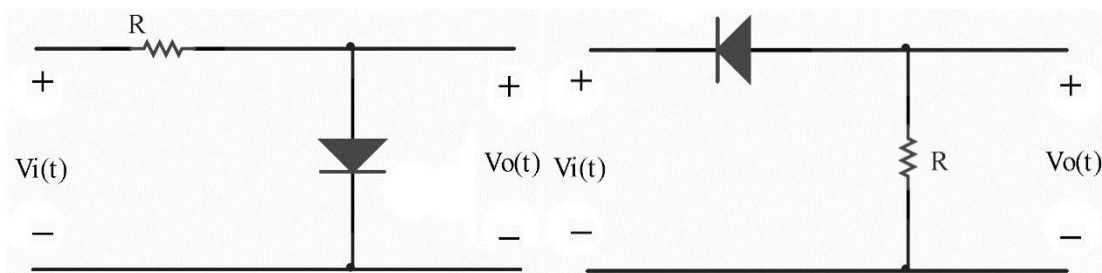
شکل (۸-۱)

۲-۲-۱- مدارهای Clipper

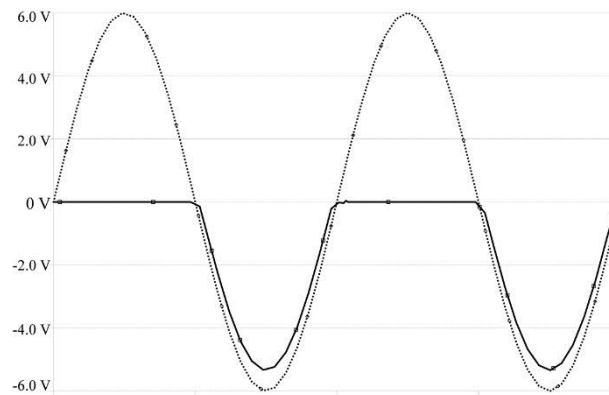
از این نوع مدارها هنگامی استفاده می کنیم که می خواهیم قسمتی از شکل موج را انتقال بدهیم و قسمتی را حذف کنیم. مدارهای آزمایش قبل شکل موج ورودی را در خروجی حفظ می کردند در حالی که در مدارهای Clipper شکل موج ورودی بریده می شود و در خروجی نمایش داده می شود. معمولاً در این نوع مدارها از ولتاژهای مرجع برای سطح برش استفاده می شود.

مدارهای برش دهنده سیکل مثبت سیگنال

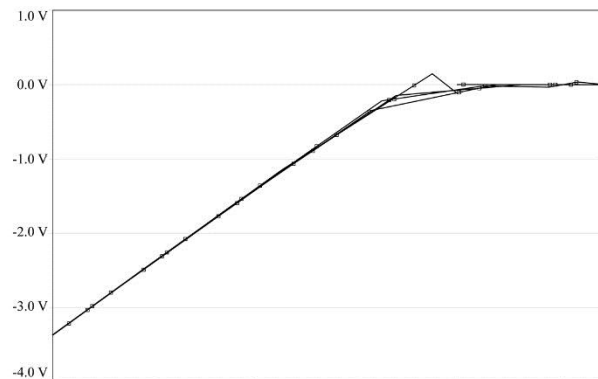
برشگرهای سیکل مثبت سیگنال در شکل (۹-۱) نشان داده شده اند. مشخصه ی ورودی و خروجی در شکل های (۱۰-۱) و (۱۱-۱) نشان داده شده است.



شکل (۹-۱)



شکل (۱۰-۱)



شکل (۱۱-۱)

برای اتصال سری دیود:

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

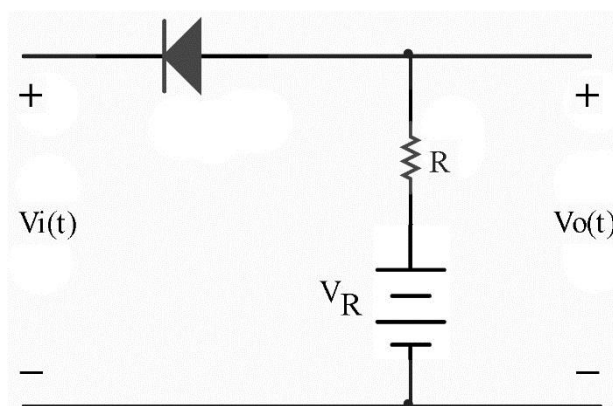


برای اتصال موازی دیود:

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

مدارهای برش دهنده مثبت دارای ولتاژ مرجع مثبت

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

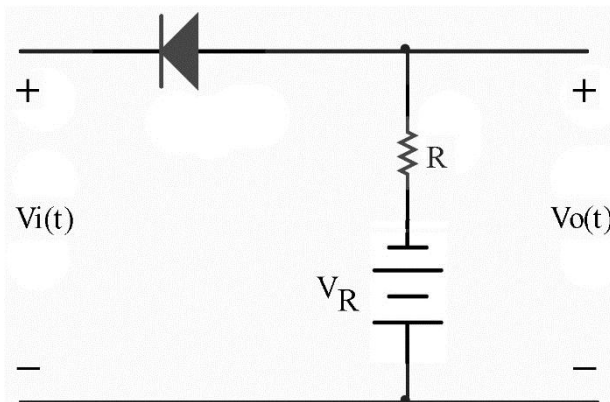


شکل (۱-۱۲)

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

مدارهای برش دهنده مثبت دارای ولتاژ مرجع منفی

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

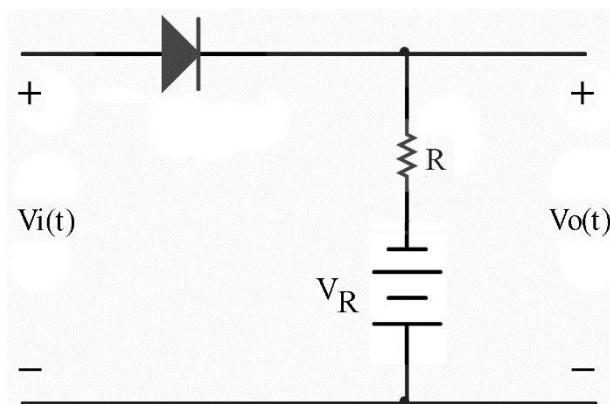


شکل (۱-۱۳)

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

مدارهای برش دهنده سیکل منفی سیگنال همراه با ولتاژ مرجع

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



شکل (۱-۱۴)



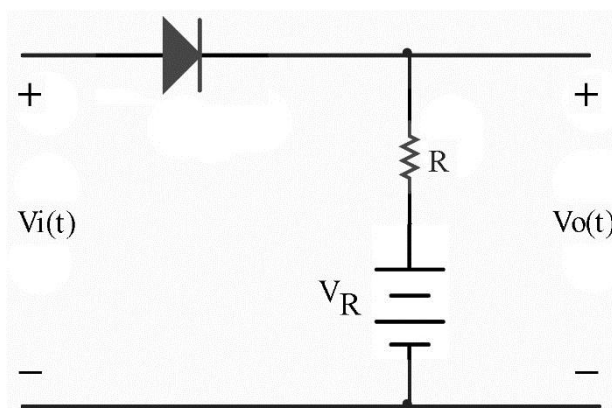
مدارهای برش دهنده با استفاده از دیودهای زنر

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

شرح آزمایش:

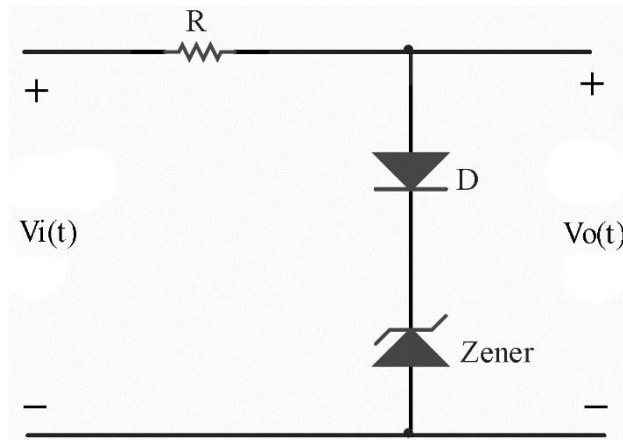
پیش گزارش - ۴) مدارهای مربوط به شکل های زیر (۱-۱۵ تا ۱-۱۷) با شبیه سازی کنید و شکل موج خروجی را رسم کنید.

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



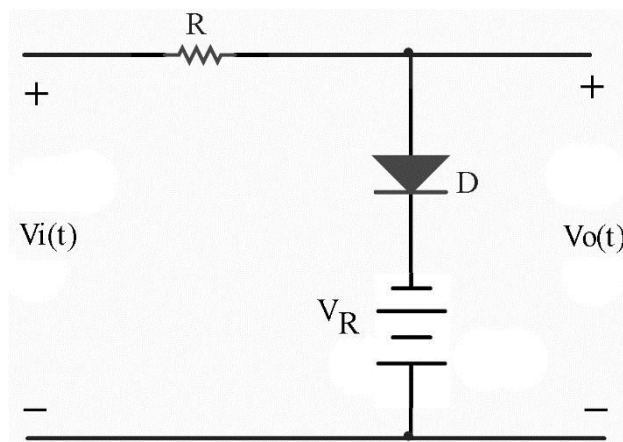
شکل (۱-۱۵)

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



شکل (۱۶-۱)

۳) شکل موج خروجی را برای مدار شکل (۱۷-۱) را با پلاریته ی مشخص شده در شکل (۳+V، در نظر بگیرید.
(R=1 K)



شکل (۱۷-۱)

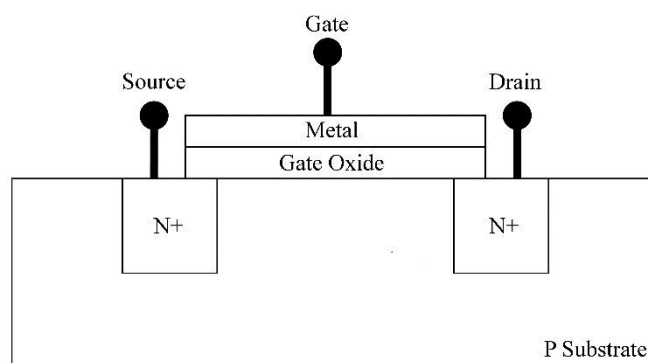


آزمایش ۹

آشنایی با ترانزیستورهای MOS

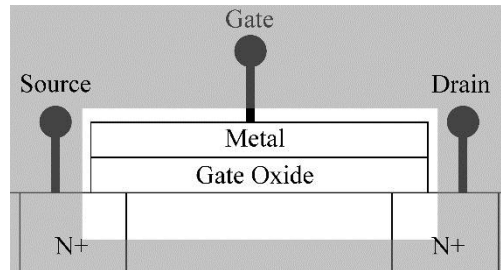
هدف از آزمایش: در این آزمایش به طور مختصر با ترانزیستورهای MOS و نحوه عملکرد آن ها آشنا می شوید.

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



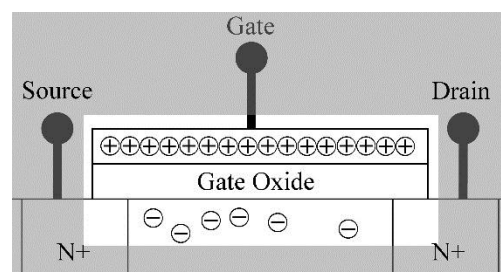
شکل (۹-۱)

برای این که جریان بین پایه های درین و سورس شارش داشته باشد ابتدا باید حامل هایی مانند الکترون به این منظور وجود داشته باشند، بدون حضور الکترون هیچگاه جریانی بین این دو پایه برقرار نخواهد شد. حالتی که گفته شد زمانی اتفاق می افتد که $V_{gs} = 0$ باشد. فرض کنید به تدریج این ولتاژ را افزایش دهیم در این صورت بارهای الکتریکی مثبت روی فلز جمع می شوند، باید توجه داشته باشید که لایه ای که در وسط قرار دارد اکسید می باشد و مانند عایق عمل می کند، با کمی دقت متوجه می شویم که ساختاری که در شکل (۹-۲) نشان داده شده، مانند خازنی می باشد که یک صفحه ی آن باردار شده است.



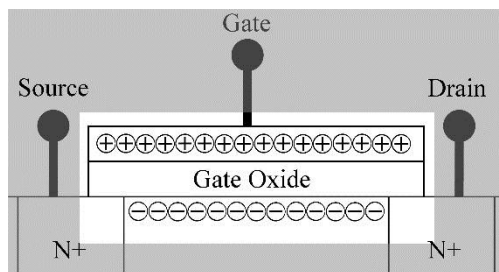
شکل (۹-۲)

بارهای مثبت روی فلز، الکترون های پراکنده ی زیر لایه را در سطح زیرین اکسید جمع آوری می کنند. بنابراین همان طور که در شکل (۹-۳) نشان داده شده است اگر همچنان ولتاژ گیت- سورس را افزایش دهیم الکترون های بیشتری در سطح زیر گیت خواهیم داشت. هنگامی که ولتاژ گیت- سورس به مقدار مشخصی می رسد، یک لایه تک الکترون از درین تا سورس همان طور که در شکل (۹-۴) مشاهده می کنید زیر سطح گیت شکل خواهد گرفت، این ولتاژ مشخص همان ولتاژ آستانه یا V_t نام دارد. به یاد داریم که عامل حرکت بارهای الکتریکی میدان های الکتریکی بودند، به عبارت بهتر تا زمانی که میدان الکتریکی نداشته باشیم این الکترون ها در جای خود ثابت می مانند و می دانیم که با حرکت الکترون ها جریان الکتریکی به وجود خواهد آمد. حتماً به خاطر دارید که ولتاژ با میدان رابطه ای مستقیم دارد. بنابراین اگر اختلاف پتانسیل داشته باشیم، میدان خواهیم داشت در نتیجه الکترون های بی حرکت زیر سطح گیت، در جهت میدان حرکت خواهند کرد و در نهایت جریان خواهیم داشت.



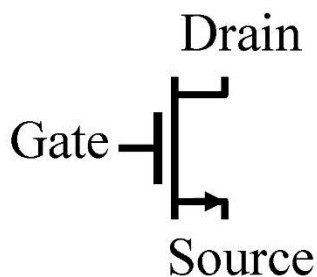
شکل (۹-۳)

این اختلاف پتانسیل را می توان به پایه های درین- سورس اعمال کرد در این صورت الکترون ها از سورس به سمت درین حرکت خواهند کرد و جهت جریان از درین به سمت سورس خواهد بود. دقت داشته باشید که نام های سورس و درین به همین منظور انتخاب شده اند.



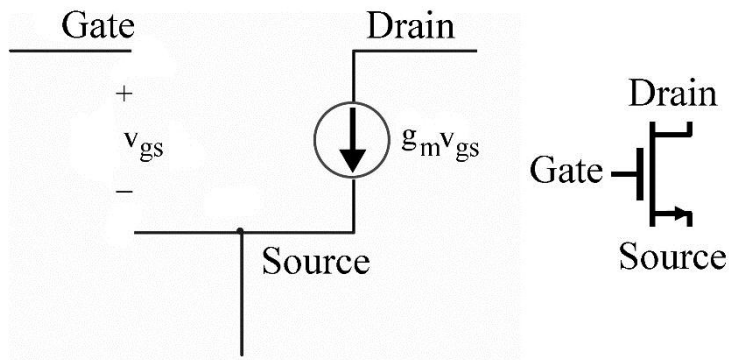
شکل (۴-۹)

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



شکل (۵-۹)

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

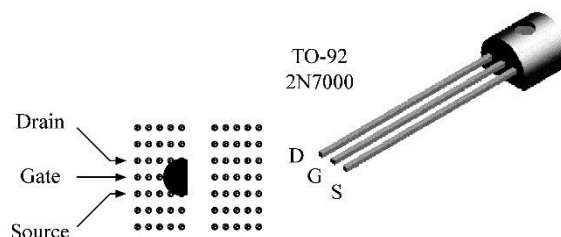


شکل (۶-۹)



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

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



شکل (۷-۹)

برای اطلاع بیشتر از پارامترهای این ترانزیستور می توانید از سایت www.alldatasheet.com برکه های اطلاعاتی مربوط به این المان را دانلود و مطالعه کنید. مهمترین پارامترهایی که می توان برای این المان نام برد، حداکثر جریان عبوری از درین، حداکثر ولتاژ قابل تحمل درین- سورس و حداکثر توان قابل تحمل توسط ترانزیستور می باشد.

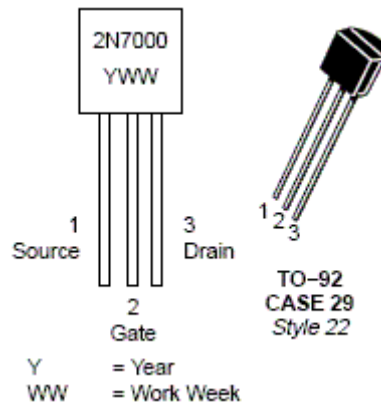
جدول (۱-۹)

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



در جدول (۹-۱)، k توسط کارخانه سازنده ترانزیستور تعیین می شود. این پارامتر را از روی مشخصه ورودی می توانید بدست آورید.

ترانزیستور NMOS مورد نیاز برای انجام آزمایش ها 2N7000 می باشد.

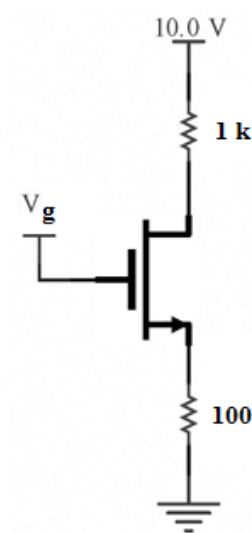




۹-۱- تعیین ولتاژ آستانه ترانزیستور NMOS

ابتدا با استفاده از یکی از ترانزیستورهای NMOS موجود در تراشه CD4007، مدار شکل زیر را بسازید. در این بخش با استفاده از اختلاف پتانسیل ایجاد شده بین درین و سورس میزان ولتاژ آستانه ترانزیستور تعیین خواهد گرد. برای یافتن مقدار ولتاژ آستانه ابتدا منبع تغذیه مربوط به ولتاژ گیت را بر روی صفر تنظیم کرده و سپس به آرامی مقدار آن را افزایش دهید. هنگامی که عبور جریان از مقاومت درین آغاز گردد (جریان درین به مقدار 0.1mA برسد) ترانزیستور روشن شده است. در حقیقت با افزایش تدریجی ولتاژ منبع تغذیه مقدار V_{gs} افزایش می یابد و به ولتاژ آستانه می رسد و ترانزیستور روشن خواهد شد.

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



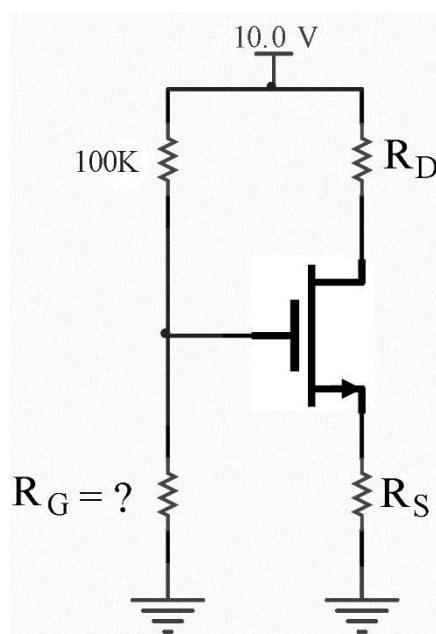
شکل (۹-۸)



۹-۲- بایاس ساده ترانزیستور NMOS

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

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



شکل (۹-۹)

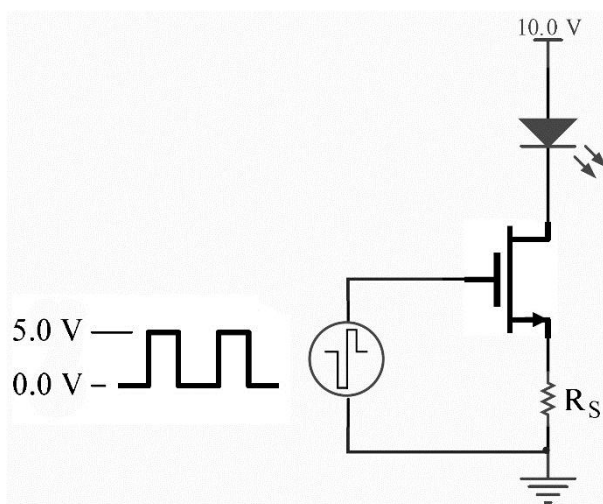


۹-۳- چشمک زن ساده و خاصیت کلیدزنی ترانزیستور MOS

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

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

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



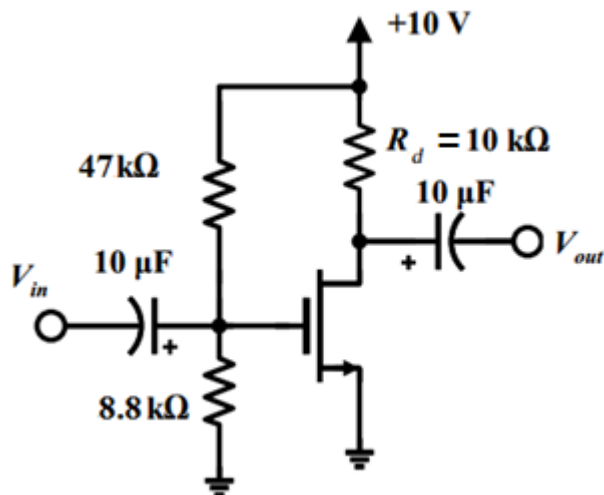
شکل (۹-۱۰)



۹-۴- تقویت کننده سورس مشترک با ترانزیستور NMOS

پیش گزارش: بهره ولتاژ V_{out} بر حسب V_{in} را حساب کنید.

- مدار شکل (۹-۱۱) یک مدار سورس مشترک می باشد که در آن ورودی به گیت اعمال شده و خروجی از درین گرفته می شود. این مدار را روی برد ببندید و جدول (۹-۲) و (۹-۳) را تکمیل کنید. ولتاژ ورودی به گیت یک موج سینوسی با دامنه ۱۰۰ میلی ولت و فرکانس 1 KHz است.



شکل (۹-۱۱)

جدول (۹-۲)

I_d	V_d	V_g	پارامتر
			مقدار اندازه گیری شده

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

جدول (۹-۳)

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



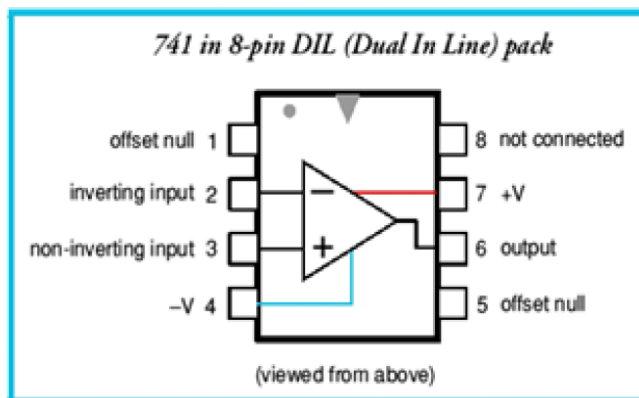
آزمایش ۱۰

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 (۱-۱۰) 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 (۱-۱۰) 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 (۱-۱۰)

۱- تقویت کننده معکوس کننده:

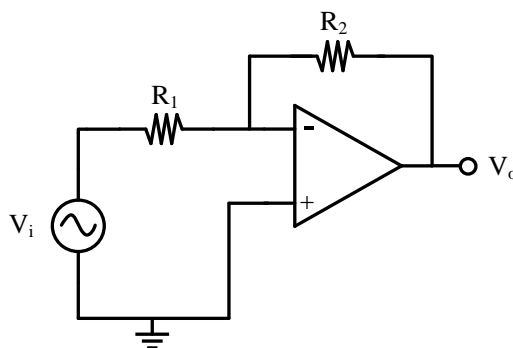
در این آزمایش می خواهیم یک تقویت کننده با بهره منفی توسط آپ امپ (که فیدبک منفی دارد) بسازیم. مدار مربوط به این آزمایش در شکل (۲-۱۰) نشان داده شده است.

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

پیش گزاری 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 (۲-۱۰) 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 (۲-۱۰)



۲- تقویت کننده غیرمعکوس کننده:

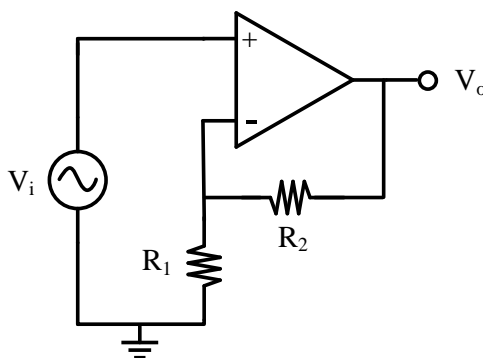
در این آزمایش می خواهیم یک تقویت کننده با بهره مثبت توسط آپ امپ (که فیدبک منفی دارد) بسازیم. مدار مربوط به این آزمایش در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است.

پیش گزارش ۳: مدار غیرمعکوس کننده شکل (۳-۱۰) را برای بهره ۶/۶ 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 (۳-۱۰) و مقادیر مقاومت های R_1 و R_2 طراحی شده، ببینید. 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 (۳-۱۰)



۳- پاسخ فرکانسی مدار RC پایین گذر

۱-۳ فیلتر پایین گذر

شکل (۴-۱۰) 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.

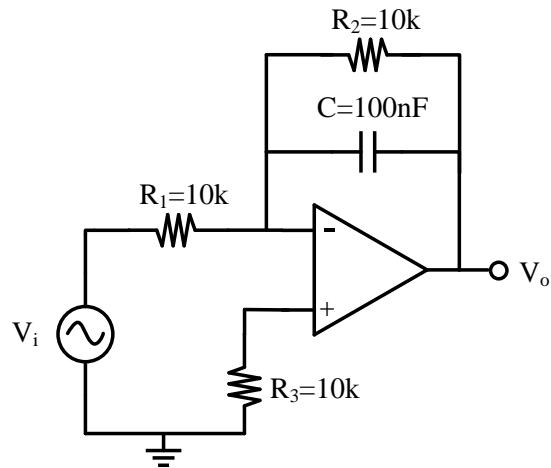
پیش گزارش ۷: مدار مربوط به فیلتر پایین گذر را با استفاده از تحلیل Time Domain شبیه سازی کنید.

شرح آزمایش:

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

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 ۴Vp-p و فرکانس 100Hz به مدار اعمال کنید و پاسخ مدار را در هر چهار حالت بوسیله اسیلوسکوپ مشاهده نمایید.



شکل (۴-۱۰)

جدول (۱-۱۰)

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