بسم الله الرحمن الرحيم

دستورکار
آزمایشگاه فیزیک ۲

گردآوری:
مهندس مهری عزتی مقدم
مهندس نسیم نژاد سیستانی
دکتر ایمان احدی اخلاقی

مقدمه

درس آزمایشگاه فیزیک ۲ برای بررسی و آزمایش برخی از مباحث، اصول و قوانین پایه فیزیک طراحی شده است. هدف از انجام آزمایش‌ها، کمک به درک مفاهیم و مطالب درس فیزیک۲ و تقویت شهود فیزیکی می‌باشد و تا حدودی زمینه لازم را برای انجام پژوهش‌ها و ارایه مطالب علمی فراهم می‌آورد. علاوه بر این، در این درس دانشجویان با اصول و نحوه کاربرد برخی از وسایل و تجهیزات آزمایشگاهی و نیز اصول و شیوه صحیح کار در آزمایشگاه آشنا خواهند شد.

فهرست مطالب

اصول کار در آزمایشگاه..... ۷

آزمایش شماره ۱: آشنایی با مولتی‌متر و اندازه‌گیری مقاومت..... ۱۵

آزمایش شماره ۲: بررسی قانون اهم..... ۱۹

آزمایش شماره ۳: بررسی قوانین کیرشهف..... ۲۱

آزمایش شماره ۴: اندازه‌گیری مقاومت درونی ولت‌متر و آمپرمتر..... ۲۵

آزمایش شماره ۵: پل‌های امپدانس..... ۲۷

آزمایش شماره ۶: بررسی قانون اهم برای مقاومت های خاص..... ۲۹

آزمایش شماره ۷: رابطه مقدار مقاومت با مشخصات فیزیکی آن..... ۳۳

آزمایش شماره ۸: اندازه‌گیری دمای رشته درون لامپ..... ۳۵

آزمایش شماره ۹: شارژ و دشارژ خازن..... ۳۹

آزمایش شماره ۱۰: آشنایی با اسیلوسکوپ..... ۴۳

✜ اصول کار در آزمایشگاه

اصولا کار آزمایشگاهی از مطالعه‌ی قبل از آزمایش شروع شده با تهیه وسایل و انجام عملی آزمایش ادامه می‌یابد و با تهیه و تنظیم گزارش‌کار پایان می‌پذیرد. در این بخش سعی شده به‌طور خلاصه مسایل و نکات لازم برای آزمایشگاه فیزیک (۲) بیان شود تا خوانندگان با آگاهی از آنها، در جهت بهبود کار خود بهره گیرند.

ذکر این نکته ضروری است که در دروس عملی (آزمایشگاهی) علاوه بر آشنایی با وسایل آزمایشگاهی و انجام چند آزمایش، رعایت نظم و پیروی از یک ترتیب کاری صحیح در اولویت اولیه قرار داشته و بخشی از ارزشیابی کار دانشجو به رعایت این نظم و ترتیب اختصاص می‌یابد.

از دانشجو انتظار می‌رود:

۱- به موقع در آزمایشگاه حاضر شود و از تمام مدت زمانی که در اختیار دارد به نحو مطلوب استفاده کند. نتایج کار آزمایشگاهی صرفا در آزمایشگاه به‌دست می‌آیند و دانشجو امکان انجام آزمایش را در مکانی غیر از آزمایشگاه ندارد، بنابراین استفاده بهینه از زمان، از ضرورت‌های کار به‌شمار می‌آید.

۲- مطالعه قبل از شروع هر آزمایش، هر چند اندک و جامع، فراموش نشود. مطالعه قبل از شروع کار آزمایشگاهی و گردآوری اطلاعات مورد نیاز، زمینه‌ای روشن از کار را برای دانشجو بوجود می‌آورد و فرد می‌تواند ترتیب مراحل مختلف کار، برخی مشکلات پیش‌رو و طریقه رفع آنها را از قبل، تشخیص و آمادگی لازم جهت برخورد با شرایط را در خود ایجاد نماید.

۳- زمان‌بندی و تقسیم وظایف با هم‌گروهی، انجام شود. با توجه به این‌که کار آزمایشگاهی یک کار جمعی و توسط گروه انجام می‌شود مشارکت تک تک افراد گروه و هماهنگی بین وظایف آن‌ها در رسیدن به نتیجه صحیح نقش اساسی دارد.

۴- جدیت و حوصله حین انجام آزمایش‌ها مد نظر باشد. بی‌شک انجام هر کاری، به‌ویژه کار آزمایشگاهی، با بی‌حوصلگی و بدون انگیزه کافی نتیجه مطلوب در پی نخواهد داشت. باید تلاش کرد که با جدیت و بدون هراس از کسب نتیجه غلط، کار انجام پذیرد. باید دانست نتیجه غلط نیز جزئی از کارهای تجربی است که در بسیاری از موارد هدایت‌گر دانشجو در انجام صحیح‌تر و سریع‌تر آزمایش‌ها خواهد بود.

۵- رعایت نظم و ترتیب در آزمایشگاه از ضروریت‌ها است. هیچ آزمایشی در شلوغی و عدم‌تمرکز به نتیجه مطلوب نمی‌رسد. بی‌نظمی نه تنها کار آزمایشگر را بدون نتیجه می‌گذارد بلکه در کار گروه‌های دیگر فعال در آزمایشگاه

هم تاثیر منفی داشته و تجاوز به حقوق دیگران محسوب می‌شود.

۶- نتایج در انتهای هر مرحله باید ثبت شوند و در پایان به‌وسیله مدرس آزمایشگاه بررسی و تأیید شوند. این کار، فرد را از درستی انجام مراحل مختلف آزمایش مطمئن می‌سازد.

۷- گزارش‌کار هر آزمایش در اسرع وقت و با دقت و جزئیات کامل نوشته شود.گزارش‌کار به تعبیری نشانگر ارزش کار دانشجو است پس باید دقت کرد که بخش‌های مختلف آن با توجه کافی و استفاده از منابع معتبر نوشته شود.

شیوه تهیه گزارش کار

صفحه نخست گزارش‌کار باید به شکل زیر (برای شروع ذکر نام خداوند در دل باشد و از آوردن آن به روی کاغذ خودداری کنید).

گزارش کار آزمایشگاه فیزیک۲

عنوان آزمایش:

تهیه کننده:

تاریخ انجام:

تاریخ تحویل:

مطالب صفحات بعد گزارش کار به شکل زیر خواهد بود:

تئوری و اثبات روابط

در این بخش با کمک منابع معتبر دردسترس(همانند کتاب‌ها، مقالات چاپ شده در مجلات علمی و...) باید زمینه‌های روشن از مفاهیم بکار رفته در آزمایش و در صورت امکان تاریخچه‌های مختصر از ابداع و تکامل آزمایش آورده شود.

هدف از انجام آزمایش

به صورت خلاصه توضیح دهید که هدف از انجام آزمایش چیست و به دنبال چه هستید.

شرح آزمایش و ترسیم شکل‌ها

به‌طور خلاصه مراحل انجام آزمایش را بیان کنید. ذکر جزئیات لازم نیست.

نتایج آزمایش، جداول و رسم نمودارها

در این بخش نتایج ثبت شده و تجزیه و تحلیل مورد نیاز در هر مرحله به‌صورت زیربخش‌های جداگانه‌ای (متناسب

با زیر بخش‌های شرح آزمایش) به‌همراه نمودارهای خواسته شده در هر مرحله و استخراج اطلاعات از نمودارها و تحلیل‌های مربوطه آورده می‌شود.

خطا گیری

در این بخش با استفاد از نتایج آزمایش، دقت دستگاه‌های مورد استفاده و در صورت دسترسی با مقادیر واقعی کمیات مورد سنجش، خطاگیری انجام و میزان انحراف نتایج برای هر مرحله جداگانه محاسبه می‌شود.

روش محاسبه خطا

$$\text{خطای مطلق} = |\text{مقدار اندازه‌گیری شده} - \text{مقدار واقعی کمیت}|$$

$$\text{خطای نسبی} = \frac{\text{خطای مطلق}}{\text{مقدار واقعی کمیت}} * ۱۰۰$$

نتیجه‌گیری

در این بخش باید دستیابی و یا عدم دستیابی به نتایج مطلوب و عوامل مؤثر در این نتایج مورد بحث قرار گیرد.

پاسخ سوالات

در انتهای هر آزمایش در دستور کار سوالاتی برای تفکر بیشتر و فهم بهتر آورده شده است که پاسخ آنها باید در این بخش داده شود.

دستگاه‌های اندازه‌گیری

دستگاه‌های اندازه‌گیری اصولا برای اندازه‌گیری و تعیین مشخصات کمیت‌های فیزیکی و الکتریکی به‌کار می‌روند. ساده‌ترین روش، اندازه‌گیری به‌روش الکتریکی می‌باشد. اندازه‌گیری یعنی تعیین تعداد یک کمیت فیزیکی بر حسب واحد معین. هدف از اندازه‌گیری، سنجش کمیت‌های الکتریکی مانند: شدت جریان (I)، مقاومت (R)، ولتاژ (v) می‌باشد. تعیین واحدی برای اندازه‌گیری ضروری است تا با اندازه‌گیری مشخص شود که واحد بیان شده چند مرتبه در کمیت مورد سنجش تکرار می‌شود. جدول زیر چند کمیت فیزیکی و واحد آنها را نشان می‌دهد.

جدول۱: واحدهای اندازه‌گیری

کمیت	علامت	واحد
ولتاژ	V	ولت(V)
جریان	I	آمپر(A)
مقاومت	R	اهم(Ω)
اندوکتانس	L	هانری(H)
ظرفیت خازن	C	فاراد(F)
فرکانس	f	هرتز(Hz)

دستگاه‌هایی که در این واحد آزمایشگاهی با آنها بیشتر سروکار داریم به شرح زیر هستند:

- **مولتی‌متر آنالوگ:** جهت اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و مقاومت
- **مولتی‌متر دیجیتال:** جهت اندازه‌گیری ولتاژ، جریان، مقاومت و....
- **منبع ولتاژ:** جهت تامین ولتاژ D.C (مستقیم) در سطوح مختلف (از ۰ تا ۶۰ ولت)
- **فانکشن ژنراتور(نوسان‌ساز):** جهت تولید امواج متناوب با دامنه و فرکانس‌های متغیر
- **اسیلوسکوپ:** جهت نمایش انواع مختلف شکل سیگنال‌ها

توجه:جهت استفاده بهینه از دستگاه‌های نام‌برده و جلوگیری از وارد آمدن هرگونه آسیبی به آنها رعایت نکات زیر توسط دانشجویان گرامی ضروری است:

- جهت اندازه‌گیری هر کمیتی با مولتی‌متر آنالوگ یا دیجیتال کلید انتخابگر[1] را درناحیه مربوطه روی بیشترین رنج گذاشته و تنها در صورتی‌که دستگاه حساسیت زیادی نشان ندهد، کلید را به‌ترتیب روی رنج‌های کمتر می‌گذاریم.
- جهت اندازه‌گیری مقاومت، آن را از مدار جدا کرده (دست‌کم یک طرف آن) و سپس اقدام به اندازه‌گیری نمایید.
- قبل از روشن نمودن منبع ولتاژ سعی شود تا جایی که ممکن است شکل سیگنال‌های جریان و ولتاژ را کاملا به سمت چپ (کمترین مقدار) پیچانده و پس از روشن نمودن دستگاه، منبع ولتاژ را کم کم پیچانده به ولتاژ خواسته شده برسانید.
- سیگنال مربوط به جریان منبع را همیشه روی کمترین مقدار بگذارید.
- تمام دستگاه‌ها را از محل مربوطه کلید(POWER) روشن و خاموش نمایید.
- در صورت مشاهده تغییرات زیاد در صفحه نمایشگر جریان یا نشان دادن مقدار جریان بیش از حد مجاز (مثلا 0.1A) توسط صفحه نمایش فورا منبع را خاموش نموده و مدار خود را چک نمایید، احتمالا در مدار شما اتصال کوتاه رخ داده باشد.

توجه: در صورت آسیب دیدن وسایل هر یک از میزهای آزمایشگاهی مسوولیت جبران خسارت به عهده دانشجویان همان میز خواهد بود.

- **مولتی‌متر:**

کسانی که همیشه با برق و کارهای برقی سروکار دارند باید بتوانند مقدار ولتاژ، آمپر و اهم مدارها را اندازه‌گیری نمایند. از این‌رو از وسیله‌ای به‌نام مولتی‌متر استفاده می‌نمایند. این دستگاه به سه حالت می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد:

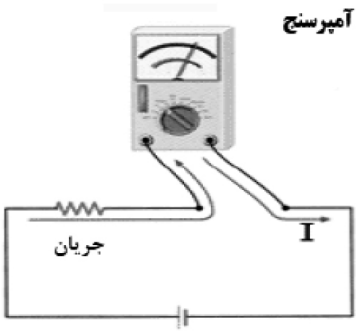
۱- ولت‌متر برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل
۲- آمپرمتر برای اندازه‌گیری شدت جریان مدار
۳- اهم‌متر برای اندازه‌گیری مقاومت مدار

[1]Selector

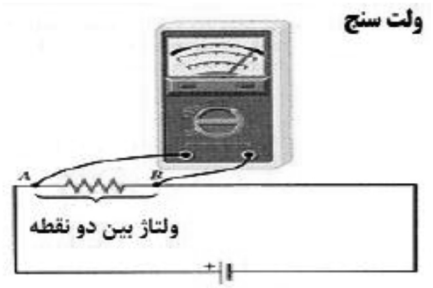
در تمام مدارهای برقی سه عامل اختلاف پتانسیل، شدت جریان و مقاومت وجود دارد. مولتی‌مترها در دو نوع آنالوگ(عقربه‌ای) و دیجیتالی با شکل ظاهری مختلف ساخته شده‌اند.

نحوه قرارگیری ولت‌سنج و آمپرسنج در مدار:

مطابق شکل(۱) ولت‌سنج اختلاف پتانسیل بین دو نقطه را نشان می‌دهد، بنابراین باید به‌صورت موازی به قطعه مورد نظر وصل شود. مطابق شکل(۲)، آمپرسنج جریان عبوری از یک قسمت مدار را نشان می‌دهد، بنابراین باید به صورت سری در مدار قرار گیرد. به‌عبارت دیگر برای نشان دادن جریان، باید یک قسمت از مدار را قطع نمود و دو سر محل قطع شده را به آمپرسنج وصل کرد.



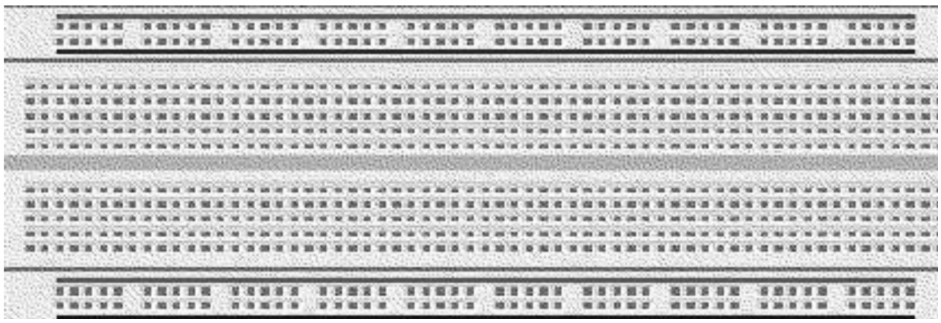
شکل ۱: نحوه قرار دادن آمپرسنج در مدار



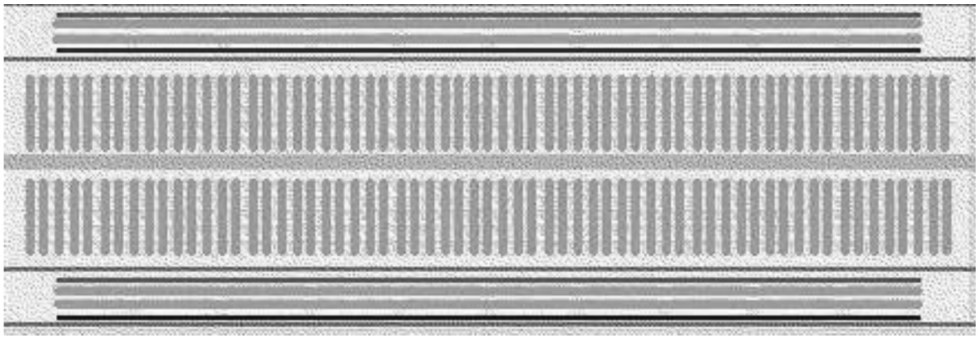
شکل ۲: نحوه قرار دادن ولت‌سنج در مدار

• بردبورد

تخته آزمایش یا برد بورد، وسیله‌ای است که برای ساخت سریع مدارهای الکتریکی و الکترونیکی در آزمایشگاه استفاده می‌شود. این وسیله با سوراخ‌هایی که دارد، نیاز به لحیم‌کاری را برطرف می‌کند. در عین حال، چون پایه‌های عناصر مختلف (خازن، مقاومت، دیود، ترانزیستور و...) ممکن است ضخیم و خارج از تحمل سوراخ‌های بردبورد باشد، می‌توان آنها را به سیم‌های نازکی لحیم کرده و سپس سیم‌ها را درون سوراخ‌های بردبورد قرار داد. همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده است، هر جا سوراخ‌ها به یکدیگر متصل شده‌اند، یک گره به وجود آمده است و برای وصل کردن دو المان مدار به یکدیگر نظیر مقاومت، خازن و ...، کافی است که هر یک از سرهای آنها که قرار است به یکدیگر متصل شوند، در یک گره باشد و لازم نیست که دو سر آن دو عنصر، به‌هم پیچانده شده یا لحیم گردد.



شکل۳: بردبورد آزمایشگاهی



شکل۴: نحوه اتصالات در بردبورد آزمایشگاهی

- سوراخ‌های بالایی و پایینی، به‌صورت افقی و حفره‌های وسطی به‌صورت عمودی به یکدیگر متصل شده‌اند.
- سوراخ‌های وسطی به‌وسیله خط میانی از هم مجزا شده‌اند و اتصالی بین آن‌ها نیست.
- معمولا سوراخ‌های بالایی و پایینی برای اتصال به منبع تغذیه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

❖ آزمایش شماره ۱: آشنایی با مولتی‌متر و اندازه‌گیری مقاومت

هدف آزمایش: نحوه کار با مولتی‌متر و آشنایی با مقاومت
وسایل مورد نیاز : مقاومت، سیم رابط، منبع تغذیه، مولتی متر

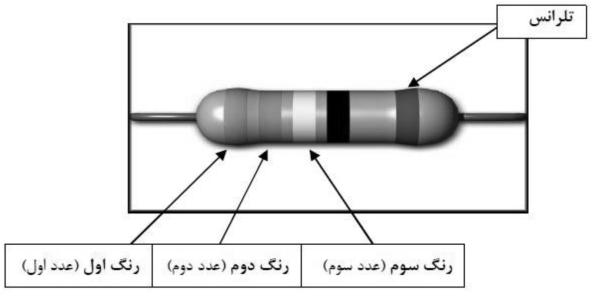
الف) اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی با استفاده از رنگ‌ها

مقاومت الکتریکی استاندارد که در مدارهای الکترونیکی استفاده می‌شود به اشکال گوناگون ساخته می‌شوند. یکی از انواع مقاومت‌ها، مقاومت رنگی است که معمولاً مقدار مقاومت و بیشترین خطای ممکن (تلرانس) آن را به‌وسیله نوارهای رنگی نشان می‌دهند. اندازه مقاومت بر حسب اهم بوده و به‌وسیله چهار نوار رنگی مشخص می‌شود. حلقه‌های رنگی استاندارد بوده و هر رنگی مطابق جدول (۱-۱) نماینده عددی است.

جدول۱ -۱

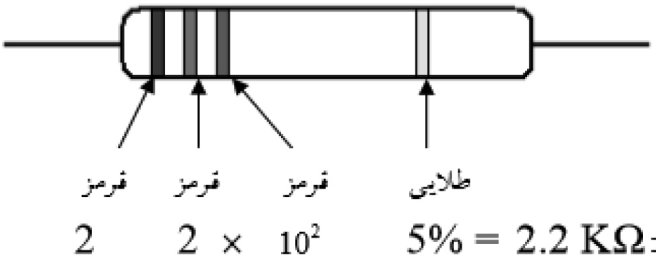
رنگ	سیاه	قهوه‌ای	قرمز	نارنجی	زرد	سبز	آبی	بنفش	خاکستری	سفید
کد	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹

نخستین نوار رنگی رقم اول، دومین نوار، رقم دوم و سومین نوار تعداد صفرهای سمت راست این دو رقم را نشان می‌دهد. نوار چهارم نشان‌دهنده میزان خطاست که این میزان برای نوار نقره‌ای ۱۰ ٪ مقدار مقاومت و برای نوار طلایی مقدار ۵ ٪ مقاومت خوانده شده است.



$$R = AB \times 10^{C} \pm D\%$$

به عنوان مثال در زیر نمونه‌ای از محاسبه مقاومت نشان داده شده است.



نوع جدید این مقاومت‌ها دارای ۵ نوار رنگی است. نخستین، دومین و سومین نوار به ترتیب رقم‌های اول، دوم و سوم مقاومت است و چهارمین نوار ضریب این عدد سه رقمی است. نوار پنجم برای مشخص کردن بیشترین خطای ممکن مقاومت است که می‌تواند علاوه بر رنگ‌های طلایی یا نقره‌ای رنگ قرمز یا قهوه‌ای نیز باشد. نوارهای چهارم و پنجم با استفاده از جداول (۲) و (۳) مشخص می‌شوند.

جدول۲-۱

رنگ	سیاه	قهوه‌ای	قرمز	نارنجی	زرد	سبز	آبی	طلایی	نقره‌ای
ضریب	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸

جدول۳-۱

رنگ	قرمز	طلایی	قهوه‌ای	نقره‌ای
درصد خطا	٪۲	٪۱	٪۵	٪۱۰

نکات تکمیلی:

۱- اگر نوار سوم به رنگ‌های طلایی و نقره‌ای باشد عدد دو رقمی را به ترتیب در ۰,۱ و ۰,۰۱ ضرب می‌کنیم.

۲- اگر نوار چهارم بیرنگ باشد، خطا ۲۰ درصد خواهد بود.

۳- در صورتی‌که مقاومتی دارای ۵ نوار رنگی باشد. سه نوار اول یک عدد سه رقمی را تشکیل می‌دهند.

برای سهولت در امر یادگیری جدول کد رنگی مقاومت‌ها، می‌توان جدول را به صورت زیر به خاطر سپرد:

سیاه، قهوه‌ای، قرمز، نارنجی،زرد، سبز	**آبی، بنفش، خاکستری، سفید، طلایی، نقره‌ای**

ساقی قدهی قرار نه زیر سبو	**آبی بنشان خانه‌ی سنبل تو نکو**

مراحل آزمایش:

۱-تعدادی مقاومت ثابت با چهار نوار رنگی تهیه کنید. رنگ‌های هر مقاومت را در جدول یادداشت کنید. با استفاده از کد رنگ، میزان امپدانس هر مقاومت را بدست آورید. سپس امپدانس هر مقاومت را اندازه بگیرید و نتایج را

در جدول، یادداشت کنید.

۲-درصد اختلاف را محاسبه کرده و نتایج را در جدول، یادداشت کنید.

جدول ۴-۱

ردیف	نوارهای رنگی روی مقاومت				مقدار مقاومت خوانده شده	مقدار مقاومت اندازه گیری شده	درصد اختلاف
۱	نواراول	نواردوم	نوار سوم	نوار چهارم			
۲							
۳							
۴							
۵							
۶							
۷							

آزمایش شماره ۲: بررسی قانون اهم

هدف آزمایش: نحوه اندازه‌گیری ولتاژ و جریان مقاومت و بررسی قانون اهم

وسایل مورد نیاز: مولتی‌متر دیجیتال- منبع تغذیه- مقاومت- بردبرد- سیم‌های رابط

قانون اهم که به‌نام کاشف آن جرج اهم نام‌گذاری شده است، بیان می‌دارد که نسبت اختلاف پتانسیل (یا افت ولتاژ) بین دو سر یک هادی (و مقاومت) به جریان عبور کننده از آن به‌شرطی که دما ثابت بماند، مقدار ثابتی است:

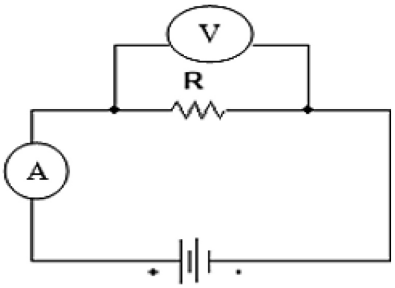
معادله (۱-۲)

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

که در آن V ولتاژ و I جریان است. این معادله منجر به یک ثابت نسبی R می‌شود که مقاومت الکتریکی آن وسیله، نامیده می‌شود. این قانون تنها برای مقاومت‌هایی صادق است که مقاومت‌شان به ولتاژ اعمالی دو سرشان وابسته نباشد که به این مقاومت‌ها مقاومت‌های اهمی یا ایده‌آل گفته می‌شود. قانون اهم هیچ‌گاه برای ابزارهای دنیای واقعی کاملاً دقیق نیست چرا که هیچ ابزار واقعی وجود ندارد که قانون اهم برای آن دقیقا صادق باشد. معادله (۱) حتی برای ابزارهای غیراهمی هم صادق است اما در این صورت دیگر مقاومت R یک مقدار ثابت نیست و به مقدار V وابسته است. برای اینکه بررسی کنیم که آیا ابزاری اهمی است یا نه، می‌توان V را بر حسب I رسم کرد و نمودار بدست آمده را با خط مستقیمی که از مبدا می‌گذرد مقایسه کرد.

روش انجام آزمایش:

مقدار یکی از مقاومت‌هایی را که در اختیار دارید با اهم‌متر اندازه بگیرید وآن را به‌عنوان مقدار واقعی مقاومت یادداشت نمایید. سپس مداری مطابق شکل(۱-۲) ببندید. حال با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل مربوط به دو سر مقاومت و شدت جریان عبوری از مقاومت R مقدار مقاومت را طبق قانون اهم و با انجام آزمایش از روابط بالا بدست آورید.



شکل ۱-۲: مدار قانون اهم

این کار را با چهار ولتاژ مختلف تکرار کنید و جدول(۱-۲)را کامل کنید و سپس درصد خطای نسبی مقاومت را برای هر بار انجام آزمایش بدست آورید. آزمایش را با ولتاژهای ولتاژهای ۱ و ۱,۵ و ۲ و ۲,۵ انجام دهید.

جدول۱-۲

V (volt)	I(mA)	$R = \frac{V}{I}(K\Omega)$	خطای نسبی
۱			
۱,۵			
۲			
۲,۵			

به‌جای مقاومت2.2K یکبار مقاومت2.7K و بار دیگر مقاومت2.2K قرار داده و جدول را با مقادیر جدید تکرار نمایید.

منحنی تغییرات جریان بر حسب ولتاژ را برای سه مقاومت دقیقا رسم کنید. شیب نمودار چه چیزی نشان می‌دهد؟ از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

❖ آزمایش شماره ۳: بررسی قوانین کیرشهف

هدف آزمایش: بررسی مقاومت‌های سری- موازی و بررسی روابط کیرشهف

وسایل مورد نیاز: مولتیمتر - منبع تغذیه - مقاومت - سیم‌های رابط - بردبرد

به‌هم بستن سری و موازی مقاومت‌ها

هنگامی‌که تعدادی مقاومت در کنار هم قرار می‌گیرند، بسته به نوع قرار گرفتن آنها، مقدار مقاومت معادل مدار تغییر می‌کند. اکنون حالت‌های مختلف را بررسی می‌کنیم.

به‌هم بستن سری (متوالی): در این حالت مقاومت معادل برابر است با جمع کل مقاومت‌ها:

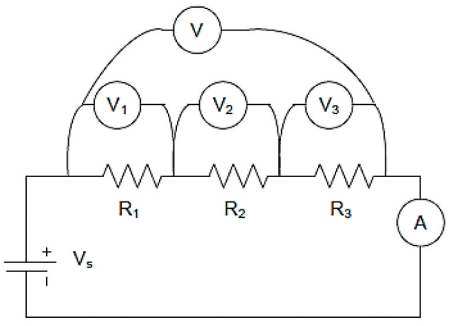
معادله(۱-۳) $R_T=R_1+R_2+R_3+...$

و ولتاژ کل مدار نیز برابر است با جمع تک تک ولتاژها:

معادله (۲-۳) $V_T=V_1+V_2+V_3+ ...$

در این حالت جریان عبوری از تمام مقاومت‌ها یکسان است:

معادله (۳-۳) $I_T=I_1=I_2=...$



شکل ۱-۳: اتصال سری مقاومت‌ها

به‌هم بستن موازی

دراین حالت مقاومت معادل از تمام مقاومت‌ها کوچک‌تر و از رابطه زیر بدست می‌آید:

معادله (۴-۳)

$$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}+\cdots$$

درحالت موازی ولتاژ تمام شاخه‌ها یکسان و برابر ولتاژ کل می‌باشد:

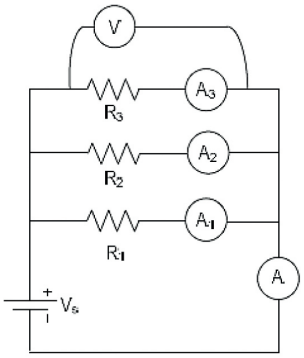
معادله (۵-۳)

$$V_T=V_1=V_2=V_{3-}=\ldots$$

جمع جریان‌های عبوری از هر شاخه برابر با کل جریان مدار است:

معادله(۶-۳)

$$I_T=I_1+I_2+I_3+\ldots$$



شکل ۲-۳: اتصال موازی مقاومت‌ها

تئوری

کیرشهف نخستین بار با استفاده از قوانین بقای بار و بقای انرژی توانست با یافتن دو قانون که امروزه به قوانین کیرشهف شهرت دارند، گشایشی در حل معادلات مدارات الکترونیکی ایجاد کند.

الف- قانون ولتاژها: قانون ولتاژ کیرشهف می‌گوید که جمع جبری اختلاف پتانسیل‌ها در یک مسیر بسته از مدار صفر است. این قانون به قضیه حلقه نیز معروف است.

ب- قانون جریان‌ها: این قانون نیز بیانگر بقای بار در گره‌های مدارات الکتریکی (گره در مدار یعنی محل اتصال حداقل سه عنصر مدار مانند مقاومت تعریف می‌شود) می‌باشد. بدین معنا که جریان‌های ورودی به یک گره با جریان‌های خروجی آن برابر است.

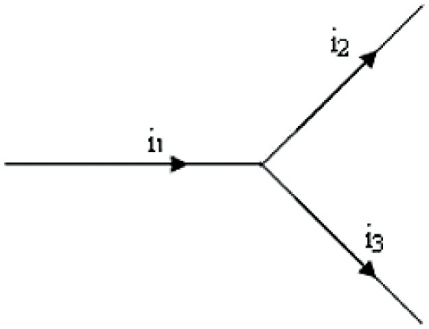
معادله(۷ -۳)

$$i_1=i_2+i_3$$

در حالت کلی داریم:

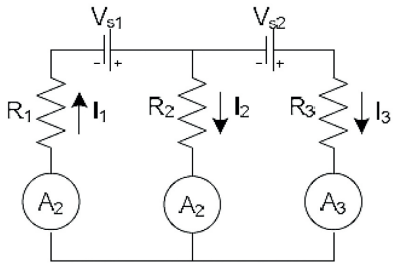
معادله(۸-۳)

$$\sum_{j=1}^{N} i_j = 0$$



شکل ۳-۳

در به‌کار بردن این فرمول باید علامت جریان‌های ورودی و خروجی مخالف هم باشند. این قانون به قضیه گره هم معروف است. مدار شکل (۴-۳) که شامل سه مقاومت اهمی و دو منبع تغذیه است را در نظر بگیرید. ورودی به یک گره با جریان‌های خروجی آن برابر است. به بیان دقیق‌تر می‌توان گفت که جمع جبری جریان‌های مرتبط به یک گره (خارج شونده با علامت مثبت و وارد شوند با علامت منفی) صفر می‌باشد.



شکل ۴-۳: مدار دوحلقه‌ای بررسی قوانین کیرشهف

در مدار شکل (۴-۳)، جریان‌های i_1 و i_2 به‌ترتیب جریان حلقه یک و حلقه دو می‌باشند. از این‌رو با توجه به جهت‌های اختیاری این جریان‌ها در حلقه‌های مذکور به شکل زیر نوشته می‌شوند:

معادله (۹-۳)
$$V_{S1}=(I_3-I_1)R_2+R_1I_1$$

معادله (۱۰-۳)
$$V_{S2} - =R_3I_3- (I_2-I_1)R_2$$

با حل معادلات فوق جریان‌های شاخه‌های I_1 و I_2 به‌دست می‌آیند (بدست آورید).

شرح آزمایش:

الف- مدار شکل یک را بسته و با توجه به شکل و جایگذاری صحیح آمپرمترها جریان‌های I_1 و I_2 را اندازه‌گیری نموده و در جدول (۱-۳) یادداشت کنید (نتیجه را با مقادیر حاصل از روابط بالا مقایسه کنید).

جدول۱-۳: بررسی قوانین کیرشهف

V_{S1}	V_{S2}	I_1	I_1'	I_3	I_3'	ΔI_1	ΔI_3
5V	5V						
5V	10V						

در جدول ب(۱-۳) حروف پریم‌دار اندازه تئوری و بدون پریم مقدار اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهند.

ب- آزمایش قسمت الف را با اتصال باز کردن مدار در محل R_3 تکرار کنید.

خطاگیری: با توجه به خطای مطلق محاسبه شده در جداول، برای جریان هر شاخه در هر مرحله، خطای نسبی جریان‌های یافته شده را به طریق مستقیم بیابید.

پرسش‌ها:

۱- اگر مقاومت R_3 بسیار بزرگ (در حد بینهایت) انتخاب شود جریان شاخه‌های مختلف چگونه تعریف می‌شوند؟

۲- آیا نتایج قسمت ب با آزمایش مقاومت‌های سری قابل تطبیق است؟ توضیح دهید.

۳- قانون پتانسیل‌های کیرشهف را با بکارگیری اصل بقای انرژی بدست آورید.

۴- قانون جریان‌ها را بکارگیری اصل بقای بار در گره‌های مدار بدست آورید.

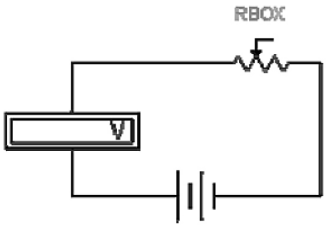
❖ آزمایش شماره ۴: اندازه‌گیری مقاومت درونی ولت‌متر و آمپرمتر

هدف: بررسی غیرایده آل بودن دستگاه‌های اندازه‌گیری

وسایل مورد نیاز: مولتی‌متر - منبع تغذیه

تعیین مقاومت درونی ولت‌متر

الف- مدار زیر را ببندید (جعبه مقاومت از نوع مگا اهمی است). به‌عبارتی ولت متری را که قصد دارید مقاومت درونی آن را به‌دست آورید با یک جعبه مقاومت مگا اهمی و یک منبع تغذیه سری کنید.



شکل۱-۴: مدار ۱

ب- جعبه مقاومت R را صفر کرده آنگاه ولتاژ منبع تغذیه را آنقدر زیاد کنید تا ولت‌متر بیشترین انحراف مورد نظر در آن رنج را نشان دهد. (در این لحظه ولت متر عدد E را نشان می‌دهد V=E)

ج- مقاومت جعبه را تغییر دهید و جدول زیر را کامل کنید.

جدول۱-۴

R(MΩ)	0	1	3	5	7	9
V						
I/V						

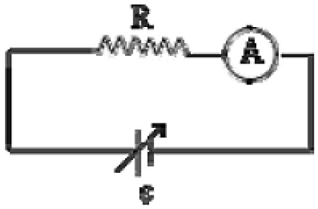
د- با در نظر گرفتن رابطه $\frac{1}{V}=\frac{1}{R_V E}\times R+\frac{1}{E}$ نمودار $\frac{1}{V}$ برحسب R را در کاغذ شطرنجی رسم کنید.

ه- محل تقاطع خط با محور R مقدار R_V (مقاومت درونی ولت‌متر) را مشخص می‌کند. چرا؟

و- ولت‌متر را از مدار جدا کرده و دو سر آن را به اهم‌متر بنید، R_V بدست آمده از طریق اهم‌متر را با مقدار بدست آمده از روی نمودار مقایسه کرده و درصد خطای آن را مشخص نمایید.

تعیین مقاومت درونی آمپرمتر

الف- مدار زیر را ببندید. (آمپرمتر را در حالت رنج موردنظر قرار دهید و با یک مقاومت بالای ۱۰۰ اهم و یک منبع تغذیه سری کنید.)

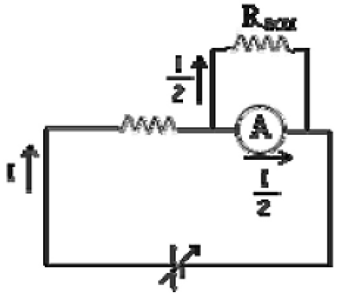


شکل۲-۴: مدار ۲

ب- ولتاژ منبع تغذیه را آرام آرام از صفر زیاد کرده تا آمپرمتر بیشترین مقدار خود را نشان دهد و این عدد را یادداشت نمایید.

ج- حالا یک جعبه مقاومت با حساسیت 0.1 اهمی را با آمپرمتر موازی نمایید.

د- آنقدر جعبه مقاومت را تغییر دهید تا عدد قبلی آمپرمتر که برابر I بود، نصف شود.



شکل۳-۴: مدار ۳

ه- در این حالت عدد جعبه را یادداشت نمایید. مقاومت آمپرمتر Ra برابر عدد نشان داده شده توسط جعبه مقاومت است، چرا؟

و- رنج آمپرمتر را تغییر داده وآزمایش را تکرار کنید.

ح- آمپرمتر را از مدار خارج کرده، اهم‌متر را به آن نصب نمایید و مقدار مقاومت آمپرمتر را در هر دو رنج؛ به‌وسیله‌ی اهم‌متر بخوانید و درصد خطای آزمایش را بدست آورید.

پرسش‌ها

۱- آیا رنج‌های مختلف آمپرمتر مقاومت‌های درونی متفاوتی دارند؟چرا؟

۲- نقش مقاومت (R) در مدار چیست؟

۳- روش‌های دیگری برای بدست آوردن مقاومت درونی آمپرمتر طراحی نمایید.

۴-توضیح دهید چرا در این آزمایش از جعبه مقاومت مگاهمی استفاده شده است؟

۵- عدد خوانده شده توسط ولت‌متر چه چیزی را نشان می‌دهد؟

۶- مقاومت درونی منبع تغذیه چقدر می‌تواند در درصد خطای آزمایش مؤثر باشد؟

۷- در صورتی‌که می‌توانید، روش‌های دیگری را برای بدست آوردن مقاومت درونی ولت‌متر نام برده و شرح دهید.

آزمایش شماره ۵: پل‌های امپدانس

هدف آزمایش: آشنایی با پل‌های اندازه‌گیری و اندازه‌گیری مقاومت مجهول به‌وسیله آن‌ها

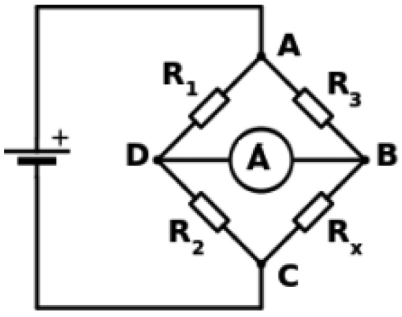
وسایل آزمایش: منبع تغذیه - برد بورد آزمایشگاهی - مقاومت - مولتی‌متر - پل تار

تئوری آزمایش

پل‌های اندازه‌گیری جهت سنجش بارهای مقاومتی، سلفی و خازنی استفاده می‌شوند. برای سنجش بارهای مقاومتی باید از پل‌های اندازه‌گیری در مدارهای با تغذیه ثابت و برای بارهای خازنی و سلفی باید از منبع تغذیه متناوب استفاده کرد. این پل‌ها انواع مختلف دارند که در این آزمایش به پل تار و پل وتستون خواهیم پرداخت.

پل وتستون

فرض کنید یک ولتاژ dc به اندازه E به مدار پل اعمال شود. در اینجا نیز یک گالوانومتر برای نشان دادن شرط تعادل بین دو نقطه ولتاژ ورودی و خروجی نصب شده است. مقادیر مقاومت‌ها دقیقا مشخص هستند، اما R_1 یک مقاومت متغیر است که به‌راحتی قابل تغییر است. مقاومت مجهول را R_x نشان می‌دهیم، ولتاژ E اعمال می‌شود و مقاومت متغیر به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که گالوانومتر جریانی را نشان ندهد.



شکل ۱-۵: پل امپدانس

بنابراین با توجه به اینکه مقادیر مقاومت‌های R_2 و R_3 معلوم هستند و R_1 را نیز خودمان تغییر داده‌ایم، بنابراین از رابطه (۱-۵) مقدار مقاومت مجهول تعیین می‌شود. در صورتی‌که هر چهار مقاومت یکسان باشند، مدار خیلی

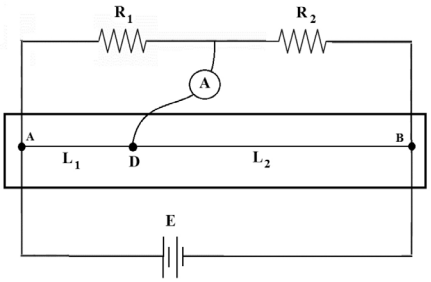
حساس خواهد بود. در هر صورت مدار پل وتستون عالی کار می‌کند.

معادله (۱-۵) $R_x = R_2R_3/R_1$

پل تار

پل تار در واقع نمونه ساده شده‌ای از پل وتستون است که مانند شکل (۲) از یک سیم فلزی مقاومت‌دار AB که روی یک خط‌کش مدرج نصب شده تشکیل شده است. لغزنده D که به مولتی‌متر متصل است می‌تواند روی سیم AB حرکت کند. چون مقاومت یک سیم فلزی با طول آن متناسب است، می‌توان طول‌های R_1 و R_2 از سیم AB را به‌عنوان دو مقاومت معلوم پل وتستون در نظر گرفت. در این صورت در شرایط تعادل معادله (۲-۵) است و چنانچه یکی از مقاومت های R_1 و R_2 مجهول باشند، می‌توان آن را از طریق رابطه بدست آورد.

معادله (۲-۵) $\frac{L_1}{L_2} = \frac{R_1}{R_2}$



شکل ۲-۵: پل تار

روش آزمایش

پل وتستون

الف- مدار شکل (۱-۵) را با قرار دادن دو مقاومت ثابت معلوم به‌جای R_2و R_3و مقامت مجهول را R_x در نظر بگیرید و مقاومت متغیر R_1را یک پتانسیومتر در نظر بگیرید و آنقدر مقدار پتانسیومتر را تغییر دهید تا جریانی از آمپرمتر عبور نکند.

ب- مقدار پتانسیومتر را خوانده و طبق رابطه گفته شده مقدار مقاومت مجهول را محاسبه کنید. آزمایش را برای مقاومت‌های مختلف تکرار کنید و نتایج را یادداشت کنید.

پل تار

الف- مدار شکل (۲-۵) را با قرار دادن مقاومت ۱۰ اهم به‌جای مقاومت معلوم ببندید، سپس آنقدر لغزاننده را روی سیم هادی جابه‌جا کنید تا آمپرمتر جریانی را نشان ندهد.

ب- طول‌های L_1 و L_2 را با خط‌کش اندازه گرفته و با قرار دادن در رابطه مقدار مقاومت مجهول را بیابید.

ج- این آزمایش را برای مقاومت مجهول اندازه‌گیری شده با پل وتستون تکرار کنید.

د- با در نظر گرفتن دقت وسایل اندازه‌گیری که در این آزمایش به‌کار برده شده است خطای اندازه‌گیری را برای روش پل وتستون و پل تار محاسبه و با هم مقایسه کنید.

پرسش:

۱- بررسی کنید چه پل‌های دیگری وجود دارد که می‌توان به‌عنوان مدار پل برای اندازه‌گیری مقاومت استفاده کرد؟

❖ آزمایش شماره ۶: بررسی قانون اهم برای مقاومت‌های خاص

هدف آزمایش: آشنایی با چند نوع مقاومت خاص و بررسی قانون اهم برای آن‌ها
وسایل آزمایش: منبع تغذیه D.C- مولتی‌متر- لامپ ۱۲ولتی- مقاومت نوری LDR- مقاومت حرارتیPTC و NTC- سیم- دماسنج.

تئوری آزمایش

اگر بخواهیم یک مقاومت ایده‌آل را تعریف کنیم باید بگوییم یک مقاومت ایده‌آل المانی است که مقدار مقاومت آن مستقل از مقدار ولتاژ و جریان اعمالی به آن همیشه مقداری ثابت باشد، اما معمولا ساخت چنین مقاومتی دور از واقعیت است از این‌رو مقاومت‌ها را طوری می‌سازند که در اثر تغییرات محیطی، تغییرات زیادی در مقدار آن‌ها ایجاد نشود.

طبق قانون اهم می‌دانیم هرگاه در دمای ثابت به دو سر یک رسانا اختلاف پتانسیل V اعمال شود از آن جریان I عبور می‌کند، همواره نسبت این اختلاف پتانسیل به جریان عبوری مقداری ثابت است که به آن مقاومت الکتریکی می‌گوییم و طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

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

معادله(۱-۶)

از طرفی طبق قانون ژول اگر جریان الکتریکی در رسانا جاری شود، طبق قانون ژول در آن گرما ایجاد می‌شود و این گرما باعث تغییر مقاومت رسانا می‌شود. این مقاومت جدید طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R= R_{\circ} (1+\alpha\Delta T)$$

معادله (۲-۶)

$R_{\circ}$ مقدار مقاومت در شرایط استاندارد، α ضریب حرارتی رسانا و ΔT تغییرات دمایی است. در چنین حالتی نمی‌توان گفت قانون اهم برقرار نیست چون فقط نسبت $\frac{V}{I}$ در حالت‌های مختلف با هم برابر نیست، چنین مقاومتی را مقاومت غیراهمی می‌گوییم. در ادامه چند مقاومت غیراهمی را معرفی می‌کنیم که در شرایط محیطی مختلف مقادیر متفاوتی دارند.

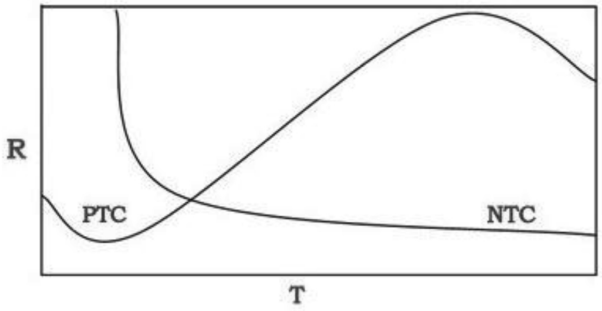
مقاومت حرارتی[1]:

مقدار این نوع مقاومت‌ها تابع حرارت است، به این مقاومت‌ها ترمیستور[2] می‌گوییم. در این نوع مقاومت‌ها اگر منحنی تغییرات مقدار مقاومت را بر اساس دما رسم کنید مشاهده خواهید کرد که منحنی حاصل شده به‌صورت خطی رفتار نمی‌کند. از این مقاومت‌ها به‌عنوان حسگر[3] در مدارهای مختلف استفاده می‌شود.

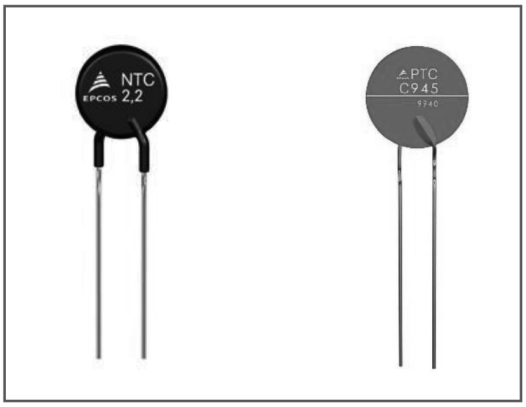
ترمیستورها در حالت کلی به دو دسته مختلف تقسیم می‌شوند:

الف) ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت یا PTC: با افزایش دما مقدارمقاومت افزایش پیدا می‌کند.

ب) ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت یا NTC: با افزایش دما مقدار مقاومت کاهش پیدا می‌کند.



شکل۱-۶: تغییرات مقدار مقاومت با توجه به تغییرات دما



شکل۲-۶: یک نمونه مقاومت حرارتی

مقاومت نوری[4]

این دسته از مقاومت‌ها حساس به نور هستند و مقدار مقاومت آن‌ها با توجه به میزان نوری که دریافت می‌کنند تغییر می‌کند. از این مقاومت‌ها به‌عنوان سنسور نوری استفاده می‌کنند و به آن‌ها LDR هم می‌گوییم. این مقاومت‌ها در

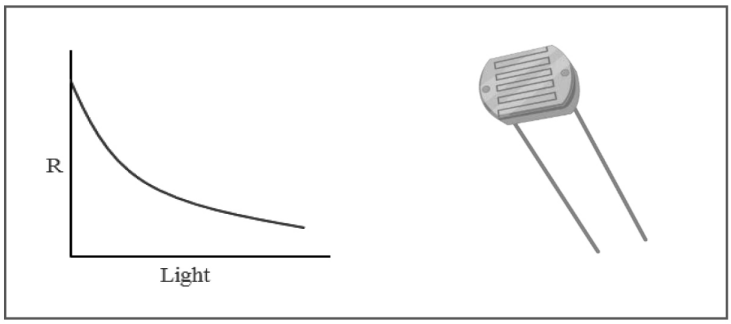
[1]Thermally sensitive resistor

[2]Thermistor

[3]Sensor

[4]Light Dependent Resistor

محیط تاریک دارای مقدار زیاد و در محیط روشن دارای مقدار کم هستند. سطح آن‌ها را معمولا با یک ماده شفاف می‌پوشانند تا از این بخش نور به مقاومت راه بیاید.



شکل ۳-۶: یک مقاومت نوری و منحنی مقدار آن بر اساس نور دریافتی

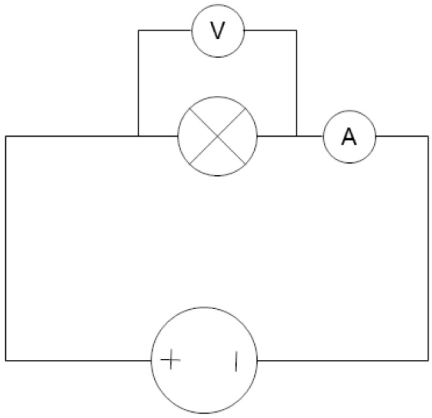
روش انجام آزمایش:

می‌خواهیم قانون اهم را در سه مرحله به تفکیک مورد آزمایش قرار دهیم:

الف) تحقیق قانون اهم برای لامپ ۱۲ ولتی:

مداری مطابق شکل (۴-۶) ببندید و به ازای مقادیر مختلف ولتاژ جدول (۱-۶) را کامل کنید.

- با استفاده از نرم‌افزار Excel یا برگه میلی‌متری نمودار ولتاژ را بر حسب جریان رسم کنید.



شکل ۴-۶: لامپ ۱۲ ولتی به عنوان مقاومت در مدار

جدول ۱-۶

V(volt)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I (A)										
$R=\frac{V}{I}$										

ب) تحقیق قانون اهم برای مقاومت نوری:

مداری مشابه شکل (۴-۶) ببندید و این بار به جای لامپ ۱۲ ولتی از یک مقاومت نوری استفاده کنید. در این مرحله از آزمایش یک بار مقاومت را در روشنایی قرار دهید و جدول (۲-۶) را کامل کنید و بار دیگر شرایطی را فراهم کنید که مقاومت، نوری دریافت نکند و جدول (۳-۶) را کامل کنید.

• با استفاده از نرم‌افزار Excel یا برگه میلی‌متری نمودار ولتاژ را بر حسب جریان رسم کنید.

جدول ۲-۶

V(volt)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I (A)										
$R=\frac{V}{I}$										

جدول ۳-۶

V(volt)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I (A)										
$R=\frac{V}{I}$										

ج) تحقیق قانون اهم برای مقاومت حرارتی مثبت یا PTC:

برای این مقاومت ضریب α مثبت است و طبق معادله (۲-۶) با افزایش حرارت مقدار مقاومت افزایش می‌یابد. برای انجام این آزمایش در مدار شکل (۱-۶) به جای لامپ ۱۲ ولتی از یک مقاومت PTC استفاده می‌کنیم و منبعی که برای ما گرما را ایجاد می‌کند یک لامپ ۱۲ ولتی است. مقاومت و لامپ را درون محفظه‌ای قرار می‌دهیم. ولتاژ منبع تغذیه را تا ۵ ولت افزایش داده و ثابت نگه می‌داریم و صبر می‌کنیم تا افت جریان در آمپرمتر ثابت شود. دماسنج را داخل محفظه قرار داده و لامپ را روشن می‌کنیم. به ازای هر ۵ درجه از تغییر دما مقدار جریان را در جدول زیر یادداشت کنید، مقدار مقاومت را در هر مرحله بر حسب رابطه (۱-۶) محاسبه کنید و در جدول درج نمایید.

• با استفاده از نرم‌افزار Excel یا برگه میلی‌متری نمودار جریان و مقاومت را بر حسب دما رسم کنید.

جدول ۴-۶

T (C)	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰
I (A)									
R (Ω)									

پرسش‌ها

۱- در آزمایش مقاومت حرارتی PTC علت افت اولیه جریان قبل از روشن کردن لامپ چیست؟

۲- چرا به هنگام کار با لامپ ۱۲ ولتی ولتاژی کمتر از ۱۲ ولت را اعمال می‌کنیم؟

۳- چرا مقدار مقاومت نوری در دو حالت رو به نور و پشت به نور با هم متفاوت است؟

✜ آزمایش شماره ۷: رابطه مقدار مقاومت با مشخصات فیزیکی آن

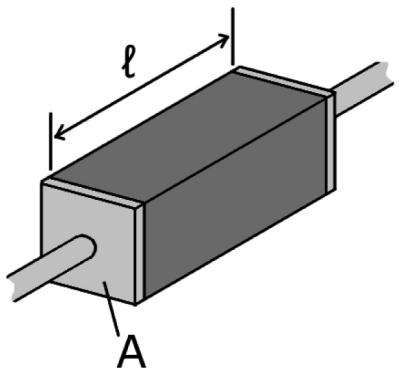
هدف آزمایش: بررسی رابطه مقدار مقاومت با توجه به جنس مقاومت، طول مقاومت، سطح مقطع مقاومت.
وسایل آزمایش: چند سیم فلزی با جنس و مشخصات متفاوت، مولتی متر.

تئوری آزمایش

هرگاه جریانی از یک فلز عبور کند، با توجه به مشخصات فیزیکی و جنس آن فلز، ممانعتی در مقابل عبور جریان مشاهده می‌شود که می‌توان این ممانعت را در یک کمیت عددی به نام مقاومت مدل کرد.
مقاومت فلزی با طول، سطح مقطع و مقاومت ویژه در دمای ثابت به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

معادله (۱ -۷)



شکل ۱-۷:یک مقاومت دلخواه

مقاومت ویژه جز خصوصیات ذاتی هر فلزی است و بیانگر این است که فلز چه مقاومتی در برابر عبور جریان از خودش نشان می‌دهد، واحد آن در دستگاه، اهم در متر است و جدولی وجود دارد که برای تمام اجسام این مقدار اندازه‌گیری شده است. در این آزمایش درستی این رابطه را اثبات خواهیم کرد.

روش انجام آزمایش

می‌خواهیم این آزمایش را در سه مرحله به تفکیک مورد بررسی قرار دهیم:

الف- چند سیم با طول دلخواه که مشخصات آن‌ها از قبیل سطح مقطع و جنس مشخص باشد انتخاب کنید و گام‌های زیر را برای آن‌ها انجام دهید.

- هر بار یک سیم را انتخاب کنید و روی صفحه قرار دهید.
- مقاومت سیم را با مولتی‌متر اندازه‌گیری کنید.
- اطلاعات جدول زیر را کامل کنید و مقدار مقاومت را برای هر سیم طبق معادله (۱-۷) محاسبه کنید.
- با استفاده از یک شعله ضعیف هر سیم را گرم کنید و دوباره مراحل انجام آزمایش را تکرار کنید.

جدول ۱-۷

شماره	طول	قطر	سطح مقطع	مقاومت ویژه	مقاومت	مقاومت در دمای بالاتر
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						

ب- دو سیم از یک جنس و سطح مقطع یکسان اما با طول‌های متفاوت در نظر بگیرید و درستی رابطه زیر را تحقیق کنید.

معادله (۲-۷)
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

ج- دو سیم از یک جنس و طول یکسان اما با سطح مقطع های متفاوت در نظر بگیرید و درستی رابطه زیر را تحقیق کنید.

معادله (۳ -۷)
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

د- دو سیم با سطح مقطع و طول یکسان اما با جنس های متفاوت در نظر بگیرید و درستی رابطه زیر را تحقیق کنید.

معادله (۴-۷)
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$$

پرسش‌ها

۱- اختلاف مقدار در مقاومت در اثر دما را توجیه کنید.
۲- فکر می‌کنید اگر شکل سطح مقطع تغییر کند، مثلا به جای دایره‌ای مربعی باشد مقدار مقاومت چه تغییری خواهد کرد؟

❖ آزمایش شماره ۸: اندازه‌گیری دمای رشته درون لامپ

هدف آزمایش : بدست آوردن دمای رشته‌های درون یک لامپ

وسایل مورد نیاز : یک عدد لامپ- سیم‌های رابط- مولد- مولتی‌متر

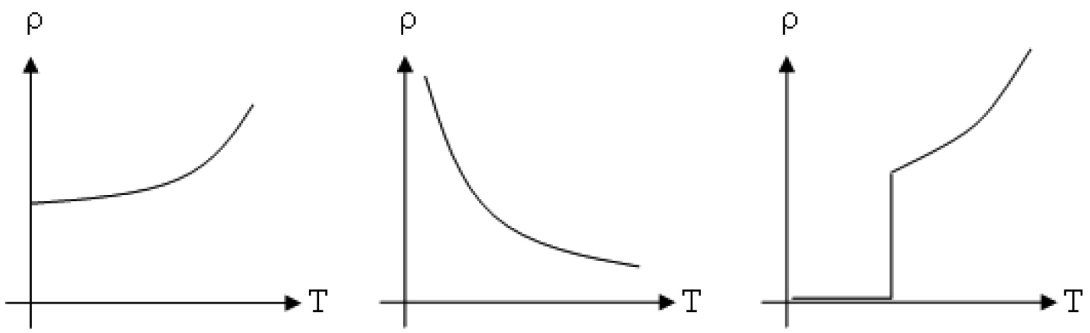
تئوری: می‌دانیم مقاومت ویژه فلزها پیوسته با افزایش دما افزایش می‌یابد. در گستره محدودی تا حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد رسانندگی فلزها تقریبا با رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$\rho_2 = \rho_1(1 + \alpha\Delta\theta)$$

معادله (۱-۸)

که در آن ρ_1 مقاومت ویژه در دمای مرجع θ_1 (معمولا ۰ یا ۲۰ درجه سانتی‌گراد) و ρ_2 مقاومت ویژه در دمای θ_2 است و ضریب a را ضریب دمایی مقاومت ویژه می‌نامند. و طوری انتخاب می‌شود که در گستره دماهای انتخاب شده معادله با تجربه کاملا سازگار باشد. در جدول (۱-۸) مقدار a و ρ مربوط به فلزات مختلف درج شده است. مقاومت ویژه چند ماده در دمای اتاق (۲۰ درجه سانتی‌گراد)

مقاومت ویژه سیلسیوم ذاتی (غیرفلز) یابد با افزایش دما کاهش‌یابد، یعنی ضریب دمایی مقاومت آن منفی است. در عوض مقاومت ویژه آلیاژ مانگانس (منگانین) در عمل تابع دما نیست. در شکل (۱-۸) تغییر مقاومت ویژه با دما در فلزها، نیمه‌رساناها و یک ابررسانا نشان داده شده است.



شکل ۱-۸: تغییر مقاومت ویژه با دما در فلزات، نیمه رساناها و ابررساناها

جدول ۱-۸: مقاومت ویژه و ضرایب دمایی مقاومت ویژه برای عناصر مختلف

ماده	مقاومت ویژه $\rho(\Omega.m)$	ضریب دمایی مقاومت ویژه $a(k^{-1})$
نقره	$۱,۶۲\times۱۰^{-۸}$	$۴,۱\times۱۰^{-۳}$
مس	$۱,۶۹\times۱۰^{-۸}$	$۴,۳\times۱۰^{-۳}$
آلومینیوم	$۲,۷۵\times۱۰^{-۸}$	$۴,۴\times۱۰^{-۳}$
تنگستن	$۵,۲۵\times۱۰^{-۸}$	$۴,۵\times۱۰^{-۳}$
آهن	$۹,۶۸\times۱۰^{-۸}$	$۶,۵\times۱۰^{-۳}$
پلاتین	$۱۰,۶\times۱۰^{-۸}$	$۳,۹\times۱۰^{-۳}$
منگانین[۱]	$۴۸,۲\times۱۰^{-۸}$	۲×۱۰^{-۶}
سیلسیوم خالص	$۲,۵\times۱۰^{-۳}$	-۷۰×۱۰^{-۳}
سیلسیوم نوع n [۲]	$۸,۷\times۱۰^{-۴}$	--
سیلسیوم نوع p [۳]	$۲,۸\times۱۰^{-۳}$	--
شیشه	$۱۰^{۱۰}-۱۰^{۱۴}$	--
کوارتز مذاب	$۱۰^{۱۶}$	--

مقاومت ویژه نیم‌رسانا در برابر افزایش دما کاهش چشمگیری دارد. بعضی از مواد و از آن جمله چند آلیاژ و اکسیدفلزی، خاصیتی به‌نام ابررسانندگی از خود نشان می‌دهند و با کاهش مقاومت ویژه ابتدا به‌طور هموار(نظیر فلزها) کاهش می‌یابد و سپس در یک دمای بحرانی TC گذار فازی به وقوع می‌پیوندد و مقاومت ویژه به صفر سقوط می‌کند.همین که جریانی در یک حلقه ابررسانا برقرار شود بدون وجود میدان محرک تا ابد ادامه می‌یابد. اکسید مختلطی از ایریدم، مس و باریم با TC برابر rrk (دمای جوش نیتروژن) ساخته شده است.

شرح آزمایش

در این آزمایش می‌خواهیم دمای رشته‌های درون لامپ را به‌دست آوریم که این کار را توسط رابطه $R_2 = R_1(1+\alpha\Delta\theta)$ انجام می‌دهیم که در آن α مقاومت ویژه، R_1 مقاومت رشته‌های درون لامپ قبل ازروشن کردن، R_2 نیز مقاومت رشته‌های درون لامپ بعد از روشن کردن آن و $\Delta\theta$ نیز تغییرات دما می‌باشد که داریم:

معادله(۲-۸)

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$$

که در آن، θ_1 دمای رشته‌های درون لامپ قبل از روشن کردن بوده که برابر دمای محیط است و θ_2 نیز دمای رشته‌های درون لامپ بعد از روشن کردن آن می‌باشد. برای این کار، ابتدا دمای محیط را اندازه می‌گیریم. سپس

۱- آلیاژی است که به‌طور خاص به‌منظور داشتن α ی کوچک ساخته شده است.
۲ - این نوع نیمه رسانا از سیلسیوم با ناخالصی فسفر ساخته شده و دارای چگالی حامل‌های cm^{-1} ۱۰۲۳می‌باشد.
۳ - این نیز سیلسیوم با ناخالصی آلومینیوم تهیه شده و دارای چگالی حامل‌های cm^{-1} ۱۰۲۳ می‌باشد.

مقاومت لامپ خاموش را بدست آورده و α نیز مشخص است. لامپ را به ولتاژهای مشخصی متصل می‌کنیم تا جریان عبوری از لامپ بدست آید. با این کار، می‌توان مقاومت رشته‌های درون لامپ روشن را بدست آورد. سرانجام داده‌های مساله را وارد رابطه می‌کنیم تا جواب مساله که همان θ_2 یا دمای رشته‌های درون لامپ است به‌دست آید.

$$R = R_0(1+\alpha\Delta\theta)$$ معادله (۳-۸)

$$\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1 \Rightarrow \theta_2 = \Delta\theta + \theta_1$$ معادله (۴-۸)

جدول (۲-۸) را تکمیل کنید.

جدول ۲-۸

V	I	$R = \frac{V}{I}$	$\Delta\theta = \frac{R - R_0}{\alpha R_0}$	P=VI
0.5				
1				
2				
4				
6				
8				
10				
12				

پرسش‌ها

۱- از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

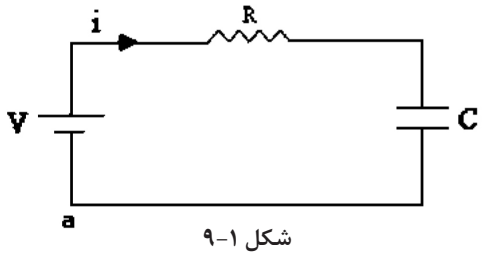
۲- مقاومت‌های اهمی چه ویژگی دارد؟

❖ آزمایش شماره ۹: شارژ و دشارژ خازن

هدف آزمایش: رسم منحنی‌های شارژ و دشارژ خازن و اندزه‌گیری ظرفیت خازن

وسایل مورد نیاز: مقاومت- خازن- مولتی متر- منبع تغذیه

هر گاه دو صفحه خازن به دو قطب یک منبع ولتاژ مستقیم مثل پیل وصل کنیم خازن شارژ می‌شود و ولتاژ خازن پس از مدتی که بستگی به مقدار مقاومت مدار و ظرفیت خازن دارد برابر ولتاژ پیل می‌گردد.
یک مدار RC ساده را درنظر بگیرید. هدف ما بررسی چگونه باردار شدن خازن با گذشت زمان می‌باشد. با پیمودن حلقه در جهت ساعتگرد با شروع از نقطه a داریم:



شکل ۱-۹

$$V_a + V - iR - V_c = V_a \quad \rightarrow \quad V - iR - V_c = 0 \quad \rightarrow \quad V - iR - \frac{q}{C} = 0$$

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \rightarrow \quad V = R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C}$$

اکنون باید q(t) که در این معادله صدق می‌کند پیدا کنیم. جواب عبارت است از:

$$q = CV\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

$$V_C = \frac{q}{C} \quad \rightarrow \quad V_C = V(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

کمیت RC در این معادله بعد زمان دارد و ثابت زمانی خازن Vc نامیده می‌شود و برابر مدتی است که طی آن V_C به 0.63 مقدار V می‌رسد.

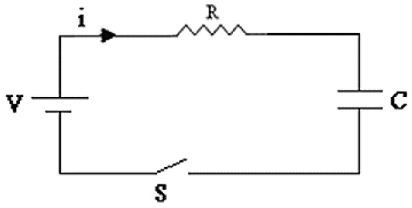
روش انجام آزمایش:

چنانچه یک خازن بدون بار و یک مقاومت به‌صورت متوالی به یک منبع تغذیه متصل شود، خازن شروع به باردار شدن می‌کند و به دنبال آن اختلاف پتانسیل دو سر خازن نیز شروع به افزایش می‌کند. همان‌طور که اثبات شد فرمول افزایش اختلاف پتانسیل دو سر خازن عبارت است از:

$$V_C = V(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

معادله (۱-۹)

حال مداری مطابق شکل(۲-۹) ببندید:

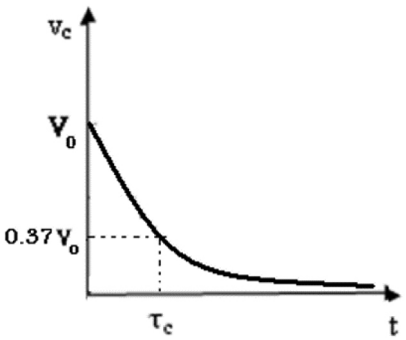


شکل ۲-۹: مدار شارژ خازن

ولتاژ منبع تغذیه را روی ۷ ولت، مقاومت را در حدود ۲۲۰-۳۳۰ کیلو اهم و ظرفیت خازن را هم حدود ۱۰۰-۲۰۰ میکروفاراد درنظر بگیرید. با یک سیم دو سر خازن را به‌هم وصل کنید (اتصال کوتاه) تا بار آن خالی شود. ولت‌متر را روی رنج ۲۰ ولت تنظیم و به دو سر خازن متصل کنید. هم‌زمان با بستن کلید S کرنومتر را روشن و مقدار را تا ۴۰ ثانیه در بازه‌های ۱۰ ثانیه و پس از آن در بازه‌های ۲۰ ثانیه یادداشت کنید. عملیات وقتی متوقف می‌شود که دیگر تغییر محسوسی نکند. حال نتیجه را درجدول(۱-۹) بنویسید. نمودار Vc بر حسب زمان می‌بایست رسم شود. اگر آزمایش به درستی انجام شده باشد نموداری به شکل (۳-۹) به دست می‌آید.

جدول۱-۹

زمان t	0	10	20	30	40	50	60	80	100	...
V_C										...
V_C از روی نمودار										
Vc=RC										
درصد خطای نسبی										



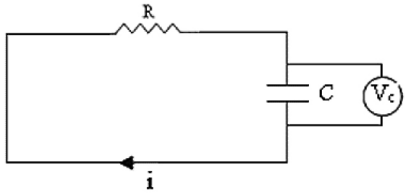
شکل ۳-۹

$$\text{درصد خطای نسبی} = \frac{|\,V_c - RC\,|}{RC} \times 100$$ معادله (۲-۹)

در این رابطه V_c از روی نمودار به دست می‌آید.

بررسی چگونگی خالی شدن خازن:

هنگامی که خازنی باردار داشته باشیم و آن را به یک مقاومت متصل کنیم برای مدتی جریان در مدار برقرار می شود تا خازن خالی شود. اگر اختلاف پتانسیل دو سر خازن V_C باشد داریم:

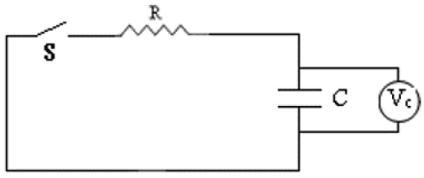


شکل۳-۹: مدار دشارژ خازن

که در آن V اختلاف پتانسیل دو سر خازن است.

روش انجام آزمایش:

ابتدا خازن مورد نظر را که ظرفیت آن حدود ۱۰۰-۲۰۰ میکروفاراد است چند ثانیه مستقیما به منبع تغذیه با ولتاژ ۱۰ ولت وصل کرده تا کاملا باردار شود. هم اکنون اختلاف پتانسیل دو سر خازن ۱۰ ولت است. خازن را با مقاومتی حدود ۱۰۰ کیلو اهم در مداری مطابق شکل زیر قرار دهید.



شکل۴-۹: مدار دشارژ خازن

هم زمان با بستن کلید S کرنومتر را روشن کرده و اختلاف پتانسیل دو سر خازن را در بازه‌های ۱۰ ثانیه یادداشت کنید. عملیات وقتی متوقف می‌شود که v_c صفر شود. حال جدول زیر را کامل کرده و سپس نمودار v_c بر حسب t را رسم کنید.

جدول۲-۹

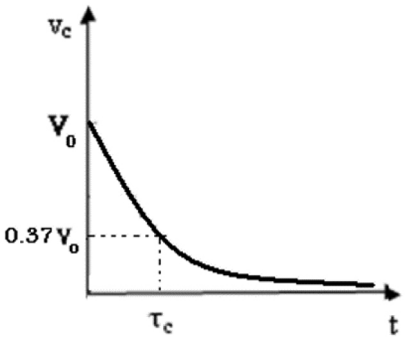
t زمان	0	10	20	30	40	50	60	80	100	...
v_c										...
Vc از روی نمودار										
Vc=RC										
درصد خطای نسبی										

V_C زمانی است که V_C به 0.37 مقدار اولیه خود یعنی ۱۰ ولت می‌شود.

معادله (۳-۹)

$$\text{درصد خطای نسبی} = \frac{|t_c - RC|}{RC} \times 100$$

در این رابطه T_C از روی نمودار به دست می‌آید.



شکل۵-۹: نمودار دشارژ خازن

✜ آزمایش شماره ۱۰: آشنایی با اسیلوسکوپ

هدف آزمایش: آشنایی با اسیلوسکوپ و نحوه استفاده از آن در اندازه‌گیری ولتاژ و فرکانس و مشاهده اشکال لیساژو

اسیلوسکوپ یکی از وسایل آزمایشگاهی است که گستره کاربرد آن بسیار زیاد و از وسایل ضروری در آزمایشگاه‌های الکترونیک است. به کمک این دستگاه می‌توان چگونگی تغییرات زمانی اختلاف پتانسیل بین دو نقطه را مشاهده کرد. اندازه‌گیری ولتاژ، فرکانس و اختلاف فاز بین دو قسمت از مدار از دیگر کاربردهای اسیلوسکوپ است.

اسیلوسکوپ‌ها در دونوع آنالوگ و دیجیتال ساخته می‌شوند که ما در اینجا به بررسی نوع آنالوگ آن می‌پردازیم و در ادامه هرجا کلمه اسیلوسکوپ را به‌کار ببریم منظورمان اسیلوسکوپ آنالوگ است. اسیلوسکوپ‌ها ممکن است یک‌کاناله و یاچند کاناله باشند. اسیلوسکوپ‌های یک‌کاناله 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.

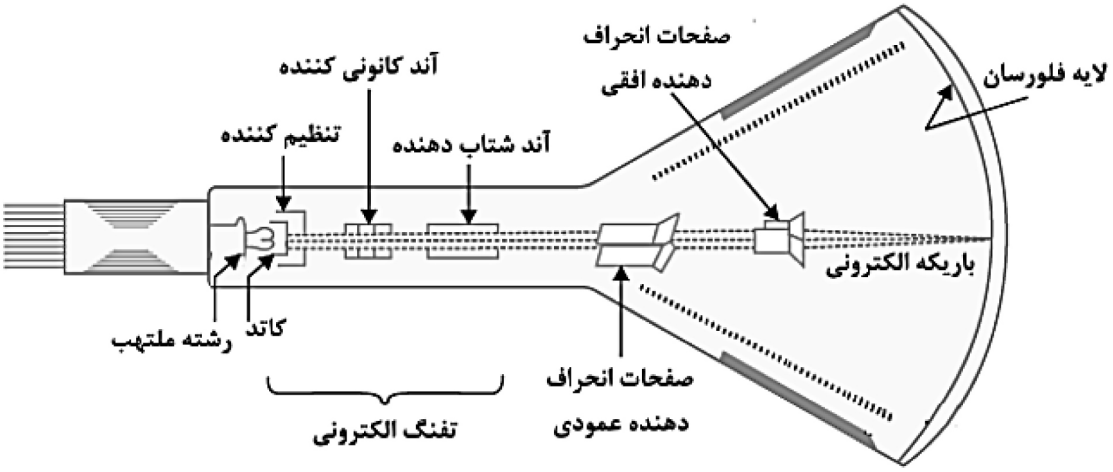
پروب[1]: برای انتقال سیگنال‌های الکتریکی به اسیلوسکوپ از پروب که به آن پراب، نیز می‌گویند استفاده می‌شود. یک‌نمونه پروب در شکل (۱-۱۰) مشاهده می‌کنید.

شکل ۱-۱۰

[1]Probe

سیم رابط پروب معمولا از جنس کابل کواکسیال می‌باشد تا میزان نویز به حداقل برسد. نوک پروب به‌صورت گیره‌ای فنری است که‌می‌توان آن را به یک نقطه از مدار وصل کرد. انتهای فلزی سیم رابط که به ورودی اسیلوسکوپ وصل می‌شود BNC نام دارد. BNC دارای یک شیار مورب است که وقتی آن را به ورودی اسیلوسکوپ وصل می‌کنیم و ۹۰ در جه در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخانیم، این قطعه کاملا به اسیلوسکوپ متصل می‌شود.

قسمت اصلی هر اسیلوسکوپ آنالوگ را لامپ پرتو کاتدی[۲] تشکیل می‌دهد. هر CRT از یک تفنگ الکترونی[۳]، صفحات انحراف دهنده قائم و افقی و یک صفحه فلورسانت که همه در یک محفظه تقریباً تهی از هوا قرار دارند تشکیل شده است. جزئیات یکCRT در شکل (۲-۱۰) دیده می‌شود. تفنگ الکترونی نیز به مجموعه رشته ملتهب، کاتد، شبکه تنظیم‌کننده شدت، الکترود کانونی‌ساز و آند شتاب‌دهنده گفته می‌شود.



شکل۲-۱۰: ساختمان لامپ پرتو کاتدی

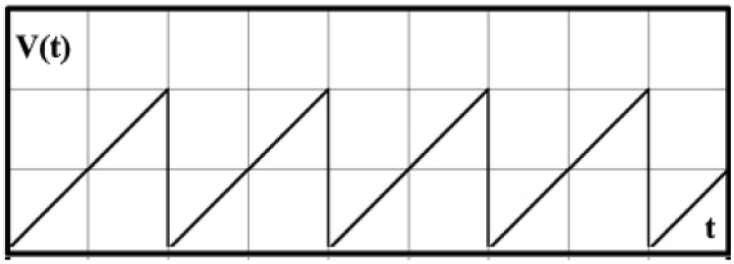
در انتهای لامپ، کاتد قرار دارد که در بعضی انواع به روش مستقیم و در برخی دیگر به روش غیرمستقیم (توسط یک رشته ملتهب) گرم می‌شود. بر اثر گرم شدن بعضی از الکترون‌های کاتد که انرژی آنها به حد کافی رسیده باشد از سطح آن خارج می‌شوند. الکترون‌های آزاد شده، توسط آند که پتانسیل آن بسیار ملتهب‌تر از کاتد است شتاب می‌گیرند و پس از عبور از روزنه آن به صفحه جلوی لامپ برخورد می‌کنند. روی این صفحه را ماده‌ای از جنس فلورسان پوشانده است که بر اثر برخورد الکترون‌ها به آن نورانی می‌شود. باریکه الکترونی را می‌توان به کمک یک الکترود دیگر و تنظیم ولتاژ آن، روی محور لامپ متمرکز و فشرده نمود به‌طوری‌که اثر برخورد آن روی صفحه جلوی لامپ تقریباً یک نقطه باشد و نیز با بستن ولتاژ مناسب روی یک الکترود دیگر می‌توان تعداد الکترون‌های خارج شده از کاتد و در نتیجه شدت لکه نورانی روی صفحه مشاهده را کنترل نمود.

بین تفنگ الکترونی و پرده مشاهده دو جفت صفحه موازی قرار داده شده که باریکه الکترونی از بین آنها عبور می‌کند. اگر روی این صفحات ولتاژی اعمال نشود نقطه نورانی در مرکز صفحه مشاهده قرار می‌گیرد ولی با اعمال اختلاف پتانسیل بین صفحات عمودی می‌توان یک انحراف افقی برای باریکه الکترونی ایجاد و به همین ترتیب صفحات افقی می‌توانند انحراف عمودی به آن بدهند. به این باریکه الکترونی اشعه کاتدی نیز می‌گویند. پس محل نقطه نورانی روی صفحه مشاهده بستگی به اختلاف پتانسیل‌هایی دارد که به صفحات مزبور اعمال می‌شود. از

[2]Cathode Ray Tube

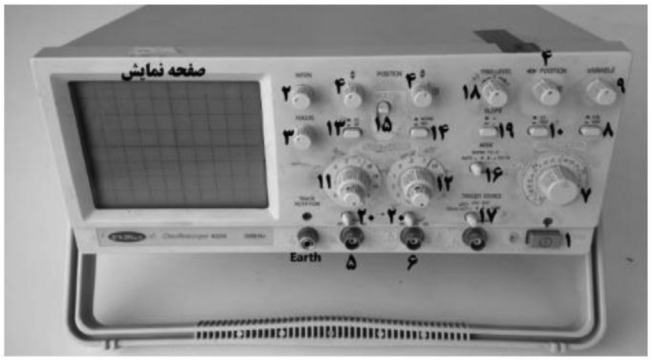
[3]Electron Gun

این پس صفحات عمودی صفحات انحراف‌دهنده افقی و صفحات افقی را صفحات انحراف‌دهنده عمودی نامیده می‌شوند. اگرفقط به صفحات انحراف‌دهنده عمودی ولتاژ متغیری مثلاً یک ولتاژ سینوسی اعمال کنیم روی صفحه اسیلوسکوپ یک خط عمودی خواهیم دید. در این حال اگر پتانسیل یکی از صفحات انحراف دهنده افقی نسبت به دیگری افزایش یابد باریکه الکترونی ضمن داشتن حرکات عمودی به طرف آن صفحه نیز جذب می‌شود و بنابراین خط عمودی بیان شده روی صفحه اسیلوسکوپ، باز شده شکل ولتاژ اعمال شده به انحراف دهنده‌های عمودی مشاهده می‌شود. اگر این اعمال (افزایش پتانسیل انحراف‌دهنده افقی نسبت به دیگری) در فواصل زمانی معین تکرار شود و دوره تناوب تکرار آن مضرب صحیحی از دوره تناوب موج اعمال شده به صفحات انحراف‌دهنده عمودی باشد، شکل موج روی صفحه اسیلوسکوپ بارها ظاهر می‌شود و اگر این دوره تناوب به قدر کافی کوچک باشد چشم تکرار آن را تشخیص نداده و یک شکل موج سینوسی ثابت روی صفحه دیده می‌شود. ولتاژ متغیر که روی صفحات انحراف‌دهنده افقی اعمال می‌شود به صورت شکل (۳-۱۰) است که به آن موج دندانه اره‌ای می‌گویند. این شکل موج چون متناوباً به‌طور خطی با زمان تغییر می‌کند باریکه الکترون سراسر مسیر افقی خود را به طوریکنواخت(با سرعت ثابت) جاروب می‌کند. مولد این ولتاژ را ژنراتور دندانه اره‌ای یا مولد جاروب کننده می‌نامند.



شکل۳-۱۰: پتانسیل موج دندان اره‌ای بر حسب زمان

همان‌طورکه اشاره شد برای آن شکل موج روی صفحه اسیلوسکوپ ثابت بماند و حرکت نکند باید دوره تناوب موج دندانه اره‌ای مضرب صحیحی از دوره تناوب موج اعمال شده به انحراف دهنده‌های عمودی باشد. این عمل با دقت بیشتر به کمک مدارهایی که آنها را مدارهای تریگر[۴] می‌نامند انجام می‌شود. لغت تریگر به معنای «ماشه» تفنگ و املال آن است و ما در اینجا عبارت فرمان شروع را برای آن به‌کار می‌بریم. شکل (۴-۱۰) صفحه جلوی اسیلوسکوپ با دکمه‌های مربوطه را نشان می‌دهد.



شکل۴-۱۰: نمای اسیلوسکوپ صا ایران ۸۲۲۰

[4]Triggering

دانستن مشروح عمل مدارها در این آزمایش مورد نظر نمی‌باشد و فقط آشنایی با طرز کار و چگونگی بکار بردن دکمه‌های روی دستگاه کافی است. اکنون نام دکمه‌ها و کار هر یک به تفصیل شرح داده خواهند شد:

کد	نام کلید	توضیحات
۱	POWER	جهت روشن و خاموش کردن دستگاه
۲	INTENSITY	چرخش این دکمه در جهت حرکت عقربه‌های ساعت درخشش را افزایش می‌دهد. (برای طول عمر بیشتر لامپ بهتر است از حداقل شدت قابل مشاهده استفاده کرد)
۳	FOCUS	جهت به‌دست آوردن بیشترین وضوح (از طریق متمرکز کردن باریکه) می‌باشد.
۴	POSITION	با این سه پیچ می‌توان تصویر را به چپ و راست و بالا و پایین حرکت داد.
۵	X,Y INPUT	دستگاه شامل دو ورودی می‌باشد که می‌توان توسط این دو ورودی و با استفاده از سیم رابط اسیلوسکوپ (Probe) سیگنال‌های موردنظر را از منبع‌های دیگر به صفحات انحراف‌دهنده اسیلوسکوپ داد. به‌طور معمول ژنراتور دندانه اره‌ای که در خود دستگاه قرار دارد روی صفحه انحراف دهنده افقی بسته شده است. در این حالت ورودی‌های ۵ و ۶ به ترتیب صفحات انحراف‌دهنده عمودی وصل می‌باشند. در صورتی‌که کلید TIM/DIV در حالت (X-Y) قرار گیرد، ژنراتور دندانه اره‌ای از صفحات انحراف‌دهنده افقی قطع شده و ورودی‌های ۵ و ۶ هر دو به صفحات انحراف دهنده افقی(X) و عمودی(Y) محسوب می‌شوند.
۶		
۷	TIM/DIV	چنانچه قبلاً گفته شد روی صفحات انحراف‌دهنده افقی یک ژنراتور دندانه اره‌ای بسته می‌شود. فرکانس یا دوره تناوب این ژنراتور را می‌توان با پیچ TIM/DIV تغییر داد. این پیچ نشان می‌دهد هر خانه در راستای افقی نماینده چند ثانیه است. این بدان معنی است که باریکه الکترونی هر خانه را در چند ثانیه طی می‌کند. به‌عنوان مثال اگرپیچ TIM/DIV عدد 2ms را نشان دهد، وقتی باریکه الکترونیک سیکل کامل را طی کند باید تعدادخانه‌هایی را که یک سیکل کامل از موج در آن گنجانده شده را در زمان مربوط به هر خانه ضرب کرد. در مثال قبل اگر سیکل کامل 3.6 خانه را اشغال کرده باشد دوره تناوب‌آن‌ms 3.6×2=7.2 خواهد شد و از اینجا می‌توان فرکانس موج اعمال شده به Y را به‌دست آورد. همان‌طورکه پیش‌تر اشاره شد، در صورتی‌که پیچ TIM/DIV بر روی(X-Y) قرار بگیرد ژنراتور دندانه اره‌ای از صفحات انحراف‌دهنده افقی قطع خواهد شد.
۸	VARIABLE CONTROL (کنترل متغیر) TIM/DIV	به کمک پیچ شماره (۹) می‌توان شکل موج را به‌صورت پیوسته روی صفحه بازتر نمود. در صورتی‌که پیچ شماره (۹) قادر به تغییر شکل موج می‌باشد که دکمه (۸) در حالت Var قرار داشته باشد. دکمه شماره (۱۰) اگر در حالت(۱۰×)قرار گیرد شکل موج را ۱۰ برابر بازتر می‌کند و اگر در حالت(۱×)قرار داشته باشد تغییری در آن ایجاد نمی‌کند. اندازه‌گیری دوره تناوب یک موج در صورتی صحیح است که دکمه (۸) در حالت CAL و دکمه (۱۰) در حالت (۱×) باشد.
۹		
۱۰		
۱۱	VOLTS/DIV	ولتاژی که برای اندازه‌گیری به ا سیلوسکوپ وصل می‌شود قبل از رسیدن به صفحات انحراف‌دهنده عمودی از یک تقویت‌کننده می‌گذرد که بهره آن را می‌توان به‌وسیله پیچ VOLTS/DIV تغییر داد و به‌کمک آن اندازه مناسبی برای دامنه موج که به صفحات افقی می‌رسد انتخاب کرد. هرگاه پیچ VOLTS/DIV مثلاً روی 0.5 ولت قرار داده شود هر یک از خانه‌های عمودی نماینده 0.5 ولت است و چنانچه دامنه max تا min موج مورد اندازه‌گیری مثلاً 4.4 خانه را اشغال کرده باشد ولتاژ max تا min آن برابر 4.4×0.5=2.2 ولت می‌شود و به این ترتیب می‌توان ولتاژهای مختلف را اندازه‌گیری کرد. در صورتی‌که ژنراتور دندانه اره‌ای به صفحات X متصل باشد، پیچ(۱۱) مربوط به تنظیمات کانال (۱) و پیچ(۱۲) مربوط به تنظیمات کانال (۲)می‌باشد. بر روی هر کدام از پیچ‌های(۱۱) و (۱۲) و هم محور آنها پیچ دیگری قرار دارد که ضریب تضعیف عمودی را به‌طور پیوسته ونامشخص در هر موقعیت پیچ‌های(۱۱) و (۱۲) تغییر می‌دهد. این پیچ‌ها باید کاملاً بسته باشد تا ولتاژ خوانده شده صحیح باشد.
۱۲		

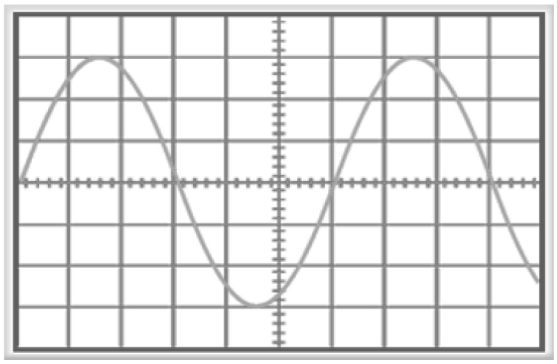
۱۳	VARIABLE CONTROL (کنترل متغیر) VOLTS/DIV	در صورتی‌که این کلید در حالت(۵×)قرار گیرد سیگنال اعمالی به کانال(۱) بر روی صفحه نمایش نمایان خواهد شد و اندازه‌گیری در این حالت 1.5برابر ولتاژ واقعی می‌باشد.
۱۴	INV/NORM	با انتخاب این کلید در حالت INV سیگنال اعمالی به کانال (۲) از نظر جبری معکوس خواهدشد.
۱۵	MODE	این کلید در حالت CH_1 موج اعمال شده به کانال (۱) و نیز در حالت CH_2 موج اعمالی به کانال (۲) را نشان می‌دهد. در صورتی‌که این کلید در حالت DUAL قرار گیرد هر دو موج به‌صورت همزمان قابل مشاهده است ودر حالت ADD موجی که نمایش داده می‌شود مجموع دو موج کانال (۱) و (۲) می‌باشد.
۱۶ ۱۷	MODE TRIGGER SOURCE	همان‌طور که در قسمت لامپ اشعه کاتدی اشاره شد برای اینکه روی صفحه اسیلوسکوپ شکل موج ورودی را داشته باشیم باید به صفحات عمودی یک موج دندانه اره‌ای وصل کنیم که این موج دندانه اره‌ای توسط یک ژنراتور در داخل اسیلوسکوپ تولید می‌شود اما شرط داشتن یک شکل ثابت روی صفحه اسیلوسکوپ این است که دوره تناوب موج دندانه‌اره‌ای مضرب صحیحی از دوره تناوب ولتاژ ورودی باشد. این عمل باید با تغییرات کوچک و پیوسته‌ای که به فرکانس موج و دندانه‌اره‌ای داده می‌شود، انجام گیرد. اما چون در آن صورت دوره تناوب موج مورد مطالعه را با استفاده از درجه‌بندی صفحه نمی‌توان دقیقاً تعیین کرد ناچار از روش کنترل دیگری به نام Triggering استفاده می‌شود که فرمان شروع هر سیکل دندانه اره‌ای را در زمان مناسب به مولد جاروب‌کننده می‌دهد البته راه‌های اعمال این فرمان متفاوت است. شما در آزمایش‌های خود کلید TRIGGERSOURCE را همواره روی VERT و کلید MODE را همواره روی AUTO قرار دهید.
۱۸	TRIG LEVEL	با این پیچ می‌توان منحنی را از هر نقطه مورد نظر اعم از min ، max، صفر و یا نقاط مابین آنها روی صفحه آغاز نمود و در ضمن زمان مناسب برای شروع، جهت ثابت ماندن موج روی صفحه با استفاده از این پیچ انجام می‌گیرد.
۱۹	SLOPE	به‌وسیله این دکمه می‌توان نقطه شروع موج روی صفحه را به دلخواه در قسمتی که شیب منحنی مثبت و یا درقسمتی که شیب آن منفی است قرار داد.
۲۰	DC-GND-AC	چنانچه این کلید را روی(Ground) GND قرار دهیم صفحات انحراف‌دهنده عمودی هر دو به زمین وصل می‌شوند (حتی اگر ولتاژی هم به ورودی Y اعمال شده باشد) و فقط خطی که ناشی از جاروب شدن صفحه به‌وسیله ژنراتور دندانه‌اره‌ای است مشاهده می‌شود. اگر کلید را روی AC قرار دهیم از موجی که به ورودی Y وصل کرده‌ایم فقط قسمت متغیر AC آن به صفحات مزبور می‌رسد و قسمت DC آن حذف می‌شود و چنانچه کلید راروی DC قرار دهیم همه موج اعمال شده، AC و DC به صفحات انحراف دهنده عمودی می‌رسد.

حال‌که‌باکلیدهاو ولوم‌های‌پانل‌اسیلوسکوپ آشنا شدید، در ادامه به بررسی نحوه اندازه‌گیری ولتاژ، زمان تناوب، فرکانس، اختلاف فاز می‌پردازیم.

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 وسپس با قرار دادن کلید AC-GND-DC روی حالت GND اشعه را ترجیحا در وسط صفحه نمایش اسیلوسکوپ و یا در هر نقطه دلخواه دیگری از صفحه نمایش تنظیم می‌کنیم و سپس کلید بالا را در حالت DC قرار می‌دهیم تا سیگنال اعمال شده به اسیلوسکوپ بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر شود. حال در صورتی‌که سیگنال ورودی، یک سیگنال AC باشد برای به‌دست آوردن ولتاژ پیک آن، تعداد خانه‌های اشغال شده بین محل تنظیم

اشعه در حالت GND و پیک سیگنال AC را شمرده و در ضریب Volt/Div ضرب می‌کنیم و برای به‌دست آوردن ولتاژ موثر یک سیگنال، مقدار ولتاژ پیک به دست آمده را بر۱,۴۱۴ تقسیم می‌کنیم. به‌عنوان مثال در شکل (۵-۱۰) یک سیگنال سینوسی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده شده است. اگر ضریب Volt/Div برابر با ۵ ولت باشد مقدار ولتاژ پیک و موثر این سیگنال را به‌دست آورید.



شکل۵-۱۰

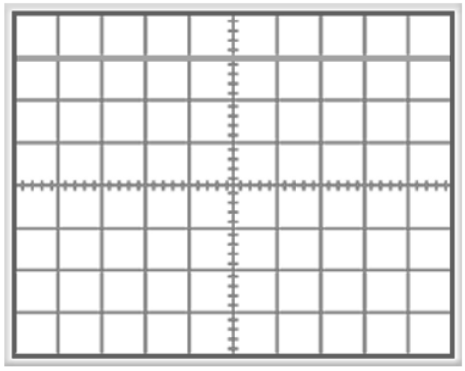
فاصله قله سیگنال سینوسی نمایش داده شده تا محور Xها برابر است با فاصله دره این سیگنال سینوسی تا محور Xها. بنابراین محور Xها را به‌عنوان ولتاژ صفر ولت در نظر می‌گیریم. حال برای به‌دست آوردن ولتاژ پیک سیگنال سینوسی ابتدا تعداد خانه‌های بین پیک سیگنال سینوسی و محور X ها را می‌شماریم که با توجه به شکل تعداد این خانه‌ها سه عدد می‌باشد و سپس با ضرب کردن تعداد خانه‌های شمارش شده در ضریب Volt/Div مقدار ولتاژ پیک سیگنال سینوسی بدست می‌آید. یعنی در این‌مثال مقدار ولتاژ پیک سیگنال سینوسی برابر است با:

$V_p=3\times5v=15v$

ولتاژ مؤثر سیگنال سینوسی:

$$V_{eff}=\frac{1.5v}{1.414}=1.6v$$

حال اگر ولتاژ مورد اندازه‌گیری یک ولتاژDC باشد تعداد خانه‌های اشغال شده بین محل تنظیم اشعه در حالت GND و ولتاژ DC را شمرده و در Volt/Div ضرب می‌کنیم تا مقدار ولتاژ DC به‌دست آید. به‌عنوان مثال در شکل (۶-۱۰) یک ولتاژ DC روی صفحه، نمایش داده شده است. اگر ضریب Volt/Div برابر با ۲ ولت باشد مقدار این ولتاژ DC را به‌دست آورید:



شکل ۶-۱۰

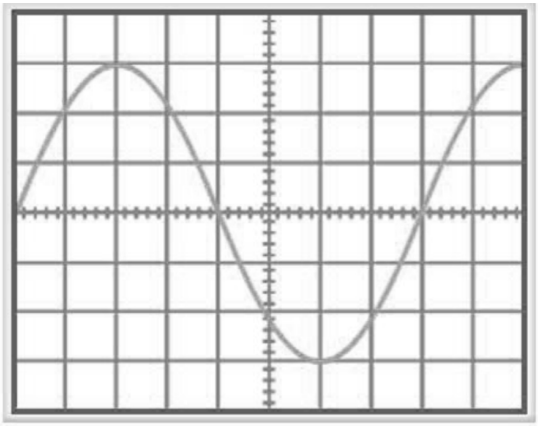
ابتدا تعداد خانه‌های بین ولتاژ DC و محور Xها را می‌شماریم که با توجه به شکل تعداد این خانه‌ها ۳ می‌باشد. حال از ضرب تعداد خانه‌های شمارش شده در ضریب Volt/Div مقدار ولتاژ DC به‌دست می‌آید.

$V_{DC}=6=3\times2$

اندازه‌گیری زمان‌تناوب و فرکانس

برای اندازه‌گیری زمان‌تناوب یک موج متناوب باید ابتدا ولوم Volt Variable را در حالت Cal قرار داده و سپس تعدا خانه‌ها را در ضریب Time/Div ضرب کنیم.

به‌عنوان مثال به‌فرض اینکه ضریب Time/Div برابر با ۰,۵ میلی‌ثانیه و ولوم Volt Variable در حالت Cal باشد زمان تناوب شکل موج نمایش داده شده در شکل (۷-۱۰) را به‌دست آورید.



شکل ۷-۱۰

طبق شکل زمان تناوب برابر است با:

$T=0.5\times8ms=4ms$

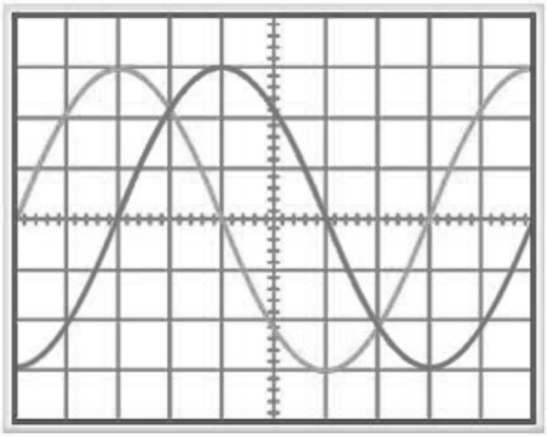
اگربخواهیم فرکانس‌یک سیگنال متناوب را بدست آوریم تنها کافی است عدد یک را بر زمان تناوب آن سیگنال تقسیم کنیم:

$$F=\frac{1}{T}=\frac{1}{4\ ms}=250HZ$$

اندزه‌گیری اختلاف فاز

باتوجه‌به اینکه اسیلوسکوپ‌های دو کاناله می‌توانند هم‌زمان دو شکل‌موج را نمایش دهند امکان اندازه‌گیری اختلاف فاز بین دو موج متناوب هم فرکانس توسط این‌نوع اسیلوسکوپ‌ها امکان‌پذیر است. برای این‌منظور دو روش وجود دارد. در روش نخست ابتدا توسط کلید Time/Div و ولوم Volt Variable سعی می‌کنیم یک سیکل از سیگنال متناوب، تعداد خانه‌های زیادی را در برگیرد. سپس ۳۶۰ درجه را بر تعداد خانه‌های دربرگرفته شده توسط یک سیکل تقسیم می‌کنیم تا مقدار اختلاف فاز به ازای هر خانه مشخص شود. سپس تعداد خانه‌های قرار گرفته شده 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 به‌دست آید. اختلاف فاز را با ϕ نمایش می‌دهند. به‌عنوان مثال در شکل (۸-۱۰) اختلاف فاز بین دو شکل موج چقدر است؟



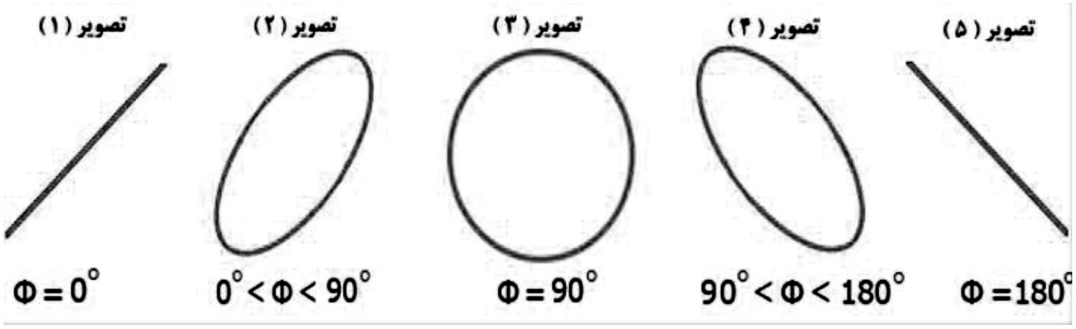
شکل۸-۱۰

اختلاف فاز به ازا هر خانه $= \frac{360°}{8} = 45$

$\phi = 45^{\circ} * 2 = 90^{\circ}$

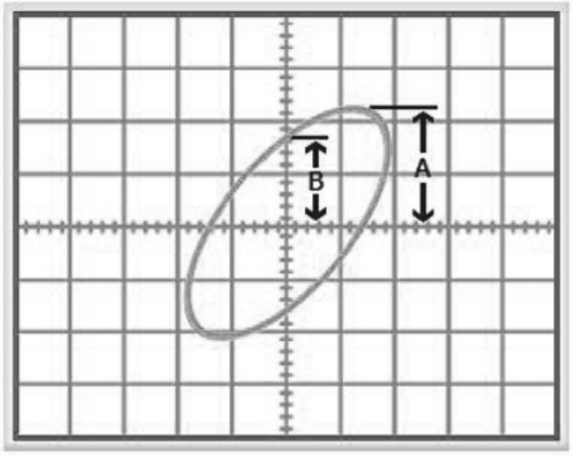
بنابراین این دو شکل موج با همدیگر ۹۰ درجه اختلاف فاز دارند.

دومین روش برای اندازه‌گیری اختلاف فاز بین دو شکل، استفاده از اشکال لیساژور است. برای این منظور اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار داده و پس از اعمال شکل موج‌ها به کانال‌های X و Y توسط کلید Volt/Div و ولوم Volt Variable هر یک از دو کانال، شکل موج ایجاد شده بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ را طوری تنظیم می‌کنیم که تا حدامکان بزرگ و تماما داخل صفحه نمایش اسیلوسکوپ باشد. در این صورت یکی از پنج تصویر نمایش داده شده در شکل (۹-۱۰) بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود.



شکل ۹-۱۰

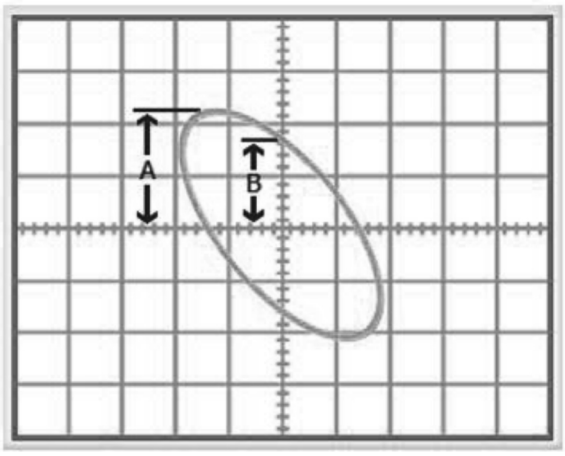
در تصویرهای ۱و۳و۵ از شکل (۹-۱۰) مقدار اختلاف فاز بین دو موج مشخص است اما تصویر ۲ برای بدست آوردن اختلاف فاز بین دو موج به روش زیر عمل می‌کنیم.



شکل۱۰-۱۰

$$\phi = \sin^{-1}(\frac{B}{A})$$

در صورت ایجاد تصویر ۴ از شکل (۹-۱۰) بر روی صفحه نمایشگر از رابطه زیر برای محاسبه اختلاف فاز بین دو شکل موج استفاده می‌شود.



شکل ۱۱-۱۰

$$\phi = 180 - \sin^{-1}(\frac{B}{A})$$