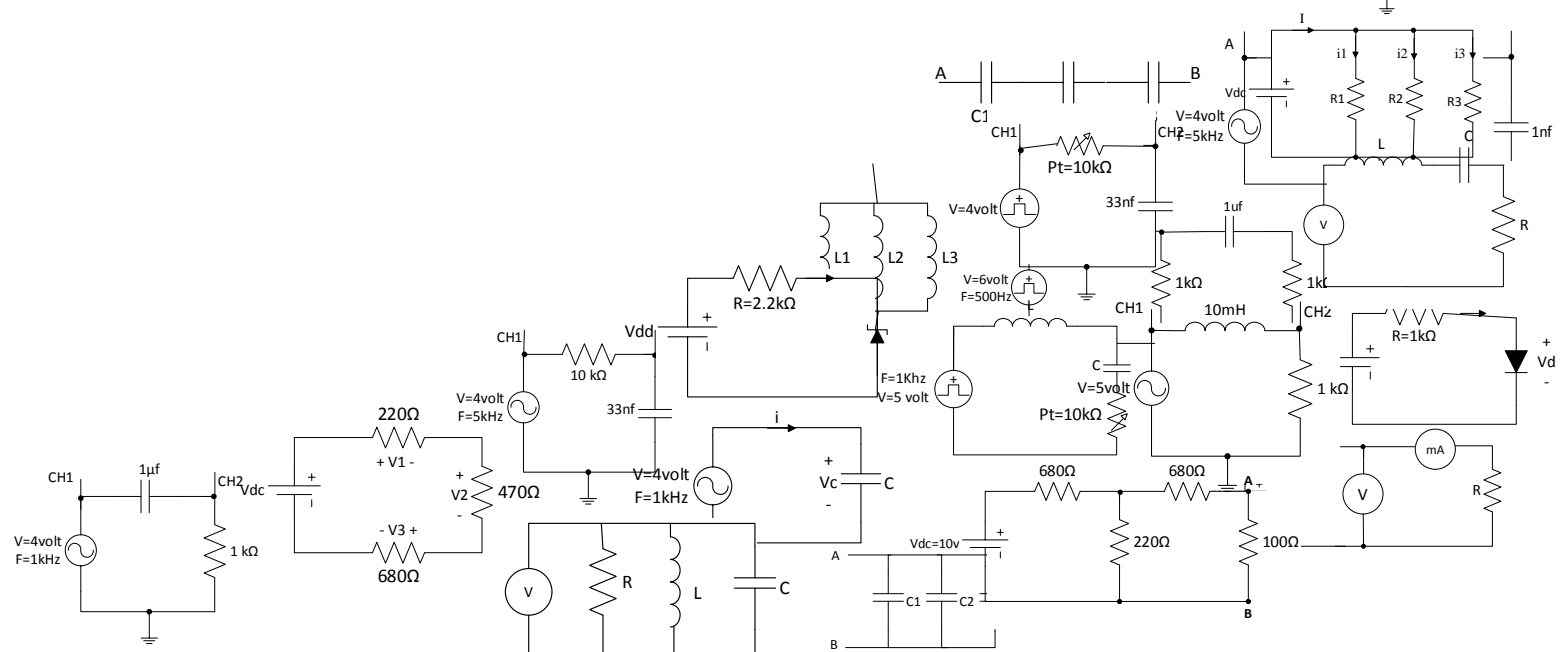
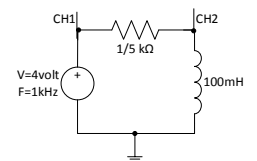


دستور کار آزمایشگاه مدارهای الکتریکی و اندازه‌گیری

تهیه و تنظیم: مریم امینیان

زیر نظر: دکتر حمیدرضا رضایی ده‌سرخ



فهرست مطالب

آزمایش ۱ : آشنایی با وسایل اندازه‌گیری.....	۱
آزمایش ۲ : قانون اهم، KVL و KCL.....	۱۴
آزمایش ۳ : قضیه جمع آثار، معادله تونن و نورتن و قضیه حداکثر توان انتقالی.....	۱۸
آزمایش ۴ : سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ.....	۲۰
آزمایش ۵ : عملکرد سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ.....	۳۰
آزمایش ۶ : رفتار خازن تحت شکل موج متناوب.....	۳۱
آزمایش ۷ : اختلاف فاز مدارهای RC.....	۳۷
آزمایش ۸ : مدارات انتگرال‌گیر و مشتق‌گیر.....	۳۸
آزمایش ۹ : پاسخ فرکانسی مدارهای RC (فیلتر RC).....	۴۰
آزمایش ۱۰ : بررسی مدارهای RL.....	۴۳
آزمایش ۱۱ : ثابت زمانی مدارهای RC و RL.....	۴۶
آزمایش ۱۲ : بررسی مدارهای RLC.....	۴۸
آزمایش ۱۳ : دیودها.....	۵۱
آزمایش ۱۴ : مشخصه دیودها.....	۵۶
پیوست ۱ : لیست قطعات مورد نیاز در آزمایشگاه.....	۵۷

پیشگفتار

یکی از دروس مهم و پایه در رشته برق، درس مدارهای الکتریکی می‌باشد که در آن دانشجویان با مفاهیم اولیه مدارها آشنا می‌شوند. در این اثر تا جای ممکن سعی شده است تا تمام مطالب سرفصل درس مدارهای الکتریکی پوشش داده شود. علاوه بر آن آشنایی با وسایل اندازه‌گیری الکترونیکی و نحوه عملکرد اجزای اصلی آن‌ها نیز توضیح داده شده است.

آزمایش‌های طراحی شده در این آزمایشگاه بر مبنای ۲ ساعت مفید در هفته می‌باشد و هر آزمایش شامل قسمت‌های هدف آزمایش، تئوری آزمایش و مراحل انجام آزمایش است. انتظار می‌رود دانشجویان قبل از انجام هر آزمایش مطالب تئوری مربوط به آن آزمایش را مطالعه کنند. رعایت نظم و قوانین آزمایشگاه و حضور به موقع، نکته دیگری است که می‌تواند به استفاده مفید از جلسات آزمایشگاه کمک نماید. لیست قطعات و لوازم مورد نیاز این آزمایشگاه نیز در پیوست ارائه گردیده است که در جهت بهره‌برداری بهتر از آزمایش‌ها تهیه آن‌ها لازم و ضروری است.

در خاتمه لازم است که از جناب آقای دکتر رضایی که در تهیه پیش‌نویس این دستورکار از راهنمایی‌های مفیدشان من را بهره‌مند ساختند تشکر نمایم. امیدوارم دانشجویان و همکاران گرامی هرگونه کوتاهی یا ایرادی که در این دستور کار از دید اینجانب پنهان مانده را یادآوری کنند و دانشجویان با گذراندن این آزمایشگاه درک مناسبی از مطالب اندازه‌گیری و مدار به دست آورند.

آزمایش ۱: آشنایی با وسایل اندازه‌گیری

هدف آزمایش: آشنایی با شیوه کار با مولتی مترهای دیجیتال، انواع مقاومت‌ها و برد مورد

تئوری آزمایش:

وسایل اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری هر کمیت احتیاج به وسیله‌ای است که بتوان توسط آن وسیله مقدار مورد نظر را از هر نوعی که باشد اندازه‌گیری کرد. وسایل اندازه‌گیری علاوه بر اندازه‌گیری مشخصه‌های مدار مانند ولتاژ، جریان، فرکانس، مقدار مقاومت و غیره برای تنظیم و درجه‌بندی، عیب‌یابی و تعمیر مدارها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. در زیر فهرستی از یک سری وسایل اندازه‌گیری آورده شده است:

مولتی متر (آنالوگ-دیجیتال)، اسیلوسکوپ، مولد سیگنال، پروب منطقی، منبع تغذیه DC با ولتاژ متغیر، فرکانس متر، دستگاه اندازه‌گیری توان، مولد سیگنال‌های رادیویی، وسایل اندازه‌گیری اعوجاج یا هارمونیک، دستگاه‌های آزمایش ICها و مدارهای منطقی و....

۱- مولتی متر

یکی از متداول‌ترین وسایل مورد استفاده در اندازه‌گیری مولتی متر می‌باشد. این وسیله عموماً برای اندازه‌گیری ولتاژ یا جریان DC و AC و اندازه‌گیری مقاومت کاربرد دارد. همچنین بعضی از مولتی مترها قادر به تشخیص اتصال کوتاه، تست دیود و ترانزیستور (hfe)، اندازه‌گیری درجه حرارت و ... می‌باشد. مولتی مترها به دو صورت دیجیتال و آنالوگ وجود دارند.

- **مولتی متر آنالوگ:** در ظاهر مولتی متر آنالوگ یا عقربه‌ای معمولاً از یک صفحه با تعدادی خطوط مدرج، یک عقربه که می‌تواند روی خطوط مدرج حرکت کند، یک سلکتور، تعدادی ترمینال، یک پیچ تنظیم صفر و دو سیم رابط تشکیل می‌شود.
- **مولتی متر دیجیتال:** مولتی متر دیجیتال کمیت‌های اندازه‌گیری شده را به صورت رقم و یا ارقامی بر روی صفحه نمایش نشان می‌دهد و معمولاً واحد کمیت اندازه‌گیری شده را نیز به طریق مناسبی نمایش می‌دهد.
- **مولتی متر انبری:** نوع دیگری از مولتی متر نیز وجود دارد که در آن علاوه بر امکانات بیان شده، انبری نیز وجود دارد. توسط این انبر می‌توان بدون نیاز به سری کردن مولتی متر با المان مورد نظر در مدار، جریان گذرنده از آن المان را اندازه گرفت. اگر سیم حامل جریان متصل به المان مورد نظر را بین انبرهای این مولتی متر قرار دهیم، مولتی متر مقدار جریان گذرنده از سیم و در نتیجه مقدار جریان گذرنده از المان مورد نظر را نمایش می‌دهد.

۱-۱- مقایسه مولتی متر آنالوگ و دیجیتال

- نمایش کمیت در مولتی مترهای آنالوگ توسط عقربه می‌باشد ولی در مولتی مترهای دیجیتال این نمایش توسط 7seg یا LCD می‌باشد.
- هنگام تنظیم مدارهای الکترونیکی با استفاده از مولتی مترهای دیجیتال نمی‌توان به آسانی تغییرات را دنبال کرد.
- خواندن مقدار دقیق کمیت اندازه‌گیری شده توسط مولتی مترهای آنالوگ چندان آسان نیست و احتیاج به یک سری مقیاس‌ها دارد ولی در مولتی متر دیجیتال این عمل لازم نیست.
- مولتی متر آنالوگ در اندازه‌گیری مقاومت‌های زیاد دارای خطا می‌باشند اما نوع دیجیتال قادر به اندازه‌گیری مقاومت با دقت بسیار بالایی است.



شکل (۱) : نمونه‌ای از انواع مولتی مترها از راست به چپ مولتی متر آنالوگ، دیجیتال، انبری

۱-۳- طرز کار با مولتی متر دیجیتال

(۱) طرز اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم (DC-Volt): سلکتور را بر روی DC آورده و فیش سیاه رنگ را درون ترمینال COM و فیش قرمز را درون ترمینال ولت-اهم، قرار می‌دهیم. سر دیگر آن‌ها را به طور مناسب به قطبین مولد یا دو نقطه از مدار وصل می‌کنیم و ولتاژ را اندازه‌گیری می‌کنیم.

(۲) طرز اندازه‌گیری شدت جریان مستقیم (DC-Current): فیش مشکی را به COM و قرمز را به mA و یا 10A قرار می‌دهیم. در این حالت برای اندازه‌گیری جریان مستقیم، آمپرتر به صورت سری قرار می‌گیرد. دقت: چنانچه آمپرتر به صورت موازی در مدار قرار گیرد فیوز آن می‌سوزد.

(۳) طرز اندازه‌گیری ولتاژ متناوب (ACV): کلید سلکتور را روی ACV و یکی از فیش‌ها را درون ترمینال COM و دیگری را به ترمینال مربوط به ولت وصل می‌کنیم.

(۴) طرز اندازه‌گیری شدت جریان متناوب (ACA): فیش سیاه رنگ را درون ترمینال COM و فیش قرمز را درون ترمینال مربوط به mA وصل می‌کنیم. یا در صورت لزوم به ترمینال 10A وصل می‌کنیم.

(۵) اندازه‌گیری مقاومت: کلید سلکتور را روی بیشترین پله (Range) مقاومت قرار می‌دهیم، فیش سیاه رنگ را درون ترمینال COM (مشترک) و فیش قرمز به درون ترمینال ولت-اهم قرار می‌دهیم. سر دیگر آن‌ها را به طرز مناسبی به طرفین مقاومت مورد نظر وصل می‌کنیم و مقاومت را می‌خوانیم.

(۶) تست اتصال کوتاه همراه با صدا: در این حالت سلکتور را روی Buzzer قرار داده فیش‌های قرمز و مشکی به ترتیب در ورودی اهم-ولت و ورودی مشترک COM قرار می‌دهیم. چنانچه مقاومت مدار تحت آزمایش در محدوده $20\Omega \pm 10\Omega$ باشد صدای بوق به گوش می‌رسد که نشان هادی بودن مسیر است.

(۷) تست دیود: برای این کار تنها لازم است که سلکتور مولتی‌متر را بر روی قسمت تست دیود Diode check قرار دادیم، فیش‌های قرمز و مشکی به ترتیب در ورودی اهم-ولت و ورودی مشترک COM قرار می‌گیرند. حال اگر سیم قرمز را به آند دیود و سیم مشکی را به کاتد وصل کنیم در صورت سالم بودن دیود، نمایشگر ولتاژی بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی ولت نشان می‌دهد. در صورت خراب بودن، نمایشگر عدد ۰۰۰ یا ۱ را نشان خواهد داد.

۸) اندازه‌گیری Hfe: سلکتور را با توجه به نوع ترانزیستور در حالت‌های NPN یا PNP قرار دهید. پایه‌های مربوط به بیس و کلکتور ترانزیستور را در محل‌های مربوط که به ترتیب با B و C مشخص شده‌اند قرار دهید و پایه مربوط به امیتر را در یکی از ترمینال‌های E جا بزنید. در صورت سالم بودن ترانزیستور نمایشگر مقداری بین ۴۰ تا ۱۰۰۰ را نشان خواهد داد.



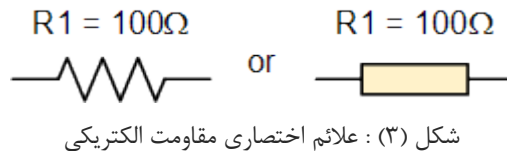
شکل (۲): قسمت‌های کلی یک مولتی‌متر دیجیتال

۱-۴- هنگام کار با دستگاه مولتی‌متر توجه به نکات زیر ضروری است:

- ✓ برای اندازه‌گیری شدت جریان باید دستگاه را به طور سری در مدار قرار داد.
- ✓ برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل باید دستگاه را به طور موازی بین دو نقطه از مدار قرار داد.
- ✓ مقدار ولتاژ و جریان اندازه‌گیری شده در حالت AC توسط مولتی‌متر مقدار RMS می‌باشد.
- ✓ هنگام اندازه‌گیری مقاومت، لازم است جریان برق را قطع کنیم. در غیر این صورت به دستگاه آسیب می‌رسد.
- ✓ دستگاه را با احتیاط جابه‌جا می‌کنیم و از وارد آمدن ضربه به آن و یا سقوط دستگاه جلوگیری می‌نماییم.
- ✓ همیشه هنگام اندازه‌گیری کمیت‌ها کلید سلکتور را روی بیش‌ترین درجه قرار می‌دهیم و در صورت لزوم به تدریج آن را کاهش می‌دهیم تا به دستگاه صدمه‌ای وارد نشود.

۲- مقاومت

به هر قطعه یا عنصری که در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان می‌دهد مقاومت الکتریکی گفته می‌شود. واحد اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی اهم است که آن را با علامت Ω نشان می‌دهند. یک اهم بنا به تعریف مقدار مقاومتی است که اگر اختلاف پتانسیل یک ولت به دو سر آن وصل شود شدت جریان یک آمپر را از خود عبور دهد. مقاومت‌ها در صنایع برق و الکترونیک از اهمیت بالایی برخوردارند و بیشتر به منظور محدود کردن جریان و تقسیم جریان و نیز ایجاد ولتاژهای مختلف در مدارات به کار گرفته می‌شود. علائم اختصاری مقاومت الکتریکی در شکل (۳) نشان داده شده است.



۲-۱- پارامترهای مقاومت

- **مقدار مقاومت:** مقدار مقاومت را بر حسب واحد آن یعنی اهم، کیلو اهم و مگا اهم بیان می‌کند. هر چه مقدار اهمی مقاومتی بیشتر باشد نشان دهنده این است که آن مقاومت در برابر عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت بیشتری نشان می‌دهد و سبب افت جریان بیشتری در مدار می‌گردد.
- **توان مجاز مقاومت:** بیشترین توانی است که یک مقاومت به طور دائم می‌تواند تحمل کند. توان مجاز هر مقاومت با مساحت بدنه مقاومت و یا به عبارتی با حجم مقاومت نسبت مستقیم دارد یعنی هر چه یک مقاومت دارای حجم بیشتری باشد در واحد زمان می‌تواند حرارت بیشتری را به محیط اطراف انتقال دهد و در نتیجه دارای توان مجاز بیشتری می‌باشد. توان مجاز مقاومت را روی آن می‌نویسند و یا با توجه به اندازه و حجم مقاومت، میزان توان مجاز آن مشخص می‌شود.

$$p = V \times I = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

مقاومت‌هایی که در صنایع الکترونیک مورد استفاده قرار می‌گیرند معمولاً دارای توان‌هایی به شرح زیر می‌باشند:

0.125w, 0.25w, 0.5w, 1w, 2w, 3w, 4w, 5w

- **تلرانس یا خطا:** منظور از تلرانس یک مقاومت حداکثر خطای مجاز یک مقاومت نسبت به مقدار نامی آن مقاومت می‌باشد که معمولاً بر حسب درصد بیان می‌شود و به عبارت دیگر تلرانس یک مقاومت، محدوده مقدار واقعی آن مقاومت را مشخص می‌کند. مقدار تلرانس مقاومت‌ها یا به صورت عدد بر روی مقاومت‌ها نوشته می‌شود و یا در مقاومت‌های با نوارهای رنگی به وسیله یک نوار رنگی مشخص می‌شود.

۲-۲- انواع مقاومت‌های الکتریکی

مقاومت‌های الکتریکی به دو دسته کلی مقاومت‌های ثابت و مقاومت‌های متغیر تقسیم می‌شوند.

۲-۲-۱- مقاومت‌های ثابت

مقاومت‌هایی هستند که مقدار اهمی آن‌ها همواره ثابت است. مقاومت‌های ثابت خود به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- مقاومت‌های کربنی (ترکیبی)
- ۲- مقاومت‌های سیمی (سیم‌پیچی شده)
- ۳- مقاومت‌های لایه‌ای

۲-۲-۱-۱- مقاومت‌های کربنی (ترکیبی): مقاومت‌های کربنی در اکثر مدارات الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند که علت این امر قیمت پایین، زمخت بودن و کوچک بودن این نوع مقاومت‌ها می‌باشد. البته این نوع مقاومت‌ها دو ضعف عمده دارند، یکی این که در مدارات با جریان زیاد نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و دیگر این که معمولاً تolerانس‌های بالایی دارند. نمونه‌هایی از این نوع مقاومت و ساختمان داخلی مقاومت‌های کربنی در شکل (۴) نمایش داده شده است.



شکل (۴): نمونه‌هایی از این انواع مقاومت و ساختمان داخلی مقاومت کربنی

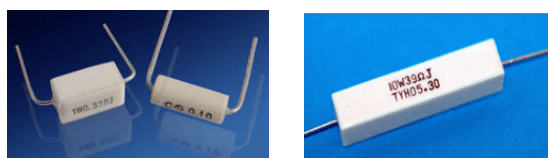
۲-۲-۱-۲- مقاومت‌های سیمی: از پیچاندن سیم‌های مقاومت‌دار طولی به دور یک هسته، مقاومت سیمی یا سیم‌پیچی شده ساخته می‌شود. معمولاً یک روپوش سرامیکی یا پلاستیکی بر روی سیم‌های پیچیده شده بر روی هسته می‌کشند تا سیم‌ها آسیب نبینند. ساختمان داخلی و همچنین نمونه‌ای از یک مقاومت سیمی در شکل‌های (۵) نمایش داده شده است.



شکل (۵): ساختمان داخلی و همچنین نمونه‌ای از یک مقاومت سیمی

این نوع مقاومت‌ها در دو نوع قدرتی و دقیق ساخته می‌شوند. نوع قدرتی در محدوده توان‌های ۲ وات تا ۲۵۰ وات ساخته می‌شود و می‌تواند جریان‌های زیاد را از خود عبور دهد. نوع دقیق نیز در محدوده توان‌های ۰/۲۵ وات تا ۲ وات ساخته می‌شود و دارای تolerانس پایینی می‌باشد اما نمی‌تواند جریان‌های زیاد را از خود عبور دهد. معمولاً اندازه فیزیکی مقاومت‌های سیمی که در جریان‌های زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرند بزرگ‌تر از اندازه فیزیکی مقاومت‌های سیمی است که برای کارهای دقیق و جریان پایین به کار می‌روند. مقاومت‌های سیمی قدرتی معمولاً به شکل یک محفظه سیمان مانند که دارای سطح مقطع مربع یا مستطیل شکل است ساخته می‌شوند و به مقاومت‌های آجری معروفاند (شکل (۶)).

۲-۲-۱-۳- مقاومت‌های لایه‌ای: این نوع مقاومت‌ها، ترکیبی از مقاومت‌های سیمی و کربنی می‌باشند، یعنی دقت مقاومت‌های سیمی را دارند ولی از نظر اندازه و قیمت به مقاومت‌های کربنی نزدیک‌اند.



شکل (۶): مقاومت‌های آجری

۲-۲-۲- مقاومت‌های متغیر

مقاومت‌هایی هستند که مقدار اهم آن‌ها قابل تغییر است. مقاومت‌های متغیر نیز خود به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند.

(۱) مقاومت‌های قابل تنظیم

(۲) مقاومت‌های وابسته (تابع)

۲-۲-۱- مقاومت‌های متغیر قابل تنظیم

مقاومت‌هایی هستند که می‌توان توسط گردش یا لغزش محور آن مقدار اهم دلخواه را به دست آورد موارد مصرف این مقاومت‌ها عبارت‌اند از:

- زمانی که نتوان مقدار دقیق مقاومت را حساب کرد.
- زمانی که مقدار مقاومت مورد استفاده در مدار در مواقع مختلف فرق می‌کند.
- زمانی که مقاومت محاسبه شده استاندارد نباشد ولی لازم باشد که مقدار دقیق مقاومت بکار برده شود.

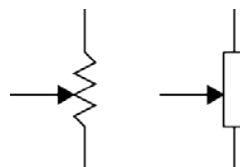
از انواع مقاومت‌های متغیر قابل تنظیم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- پتانسیومتر (Potentiometer)

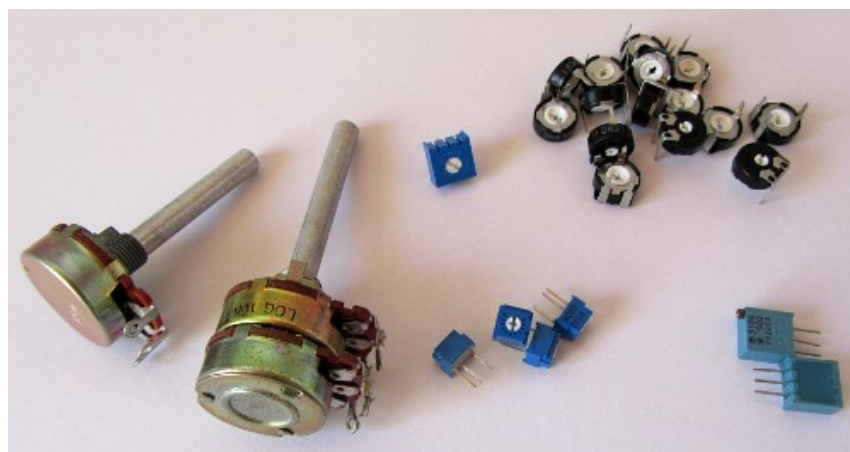
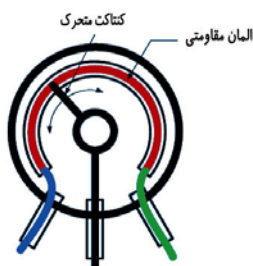
۲- رئوستا

۲-۲-۱-۱- پتانسیومتر: پتانسیومتر از یک المان مقاومتی دوار که درون محفظه‌ای قرار گرفته، تشکیل شده است. این المان مقاومتی ممکن است به صورت سیمی، لایه‌ای 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 می‌تواند بر روی المان مقاومتی حرکت کند و سبب تغییر مقاومت بین ترمینال وسط و هر یک از ترمینال‌های کناری گردد. برای حرکت کنتاکت متحرک بر روی المان مقاومتی، انتهای المان مقاومتی را به یک ولوم و یا به یک صفحه شیاردار که توسط پیچ‌گوشتی قابل حرکت است متصل می‌کنند.

تغییر مقاومت بین ترمینال وسط و یکی از ترمینال‌های کناری می‌تواند نسبت به چرخش ولوم و یا صفحه شیاردار، خطی و یا غیرخطی باشد که بر این اساس پتانسیومتر را خطی و یا غیرخطی می‌نامند. معمولاً مقدار مقاومت بین ترمینال‌های کناری پتانسیومتر و یا به عبارتی مقدار اهمی المان مقاومتی پتانسیومتر را بر روی آن می‌نویسند که اگر این مقدار با حرف B شروع شود نشان دهنده خطی بودن پتانسیومتر است و اگر این مقدار با حرف A شروع شود نشان دهنده این خواهد بود که پتانسیومتر ما یک پتانسیومتر غیرخطی است یعنی به ازای تغییرات یکسان ولوم و یا صفحه شیاردار، تغییرات مقاومت بین ترمینال متحرک و هر یک از ترمینال‌های ثابت یکسان نخواهد بود بلکه این تغییرات به صورت غیرخطی خواهد بود و یا به عبارتی منحنی تغییرات مقاومت بین ترمینال‌های ثابت و متحرک نسبت به چرخش کنتاکت متحرک، غیرخطی خواهد بود. پتانسیومتر بیشتر به منظور تقسیم ولتاژ در مدارات مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل (۷) : علائم اختصاری پتانسیومترها



شکل (۸) : چند نمونه پتانسیومتر

۲-۲-۱-۲-۲-۲-۲-۲ **رئوستا:** رئوستا همان پتانسیومتر است با یک تفاوت کوچک که در رئوستا یکی از ترمینال‌های ثابت مورد استفاده قرار نگرفته و آزاد می‌ماند. به عبارتی رئوستا از یک المان مقاومتی، یک کنتاکت متحرک و یک کنتاکت ثابت تشکیل شده است. رئوستا در مدارات به منظور تغییر جریان به کار می‌رود.



شکل (۹) : نمونه یک رئوستا

۲-۲-۲-۲-۲-۲ **مقاومت‌های وابسته (تابع)**

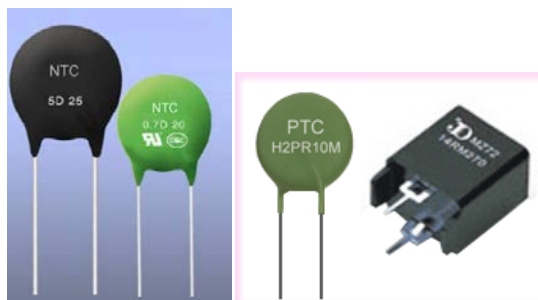
مقاومت‌های وابسته (تابع) به مقاومت‌هایی گفته می‌شود که مقدار آن‌ها به عوامل مختلفی مانند حرارت، نور، ولتاژ و ... بستگی دارد. این مقاومت‌ها عبارت‌اند از :

- ۱- مقاومت‌های تابع حرارت
- ۲- مقاومت‌های تابع نور
- ۳- مقاومت‌های تابع ولتاژ
- ۴- مقاومت‌های تابع میدان مغناطیسی

۲-۲-۲-۲-۱-۲-۲-۲ **مقاومت‌های تابع حرارت:** مقدار اهم این نوع از مقاومت‌ها تابع حرارت است یعنی در اثر تغییر دما، مقدار مقاومت آن‌ها نیز تغییر می‌کند. به این نوع از مقاومت‌ها ^۱TDR نیز می‌گویند. نام دیگر این مقاومت‌ها ترمیستور (Thermistor) می‌باشد. ترمیستورها در دو نوع ساخته می‌شوند که این دو نوع عبارت‌اند از :

^۱ Temperature-Dependent Resistor

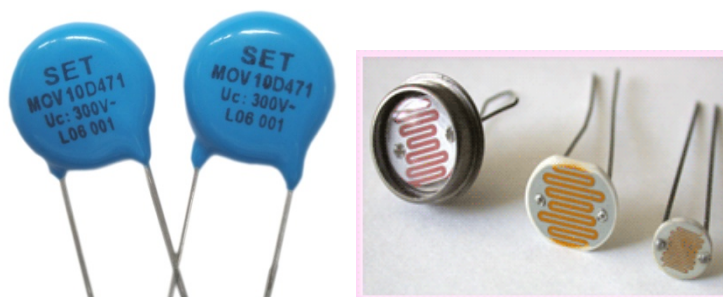
- ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت (PTC^2): مقدار اهم این نوع از مقاومت‌ها با افزایش دما، افزایش می‌یابد.
- ترمیستور با ضریب حرارتی منفی (NTC^3): مقدار اهم مقاومت‌های NTC با افزایش دما، کاهش می‌یابد.



شکل (۱۰): تصویری از یک نمونه NTC و PTC

۲-۲-۲-۲-۲- مقاومت‌های تابع نور: مقدار اهم این نوع از مقاومت‌ها به شدت نور تابیده شده به سطح مقاومت بستگی دارد. این مقاومت‌ها در فضای تاریک دارای مقاومت خیلی زیاد (در حد مگا اهم) و در روشنایی دارای مقاومت کم (در حد کیلو اهم و یا اهم) می‌باشند. به این مقاومت‌ها فتورزیستور و همچنین LDR^4 نیز می‌گویند. از این مقاومت‌ها در مدارات الکترونیکی به عنوان تشخیص دهنده نور (نورسنج) استفاده می‌شود. در شکل (۱۱) تصویری از چند LDR نمایش داده شده است.

۲-۲-۲-۲-۲- مقاومت‌های تابع ولتاژ: مقدار اهم این نوع از مقاومت‌ها با ولتاژ رابطه معکوس دارد؛ یعنی با افزایش ولتاژ، مقدار اهم آن‌ها کاهش می‌یابد. به این نوع از مقاومت‌ها واریستور (Varistor) و همچنین VDR^5 نیز می‌گویند. در شکل (۱۱) تصویری از یک نمونه VDR نمایش داده شده است.



شکل (۱۱): از سمت چپ به راست به ترتیب نمونه‌ای از VDR و LDR

۲-۲-۲-۲-۲- مقاومت‌های تابع میدان مغناطیسی: در اثر اعمال میدان مغناطیسی بر این مقاومت‌ها، مقدار اهم آن‌ها تغییر می‌کند. به این مقاومت‌ها MDR^6 نیز می‌گویند. نکته قابل توجه در مورد این مقاومت‌ها این است که چون در ساخت این مقاومت‌ها از نیمه‌هادی‌هایی با ضریب حرارتی منفی استفاده شده است بنابراین در صورت افزایش دما، مقدار اهم این مقاومت‌ها کاهش می‌یابد.

۳-۲-۳- طریقه خواندن مقاومت‌ها

^۲ Positive Temperature Coefficient

^۳ Negative Temperature Coefficient

^۴ Light-Dependent Resistor

^۵ Voltage-Dependent Resistor

^۶ Magnetic-Dependent Resistor

برای استفاده از یک مقاومت، ابتدا باید مقدار اهم و تolerانس مقاومت را داشته باشیم. کارخانه‌های سازنده مقاومت، معمولاً مقدار اهم و تolerانس مقاومت را به سه روش مشخص می‌کنند که این سه روش عبارت‌اند از:

- نوشتن مشخصات مقاومت بر روی مقاومت
- استفاده از رمزهای متشکل از حروف و اعداد
- استفاده از نوارهای رنگی

۲-۳-۱- نوشتن مشخصات مقاومت بر روی مقاومت

در این روش مقدار اهم و تolerانس و معمولاً توان مجاز مقاومت مستقیماً بر روی مقاومت نوشته می‌شود. در شکل (۱۲) نمونه‌ای از این نوع مشخص کردن اهم و تolerانس مقاومت نمایش داده شده است.



شکل (۱۲): مشخصات مقاومت بروی مقاومت

۲-۳-۲- استفاده از رمزهای متشکل از حروف و اعداد

در این روش با استفاده از اعداد و یک سری حروف خاص، رمزهایی ساخته می‌شود و این رمزها مقدار اهم و تolerانس مقاومت‌ها را مشخص می‌کنند. در هر یک از این رمزها معمولاً دو حرف به کار می‌رود که یکی از این حروف نشان دهنده تolerانس مقاومت و دیگری به عنوان ضریبی برای اعداد موجود در آن رمز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول (۱) معانی حروفی که به عنوان ضریب به کار می‌روند بیان شده است.

حرف	R	K	M
ضریب	1	1000	1000000

جدول (۱)

در جدول (۲) نیز، معانی حروفی که نشان دهنده تolerانس مقاومت هستند نمایش داده شده است.

B	C	D	F	G	H	J	K	M
0.1%	0.25%	0.5%	1%	2%	3%	5%	10%	20%

جدول (۲)

با توجه به جداول بالا داریم:

تولرانس	مقدار	کد
±20%	0.22	R22M
±10%	4.7	4R7K

±20%	5.6Mega	5M6M
------	---------	------

۲-۳-۳- استفاده از نوارهای رنگی

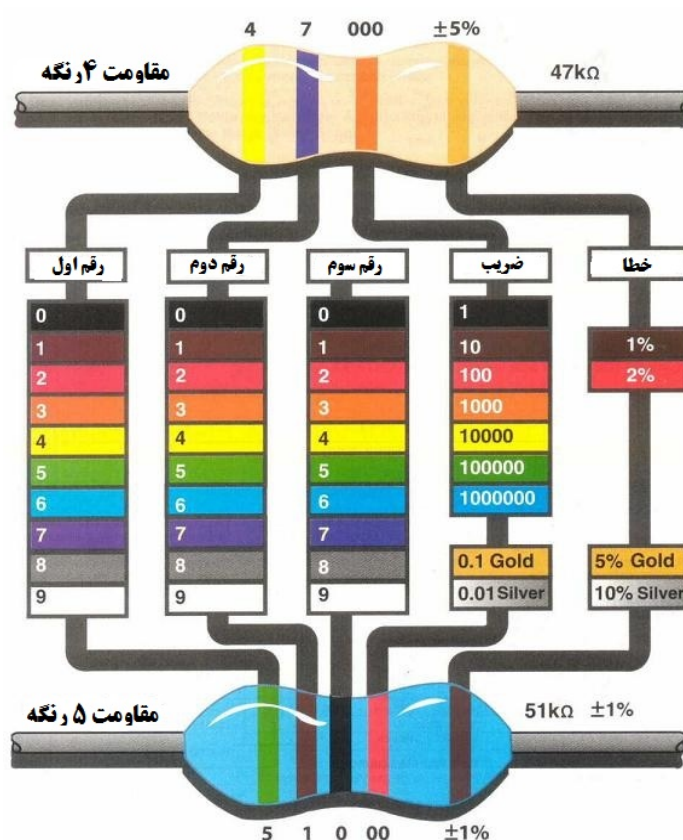
مقاومت‌های کم‌توان دارای ابعاد کوچکی هستند و به همین دلیل مقدار مقاومت و تolerانس آن‌ها را به وسیله نوارهای رنگی مشخص می‌کنند در این روش ممکن است سه، چهار و یا پنج رنگ روی مقاومت وجود داشته باشد.

- **سه رنگی:** رنگ اول و دوم به عنوان عدد و رنگ سوم تعداد صفر است. در این حالت تolerانس آن ۲۰٪ در نظر گرفته می‌شود.

رنگی: این روش که معمول تر هم رنگ اول و دوم برای عدد، رنگ سوم صفرها و رنگ چهارم برای تolerانس می‌شود.

در این روش بر روی مقاومت پنج وجود دارد که سه رنگ اول معرف چهارم معرف تعداد صفر و رنگ تolerانس است.

رنگ‌ها	اعداد
مشکی	صفر
قهوه‌ای	۱
قرمز	۲
نارنجی	۳
زرد	۴
سبز	۵
آبی	۶
بنفش	۷
خاکستری	۸
سفید	۹



- **چهار** است از دو برای تعداد استفاده

- **پنج رنگی:** نوار رنگی عدد، رنگ پنجم بیان گر

شکل (۱۳) : استفاده از نوارهای رنگی برای خواندن مقدار مقاومت

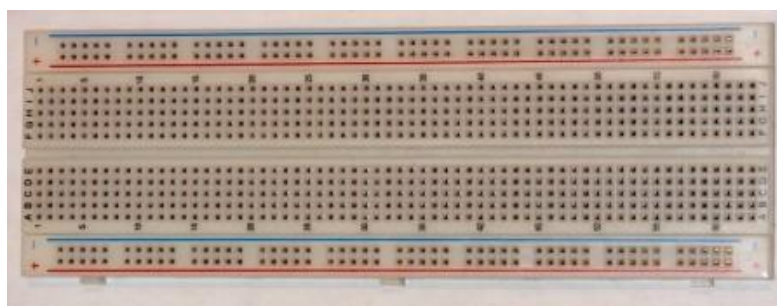
۲-۳-۴- خواندن مقدار پتانسیومتر

برای خواندن مقدار پتانسیومتر به موارد زیر توجه کنید.

- رنگ اولین نوار نمی تواند سیاه باشد.
- مقدار پتانسیومتر می تواند روی آن به صورت عدد نوشته شده باشد مانند 1k، 10k.
- مقدار پتانسیومتر می تواند به روش کد دهی نوشته شده باشد.
- مقدار پتانسیومتر می تواند مانند روش کدهای رنگی روی آن نوشته شده باشد با این تفاوت که به جای کد رنگی عدد جایگزین شده است.

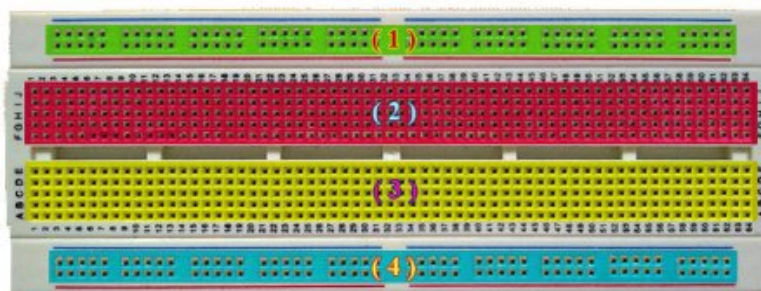
۳- برد برد (Breadboard)

نوعی برد الکترونیکی است (مانند بردهای سوراخ دار) که به وسیله آن می توان اجزای الکترونیکی متعدد را به یکدیگر متصل کرد.



شکل (۱۴) : برد برد

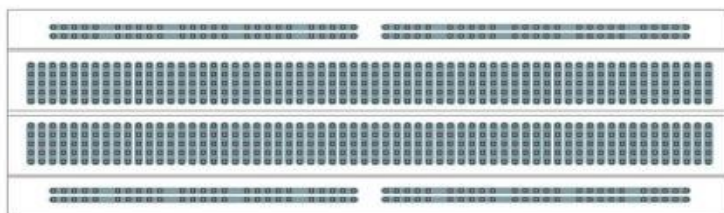
همان طور که در شکل (۱۴) مشاهده می کنید برد برد دارای سوراخ های بسیاری است که پایه های قطعات الکترونیکی داخل این سوراخ ها قرار می گیرد. سطح یک برد برد را می توان به چهار قسمت تقسیم کرد. این چهار قسمت در شکل (۱۵) با رنگ های مختلف و اعداد ۱ تا ۴ نمایش داده شده اند. سوراخ های قسمت اول، خود به چهار قسمت تقسیم می شوند که سوراخ های هر قسمت در یک ردیف قرار گرفته و از داخل برد برد به یکدیگر متصل شده اند، اتصالات به صورت افقی می باشد. این سوراخ ها معمولاً جهت اتصال قطب های منبع تغذیه به مدار، مورد استفاده قرار می گیرند. در قسمت دوم، تمام سوراخ هایی که در یک ستون قرار دارند از داخل به یکدیگر متصل هستند. اتصالات عمودی می باشند. در این قسمت همان طور که در شکل (۲) مشاهده می کنید در هر ستون پنج سوراخ وجود دارد. تمامی این پنج سوراخ از داخل به یکدیگر متصل هستند. سوراخ های قسمت سوم، مشابه قسمت ۲ و سوراخ های قسمت ۴ مشابه قسمت اول هستند.



شکل (۱۵) : تقسیم بندی برد برد به ۴ قسمت

در شکل (۱۶) نحوه اتصالات در درون برد برد را مشاهده می کنید. لایه های داخلی برد برد از نوارهای فلزی (معمولاً مسی) تشکیل شده است. حفره هایی که بر روی برد برد دیده می شود از درون آن به هم متصل هستند. مثلاً وقتی که در یک حفره از ردیف های عمودی سیم

ورودی را می‌گذاریم، در تمام آن ردیف ورودی موجود خواهد بود. برای استفاده از بردبرد کافی است قطعات از درون حفره مورد نظر فرو بریم. این حفره‌ها طوری طراحی شده‌اند که قطعات را کاملاً محکم در خود بگیرند.



شکل (۱۶): نحوه اتصالات در درون بردبرد

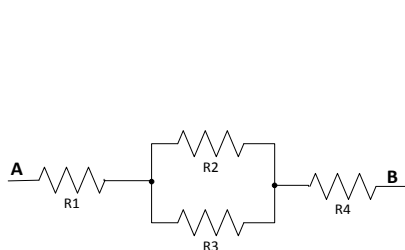
دقت داشته باشید که هرگز نباید هر دو پایه یک المان الکترونیکی را در سوراخ‌هایی که از داخل به هم متصل هستند قرار داد زیرا در این صورت آن المان عملاً از مدار حذف می‌شود.

مراحل آزمایش:

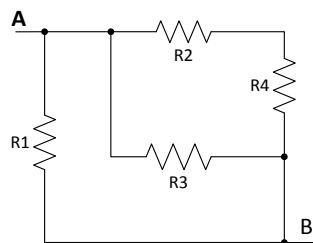
۱- تعداد ۴ عدد مقاومت دلخواه را انتخاب کنید و با توجه به آن‌ها جدول زیر را کامل نمایید.

مقاومت	رنگ اول	رنگ دوم	رنگ سوم	مقدار مقاومت با توجه به رنگ	مقدار اندازه‌گیری شده توسط مولتی متر	درصد خطا (رنگ)	مقدار خطا	Rmax	Rmin
R1									
R2									
R3									
R4									

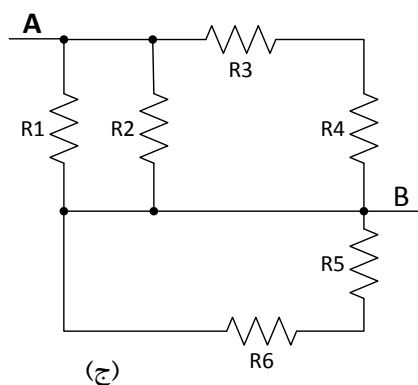
۲- با استفاده از مقاومت‌های دلخواه مدارهای الف، ب و ج را بر روی برد برد ببندید و به سؤالات زیر پاسخ دهید.



(الف)

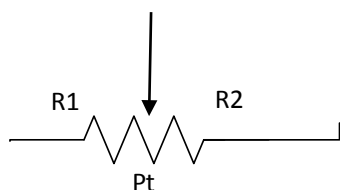


(ب)



- مقاومت کل از دوسر A و B را با استفاده از رنگ‌ها برای هر قسمت به دست آورید.
- مقاومت کل را از دوسر A و B توسط مولتی‌متر برای هر قسمت اندازه‌گیری نمایید.

۳- دو پتانسیومتر دلخواه انتخاب نموده و با توجه به آن جدول زیر را کامل نمایید.



پتانسیومتر	عدد نوشته شده بر روی پتانسیومتر	مقدار پتانسیومتر با توجه به عدد روی آن	مقدار اندازه‌گیری شده توسط مولتی‌متر (دوسر ثابت)	اندازه‌گیری مقاومت R1 (یک سر ثابت و متغیر)	اندازه‌گیری مقاومت R2 (سر دیگر ثابت و متغیر)
Pt1					
Pt2					

آزمایش ۲: قانون اهم، KVL و KCL

هدف آزمایش: آشنایی با طرز کار منبع تغذیه DC، بررسی قانون اهم، KVL و KCL

تئوری آزمایش:

۱- منبع تغذیه DC

این دستگاه دارای خروجی تثبیت شده ولتاژ و جریان بوده و قادر به تولید ولتاژ خروجی DC و جریان خروجی DC است. اشکال زیر نمای یک منبع تغذیه DC را نشان می‌دهد. که قادر به تولید ولتاژ خروجی DC بین صفر تا ۳۰ ولت و جریان خروجی DC بین صفر تا ۳ آمپر در هر کانال به صورت مجزا می‌باشد.



شکل (۱): منبع تغذیه DC سمت راست دو کاناله، سمت چپ تک کاناله

۱-۱- طرز کار با منبع تغذیه DC

- **کلید روشن و خاموش:** جهت روشن و خاموش نمودن دستگاه بکار می‌رود.
- **صفحه نمایشگر:** نشان دهنده ولتاژ و جریان خروجی است.
- **پیچ تنظیم ولتاژ:** جهت تنظیم سریع ولتاژ خروجی بکار می‌رود. (در برخی از منابع تغذیه دیجیتال علاوه بر پیچ تنظیم ولتاژ؛ پیچ دیگری برای تنظیم دقیق ولتاژ (Fine) نیز وجود دارد) برای تنظیم ولتاژ خروجی، پیچ تنظیم ولتاژ را در جهت عقربه‌های ساعت پیمانه تا به ولتاژ مورد نظر برسیم.
- **پیچ تنظیم جریان:** جهت محدود نمودن و تنظیم دقیق جریان خروجی در حداکثر ۱۰٪ تا ۱۰۰٪ بکار می‌رود. برای تنظیم جریان خروجی ترمینال‌های مثبت و منفی را به هم اتصال داده و توسط پیچ تنظیم جریان، مقدار جریان را تنظیم نموده و سپس اتصال ترمینال مثبت و منفی را جدا می‌کنیم.
- **ترمینال مثبت:** جهت اتصال به ترمینال مثبت خروجی بکار می‌رود.
- **ترمینال منفی:** جهت اتصال به ترمینال منفی خروجی استفاده می‌گردد.
- **ترمینال زمین:** این ترمینال به بدنه دستگاه اتصال دارد. هرگاه لازم گردد ترمینال مثبت یا منفی به بدنه دستگاه متصل شوند بایستی توسط تیغه فلزی ترمینال مثبت یا منفی به بدنه وصل گردد.

برخی از منابع تغذیه DC دارای ترمینال‌های خروجی ثابت ۵، ۱۲ یا ۱۰ ولت می‌باشند. در صورت نیاز به ولتاژ بیش از ولتاژ تأمین‌کننده منبع تغذیه، می‌توان دو منبع ولتاژ را با یکدیگر به صورت سری قرار داد (در اکثر منابع تغذیه دو کاناله، کلیدی بنام series وجود دارد در صورت فشار دادن آن دو کانال از داخل با یکدیگر سری می‌گردند). هرگاه جریانی بیش از جریان یک منبع تغذیه مورد نیاز باشد می‌توان دو کانال یک منبع تغذیه را به صورت موازی وصل کرد (در اکثر منابع تغذیه دو کاناله کلیدی بنام parallel وجود دارد در صورت فشار دادن آن دو کانال از داخل با یکدیگر موازی می‌گردند).



شکل (۲): قسمت‌های کلی یک منبع تغذیه DC

۲-۱- قانون اهم

بین ولتاژ دو سر یک مقاومت خطی و جریان گذرنده از آن رابطه زیر برقرار است.

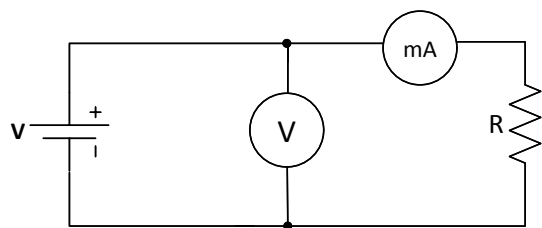
$$V(t) = R \times I(t)$$

این رابطه به قانون اهم مشهور است. در این رابطه I برحسب آمپر و R برحسب اهم و V برحسب ولت مشخص می‌شود. همچنین این رابطه را به صورت زیر نیز بکار می‌برند. که در آن G ضریب هدایت المان بوده و برحسب mho بیان می‌شود.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V}$$

مراحل آزمایش:

۱- مدار زیر را ببندید. دقت کنید در این مدار ولت‌متر به صورت موازی با مقاومت و آمپر متر به صورت سری با آن قرار گیرد.



- جدول زیر را برای $R=220 \Omega$ و $R=1.2 \text{ k}\Omega$ کامل کنید.
- با توجه به جدول برای هر مقاومت نمودار V برحسب I را رسم کنید.

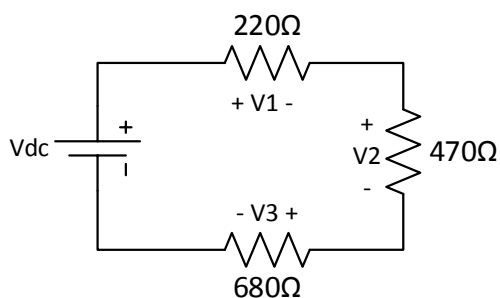
V	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I ($R=220 \Omega$)											
I ($R=1.2 \text{ k}\Omega$)											

- از روی نمودارهای رسم شده چگونه می‌توان مقدار مقاومت را به دست آورد؟
- با توجه به قانون اهم، مقاومت اتصال کوتاه و اتصال باز چقدر است؟

۲- مدار روبرو را بر روی بردبورد ببندید.

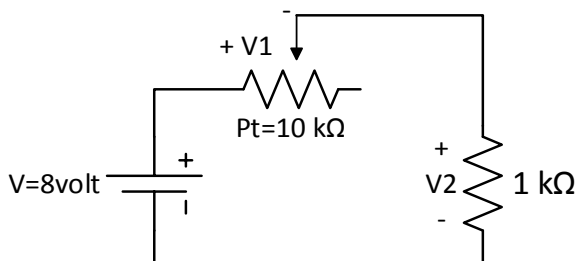
- جدول زیر را برای $V_{dc}=5 \text{ V}$ و $V_{dc}=9 \text{ V}$ تکمیل کنید.

- قانون KVL را در هر مورد تحقیق کنید.



Vdc	V1	V2	V3
5 V			
9 V			

۳- مدار روبرو را ببندید و جدول و مقادیر خواسته شده را به دست آورید.

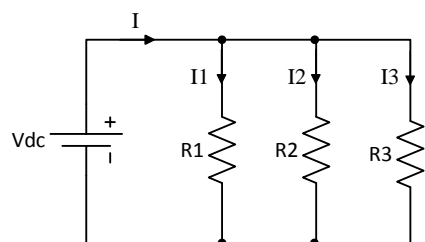


V	Pt _{max}	Pt _{min}	Pt _{mid}
V1			
V2			

- مقادیر $V1$ و $V2$ را توجیه کنید.

- مقادیر Pt_{max} , Pt_{min} و Pt_{mid} را اندازه‌گیری نمایید.

۴- مدار روبرو را بر روی بردبورد ببندید. ($R1=220 \Omega$, $R2=390 \Omega$, $R3=560 \Omega$)

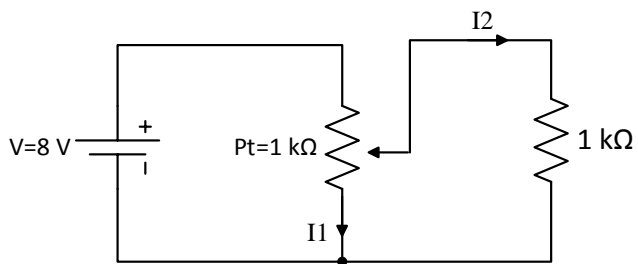


- جدول زیر را برای ولتاژهای $V_{dc}=5 \text{ V}$ و $V_{dc}=9 \text{ V}$ تکمیل کنید.

- قانون KCL را در هر مورد تحقیق کنید.

Vdc	I1	I2	I3	I	$\frac{Vdc}{R1}$	$\frac{Vdc}{R2}$	$\frac{Vdc}{R3}$	R_{eq}	$\frac{Vdc}{R_{eq}}$
5 V									
9 V									

۵- مدار زیر را ببندید و جدول و مقادیر خواسته شده را به دست آورید.



I	$P_{t_{max}}$	$P_{t_{min}}$	$P_{t_{mid}}$
I1			
I2			

- مقادیر I1 و I2 را توجیه کنید.

آزمایش ۳: قضیه جمع آثار، معادله تونن و نورتن و قضیه حداکثر توان انتقالی

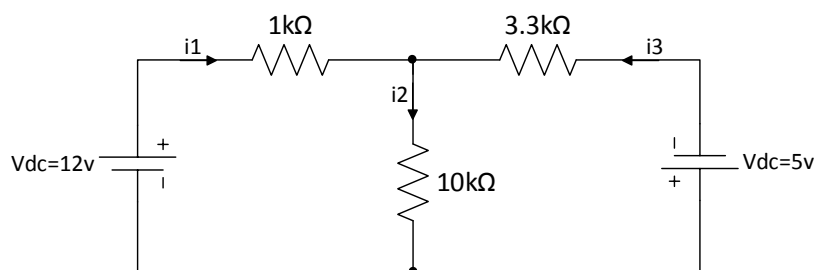
هدف آزمایش: بررسی قضیه جمع آثار، چگونگی محاسبه معادله تونن دیده شده از دوسر مدار و بررسی حداکثر توان انتقالی به بار مقاومتی

مراحل آزمایش:

۱- قضیه جمع آثار (Superposition)

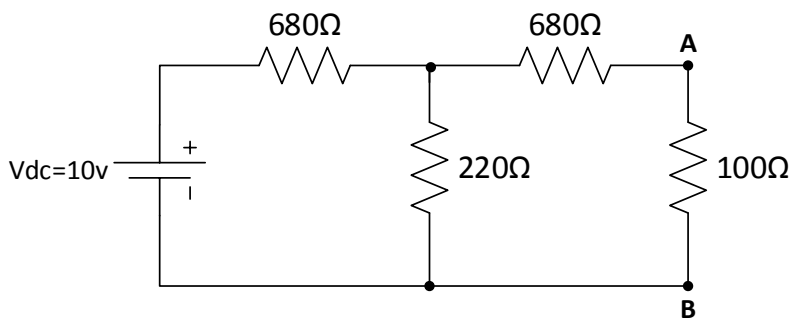
بیان قضیه: در هر مدار خطی با جواب یگانه، هر پاسخ مدار به ورودی‌ها که هم‌زمان کار می‌کنند، برابر است با مجموع پاسخ‌های مدار به تک‌تک ورودی‌ها، وقتی که به تنهایی در همان مدار هستند.

- ابتدا مدار را به صورت زیر ببندید و جریان‌های i_1 ، i_2 ، i_3 را یادداشت نمایید. سپس یک‌بار منبع $5v$ و بار دیگر منبع $12v$ را غیرفعال کرده و جریان‌های i_1 ، i_2 ، i_3 را در هر مرحله به‌طور مجزا اندازه‌گیری نمایید.
- قضیه جمع آثار یا Superposition را در این مدار تحقیق کنید.



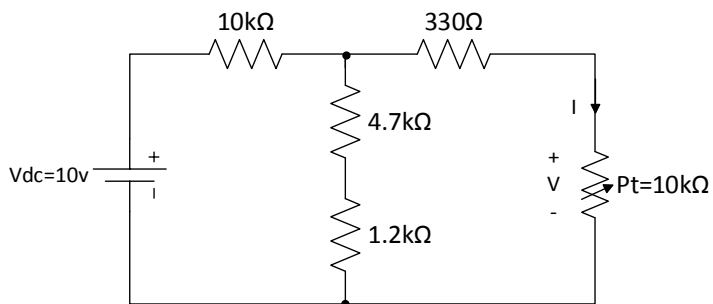
۲- معادله تونن و نورتن

- مدار شکل زیر را ببندید. با اتصال کوتاه کردن دو نقطه A و B جریان I_{sc} (جریان اتصال کوتاه بین این دو نقطه) را اندازه گرفته و سپس با مدار باز کردن دو نقطه A و B، V_{oc} (ولتاژ مدار باز) را با ولت‌متر اندازه‌گیری نمایید. در انتها با داشتن V_{oc} و I_{sc} مقدار R_{th} را محاسبه نمایید.
- منبع تغذیه $10V$ را از مدار جدار کرده و به جای آن یک سیم قرار دهید. توسط اهم‌متر مقاومت R_{th} از دو سر AB را اندازه‌گیری و یادداشت کنید. سپس نتیجه را با قسمت قبلی مقایسه نمایید.
- معادل تونن و نورتن مدار را از دو سر A و B به صورت تئوری محاسبه کنید.



۳- حداکثر توان انتقالی

- مدار شکل روبرو را بر روی بردبورد ببندید.
- جدول زیر را با تغییر پتانسیومتر از صفر تا $10\text{ k}\Omega$ و اندازه‌گیری مقدار جریان عبوری از آن و ولتاژ دو سر آن کامل نمایید.



R (kΩ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V (V)										
I (mA)										
P (mwatt)										

- با توجه به جدول نمودار P (توان) بر حسب R (مقاومت) را رسم نمایید.
- مقدار مقاومتی را که به ازای آن توان جذب شده به مقدار ماکزیمم رسیده است را با توجه به نمودار و جدول پیدا کنید. سپس از طریق محاسبه نیز مقاومتی که توان جذب شده را ماکزیمم می‌کند، را به دست آورده با نتیجه فوق مقایسه کنید.

آزمایش ۴: سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ

هدف آزمایش: آشنایی با طرز کار سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ

تئوری آزمایش:

۱- سیگنال ژنراتور

این دستگاه انواع سیگنال‌های سینوسی، مثلثی و مربعی را تولید نموده و می‌توان فرکانس مورد نظر را در یک محدوده فرکانسی تنظیم کرد و همچنین قابلیت تنظیم دامنه و ولتاژ Offset را دارد. شکل‌های زیر نمونه‌هایی از سیگنال ژنراتورها را نمایش می‌دهد. که در ادامه شرح عملکرد مهم‌ترین اجزای آن ذکر شده است.



شکل (۱): نمونه‌هایی از سیگنال ژنراتور

۱-۱- شرح عملکرد مهم‌ترین اجزای سیگنال ژنراتور

- ۱- کلید روشن و خاموش کردن دستگاه
- ۲- دکمه‌های انتخاب محدوده‌های فرکانسی (Range-Hz)
- ۳- درجه تنظیم فرکانس ولتاژ تولیدی شده



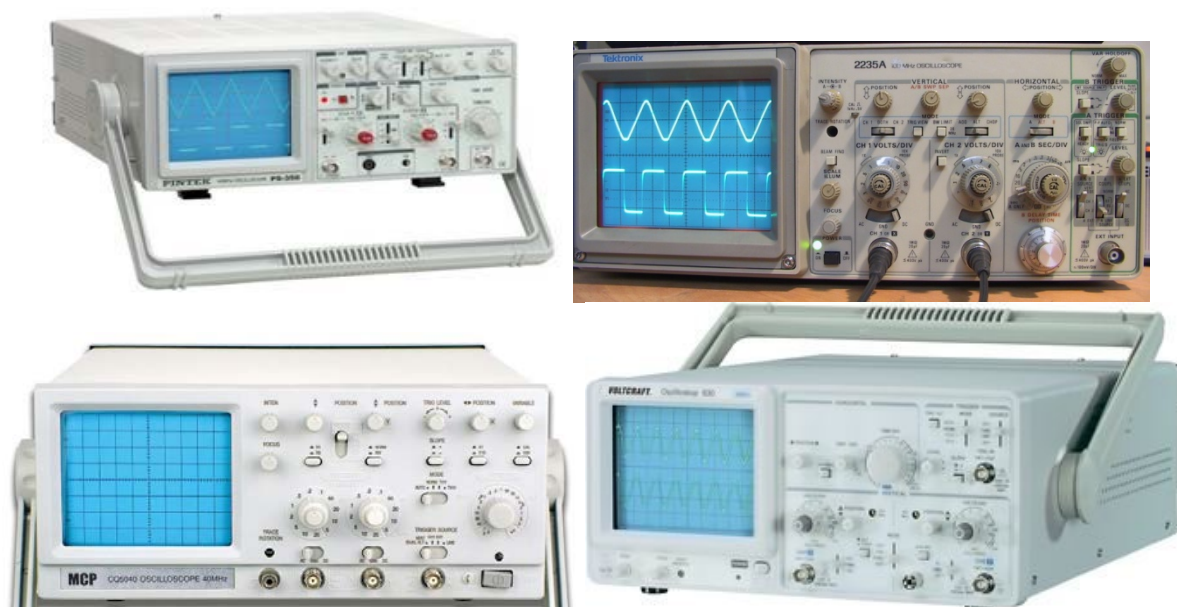
شکل (۲): قسمت‌های مختلف یک سیگنال ژنراتور

- ۴- پیچ (Fine): تنظیمات دقیق فرکانس
- ۵- دکمه‌های انتخاب شکل موج با فشار دادن یکی از این سه دکمه می‌توان یکی از سه شکل موج سینوسی، مربعی و مثلثی را انتخاب نمود.
- ۶- پیچ کنترل دامنه (Amplitude): جهت کنترل دامنه سیگنال خروجی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- ۷- پیچ کنترل ولتاژ مستقیم (DC offset): این پیچ مؤلفه مستقیم و مؤلفه ثابت جمع شونده با ولتاژ AC را تعیین می‌کند.
- ۸- خروجی سیگنال تولید شده در این ترمینال خروجی قابل دسترس می‌باشد.
- ۹- خروجی TTL این خروجی دارای یک موج مربعی TTL می‌باشد. که فرکانس آن قابل تنظیم و مقدار دامنه ولتاژ آن ثابت می‌باشد.
- توجه تمامی سیگنال ژنراتورها دارای چنین اجزایی می‌باشند فقط شکل و نحوه قرارگیری کلیدها شاید متفاوت باشد.

۲- اسیلوسکوپ (Oscilloscope)

اسیلوسکوپ (Oscilloscope) یک دستگاه اندازه‌گیری است که از آن برای مشاهده شکل موج‌ها و اندازه‌گیری ولتاژ، زمان تناوب، اختلاف فاز و همچنین مشاهده منحنی مشخصه ولت-آمپر عناصر نیمه‌هادی مانند دیود و ترانزیستور استفاده می‌شود. اسیلوسکوپ یک ولت‌متر دقیق است ولی توانایی اندازه‌گیری جریان را به طور مستقیم ندارد و برای اندازه‌گیری جریان باید از روش‌های غیرمستقیم مانند قانون اهم استفاده کرد. یکی از مزایای اسیلوسکوپ این است که برخلاف مولتی‌مترهای معمولی، در فرکانس‌های بالا نیز به خوبی کار می‌کند. اندازه‌گیری و مشاهده شکل موج‌ها در اسیلوسکوپ از ولتاژ با فرکانس صفر (DC) شروع و به فرکانس مشخصی ختم می‌گردد که معمولاً اسیلوسکوپ را با این فرکانس مشخص می‌کنند. اسیلوسکوپ‌ها در نوع آنالوگ و دیجیتال ساخته می‌شوند که ما در اینجا به بررسی نوع آنالوگ آن می‌پردازیم.

اسیلوسکوپ‌ها ممکن است یک کاناله و یا چند کاناله باشند. اسیلوسکوپ‌های یک کاناله در هر لحظه فقط می‌توانند یک سیگنال را روی صفحه نمایش خود نمایش دهند؛ اما اسیلوسکوپ‌های چند کاناله، هم‌زمان می‌توانند چند سیگنال را روی صفحه نمایش خود، نمایش دهند. اسیلوسکوپ نمایش داده شده در شکل (۱)، دو نمونه اسیلوسکوپ دو کاناله می‌باشند که هم‌زمان قادر به نمایش دادن دو سیگنال روی صفحه نمایش خود می‌باشد. برای انتقال سیگنال‌های الکتریکی به اسیلوسکوپ، از پروب استفاده می‌شود که در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.



شکل (۳): نمونه‌هایی از اسیلوسکوپ

۲-۱- پروب (Probe)

برای انتقال سیگنال‌های الکتریکی به اسیلوسکوپ، از پروب استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از پروب در شکل (۴) نمایش داده شده است. سیم رابط پروب معمولاً از جنس کابل کواکسیال می‌باشد تا میزان نویز به حداقل برسد. نوک پروب به صورت گیره‌ای فنری است که می‌توان آن را به یک نقطه از مدار وصل کرد. اگر پوشش پلاستیکی نوک پروب را برداریم، نوک آن به صورت سوزنی می‌شود که در بعضی مواقع از آن استفاده می‌گردد. انتهای فلزی سیم رابط که به ورودی اسیلوسکوپ وصل می‌شود، فیش BNC نام دارد. فیش BNC دارای یک شیار مورب است که وقتی آن را به ورودی اسیلوسکوپ وصل می‌کنیم و ۹۰ درجه در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخانیم این قطعه کاملاً به اسیلوسکوپ متصل می‌شود. همچنین روی پروب کلیدی با دو حالت $\times 1$ و $\times 10$ وجود دارد که در حالت $\times 1$ ، سیگنال بدون هیچ‌گونه تضعیفی از طریق پروب به اسیلوسکوپ اعمال می‌گردد و در حالت $\times 10$ ، ابتدا سیگنال در داخل پروب ۱۰ برابر تضعیف شده و سپس به اسیلوسکوپ اعمال می‌گردد. باید توجه داشت که اگر از حالت $\times 10$ پروب، برای اندازه‌گیری استفاده شود مقادیر قرائت شده دامنه را باید در عدد ۱۰ ضرب نمود تا مقدار واقعی دامنه سیگنال به دست آید. موارد کاربرد $\times 10$ برای سیگنال‌های با دامنه زیاد می‌باشد.



شکل (۴): نمونه‌ای از پروب

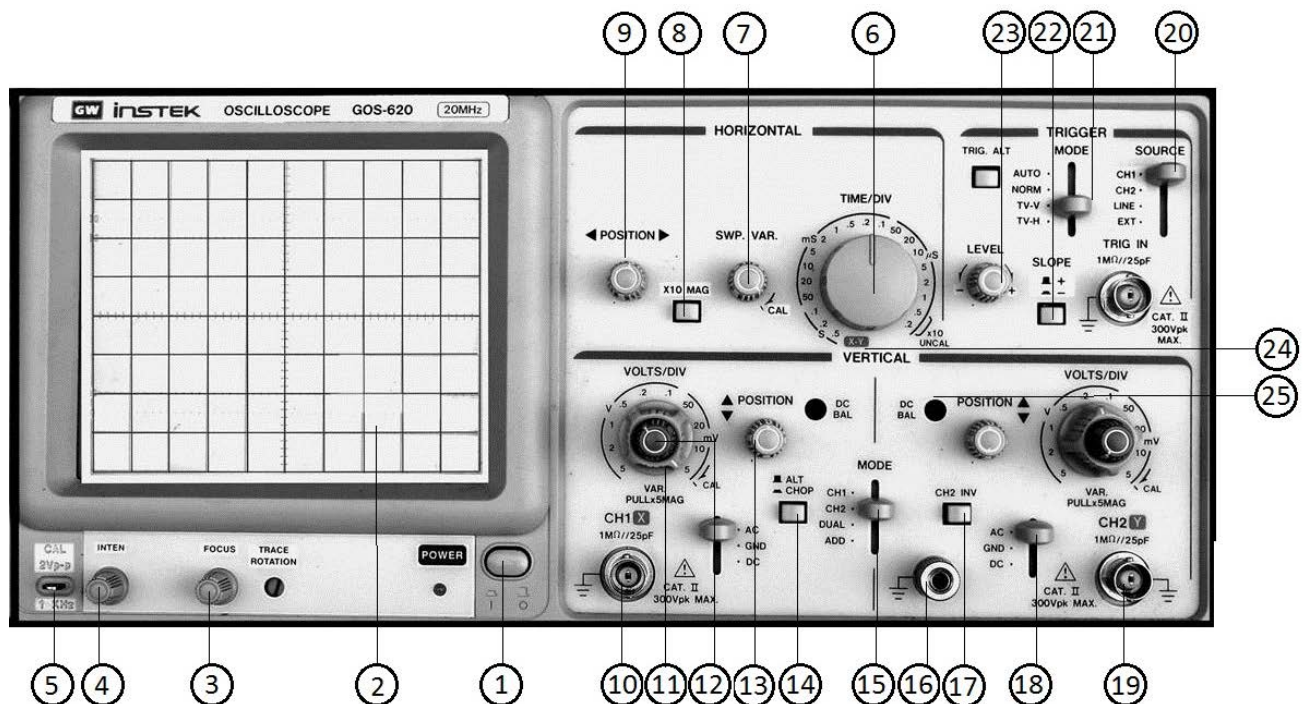
۲-۲- شرح عملکرد مهم‌ترین اجزای اسیلوسکوپ

ما قصد نداریم به بررسی ساختمان داخلی اسیلوسکوپ بپردازیم بلکه هدف، آشنایی با قابلیت‌های اسیلوسکوپ و نحوه استفاده از آن می‌باشد. به دلیل اینکه طرز کار همه اسیلوسکوپ‌ها شبیه یکدیگر است و کلیدها و ولوم‌های آن‌ها تقریباً یکی است ما برای آموزش بهتر مطلب، از یک اسیلوسکوپ Instek مدل GOS-620 در امر آموزش استفاده می‌کنیم که تصویر این اسیلوسکوپ در شکل (۵) قابل مشاهده است.

۱- کلید روشن و خاموش کردن اسیلوسکوپ: در هر اسیلوسکوپ کلیدی برای روشن و خاموش کردن اسیلوسکوپ وجود دارد که آن را با کلمه POWER و یا ON/OFF نمایش می‌دهند. در نزدیکی این کلید، معمولاً یک LED جهت نمایش روشن و یا خاموش بودن اسیلوسکوپ وجود دارد. در شکل (۵) این کلید در زیر و سمت راست صفحه نمایش قابل مشاهده است.

۲- صفحه نمایش اسیلوسکوپ: اسیلوسکوپ‌ها دارای یک صفحه نمایش هستند که این صفحه نمایش در راستای افقی به ۱۰ قسمت و در راستای عمودی به ۸ قسمت تقسیم می‌شود که برای دقت بیشتر در اندازه‌گیری، در راستاهای افقی و عمودی، خطوط وسط دارای تقسیمات ریزتری نیز می‌باشند به طوری که هر خانه به ۵ قسمت تقسیم شده و هر قسمت معادل 0.2 خانه است.

۳- ولوم Focus: کلمه Focus به معنای کانونی و یا تمرکز است و این ولوم ضخامت موج رسم شده بر روی صفحه اسیلوسکوپ را کم و زیاد می‌کند. این ولوم باید در حالتی قرار داده شود که خطوط شکل موج، حداقل ضخامت را داشته باشند.



شکل (۵): قسمت‌های مختلف اسیلوسکوپ

۴- ولوم Intensity: این ولوم شدت نور سیگنال نمایش داده شده را کم و زیاد می‌کند. این ولوم باید در حالتی قرار گیرد که شدت نور برای رؤیت سیگنال کافی باشد. این ولوم ممکن است به اختصار با Inten نمایش داده شود.

۵- پین تنظیمات یا کالیبراسیون: این قسمت برای تست و تنظیم سلکتورهای Volt/Div و Time/Div و نیز برای بررسی سالم و یا معیوب بودن پروب مورد استفاده قرار می‌گیرد. اسیلوسکوپ یک سیگنال مرجع با دامنه و فرکانس معین برای تست و تنظیم خود ایجاد می‌کند و به این پین انتقال می‌دهد. اگر سیگنال مزبور به ورودی اسیلوسکوپ داده شود، می‌توان شکل موج آن را مشاهده کرد. در عین حال چون دامنه و فرکانس سیگنال مزبور معین است، می‌توان صحت تنظیمات سلکتورهای Volt/Div و Time/Div را تحقیق کرد. همچنین اگر در اثر تماس نوک پروب با این پین، سیگنال موجود بر روی پین، در صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر شود و زمانی که گیره زمین پروب را هم‌زمان با نوک پروب به این پین متصل می‌کنیم یک خط افقی و یا به عبارتی ولتاژ صفر، روی صفحه اسیلوسکوپ ظاهر شود، پروب سالم است.

۶- کلید Time/Div: این کلید دارای ضرابی بر حسب ثانیه، میلی‌ثانیه و میکروثانیه است و برای فشرده و باز کردن شکل موج در راستای افقی و اندازه‌گیری زمان تناوب توسط اسیلوسکوپ استفاده می‌شود.

۷- ولوم Time Variable (SWP.Var): این ولوم برای فشرده و باز کردن شکل موج در راستای افقی استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری زمان تناوب توسط اسیلوسکوپ باید حتماً این ولوم تا آخر در جهت حرکت عقربه‌های ساعت چرخانده شده و روی علامت Cal قرار گیرد. اگر این ولوم از حالت Cal خارج شود ضرایب Time/Div دیگر معتبر نبوده و نمی‌توان زمان تناوب را محاسبه نمود. از این ولوم زمانی استفاده می‌شود که صحت ضرایب Time/Div اهمیتی نداشته باشد مثل زمانی که می‌خواهیم اختلاف فاز دو موج هم فرکانس را محاسبه کنیم.

۸- کلید بزرگنمایی در راستای افقی: توسط این کلید می‌توان مقیاس افقی را به میزان ۱۰ برابر بزرگ نمود. به این ترتیب که در حالت عادی مقیاس افقی همان است که سلکتور Time/Div نشان می‌دهد اما در حالت انتخاب این کلید، شکل موج در جهت افقی ۱۰ برابر باز می‌شود و این معادل این است که عدد نشان داده شده توسط سلکتور Time/Div به ۱۰ تقسیم شده باشد. مورد استفاده کلید بزرگنمایی افقی در مورد نمایش امواج با فرکانس زیاد است. این کلید با MAG به همراه $\times 10$ نمایش داده می‌شود.

۹- ولوم تغییر مکان افقی (Horizontal Position): این ولوم شکل موج را در جهت افقی جابه‌جا می‌کند. این ولوم ممکن است به اختصار با Hor.Pos و یا با علامت \blacktriangleleft \blacktriangleright نشان داده می‌شود.

۱۰- ترمینال ورودی CH1: محل اتصال سیگنال ورودی کانال یک و ورودی افقی در حالت X-Y می‌باشد.

۱۱- کلید Volt/Div: این کلید نیز همانند کلید Time/Div دارای ضرایبی است که این ضرایب بر حسب ولت و میلی ولت می‌باشند و هر ضریب بیان کننده این است که هر خانه در راستای عمودی چند ولت می‌باشد. این کلید برای اندازه‌گیری دامنه ولتاژ به کار می‌رود. با تغییر این کلید، شکل موج در راستای عمودی باز و جمع می‌شود.

۱۲- ولوم Volt Variable: این ولوم شکل موج را در راستای عمودی فشرده و باز می‌کند؛ اما اگر این ولوم از حالت Cal خارج شود دیگر مقادیر Volt/Div معتبر نبوده و نمی‌توان اندازه ولتاژ را محاسبه نمود؛ بنابراین این ولوم هنگام اندازه‌گیری ولتاژ باید روی علامت Cal باشد.

۱۳- ولوم Vertical Position: این ولوم شکل موج را در راستای عمودی جا به جا می‌کند و ممکن است به اختصار با Ver.Pos و یا با استفاده از علامت‌های \blacktriangledown و \blacktriangle نمایش داده شود.

۱۴- کلید CHOP-ALT: اگر فرکانس سیگنال‌های ورودی بیشتر از 1 kHz باشد با استفاده از حالت ALT می‌توانیم دو شکل موج را به طور هم‌زمان در صفحه نمایش اسیلوسکوپ مشاهده کنیم؛ اما اگر فرکانس سیگنال‌های ورودی کم باشد مشاهده دو شکل موج به طور هم‌زمان در حالت انتخاب ALT امکان‌پذیر نخواهد بود؛ زیرا در این صورت وقتی اسیلوسکوپ سیگنال کانال ۱ را نمایش می‌دهد سیگنال کانال ۲ از دید محو می‌شود و وقتی اسیلوسکوپ سیگنال کانال ۲ را نمایش می‌دهد، سیگنال کانال ۱ از دید محو می‌شود و بنابراین دو موج به صورت چشم‌کزن روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر می‌شوند. برای نمایش سیگنال‌های با فرکانس کم از حالت CHOP استفاده می‌کنیم.

۱۵- کلید ADD-DUAL-CH2-CH1: اگر این کلید در حالت CH1 باشد فقط سیگنال اعمال شده به کانال ۱ روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود و اگر این کلید در حالت CH2 باشد فقط سیگنال اعمال شده به کانال ۲ روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود. در صورتی که DUAL را انتخاب کنیم شکل موج‌های هر دو کانال هم‌زمان روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شوند و در صورت انتخاب ADD حاصل جمع لحظه‌ای دو شکل موج روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود.

۱۶- اتصال زمین دستگاه: استفاده از اتصال زمین باعث جلوگیری از خطرات احتمالی و کارایی بهتر دستگاه می‌شود.

۱۷- کلید CH2 INV: زمانی که این کلید انتخاب می‌شود شکل موج کانال ۲ به اندازه ۱۸۰ درجه اختلاف فاز پیدا می‌کند.

۱۸- کلید AC-GND-DC: اگر این کلید در حالت AC باشد یک خازن در مسیر ورودی اسیلوسکوپ قرار می‌گیرد که سبب حذف مؤلفه DC شکل موج می‌گردد؛ یعنی در این حالت فقط سیگنال‌های AC روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ، نمایش داده می‌شوند و سیگنال‌های DC حذف می‌شوند؛ اما اگر این کلید در حالت DC باشد هر چه در ورودی باشد بدون تغییر در صفحه نمایش اسیلوسکوپ، نمایش داده می‌شود؛ یعنی در این حالت مؤلفه‌های AC و DC روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ، نمایش داده می‌شوند و در صورتی که این کلید در حالت GND باشد ورودی اسیلوسکوپ به صفحات انحراف عمودی که در ادامه در رابطه با آن‌ها صحبت می‌کنیم منتقل نخواهد شد بلکه این صفحات به اختلاف پتانسیل صفر ولت متصل می‌شوند. در این حالت روی صفحه اسیلوسکوپ یک خط افقی دیده می‌شود که از آن برای تعیین خط مبنای عمودی و یا ولتاژ صفر ولت استفاده می‌شود.

۱۹- ترمینال ورودی CH2: محل اتصال سیگنال ورودی کانال دو در وضعیت عادی و ورودی محور عمودی در حالت X-Y می‌باشد.

۲۰- کلید Source Trigger: این کلید ممکن است دارای حالت‌های زیر باشد.

- CH1: در این حالت عمل تریگر توسط سیگنال اعمال شده به کانال ۱ انجام می‌شود.
- CH2: در این حالت عمل تریگر توسط سیگنال اعمال شده به کانال ۲ انجام می‌شود.
- Line: در این حالت عمل تریگر با فرکانس برق شهر انجام می‌شود.
- Ext: در این حالت باید موجی را که می‌خواهیم توسط آن عمل تریگر انجام شود از خارج اسیلوسکوپ و توسط ترمینال مخصوص آن به اسیلوسکوپ اعمال کنیم.

۲۱- کلید Mode Trigger: این کلید ممکن است دارای حالت‌های زیر باشد:

- **Auto**: اگر این کلید در حالت Auto باشد حتی اگر به ورودی اسیلوسکوپ سیگنالی اعمال نشود مدار داخلی اسیلوسکوپ یک موج دنداناره‌ای به صفحات انحراف افقی اعمال می‌کند و بنابراین خطی افقی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود که نشان دهنده آماده به کار بودن اسیلوسکوپ است.
- **Normal**: اما در صورتی که این کلید در حالت Normal باشد عمل تریگر فقط به کمک موج ورودی انجام می‌شود و لذا در صورتی که ورودی نداشته باشیم هیچ‌گونه خطی و یا موجی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر نخواهد شد. این کلید در حالت عادی باید بر روی Auto باشد.
- **TV-H**: در این حالت یک فیلتر پایین‌گذر مؤلفه‌های فرکانس بالای موج ورودی را حذف نموده و سپس عمل تریگر انجام می‌شود. این کلید در حالتی استفاده می‌شود که یک موج مزاحم بر روی موج اصلی، مانع عمل تریگر شود. در این حالت عمل تریگر توسط سیگنال‌های افقی تلویزیون انجام می‌شود.
- **TV-V**: در این حالت عمل تریگر توسط سیگنال‌های عمودی تلویزیون انجام می‌شود.

۲۲- کلید Slope: این کلید مشخص کننده این است که اولین نیم سیکل موج نشان داده شده مثبت و یا منفی می‌باشد. در حالت عادی باید علامت مثبت (+) انتخاب شود. در واقع علامت مثبت (+) به معنای شیب مثبت و علامت منفی (-) به معنای شیب منفی در نقطه شروع موج می‌باشد.

۲۳- ولوم Level: این ولوم نقطه شروع موج نشان داده شده بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ را معین می‌کند. همچنین اگر موج نمایش داده شده بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ، در جهت افقی حرکت کند و ثابت نباشد باید به کمک این ولوم شکل موج را ثابت نگهداشت.

۲۴- کلید X-Y: اگر این کلید فعال شود هر یک از سیگنال‌های ورودی به یکی از صفحات انحراف افقی یا عمودی اعمال می‌شود؛ بنابراین در حالت انتخاب کلید X-Y، سیگنال ورودی کانال ۱ به صفحات انحراف افقی و سیگنال ورودی کانال ۲ به صفحات انحراف عمودی اعمال می‌شود. این کلید برای مشاهده منحنی مشخصه ولت - آمپر عناصر نیمه‌هادی و نیز مشاهده اشکال لیسازور کاربرد دارد.

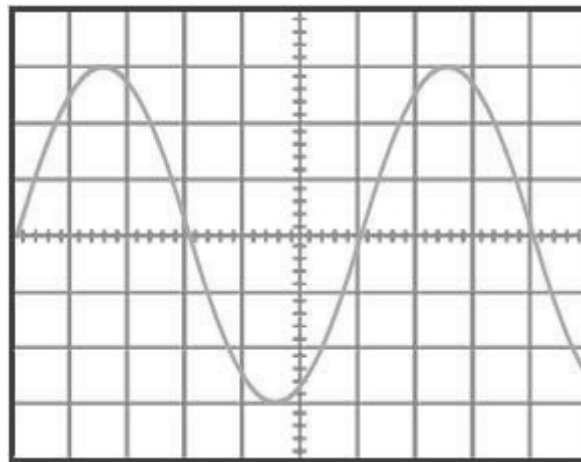
۲۵- پیچ بالانس DC: به دلیل استفاده از اسیلوسکوپ در مناطق و حرارت‌های متفاوت می‌بایست سلکتورهای Volt/Div هر یک از دو کانال، از نظر DC بالانس شوند. با تنظیم این پیچ‌ها باید حالتی را انتخاب نمود که در آن حالت با تغییر سلکتور Volt/Div، خط افقی هیچ تغییر مکانی در جهت عمودی نداشته باشد. این پیچ‌ها معمولاً با DC-Bal مشخص می‌شوند.

حال که با کلیدها و ولوم‌های اسیلوسکوپ آشنا شدید در ادامه به بررسی نحوه اندازه‌گیری ولتاژ، زمان تناوب، فرکانس، اختلاف فاز و نیز مشاهده منحنی مشخصه توسط اسیلوسکوپ می‌پردازیم.

۲-۳-۱- اندازه‌گیری ولتاژ

توسط اسیلوسکوپ می‌توان ولتاژهای AC و DC را با دقت خیلی زیاد اندازه‌گیری کرد. برای این منظور ابتدا ولوم Volt Variable را تا انتها در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌چرخانیم و آن را در حالت Cal قرار می‌دهیم. سپس با قرار دادن کلید AC-GND-DC روی حالت GND اشعه را ترجیحاً در وسط صفحه نمایش اسیلوسکوپ و یا در هر نقطه دلخواه دیگری از صفحه نمایش تنظیم می‌کنیم و سپس کلید فوق را در حالت DC قرار می‌دهیم تا سیگنال اعمال شده به اسیلوسکوپ بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر شود. حال در صورتی که سیگنال ورودی، یک سیگنال AC باشد برای به دست آوردن ولتاژ پیک آن، تعداد خانه‌های اشغال شده بین محل تنظیم اشعه در حالت GND و پیک سیگنال AC را شمرده و در ضرب Volt/Div ضرب می‌کنیم. در صورت سینوسی بودن شکل موج، برای به دست آوردن ولتاژ مؤثر آن، مقدار ولتاژ پیک به دست آمده را بر $\sqrt{2}$ تقسیم می‌کنیم. به عنوان مثال در شکل (۶) یک سیگنال سینوسی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده شده است. اگر ضرب Volt/Div برابر با ۰/۵ ولت باشد. فاصله قله سیگنال سینوسی نمایش داده شده در شکل (۶) تا محور x ها برابر است با فاصله دره این سیگنال سینوسی تا محور x ها؛ بنابراین محور x ها را به عنوان ولتاژ صفر ولت در نظر می‌گیریم. یعنی در این مثال مقدار ولتاژ پیک سیگنال سینوسی برابر است با :

$$V_p = 3 \times 0.5 = 1.5$$



شکل (۶)

برای به دست آوردن ولتاژ مؤثر (V_{rms}) سیگنال سینوسی فقط کافی است مقدار ولتاژ پیک سیگنال سینوسی را بر $\sqrt{2}$ تقسیم کنیم. در این مثال مقدار ولتاژ مؤثر سیگنال سینوسی برابر است با :

$$V_{rms} = \frac{1.5}{\sqrt{2}} = 1.06 \text{ V}$$

حال اگر ولتاژ مورد اندازه‌گیری یک ولتاژ DC باشد تعداد خانه‌های اشغال شده بین محل تنظیم اشعه در حالت GND و ولتاژ DC را شمرده و در ضرب Volt/Div ضرب می‌کنیم تا مقدار ولتاژ DC به دست آید.

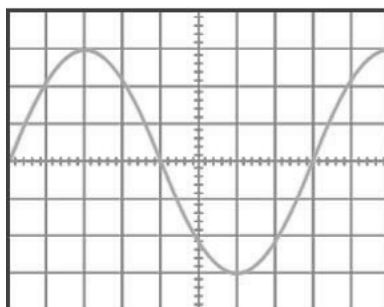
ولتاژ پیک‌توپیک (peak to peak) اختلاف ولتاژ کمترین و بیشترین مقدار در شکل موج است (در مثال بالا $6 \times 0.5 = 3 V_{p-p}$).

۲-۳-۲- اندازه‌گیری زمان تناوب و فرکانس

برای اندازه‌گیری زمان تناوب یک موج متناوب باید ابتدا ولوم Time Variable را در حالت Cal قرار داده و سپس تعداد خانه‌های در بر گرفته شده توسط یک موج متناوب را در ضرب Time/Div ضرب نمود. به عنوان مثال با فرض اینکه ضرب Time/Div برابر با ۰/۵

میلی‌ثانیه و ولوم Time Variable در حالت Cal باشد و تعداد خانه‌های در بر گرفته شده توسط یک سیکل برابر با ۸ خانه می‌باشد. بنابراین زمان تناوب برابر است با :

$$T = 8 \times 0.5ms = 4ms$$



شکل (۷)

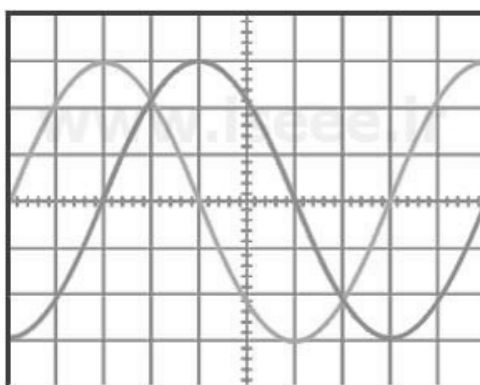
اگر بخواهیم فرکانس یک سیگنال متناوب را به دست آوریم تنها کافی است عدد یک را بر زمان تناوب آن سیگنال تقسیم کنیم. به عنوان مثال فرکانس موج سینوسی نمایش داده شده در شکل (۷) برابر است با :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4ms} = 250Hz$$

۲-۳-۳- اندازه‌گیری اختلاف فاز

با توجه به اینکه اسیلوسکوپ‌های دو کاناله می‌توانند هم‌زمان دو شکل موج را نمایش دهند امکان اندازه‌گیری اختلاف فاز بین دو موج متناوب هم فرکانس توسط این نوع اسیلوسکوپ‌ها امکان‌پذیر است. برای این منظور دو روش وجود دارد.

روش اول: در این روش ابتدا 360° را بر تعداد خانه‌های در بر گرفته شده توسط یک سیکل تقسیم می‌کنیم تا مقدار اختلاف فاز به ازای هر خانه مشخص شود. سپس تعداد خانه‌های قرار گرفته بین دو شکل موج در راستای افقی را در مقدار اختلاف فاز به ازای هر خانه ضرب می‌کنیم تا اختلاف فاز بین دو شکل موج به دست آید. اختلاف فاز را با Φ (فی) نمایش می‌دهند.



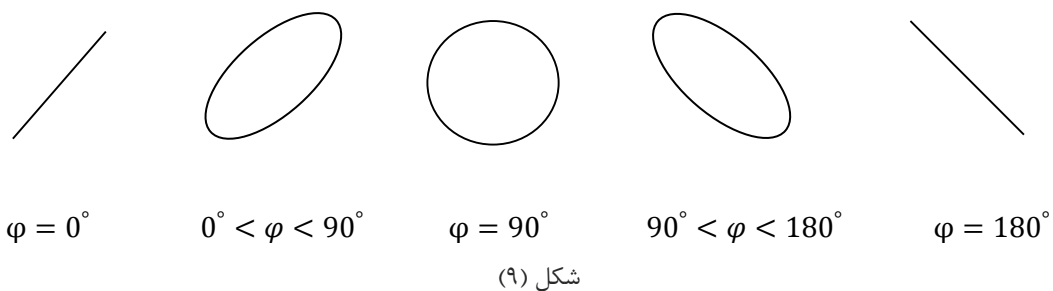
شکل (۸)

$$\text{اختلاف فاز به ازای هر خانه} = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$$

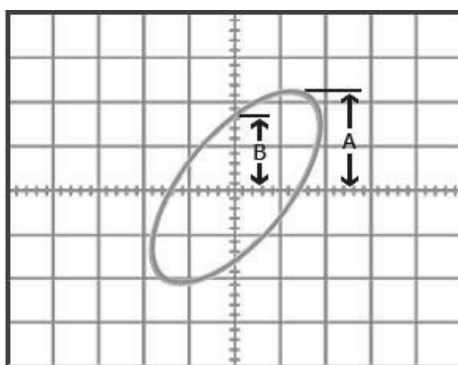
$$\varphi = 45^\circ \times 2 = 90^\circ$$

بنابراین این دو شکل موج با یکدیگر 90° درجه اختلاف فاز دارند.

روش دوم: در این روش برای اندازه‌گیری اختلاف فاز بین دو شکل موج از اشکال لیسازور استفاده می‌شود. برای این منظور اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار داده دو ورودی را به کانال‌های X و Y (کانال‌های ۱ و ۲) اعمال کرده تا بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر شوند.



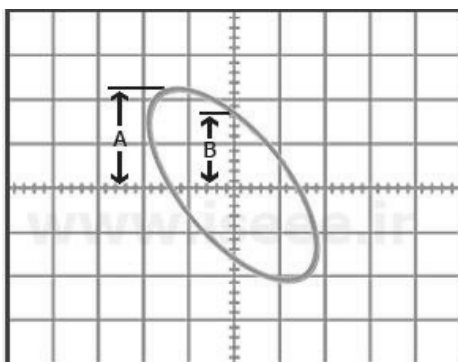
در تصویرهای ۱، ۳ و ۵ شکل (۹) (از چپ به راست) مقدار اختلاف فاز بین دو موج مشخص است اما در تصویر ۲ و ۴ برای به دست آوردن اختلاف فاز بین دو موج به طریق زیر عمل می‌کنیم.



شکل (۱۰)

$$\varphi = \sin^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)$$

در صورت ایجاد تصویر ۴ شکل (۹) بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ، از رابطه زیر برای محاسبه اختلاف فاز بین دو شکل موج استفاده می‌شود.



شکل (۱۱)

$$\varphi = 180 - \sin^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)$$

مراحل آزمایش :

۱- موج $V = 4\sin(314t)$ را توسط سیگنال ژنراتور تولید کرده و با استفاده از اسیلوسکوپ خروجی سیگنال ژنراتور را مشاهده و رسم کنید.

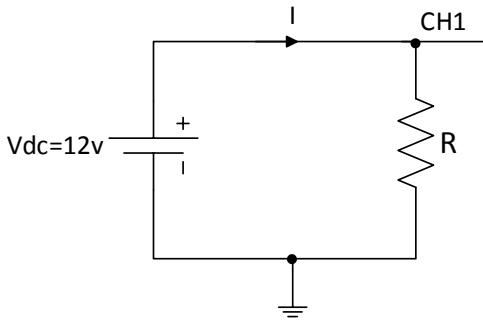
- از روی شکل موج رسم شده مقدار فرکانس را مشخص کنید.
- خروجی سیگنال ژنراتور را توسط مولتی‌متر اندازه‌گیری کرده و نتیجه را با مقدار نشان داده شده توسط اسیلوسکوپ مقایسه نمایید.
- ۲- موج سینوسی، مربعی و مثلثی با دامنه ۶ ولت پیک‌توپیک و فرکانس 2 kHz ایجاد کنید. این شکل موج‌ها را با دقت رسم کنید.
- مقدار rms را برای هر شکل موج اندازه‌گیری کنید.
- مقدار فرکانس را برای هر شکل موج توسط اسیلوسکوپ اندازه‌گیری کنید.

آزمایش ۵: عملکرد سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ

هدف آزمایش: کار با اسیلوسکوپ و فانکشن ژنراتور، اندازه‌گیری جریان DC و AC توسط اسیلوسکوپ

مراحل آزمایش:

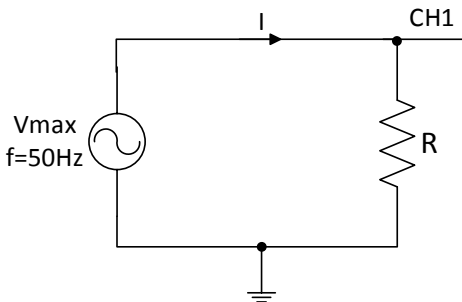
۱- مدار زیر را ببندید و جدول را کامل کنید.



R	I (mA) جریان مولتی‌متر	Vo.s ولتاژ اسیلوسکوپ	$I = \frac{V_{o.s}}{R}$
R=1 kΩ			
R=10 kΩ			

- نتایج حاصل از اندازه‌گیری جریان DC توسط مولتی‌متر و اندازه‌گیری با توجه به اسیلوسکوپ را با یکدیگر مقایسه کنید.

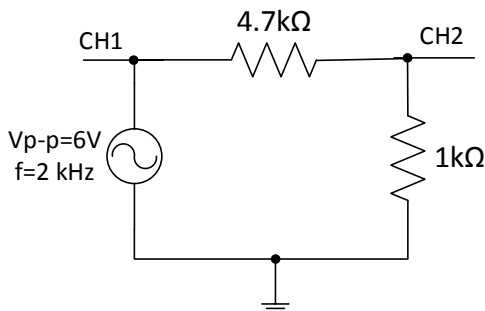
۲- مدار زیر را بر روی بردبورد ببندید (ولتاژ سیگنال ژنراتور را روی مقدار Max قرار دهید) و جدول را کامل کنید.



R	I (mA) جریان مولتی‌متر	Vo.s ولتاژ اسیلوسکوپ	$I = \frac{V_{o.s}}{R}$
R=1 kΩ			
R=10 kΩ			

- نتایج حاصل از اندازه‌گیری جریان AC توسط مولتی‌متر و اندازه‌گیری با توجه به اسیلوسکوپ را با یکدیگر مقایسه کنید.

۳- مدار زیر را ببندید. سیگنال ژنراتور را دامنه ۶ ولت پیک تا پیک و فرکانس 2 kHz تنظیم کنید. کانال یک اسیلوسکوپ را به ورودی فانکشن ژنراتور و کانال دو اسیلوسکوپ را به مقاومت 1 kΩ وصل کنید.



- شکل موج‌های کانال یک و دو را هم‌زمان مشاهده و رسم کنید.

- شکل موج‌های کانال یک را با کانال دو جمع نمایید و شکل موج خروجی را رسم نمایید.

- شکل موج‌های کانال یک را از کانال دو کم (تفریق) نمایید و شکل موج خروجی را رسم نمایید.

۴- دو موج سینوسی به فرکانس 50 Hz یکی توسط ترانس با دامنه 6.3 V_{rms} و دیگری توسط سیگنال ژنراتور با دامنه 10 V_{p-p} را به ترتیب به کانال یک و دو اسیلوسکوپ می‌دهیم از روی شکل لیسازور اختلاف فاز دو سیگنال را پیدا کنید.

آزمایش ۶: رفتار خازن تحت شکل موج متناوب

هدف آزمایش: آشنایی با خازن، انواع و کاربردهای آن و بررسی رفتار خازن با اعمال شکل موج متناوب

تئوری آزمایش:

خازن (Capacitor)

خازن المانی است که انرژی الکتریکی را به صورت بار الکتریکی ذخیره می کند. خازن از دو یا چند صفحه هادی که بین آنها ماده عایق یا دی الکتریک قرار گرفته است تشکیل می شوند. به صفحات خازن، جوشن های خازن نیز می گویند که معمولاً از آلومینیوم، نقره، قلع و روی ساخته می شوند. صفحات خازن در فاصله ای بسیار نزدیک به هم قرار می گیرند. عایق بین صفحات خازن معمولاً از جنس هوا، کاغذ، میکا، پلاستیک، سرامیک، اکسید آلومینیوم و اکسید تانتالیوم می باشد. به عایق بین صفحات خازن دی الکتریک می گویند. در شکل (۱) علامت اختصاری و قسمت های مختلف خازن نمایش داده شده است.



شکل (۱): علامت اختصاری و قسمت های مختلف خازن

۱- مشخصه های الکتریکی خازن

۱-۱- ظرفیت خازن: ظرفیت هر خازن نشان دهنده توانایی خازن در ذخیره کردن بار الکتریکی است و بنا به تعریف، ظرفیت خازن برابر است با مقدار بار الکتریکی که باید روی یکی از صفحات خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحه دیگر به اندازه یک ولت افزایش یابد. ظرفیت خازن را با حرف C نمایش می دهند. بنابراین ظرفیت خازن را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$C = \frac{Q}{V}$$

که در این رابطه C ظرفیت خازن بر حسب فاراد (F) و Q بار یک صفحه بر حسب کولن (C) و V ولتاژ دو سر خازن بر حسب ولت (V) است.

ظرفیت یک خازن به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهم ترین این عوامل عبارتند از:

۱- مساحت صفحات خازن ۲- ثابت دی الکتریک خازن ۳- فاصله بین صفحات خازن

۱-۱-۱- مساحت صفحات خازن: هر چه یک خازن دارای صفحات بزرگتری باشد، ظرفیت بیشتری خواهد داشت. زیرا هر چه صفحات خازن بزرگتر باشند، بار بیشتری روی آنها ذخیره می شود. بنابراین ظرفیت خازن با مساحت صفحات خازن نسبت مستقیم دارد.

۱-۱-۲- ثابت دی الکتریک خازن: هر چه ثابت دی الکتریک یک خازن بیشتر باشد، آن خازن ظرفیت بیشتری خواهد داشت. علت این امر آن است که زمانی که یک دی الکتریک در یک میدان الکتریکی قرار می گیرد مولکول های دی الکتریک تحت تأثیر میدان الکتریکی به صورت مولکول های دو قطبی در می آیند.

۱-۱-۳- فاصله بین صفحات خازن: هر چه فاصله بین صفحات یک خازن کمتر باشد، مقدار ظرفیت خازن بیشتر خواهد بود و برعکس، هر چه فاصله بین صفحات خازن بیشتر باشد، خازن ظرفیت کمتری خواهد داشت و این یعنی اینکه مقدار ظرفیت خازن با فاصله بین صفحات آن نسبت عکس دارد.

البته علاوه بر موارد بالا، عوامل دیگری نیز همچون درجه حرارت محیط، فرکانس ولتاژ دو سر خازن و مدت زمان استفاده از خازن در میزان ظرفیت خازن مؤثرند، اما میزان تأثیر آن‌ها در مقایسه با موارد شرح داده شده ناچیز و نیز بستگی به شرایط و نحوه استفاده از خازن دارد. با توجه به موارد ذکر شده، میزان ظرفیت خازن را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$C = \frac{\epsilon A}{d}, \quad \epsilon = \epsilon_r \epsilon_0, \quad \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \left[\frac{F}{m} \right]$$

که در این رابطه A مساحت صفحات خازن، d فاصله بین صفحات خازن، ϵ ثابت دی‌الکتریک خازن، ϵ_r ضریب نسبی دی‌الکتریک و ϵ_0 ثابت دی‌الکتریک هواست.

۱-۲- ضریب حرارتی خازن: این ضریب نشان‌دهنده این است که با تغییر درجه حرارت، ظرفیت خازن چه تغییری می‌کند. اگر ضریب حرارتی خازن مثبت باشد، افزایش درجه حرارت، سبب افزایش ظرفیت خازن می‌شود و کاهش درجه حرارت، سبب کاهش ظرفیت خازن می‌گردد. البته به دلیل اینکه معمولاً تغییرات درجه حرارت تأثیر ناچیزی بر روی ظرفیت خازن می‌گذارد، در بسیاری از موارد ضریب حرارتی خازن مورد توجه قرار نمی‌گیرد و حتی بر روی بعضی از خازن‌ها اصلاً درج نمی‌شود.

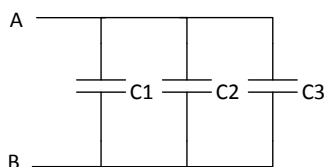
۱-۳- راکتانس خازن: مخالف خازن در مقابل جاری شدن جریان را عکس‌العمل خازنی یا راکتانس خازنی و یا مقاومت خازنی می‌گویند و آن را با X_c نمایش می‌دهند. راکتانس خازنی به ظرفیت خازن و فرکانس ولتاژ دو سر خازن بستگی دارد. یعنی هر چه ظرفیت خازن و یا فرکانس ولتاژ دو سر خازن بیشتر باشد راکتانس خازنی کمتر است و برعکس. راکتانس خازنی را می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

که در این رابطه X_c راکتانس خازنی بر حسب اهم، f فرکانس ولتاژ دو سر خازن بر حسب هرتز و C ظرفیت خازن بر حسب فاراد است.

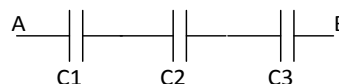
۱-۴- ولتاژ مجاز خازن: یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های یک خازن، ولتاژ مجاز آن می‌باشد و منظور از آن حداکثر ولتاژی است که می‌توان به خازن اعمال نمود به طوری که دی‌الکتریک خازن آسیب نبیند. ولتاژ مجاز خازن‌های الکترولیتی بر روی آن‌ها نوشته می‌شود. خازن‌های عدسی معمولاً دارای ولتاژ مجاز ۵۰ ولت با بالا هستند و ولتاژ مجاز خازن‌های پلی‌استر نیز از ۵۰ ولت به بالاست که معمولاً بر روی آن‌ها نوشته می‌شود. همیشه خازن‌های با ولتاژ مجاز بیشتر، گران‌تر هستند.

۱-۵- سری و موازی کردن خازن‌ها: اگر همانند شکل (۲) تعدادی خازن با یکدیگر سری شوند، ظرفیت خازن معادل از رابطه زیر به دست می‌آید. بنابراین سری بستن خازن‌ها، سبب کاهش ظرفیت خازن معادل و افزایش راکتانس خازن معادل می‌شود. اما در صورتی که خازن‌ها همانند شکل (۳)، به صورت موازی بسته شوند، مقدار ظرفیت خازن معادل از رابطه زیر محاسبه می‌شود. بنابراین موازی بستن خازن‌ها، سبب افزایش ظرفیت خازن معادل و کاهش راکتانس خازن معادل می‌گردد.



شکل (۳): خازن‌های موازی

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$



شکل (۲): خازن‌های سری

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

۲- انواع خازن

خازن‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. ۱- خازن‌های ثابت ۲- خازن‌های متغیر

۲-۱- خازن‌های ثابت: این خازن‌ها دارای ظرفیت ثابتی هستند و بر اساس نوع ماده دی‌الکتریک به کار رفته در آن‌ها تقسیم‌بندی و نام‌گذاری می‌شوند و از آن‌ها در مصارف مختلف استفاده می‌شود. مهم‌ترین خازن‌های ثابت عبارت‌اند از:

- ۱- خازن سرامیکی
- ۲- خازن میکا
- ۳- خازن ورقه‌ای
- ۴- خازن الکتrolیتی

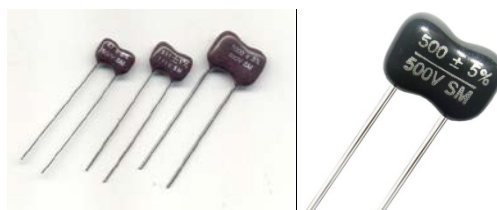
۲-۱-۱- خازن سرامیکی (Ceramic Capacitor): خازن سرامیکی یکی از پرکاربردترین خازن‌ها می‌باشد. دی‌الکتریک به کار رفته در خازن سرامیکی از جنس سرامیک است و به دلیل اینکه سرامیک ثابت دی‌الکتریک بالایی دارد می‌توان خازن‌های سرامیکی را در اندازه‌های کوچک و ظرفیت‌های بالا نسبت به حجمشان ساخت و این یکی از بزرگ‌ترین مزیت‌های خازن‌های سرامیکی است. ولتاژ کار این خازن‌ها از ۵۰ ولت به بالاست. ظرفیت خازن‌های سرامیکی معمولاً بین 1 pF تا 100 nF است.



شکل (۴): نمونه‌ای از خازن‌های سرامیکی

مقدار ظرفیت خازن‌های سرامیکی را ممکن است به همراه واحد آن بر روی خازن بنویسند که در این صورت مقدار ظرفیت خازن به راحتی خوانده می‌شود. گاهی برای تعیین ظرفیت خازن فقط از چند عدد استفاده می‌شود و واحدی برای ظرفیت خازن بر روی آن نوشته نمی‌شود. اگر عدد روی خازن بزرگ‌تر از یک باشد، دو رقم اول را نوشته و به تعداد رقم سوم به آن‌ها صفر اضافه می‌کنیم. عدد حاصل مقدار ظرفیت خازن را بر حسب پیکوفاراد نشان می‌دهد.

۲-۱-۲- خازن میکا: خازن‌های میکا از تعدادی ورقه نازک میکا به عنوان دی‌الکتریک و تعدادی ورقه نازک فلزی به عنوان صفحات هادی تشکیل می‌شوند. این ورقه‌ها به صورت یک در میان روی هم قرار می‌گیرند. ظرفیت خازن‌های میکا کم و از چند پیکوفاراد تا حداکثر ۵ نانوفاراد است. از ویژگی‌های اصلی و مهم این خازن‌ها می‌توان داشتن ولتاژ کار بالا، ثبات ظرفیت، ضریب حرارتی پایین، عمر کارکرد طولانی و کاربرد در مدارات فرکانس بالا را نام برد. در شکل (۵) تصویری از یک خازن میکا نمایش داده شده است.

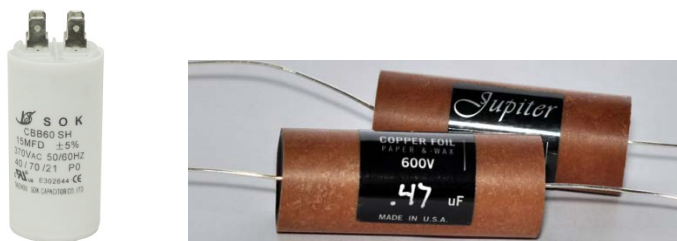


شکل (۵): خازن میکا

۲-۱-۳- خازن ورقه‌ای: در خازن‌های ورقه‌ای از کاغذ و مواد پلاستیکی به عنوان دی‌الکتریک استفاده می‌شود. این گروه از خازن‌ها خود به دو صورت ساخته می‌شوند. ۱- خازن‌های کاغذی ۲- خازن‌های پلاستیکی

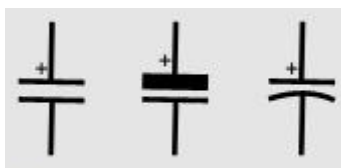
۲-۱-۳-۱- خازن کاغذی: دی‌الکتریک این نوع خازن‌ها از یک صفحه نازک کاغذی متخلخل تشکیل شده است که یک دی‌الکتریک مناسب درون آن تزریق می‌گردد تا مانع از جذب رطوبت گردد. برای جلوگیری از تبخیر دی‌الکتریک درون کاغذ، خازن را درون یک قاب محکم و نفوذناپذیر قرار می‌دهند. خازن‌های کاغذی به علت کوچک بودن ضریب دی‌الکتریک عایق آن‌ها، دارای ابعاد فیزیکی بزرگی هستند اما از مزایای این خازن‌ها این است که در ولتاژها و جریان‌های زیاد می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

۲-۱-۳-۲- خازن پلاستیکی: در این نوع از خازن‌ها از ورقه‌های نازک پلاستیک به عنوان دی‌الکتریک استفاده می‌شود. ورقه‌های پلاستیکی به همراه ورقه‌های نازک فلزی به صورت لوله شده در درون قاب پلاستیکی بسته‌بندی می‌شوند. امروزه این نوع خازن‌ها به دلیل داشتن مشخصات خوب، در مدارات زیاد به کار می‌روند. این خازن‌ها نسبت به تغییرات دما حساسیت زیادی ندارند و به همین سبب از آن‌ها در مداراتی استفاده می‌شود که احتیاج به خازنی با ظرفیت ثابت در مقابل حرارت وجود داشته باشد. ماکزیمم فرکانس کار خازن‌های پلاستیکی حدود یک مگاهرتز است. خازن‌های پلاستیکی جریان نشستی خیلی کمی دارند.



شکل (۶): به ترتیب از راست به چپ نمونه‌ای از خازن‌های ورقه‌ای کاغذی و پلاستیکی

۲-۱-۴- خازن الکتrolیتی: اگر دی‌الکتریک یک خازن طی یک واکنش شیمیایی ایجاد شده باشد آن خازن را یک خازن الکتrolیتی و در غیر این صورت آن را یک خازن خشک می‌گویند. از خازن‌های الکتrolیتی به دلیل قابلیتی که در ساخت آن‌ها وجود دارد برای ظرفیت‌های بالا استفاده می‌کنند. در اکثر خازن‌های الکتrolیتی پلاریته مثبت و منفی مشخص شده است و اصطلاحاً گفته می‌شود خازن‌های الکتrolیتی قطبی هستند. به همین سبب، هنگام کار با این نوع خازن‌ها باید دقت نمود، زیرا اگر خازن به صورت معکوس اتصال داده شود، دی‌الکتریک آن از بین رفته و خازن تبدیل به یک هادی می‌شود و سپس محللول الکتrolیت خازن تجزیه می‌گردد و در اثر گاز ایجاد شده در محفظه، خازن منفجر می‌شود. خازن‌های الکتrolیتی در دو نوع آلومینیومی و تانتالیومی ساخته می‌شوند.



شکل (۷): علائم اختصاری خازن‌های الکتrolیتی

۲-۱-۴-۱- خازن الکتrolیتی آلومینیومی: این خازن‌ها از دو ورقه آلومینیومی تشکیل شده‌اند که یکی از این ورقه‌ها که لایه اکسید روی آن ایجاد می‌شود، آند و ورقه آلومینیومی دیگر کاتد نامیده می‌شود. از معایب این خازن‌ها می‌توان به تبخیر و خارج شدن الکتrolیت از پولک پلاستیکی و بالا بودن جریان نشستی آن‌ها اشاره کرد و از جمله ویژگی‌های خوب این خازن‌ها داشتن ظرفیت زیاد نسبت به حجمشان است. پایه منفی (کاتد) خازن‌های الکتrolیتی را با نواری که بر روی آن علامت منفی (-) درج شده است مشخص می‌کنند. بر روی این خازن‌ها، ولتاژ مجاز و مقدار ظرفیت آن‌ها را به طور مستقیم می‌نویسند.

۲-۱-۴-۲- خازن الکتrolیتی تانتالیومی: در این نوع خازن‌ها به جای فلز آلومینیوم از فلز تانتالیوم استفاده می‌شود. به دلیل اینکه ثابت دی‌الکتریک اکسید تانتالیوم نسبت به اکسید آلومینیوم بیشتر است خازن‌های تانتالیومی نسبت به خازن‌های آلومینیومی در

حجم مساوی دارای ظرفیت بیشتری می‌باشند. خازن‌های تانتالیومی از خازن‌های آلومینیومی گران‌تر هستند. خازن‌های تانتالیومی حجم کمتری؛ طول عمر کارکرد بیشتر و جریان ناشی کمتر دارند. اما باید دقت داشته باشید که خازن‌های تانتالیومی نسبت به افزایش ولتاژ دو سر خازن به بیش از ولتاژ مجاز و نیز اشتباه وصل شدن ولتاژ به دو سر خازن از نظر پلاریته، حساس‌تر از خازن‌های آلومینیومی هستند و سریع‌تر آسیب می‌بینند. خازن‌های آلومینیومی در ظرفیت‌های بالا نیز ساخته می‌شوند (تا چند هزار میکرو فاراد) اما خازن‌های تانتالیومی حداکثر تا ظرفیت $330 \mu\text{F}$ ساخته می‌شوند.

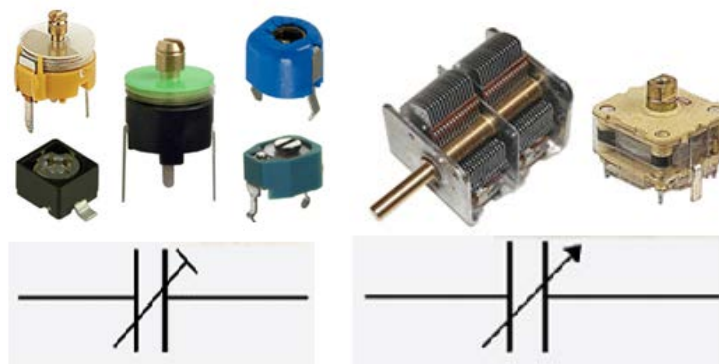


شکل (۸) : به ترتیب از راست به چپ نمونه‌ای از خازن‌های الکترولیتی آلومینیومی و تانتالیومی

۲-۲- خازن‌های متغیر: به طور کلی با تغییر سه عامل می‌توان ظرفیت خازن‌ها را تغییر داد. این سه عامل عبارت‌اند از :

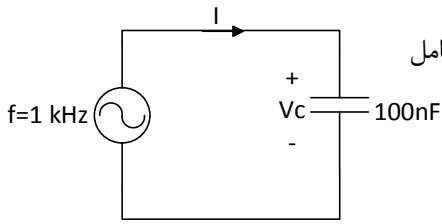
۱- فاصله صفحات خازن ۲- سطح مؤثر بین صفحات خازن ۳- نوع دی‌الکتریک

اساس کار خازن‌های متغیر بر مبنای تغییر سطح مشترک صفحات خازن و یا تغییر فاصله بین صفحات خازن است. نوع دی‌الکتریک به کار رفته در خازن‌های متغیر معمولاً از جنس هوا یا پلاستیک است. خازن متغیری که عمل تغییر ظرفیت در آن به وسیله یک ولوم انجام می‌شود را خازن واریابل (Variable) و نوع دیگر را که در آن عمل تغییر ظرفیت باید به کمک پیچ‌گوشتی انجام گیرد خازن تریمر (Trimmer) گویند. محدوده تغییر ظرفیت در خازن‌های واریابل از ۱۰ تا ۴۰۰ پیکوفاراد و در خازن‌های تریمر از ۵ تا ۳۰ پیکوفاراد است. شکل (۹) تصاویری از خازن واریابل و تریمر با علامت اختصاری هر یک



شکل (۹) : به ترتیب از راست به چپ تصاویری از خازن واریابل و تریمر با علامت اختصاری هر یک

مراحل آزمایش:

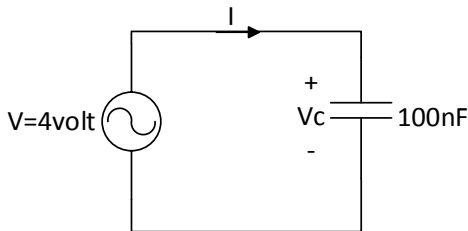


۱- مدار زیر را بر روی برد بیندید و جدول را زیر با تغییر ولتاژ ورودی فانکشن ژنراتور کامل نمایید. (دقت نمایید که مولتی متر مقدار rms را نشان می دهد).

- آیا خازن از قانون اهم در این فرکانس پیروی می کند؟
- نمودار I-V (جریان بر حسب ولتاژ) را برای خازن رسم نمایید.

ولتاژ	0.7	1.5	2	2.5	2.8	3.5	4
I (mA) (مولتی متر)							
$X_c = \frac{V}{I}$ (kΩ) (راکتانس)							

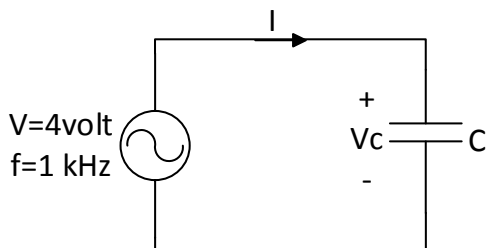
۲- با توجه به مدار جدول زیر را با تغییر فرکانس پر کنید.



فرکانس (f)	10Hz	50Hz	100Hz	500Hz	1kHz
I (mA) (مولتی متر)					
$X_c = \frac{V}{I}$ (kΩ) (راکتانس)					

- نمودار I-f (جریان بر حسب فرکانس) و I-Xc (جریان بر حسب راکتانس) را رسم نمایید.

۳- جدول زیر را با تغییر مقدار خازن کامل نمایید.



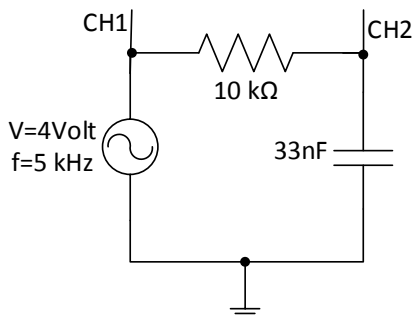
C(nf)	100	220	470	1000
I(mA) مولتی متر				
X_c (راکتانس)				

- برای هر خازن راکتانس را به صورت تئوری محاسبه نموده و نتیجه را با عملی مقایسه نمایید.

آزمایش ۷: اختلاف فاز مدارهای RC

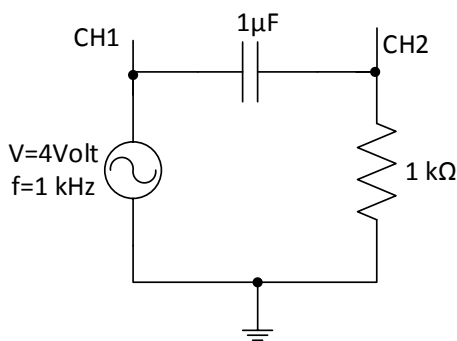
هدف آزمایش: اندازه‌گیری اختلاف فاز بین ولتاژ خروجی و ورودی در مدارهای RC، آشنایی با روش‌های اندازه‌گیری اختلاف فاز با استفاده از اسیلوسکوپ (روش chop و حالت لیسازر X-Y)

مراحل انجام آزمایش:



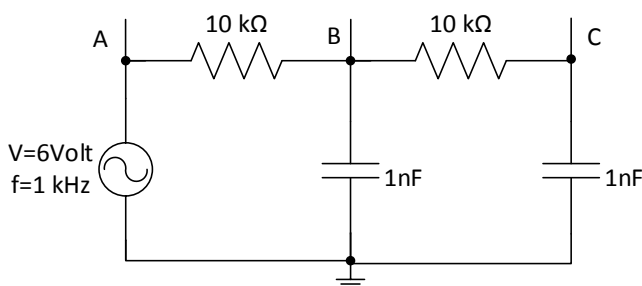
- ۱- مدار زیر را بر روی بردبورد ببندید.
- اختلاف فاز بین کانال ۱ (دوسر منبع فانکشن ژنراتور) و کانال ۲ (دوسر خازن) را به صورت Chop با رسم شکل به دست آورید.
- اختلاف فاز بین کانال ۱ (دوسر منبع فانکشن ژنراتور) و کانال ۲ (دوسر خازن) را در حالت X-Y (لیسازر) با رسم شکل به دست آورید.
- در مدار روبرو نسبت تقدم و تأخر فاز ولتاژ و جریان خروجی (رابطه ولتاژ و جریان دوسر خازن) چگونه است؟

- رابطه اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی (منبع فانکشن ژنراتور) و جریان مدار را به صورت تئوری به دست آورید. (برای به دست آوردن رابطه اختلاف فاز، منبع را V_i در نظر گرفته و با در نظر گرفتن مقاومت و خازن در حالت کلی R و C رابطه بین ولتاژ ورودی و جریان مدار را به دست آورید.)



- ۲- مدار زیر را بر روی برد بورد ببندید.
- اختلاف فاز بین کانال ۱ (دوسر منبع فانکشن ژنراتور) و کانال ۲ (دوسر مقاومت) را به صورت Chop با رسم شکل به دست آورید.
- اختلاف فاز بین کانال ۱ (دوسر منبع فانکشن ژنراتور) و کانال ۲ (دوسر مقاومت) را در حالت X-Y (لیسازر) با رسم شکل به دست آورید.
- در مدار روبرو نسبت تقدم و تأخر فاز ولتاژ و جریان خروجی (رابطه ولتاژ و جریان دوسر مقاومت) چگونه است؟

۳- مدار مقابل را ببندید.



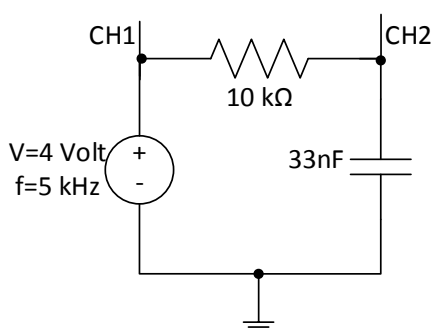
- اختلاف فاز بین دو نقطه A و B را با یکی از روش‌های اختلاف فاز (روش Chop، حالت X-Y) با رسم شکل به دست آورید.
- اختلاف فاز بین دو نقطه B و C را با یکی از روش‌های اختلاف فاز با رسم شکل به دست آورید.
- اختلاف فاز بین دو نقطه A و C را با یکی از روش‌های اختلاف فاز با رسم شکل به دست آورید.
- رابطه فاز بین سه نقطه A ، B و C را به دست آورید.

آزمایش ۸: مدارات انتگرال‌گیر و مشتق‌گیر

هدف آزمایش: آشنایی با مدارات انتگرال‌گیر و مشتق‌گیر رابطه بین ورودی و خروجی این مدارات، بررسی پارامترهای مختلف در شارژ و دشارژ خازن

مراحل انجام آزمایش:

۱- مدار مقابل را بر روی برد ببندید.

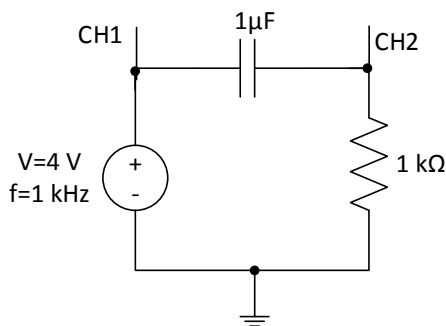


- یک شکل موج مربعی به ورودی اعمال کرده و ورودی را هم‌زمان مشاهده و رسم نمایید.

- یک شکل موج مثلثی به ورودی اعمال کرده و خروجی و ورودی را هم‌زمان مشاهده و رسم نمایید.

- رابطه بین ولتاژ ورودی (ولتاژ دو سر منبع فانکشن ژنراتور) و ولتاژ خروجی (ولتاژ دو سر خازن) را به دست آورید.

- با توجه به رابطه بین ورودی- خروجی به دست آمده برای شکل‌های خروجی رسم شده در مراحل بالا، این رابطه را توجیه کنید.



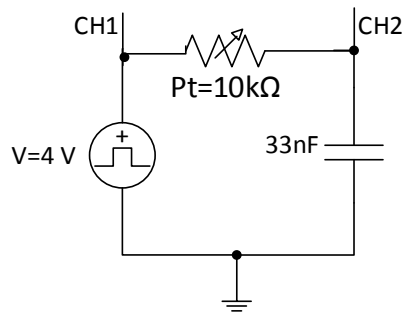
۲- مدار مقابل را بر روی برد ببندید.

- یک شکل موج سینوسی به ورودی اعمال کرده و خروجی و ورودی را هم‌زمان مشاهده و رسم نمایید.

- یک شکل موج مثلثی به ورودی اعمال کرده و خروجی و ورودی را هم‌زمان مشاهده و رسم نمایید.

- رابطه بین ولتاژ ورودی (ولتاژ دو سر منبع فانکشن ژنراتور) و ولتاژ خروجی (ولتاژ دو سر مقاومت) را به دست آورید.

- با توجه به رابطه بین ورودی- خروجی به دست آمده برای شکل‌های خروجی رسم شده در مراحل بالا، این رابطه را توجیه کنید.



۳- مدار مقابل را بر روی برد ببنیدید.

- شکل موج کانال ۱ و ۲ را به صورت هم‌زمان، یک‌بار در حالت $Pt=\max$ و بار دیگر در حالت $Pt=\min$ ، در $f=1\text{ kHz}$ مشاهده و رسم نمایید.
- اثر تغییر مقاومت را در شکل موج‌های خروجی توجیه نمایید.
- مقدار $Pt=\max$ قرار داده و شکل موج کانال ۱ و ۲ را به صورت هم‌زمان برای فرکانس‌های 100 Hz ، 600 Hz ، 2 kHz و 5 kHz مشاهده و رسم نمایید.
- اثر تغییر فرکانس را در شکل موج‌های خروجی توجیه نمایید.
- مقدار $Pt=\max$ و $f=100\text{ Hz}$ را تنظیم کرده و خازن $C=1\mu\text{F}$ را در مدار جایگزین می‌کنیم شکل موج ورودی و خروجی را هم‌زمان مشاهده و رسم نمایید.
- اثر تغییر خازن را در خروجی مدار چیست؟ علت را توضیح دهید.
- شرط شارژ و دشارژ شدن کامل خازن چیست؟ برای هر یک از حالات قسمت ۳ بررسی نمایید.

آزمایش ۹: پاسخ فرکانسی مدارهای RC (فیلتر RC)

هدف آزمایش: آشنایی با فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر؛ نمودار پاسخ فرکانسی مدار و به دست آوردن فرکانس قطع در فیلتر RC

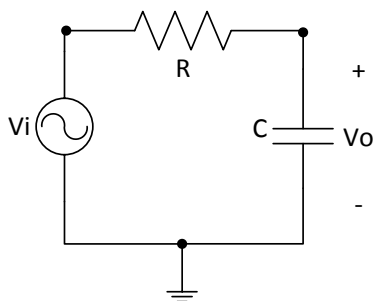
تئوری آزمایش:

فیلتر سیستمی است که فقط فرکانس‌های معینی را از خود عبور داده و سایر فرکانس‌ها را تضعیف می‌کند. از انواع فیلترها می‌توان به فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر اشاره کرد.

فیلتر پایین‌گذر (Low Pass Filter) مقدار dc یا سیگنال با فرکانس پایین را عبور داده و سایر فرکانس‌های بالا را تضعیف می‌کند. فیلتر بالاگذر (High Pass Filter) نیز فرکانس‌های بالا را عبور داده و فرکانس‌های پایین را تضعیف می‌کند. برای تشخیص بالاگذر یا پایین‌گذر بودن یک فیلتر به روش زیر می‌توان عمل کرد:

- در $\omega = 0$ به جای خازن مدار باز ($\frac{1}{j\omega C} = \infty$) و به جای سلف اتصال کوتاه می‌گذاریم ($j\omega L = 0$) اگر پاسخ صفر باشد مدار بالاگذر و اگر پاسخ غیر صفر باشد مدار پایین‌گذر است.
- در $\omega = \infty$ به جای خازن اتصال کوتاه ($\frac{1}{j\omega C} = 0$) و به جای سلف اتصال باز می‌گذاریم ($j\omega L = \infty$) اگر پاسخ صفر باشد مدار پایین‌گذر و در غیر این صورت مدار بالاگذر است.

۱- فیلتر پایین‌گذر (LPF)



شکل (۱)، یک مدار فیلتر پایین‌گذر RC را نشان می‌دهد. هنگامی که یک موج سینوسی با دامنه V_i و فرکانس متغیر f به دو سر ورودی مدار اعمال می‌شود، نسبت ولتاژ خروجی به ولتاژ ورودی تابعی از فرکانس بوده و به تابع پاسخ فرکانسی، یا تابع انتقال موسوم است و با رابطه زیر نمایش داده می‌شود:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \left| \frac{V_o}{V_i} \right| < \phi^\circ$$

شکل (۱)

به طوری که خواهیم دید $\left| \frac{V_o}{V_i} \right|$ و ϕ تابعی از 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. شکل (۲) نمودار پاسخ فرکانسی یک فیلتر پایین‌گذر رسم شده است. اکنون مدار RC زیر را در نظر بگیرید. تابع پاسخ فرکانسی برای این مدار به صورت زیر تعیین می‌شود:

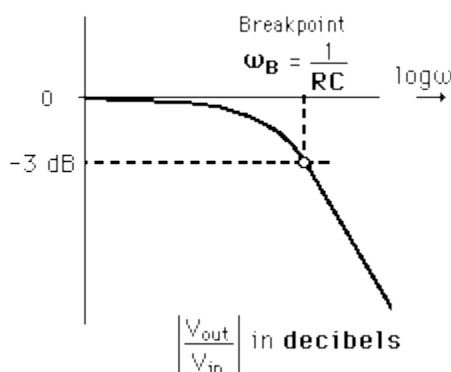
$$V_i = \left(R + \frac{1}{j\omega C} \right) I, \quad V_o = \left(\frac{1}{j\omega C} \right) I$$

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

۲- فرکانس قطع

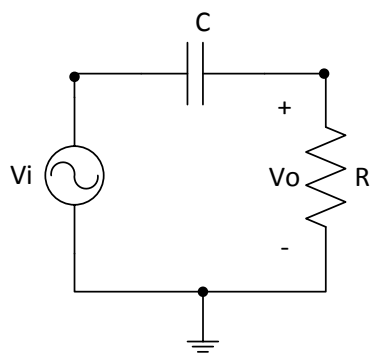
فرکانسی است که در آن بهره مدار نسبت به بهره در DC با ضریب $\sqrt{2}$ افت می‌کند. به عبارت دیگر در این فرکانس ولتاژ یا جریان خروجی مدار $\frac{\sqrt{2}}{2}$ مقدار ماکزیمم آن می‌شود. در این فرکانس اندازه توان خروجی به نصف ماکزیمم توان خروجی می‌رسد. در این حالت بهره مدار به میزان 3dB کاهش پیدا می‌کند. به همین دلیل این فرکانس را فرکانس 3dB نیز می‌نامند. بنابراین فرکانس قطع برابر است با:

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega R C)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow f_{3dB} = \frac{1}{2\pi R C}$$



شکل (۲): نمودار پاسخ فرکانسی فیلتر پایین‌گذر

۳- فیلتر بالاگذر (HPF)



شکل (۳) را که اتصال سری خازن و مقاومت به دست آمده است را در نظر بگیرید. یک فیلتر بالاگذر است. پاسخ فرکانسی برای این مدار عبارت است از:

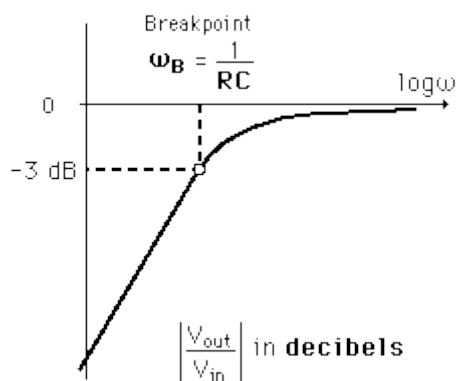
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{j\omega R C}{1 + j\omega R C}$$

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

شکل (۳)

در فرکانس‌های بالا وقتی که $\omega R C \gg 1$ است، $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| \approx 1$ و وقتی که $\omega R C \ll 1$ باشد، $\left| \frac{V_o}{V_i} \right| \approx 0$ و بدین ترتیب مدار RC فوق فرکانس‌های بالا را از خود عبور می‌دهد و ولتاژهای با فرکانس پایین را بشدت تضعیف می‌نماید. به فیلتر بالاگذر موسوم است. و فرکانس قطع جایی که در آن بهره مدار نسبت به بهره ماکزیمم با ضریب $\sqrt{2}$ افت می‌کند برابر است با:

$$\left| \frac{V_o}{V_i} \right| = \frac{j\omega R C}{\sqrt{1 + (\omega R C)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rightarrow f_{3dB} = \frac{1}{2\pi R C}$$



شکل (۴): نمودار پاسخ فرکانسی فیلتر بالاگذر

مراحل انجام آزمایش:

۱- مدار شکل (۱) را به ازای $R = 4.7 \text{ k}\Omega$ و $C = 33 \text{ nF}$ بر روی بردبورد ببندید. یک نوسان‌ساز سینوسی با مقدار پیک 4 ولت به ورودی اعمال کنید. با توجه به آن به سؤالات زیر پاسخ دهید.

- جدول زیر را کامل کنید.

f									
$V_o(p-p)$									

- منحنی مشخصه خروجی برحسب فرکانس را رسم کنید.
- فرکانس قطع مدار (f_{3dB}) را به صورت عملی و تئوری به دست آورید.

۲- مدار شکل (۳) را به ازای $R = 1 \text{ k}\Omega$ و $C = 1 \text{ nF}$ بر روی بردبورد ببندید. یک نوسان‌ساز سینوسی با مقدار پیک ۵ ولت به ورودی اعمال کنید.

- جدول زیر را به ازای فرکانس‌های مختلف کامل کنید.

f									
$V_o(p-p)$									

- منحنی مشخصه خروجی برحسب فرکانس را رسم کنید.
- فرکانس قطع مدار f_{3dB} را به صورت عملی به دست آورید.
- فرکانس قطع مدار را به صورت تئوری به دست آورید.

آزمایش ۱۰: بررسی مدارهای RL

هدف آزمایش: آشنایی با انواع سلف‌ها، بررسی مدارات RL (رابطه ورودی- خروجی پاسخ فرکانسی مدار و به دست آوردن فرکانس قطع در فیلتر RL)

تئوری آزمایش:

۱- سلف

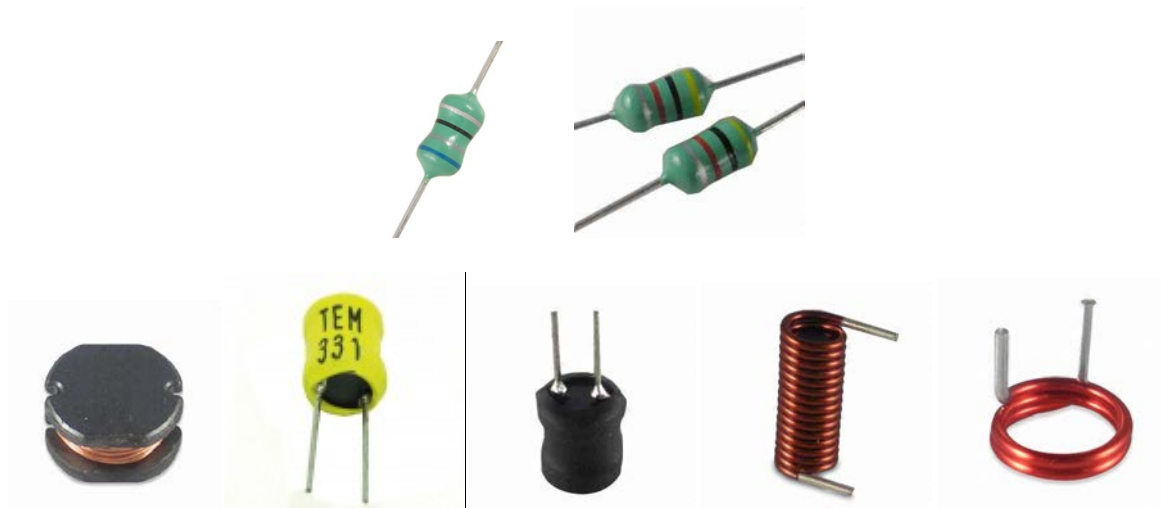
از پیچیدن یک یا چندین سیم هادی با روپوش عایق به صورت مارپیچ سلف به وجود می‌آید. این سیم‌پیچ‌ها می‌توانند دارای هسته یا بدون هسته باشند.

۱-۱- انواع سلف‌ها: سلف با توجه به نوع آن کاربردهای متفاوتی دارد. از جمله انواع سلف می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱-۱-۱- سلف با هسته آهنی: به سیم‌پیچ‌هایی که دارای هسته فلزی هستند و تعداد دور استاندارد سیم دارند، در اصطلاح چوک (Choke) می‌گویند. مانند چوک مهتابی که معمولاً به اشتباه آن را ترانس مهتابی می‌گویند.

۱-۱-۲- سلف با هسته فریت: این نوع سیم‌پیچ از پیچیده شدن روی یک هسته فریت به وجود می‌آید. سلف با هسته فریت به صورت ثابت و متغیر وجود دارد.

۱-۱-۳- سلف با هسته هوا: از پیچیده شدن یک سیم‌پیچ روی یک لوله فرضی یا پلاستیکی، کاغذی و یا مواد عایق دیگر به وجود می‌آید.



شکل (۱): انواع و اشکال مختلف سلف

۱-۲- مشخصات سلف

۱-۲-۱- اندوکتانس سیم‌پیچ: مهم‌ترین مشخصه یک سیم‌پیچ و در حقیقت یکی از خصوصیات فیزیکی یک سیم‌پیچ است که مقدار آن وابسته به جنس هسته سیم‌پیچ، تعداد دور سیم‌پیچ، طول سیم‌پیچ و سطح مقطع سیم‌پیچ است و طبق تعریف، اندوکتانس هر سیم‌پیچ نشان می‌دهد که به ازای یک آمپر در ثانیه تغییر در جریان، چند ولت در سیم‌پیچ القا می‌شود. مقدار اندوکتانس هر سیم‌پیچ از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$L = \frac{\mu AN^2}{l}$$

که در این رابطه μ قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی هسته بر حسب هانری است. A سطح مقطع هسته بر حسب مترمربع، N تعداد دور سیم‌پیچ و l طول سیم‌پیچ بر حسب متر می‌باشد.

۱-۲-۲- در سلف تغییرات آنی جریان ممکن نیست و ولتاژ القا شده در سیم‌پیچ برابر است با حاصل ضرب اندوکتانس سیم‌پیچ در تغییرات لحظه‌ای جریان نسبت به زمان و از رابطه زیر به دست می‌آید.

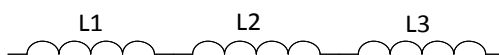
$$V = L \frac{di}{dt}$$

۱-۲-۳- سلف در برابر جریان DC مانند اتصال کوتاه عمل می‌کند و در برابر جریان AC دارای راکتانس زیر می‌باشد.

$$X_L = 2\pi fL$$

۱-۲-۴- سری و موازی کردن سلفها: اگر همانند شکل (۲) تعدادی سلف با یکدیگر سری شوند، اندوکتانس معادل سلفها از رابطه زیر به دست می‌آید. بنابراین سری بستن سلفها، سبب افزایش ظرفیت معادل و افزایش راکتانس معادل می‌شود.

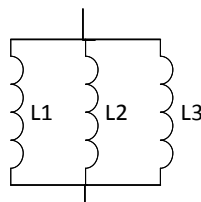
$$L = L_1 + L_2 + L_3$$



شکل (۲): سلفهای سری

اما در صورتی که سلفها همانند شکل (۳)، به صورت موازی بسته شوند، مقدار اندوکتانس معادل سلفها از رابطه زیر محاسبه می‌شود. بنابراین موازی بستن سلفها، سبب کاهش اندوکتانس معادل و کاهش راکتانس معادل می‌گردد.

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$



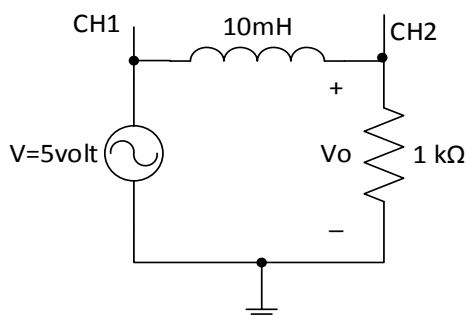
شکل (۳): سلفهای موازی

۱-۲-۵- خواندن مقدار سلفها:

- نوشته روی سلفها چنانچه به صورت یک کد سه رقمی مشخص شده باشد. دو رقم اول اندوکتانس سلف و رقم سوم نشان‌دهنده تعداد صفری است که باید به دو رقم اول اضافه شود. رقم به دست آمده برحسب میکرو هانری می‌باشد.

- مقدار برخی از سلف‌ها با کدهای رنگی مشابه مقاومت مشخص می‌شود. مقدار اندوکتانس به دست آمده در این روش بر حسب میکروهنری می‌باشد.

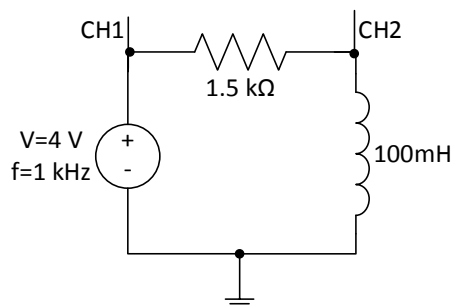
مراحل انجام آزمایش:



۱- مدار زیر را با توجه به سلفی که در اختیار دارید ببندید.

- یک شکل موج مربعی به ورودی اعمال کرده و خروجی و ورودی را هم‌زمان مشاهده و رسم نمایید.
- یک شکل موج مثلثی به ورودی اعمال کرده و خروجی و ورودی را هم‌زمان مشاهده و رسم نمایید.

- رابطه بین ولتاژ ورودی (ولتاژ دو سر منبع فانکشن ژنراتور) و ولتاژ خروجی (ولتاژ دو سر سلف) را به دست آورید.
- با توجه به رابطه بین ورودی- خروجی به دست آمده برای شکل‌های خروجی رسم شده در مراحل بالا، این رابطه را توجیه کنید.



۲- مدار زیر را ببندید.

- جدول زیر را کامل کنید.
- مدار چگونه فیلتری است؟
- با توجه به جدول منحنی مشخصه خروجی برحسب فرکانس را رسم کنید.
- فرکانس قطع مدار (f_{3dB}) را به صورت عملی و تئوری به دست آورید.

f									
$V_o(p-p)$									

آزمایش ۱۱: ثابت زمانی مدارهای RC و RL

هدف آزمایش: به دست آوردن ثابت زمانی در مدارات RL و RC درجه یک و پارامترهای تأثیرگذار بر ثابت زمانی

تئوری آزمایش:

در مدارهای درجه اول (مداری که دارای یک المان ذخیره کننده انرژی است). اگر مدار شامل خازن و مقاومت باشد ثابت زمانی مدار برابر

$$\tau = RC \text{ است. و اگر شامل سلف و مقاومت باشد ثابت زمانی مدار عبارت است از } \tau = \frac{L}{R}$$

برای محاسبه ثابت زمانی یک مدار ابتدا تمامی منابع را صفر می‌کنیم. (منابع ولتاژ اتصال کوتاه و منابع جریان اتصال باز) سپس مقاومت معادلی که از دوسر المان ذخیره کننده دیده می‌شود Req را می‌یابیم در این حالت ثابت زمانی مدار Req یا $\frac{L}{Req}$ است.

حل معادله درجه اول: برای حل معادله درجه یک در صورتی که فرکانس‌های طبیعی منفی و ورودی‌های مدار ثابت باشد می‌توانیم بدون نوشتن معادله دیفرانسیل مدار را حل کنیم.

$$y = Ae^{-\frac{t}{\tau}} + B \quad \rightarrow \quad \begin{cases} y(0^+) = A + B \\ y(\infty) = B \end{cases}$$

$$y(t) = [y(0^+) - y(\infty)]e^{-\frac{t}{\tau}} + y(\infty) ; t \geq 0^+$$

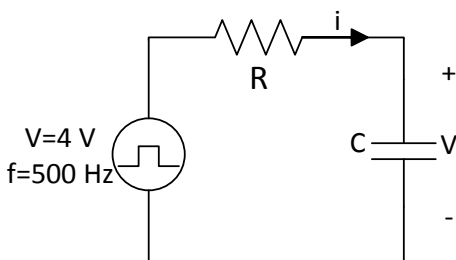
در این حالت $y(t)$ می‌تواند کمیت‌های $i(t)$ ، $v(t)$ ، $q(t)$ یا هر کمیت دیگر باشد. برای به دست آوردن $y(0^+)$ باید توجه داشت که ولتاژ خازن یا جریان سلف نمی‌تواند پرش داشته باشد. همچنین در $y(\infty)$ خازن مدار باز و سلف اتصال کوتاه است. در عمل خواهیم دید معادله خروجی مدار RC یا RL بعد از گذشت مدت زمان 5τ به مقدار نهایی‌اش می‌رسد.

$$V_C(0^+) = 0 \quad , \quad i_L(0^+) = 0$$

مراحل انجام آزمایش:

۱- مدار زیر را بر روی برد ببینید.

- شکل موج جریان و ولتاژ (ولتاژ دو سر خازن) را به ازای مقادیر مختلف مقاومت و خازن زیر مشاهده و رسم نمایید.



- 1) $R=220 \Omega, C=1 \mu F$
- 2) $R=1 \text{ k}\Omega, C=1 \mu F$
- 3) $R=220 \Omega, C=100 \text{ nF}$

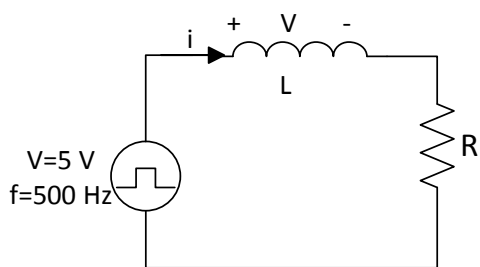
- از روی نمودارهای رسم شده مقدار ثابت زمانی را در هر حالت پیدا کنید.

- ثابت زمانی مدار را برای هر قسمت تئوری محاسبه کنید.

- چگونگی تغییرات ثابت زمانی را با توجه به تغییر R و C بررسی کنید.

- معادله خروجی مدار $V_C(t)$ را با فرض ورودی ثابت به صورت تئوری به دست آورید.

۲- مدار زیر را ببندید.



- شکل موج‌های جریان و ولتاژ (سلف) را در هر یک از حالات زیر مشاهده و رسم نمایید.

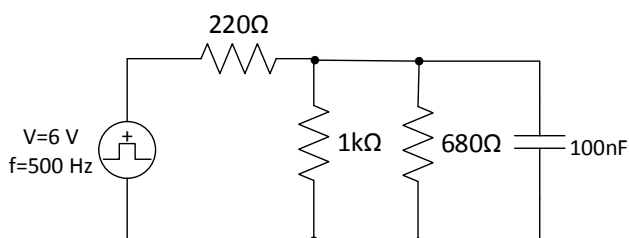
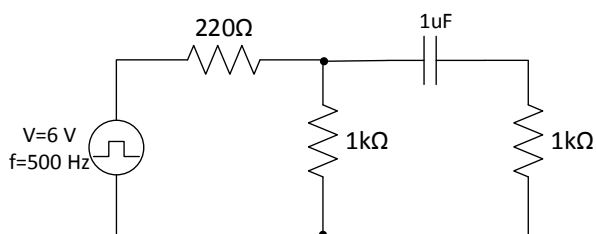
- 1) $R=1\text{ k}\Omega$, $L=0.1\text{ H}$
- 2) $R=2.2\text{ k}\Omega$, $L=0.1\text{ H}$
- 3) $R=1\text{ k}\Omega$, $L=10\text{ mH}$

- از روی نمودارهای رسم شده مقدار ثابت زمانی را در هر حالت پیدا کنید.

- ثابت زمانی مدار را در هر حالت به صورت تئوری محاسبه کنید.

- معادله خروجی مدار $i_L(t)$ را با فرض ورودی ثابت به صورت تئوری به دست آورید.

۳- در مدارهای زیر ثابت زمانی مدار را از طریق رسم شکل موج خروجی و بار دیگر از طریق محاسبه پیدا کنید.

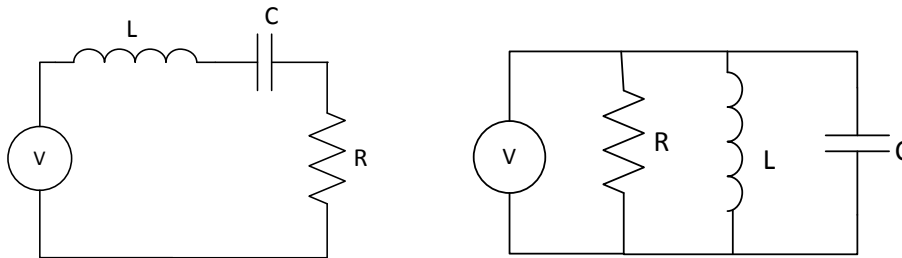


آزمایش ۱۲: بررسی مدارهای RLC

هدف آزمایش: بررسی رفتار انواع حالت‌های گذرای مدارهای مرتبه دوم RLC، اندازه‌گیری پارامترهای مختلف معادله مشخصه.

تئوری آزمایش:

به ترکیب سری و موازی مقاومت، خازن و سلف به ترتیب مدار RLC سری یا موازی می‌گویند.



شکل (۱): مدار RLC موازی و سری به ترتیب از راست به چپ

پاسخ گذرا مدار RLC

هنگامی که مدار RLC سری با یک ولتاژ پله تحریک می‌شود، پاسخ گذرای مدار به صورت زیر خواهد بود.

$$V = L \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} \int i dt + Ri \quad \rightarrow \quad L \frac{d^2i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0$$

برای مدارهای RLC موازی برای مجموع جریان‌های گره داریم:

$$I = \frac{V}{R} + \frac{1}{L} \int V dt + c \frac{dV}{dt} \quad \rightarrow \quad \frac{d^2V}{dt^2} + \frac{1}{RC} \frac{dV}{dt} + \frac{1}{LC} V = 0$$

بنابراین در مدارهای درجه دوم با ورودی مستقل صفر، معادله دیفرانسیل متغیر دلخواه y حداکثر از درجه دوم است.

$$y'' + 2\alpha y' + \omega_n^2 y = 0$$

در این معادله α را ضریب تلف و ω_n را فرکانس طبیعی بدون تلف می‌گویند. معادله مشخصه y عبارت است از:

$$s^2 + 2\alpha s + \omega_n^2 = 0$$

$$s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_n^2} \quad \text{بنابراین فرکانس‌های طبیعی } y \text{ برابر است با:}$$

با تعریف ضریب میرایی ξ داریم معادله بالا به صورت زیر در می‌آید:

$$\xi = \frac{\alpha}{\omega_n} \quad , \quad s_{1,2} = -\xi \omega_n \pm \omega_n \sqrt{\xi^2 - 1}$$

با توجه به مقادیر مختلف ξ حالت‌های زیر به وجود می‌آید.

حالت ۱ ($\xi > 1$ فوق میرا) (Over damping): در این حالت فرکانس‌های طبیعی هر دو حقیقی منفی ولی نابرابر هستند.

$$s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\xi^2 - 1}$$

حالت ۲ ($\xi = 1$ میرایی بحرانی) (Critically damping): در این حالت فرکانس‌های طبیعی هر دو حقیقی منفی و متساوی هستند.

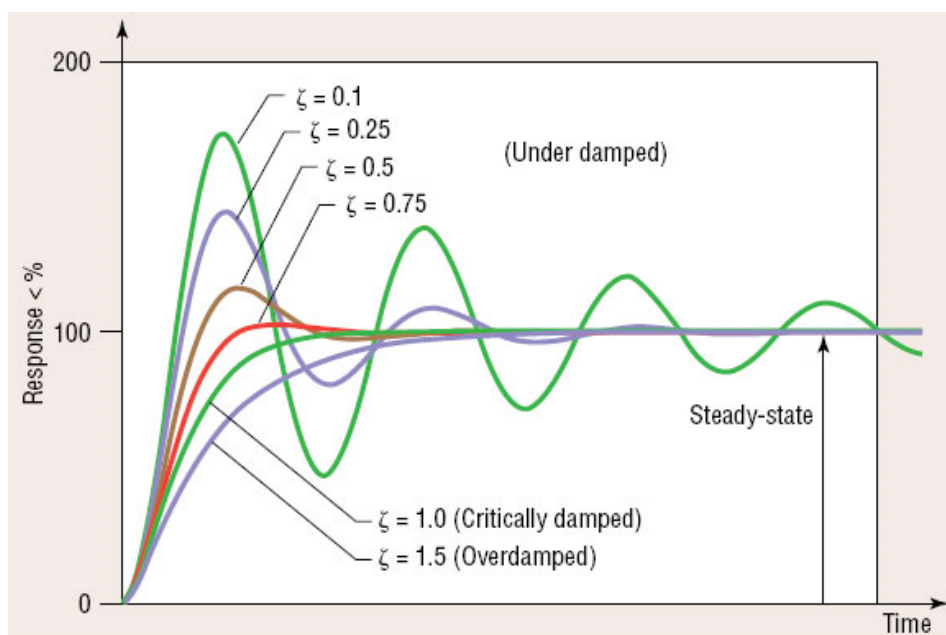
$$s_{1,2} = -\omega_n$$

حالت ۳ ($0 < \xi < 1$ زیر میرا) (میرایی نوسانی) (under damping): در این حالت فرکانس‌های طبیعی مختلط هستند.

$$s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1 - \xi^2}$$

حالت ۴ ($\xi = 0$ بدون تلف) (پایداری مجانبی): در این حالت فرکانس‌های طبیعی موهومی خالص هستند و مدار مانند اسیلاتور یا نوسان‌ساز عمل می‌کند.

$$s_{1,2} = \pm j\omega_n$$



شکل (۲): نمودار پاسخ ورودی صفر به ازای ζ های مختلف

در مدارهای RLC مقدار ω_n برابر:

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

و مقدار $\alpha = \frac{R}{2L}$ برای مدارهای RLC سری و $\alpha = \frac{1}{2RC}$ برای مدارهای RLC موازی است. مقاومت بحرانی یا Critical Resistance

(مقاومتی که در آن میرایی بحرانی رخ می‌دهد) برابر با $R_c = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{L}{C}}$ می‌باشد.

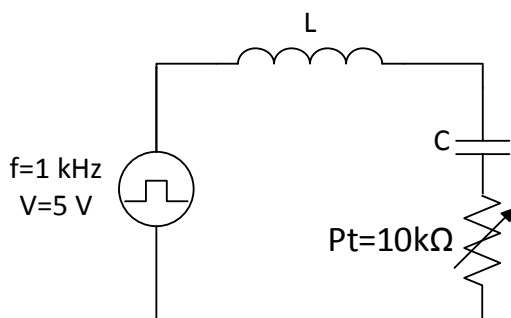
مراحل آزمایش:

۱- مدار زیر را ببندید.

- مدار RLC سری را با مقادیر $L=100\text{ mH}$, $C=47\text{ nF}$ و پتانسیومتر $50\text{ k}\Omega$ را بسته و ورودی مربعی را به مدار اعمال کنید خروجی را از دو سر خازن ببینید.

- با تغییر مقاومت، سه حالت پاسخ گذرای مدار شامل فوق میرا، میرای بحرانی و نوسانی میرا را روی اسیلوسکوپ مشاهده و رسم نمایید.

- مقدار مقاومت بحرانی را تعیین کنید.



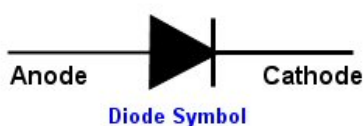
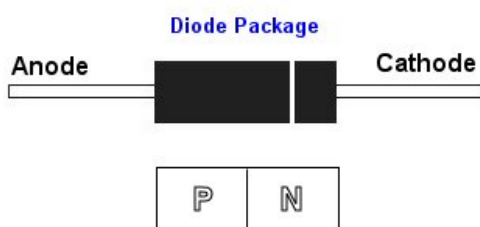
آزمایش ۱۳: دیودها

هدف آزمایش: آشنایی با انواع دیودها، بررسی منحنی مشخصه دیود معمولی و زنر

تئوری آزمایش:

۱- دیود

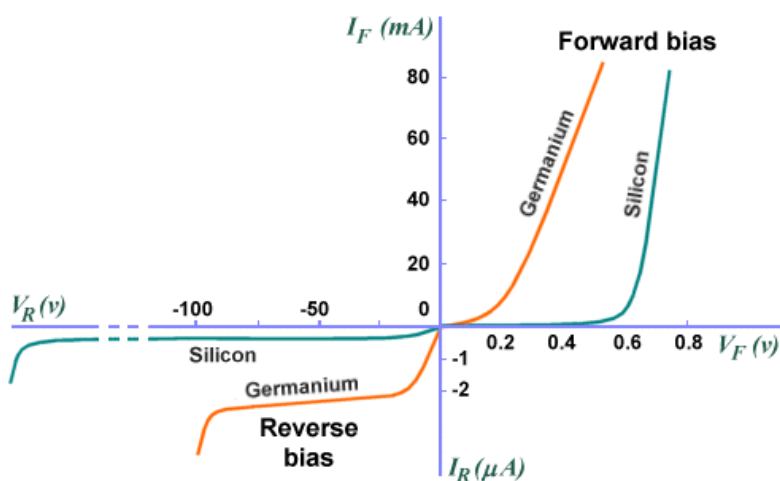
دیودها یک المان دوسر می‌باشند که از یک پیوند P-N ساده تشکیل شده‌اند. محل اتصال نیمه‌هادی نوع P را آند (Anode) و محل اتصال نیمه‌هادی نوع N را کاتد (Cathode) می‌نامند. جریان از سمت آند به کاتد برقرار است که نسبت به عبور جریان در یک سمت مقاومت کمی نشان داده (forward) ولی مقاومت آن‌ها نسبت به عبور جریان در سمت مخالف (از سمت کاتد به آند) بسیار بالا (reverse) می‌باشد. این جریان عبوری قابل نظر کردن است. معمولاً بر روی دیود، پایه کاتد توسط یک نوار رنگی و یا یک نقطه مشخص می‌شود.



نیمه‌هادی‌های مورد استفاده در دیودها معمولاً سیلیکونی (Si) یا ژرمانیوم (Ge) می‌باشد.

- دیودهای Ge نسبت به Si در بایاس مستقیم افت ولتاژ کمتری ایجاد می‌کند.
- جریان نشتی معکوس دیود Ge نسبت به Si به میزان زیادی بالاست.
- مقاومت مستقیم دیودهای Si در مقایسه با دیودهای Ge بسیار پایین است.

- دیودهای Ge معمولاً فقط برای آشکارسازی وجود سیگنال مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالی که دیودهای Si برای یک‌سوسازی و سایر کاربردها بکار می‌روند.



شکل (۱): منحنی مشخصه دیود سیلیکونی و ژرمانیوم

۱-۱- مقادیر حد در دیودها

برخی از کمیت‌های دیود اگر از میزان ماکزیمم بیشتر شوند به دیود آسیب می‌رسانند. مقادیر ماکزیمم این کمیت‌ها مقادیر حد دیود نام دارند.

۱- **حداکثر ولتاژ معکوس:** حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس می‌تواند در دو سر دیود قرار گیرد به طوری که دیود آسیب نبیند، حداکثر ولتاژ معکوس دیود نام دارد.

۲- **حداکثر جریان مستقیم:** به حداکثر جریان DC یا متوسط که می‌توان از دیود در گرایش مستقیم عبور داد به گونه‌ای که دیود آسیب نبیند حداکثر جریان مستقیم دیود می‌گویند.

۳- **درجه حرارت محل پیوند:** حداکثر حرارتی که در یک دیود، در محل پیوند نیمه‌هادی‌های P و N می‌تواند ایجاد شود به طوری که به دیود آسیب نرسد و آن را با T_j نمایش داده می‌شود.

۱-۲- کاربردهای دیود:

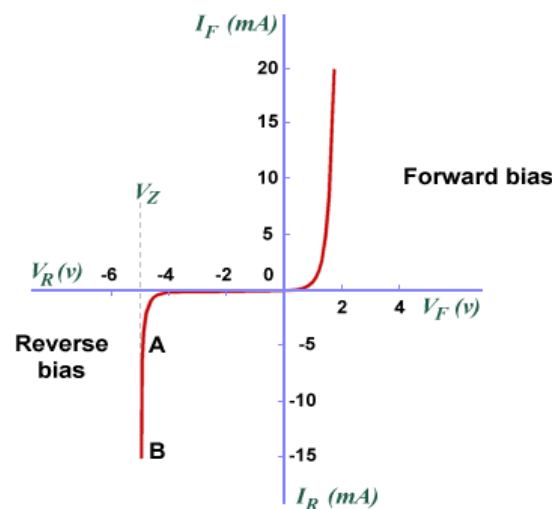
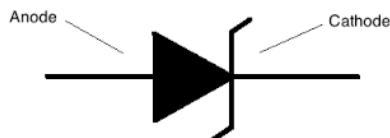
دیودها بسته به کاربردی که دارند معمولاً در دو گروه قرار می‌گیرند.

- **دیودهای پردازش سیگنال:** این دسته از دیودها در انواع مدارهای Clipper و Clamper و آشکارسازهای دیودی و چند برابر کننده‌های ولتاژ استفاده می‌شود.

- **یکسوسازها:** یکی از مهم‌ترین کاربردهای دیود در مدارات یکسوساز می‌باشد. در این مدارات ولتاژ متناوب به ولتاژ DC تبدیل می‌شود.

۱-۳- دیود زنر (Zener Diode)

دیود زنر هم مانند دیود معمولی از اتصال دو کریستال P و N ساخته می‌شود. جنس نیمه‌هادی‌های این دیود از سیلیسیم بوده و در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی سیلیسیومی عمل می‌کند. برخلاف دیودهای معمولی که در بایاس مخالف، در منطقه شکست آسیب می‌بینند، دیودهای زنر به گونه‌ای ساخته می‌شوند تا بتوانند در منطقه شکست کار کنند. در ناحیه شکست مشخصه I-V دیود تقریباً یک خط راست می‌باشد که با تغییرات جریان، ولتاژ ثابت می‌ماند.



شکل (۲): منحنی مشخصه دیود زنر

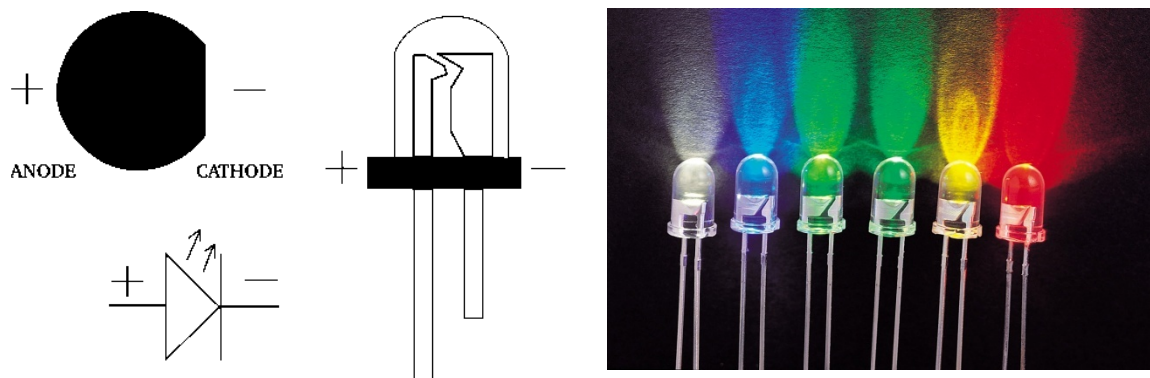
ولتاژ شکست هر دیود زener مقدار خاص خود را دارد که V_Z نامیده می‌شود. این ولتاژ برابر با افت ولتاژ روی زener است هنگامی که جریان I_Z از زener می‌گذرد. دیود زener در ولتاژهای شکست مختلف ولتاژ زener معمولاً از $2/4$ ولت تا 200 ولت ساخته می‌شود. کاربرد اصلی دیودهای زener در مدارهای تثبیت کننده ولتاژ است.

جریانی که در بایاس معکوس، از دیود زener عبور می‌کند اگر زیاد شود باعث سوختن دیود می‌شود. حداکثر جریانی که به ازای آن، دیود معیوب نمی‌شود بستگی به توان زener و ولتاژ شکست زener دارد. توان دیود زener از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$P_Z = V_Z \cdot I_Z$$

۱-۴- دیود نور دهنده یا LED

واژه LED از عبارت Light Emitting Diode به معنای دیود منتشرکننده نور گرفته شده است. در این نوع دیودها با عبور جریان لازم در جهت مستقیم دیود شروع به تولید نور می‌کند. هرگاه این دیود در بایاس مستقیم قرار گیرد و جریان به اندازه کافی باشد، دیود از خود نور تولید می‌کند. نور تولیدی در محل اتصال نیمه‌هادی‌های P و N ایجاد می‌شود. رنگ نور تولیدی به جنس نیمه‌هادی‌های استفاده شده در دیود بستگی دارد و این دیودها معمولاً دارای نورهایی به رنگ‌های آبی، قرمز، زرد، نارنجی، سفید و سبز هستند.



شکل (۳): علائم و چند نمونه دیود نورانی LED



شکل (۴): انواع مختلف دیودها

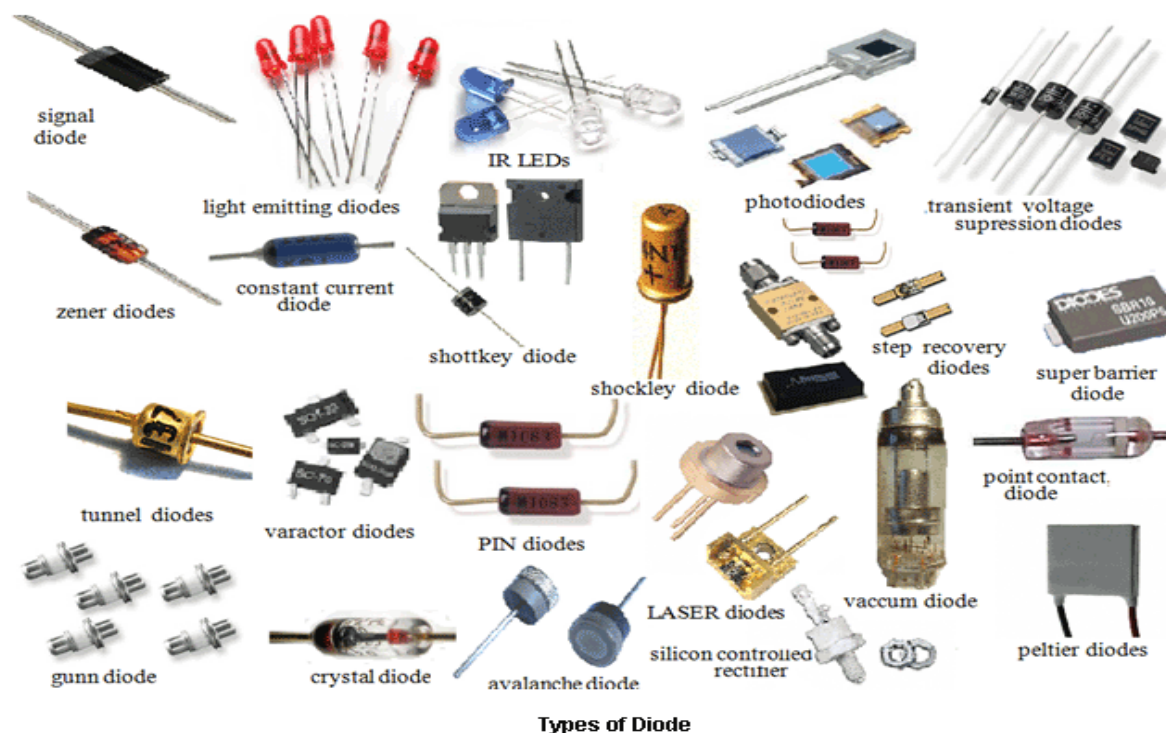
۱-۵- نام‌گذاری دیودها

برای نام‌گذاری دیودها سه روش مهم وجود دارد. این سه روش عبارت‌اند از :

۱- روش ژاپنی: در این روش نام‌گذاری از عدد ۱ و حرف S که به دنبال آن می‌آید استفاده می‌شود و به دنبال آن تعدادی شماره خواهد آمد که با مراجعه به جدول مشخصات دیودها می‌توان مشخصات الکتریکی آن را به دست آورد. در این روش، جنس و نوع دیود مشخص نمی‌باشد.

۲- روش اروپایی: در روش اروپایی تا سال ۱۹۶۰ تمامی دیودها را با حروف OA و تعدادی شماره به دنبال آن مشخص می‌کردند که با مراجعه به جدول مشخصات دیودها می‌توانستیم مشخصات الکتریکی آن را به دست آوریم مانند دیود OA34. اما از سال ۱۹۶۰ به بعد این روش نام‌گذاری تغییر کرد. نحوه تغییر به این صورت بود که دیودهایی که بیشتر در مدارات رادیو و تلویزیون به کار می‌روند با دو حرف و سه شماره مشخص می‌شوند و دیودهایی که کاربرد آن‌ها در مدارات مخصوصی می‌باشد با سه حرف و دو شماره معین می‌شوند. روش دو حرفی و سه شماره‌ای به این صورت است که حرف اول جنس نیمه‌هادی به کار رفته در دیود را مشخص می‌کند. اگر دیود از جنس ژرمانیوم باشد با حرف A و اگر از جنس سیلیسیوم باشد با حرف B مشخص می‌شود. حرف دوم نوع دیود را مشخص می‌کند که حرف A بیانگر دیود معمولی یکسوکننده، حرف B بیانگر دیود واراكتور، حرف Y بیانگر دیود یکسوکننده قدرت و حرف Z بیانگر دیود زنر است. بعد از این حروف شماره‌هایی آورده می‌شود که می‌توان با استفاده از آن‌ها و با مراجعه به جدول مشخصات دیودها، مشخصات الکتریکی دیود را به دست آورد.

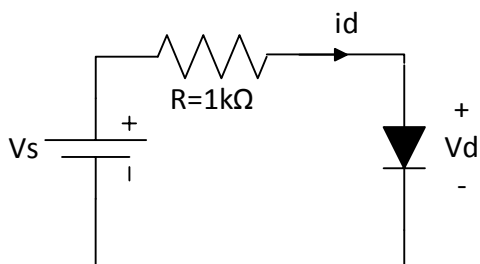
۳- روش آمریکایی: در این روش از عدد ۱ و حرف N و تعدادی شماره که به دنبال آن می‌آید استفاده می‌شود. در این روش جنس و نوع دیود مشخص نمی‌باشد. با توجه به شماره‌ای که بعد از IN می‌آید می‌توان با مراجعه به جدول مشخصات دیودها مشخصات الکتریکی و نوع دیود را تعیین کرد. مثلاً دیود 1N4007 یک دیود یکسو کننده است که مشخصات الکتریکی آن را می‌توان از جداول مربوطه به دست آورد.



شکل (۵) : انواع مختلف دیودها

مراحل آزمایش :

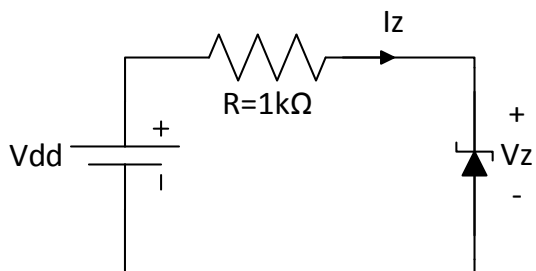
۱- مدار زیر را ببندید.



- جدول زیر را کامل کنید.
- با توجه به جدول منحنی مشخصه دیود (I-V) را رسم نمایید.
- مقدار ولتاژ آستانه این دیود چقدر است؟

Vs (volt)	0	0.3	0.5	0.7	1	1.5	2	2.5	4	6	8
Vd (volt)											
Id (mA)											

۲- جدول زیر را با تغییر ولتاژ Vdd کامل کنید.



Vdd	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
Vz													
Iz													

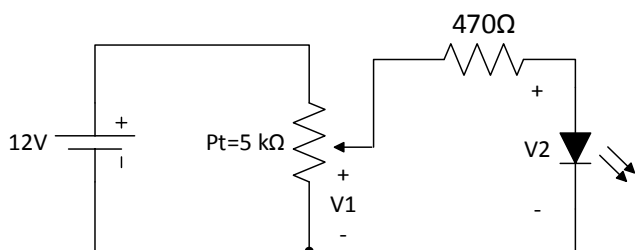
- نمودار جریان ولتاژ دیود زنر را با توجه به جدول بالا رسم نمایید.
- با توجه به جدول ولتاژ شکست دیود زنر را چقدر است؟

آزمایش ۱۴ : مشخصه دیودها

هدف آزمایش : مشخصه دیود

مراحل آزمایش :

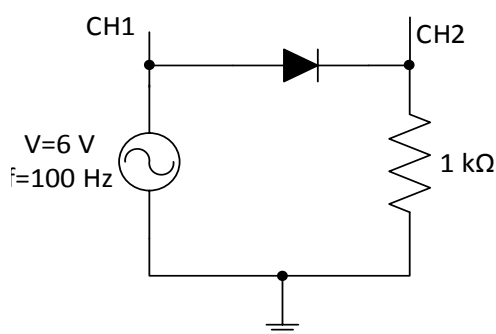
۱- مدار زیر را با دیود نورانی ببندید و جدول را با تغییر پتانسیومتر کامل کنید.



V1	V2	I (mA)
0.5		
1		
1.5		
2		
2.5		
3		
3.5		
4		
6		

- با توجه به جدول نمودار جریان - ولتاژ دیود نورانی را رسم کنید.

۲- مدار زیر را ببندید.

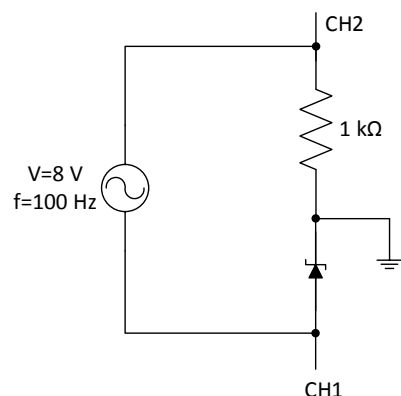


- شکل موج کانال ۱ و ۲ را به صورت جداگانه رسم کنید.

- شکل موج کانال ۱ و ۲ را در حالت X-Y رسم کرده بگویید این شکل

بیان کننده چیست؟

۳- مدار زیر را ببندید.



- کانال ۱ و ۲ را به صورت لیسازر رسم کنید.

- این شکل بیان کننده چیست؟

پیوست ۱: لیست قطعات مورد نیاز در آزمایشگاه

نام قطعات	نوع و تعداد
بردبورد	۱ عدد
مقاومت	100Ω - ۱ عدد 220Ω - ۳ عدد 330Ω - ۱ عدد 390Ω - ۱ عدد 470Ω - ۲ عدد 560Ω - ۱ عدد 680Ω - ۳ عدد $1\text{ k}\Omega$ - ۴ عدد $1/2\text{ k}\Omega$ - ۲ عدد $1/5\text{ k}\Omega$ - ۱ عدد $3/3\text{ k}\Omega$ - ۱ عدد $4/7\text{ k}\Omega$ - ۱ عدد $10\text{ k}\Omega$ - ۳ عدد
پتانسیومتر	$1\text{ k}\Omega$ - ۱ عدد $5\text{ k}\Omega$ - ۱ عدد $10\text{ k}\Omega$ - ۱ عدد $50\text{ k}\Omega$ - ۱ عدد
خازن	1 nF - ۲ عدد 10 nF - ۱ عدد 33 nF - ۲ عدد 47 nF - ۱ عدد 100 nF - ۲ عدد 220 nF - ۱ عدد 470 nF - ۱ عدد $1\text{ }\mu\text{F}$ - ۲ عدد $10\text{ }\mu\text{F}$ - ۱ عدد
سلف	1 mH - ۱ عدد 10 mH - ۱ عدد 100 mH - ۱ عدد
دیود	سیلیکونی - ۲ عدد ژرمانیوم - ۱ عدد زیر با حدود ۲ تا ۶ ولت - ۲ عدد LED قرمز - ۱ عدد