# دستورکار آزمایشگاه فیزیک (۲)

دانشکده علوم-دانشگاه خلیج فارس بوشهر

دانشگاه خلیج فارس

سال تحصیلی ۹۷-۹۶

تهیه و تنظیم: دکتر معصومه قاسمی

# فهرست


کار در آزمایشگاه ..... ۱

خطاها ..... ۲

رسم نمودار ..... ۵

آشنایی با وسایل ..... ۶

۱,۱ مقاومت های رنگی ..... ۶

۱,۲ مولتی متر یا آوومتر دیجیتال ..... ۷

۱,۳ برد آموزشی یا بِرد بُورد ..... ۸

آزمایش ۱- مقاومت های رنگی و بستن یک مدار ساده ..... ۱۰

آزمایش ۲- قانون اهم ..... ۱۳

آزمایش ۳- مدارهای ساده (سری، موازی، مختلط) ..... ۱۶

آزمایش ۴- قوانین کیرشهوف- پل وتستون ..... ۲۰

آزمایش ۵- شارژ و دشارژ خازن ..... ۲۳

آزمایش ۶- آشنایی با اسیلوسکوپ ..... ۲۷

آزمایش ۷- بررسی مدارهای R-R و R-C در جریان متناوب ..... ۴۰

آزمایش ۸- بررسی مدارهای R-L و R-L-C در جریان متناوب و پدیده تشدید ..... ۴۶

# کار در آزمایشگاه

**دانشجویان** محترم به نکات زیر توجه کنید:

۱. سر ساعت برای انجام آزمایش‌ها در آزمایشگاه حضور داشته باشید.

۲. از غیبت در جلسات آزمایشگاه بپرهیزید. تنها یک جلسه قابل‌قبول است، البته در صورتی که با گروهای دیگر جبران شود. هرچند، غیبت در ارزشیابی لحاظ می‌گردد.

۳. آزمایش‌ها را در گروه‌های سه نفره انجام دهید. تمام اعضای گروه سعی کنند در تمام فعالیت‌ها شرکت کنند و نحوه کار با همه دستگاه‌ها را به صورت فردی یاد بگیرند.

۴. گزارش‌کار را به صورت فردی تحویل دهید. گزارش‌کار را فقط در جزوه‌ای که به این منظور تهیه شده بنویسید. هیچ فرمت دیگری پذیرفته نمی‌شود.

۵. قبل از انجام هر آزمایش، دستورکار مربوط به آن آزمایش را با دقت بخوانید. در ابتدای هر جلسه از محتوی آزمایش آن روز کوییز گرفته می شود و نمره آن در ارزشیابی نهایی لحاظ می‌گردد.

# خطاها

**در هر** اندازه‌گیری کمیت اندازه‌گیری شده از مقدار واقعی آن انحراف دارد. به این انحراف «خطای اندازه‌گیری» گفته می‌شود. عوامل **مختلفی** از جمله شخص اندازه‌گیری کننده، وسیله اندازه‌گیری و محیط انجام آزمایش باعث بروز این خطاها می‌شوند. خطای اندازه‌گیری **ممکن** است خطای «اتفاقی» یا خطای «سیستماتیک» باشد.

**خطای *اتفاقی*** یا ***نامنظم***، ناشی از شخص آزمایش کننده و عوامل محیطی است و اغلب با تکرار اندازه گیری شناسایی می شوند. این خطاها **به صورت** تصادفی حول مقدار واقعی کمیت پراکنده هستند.

**خطای *سیستماتیک*** یا ***منظم***، به آسانی قابل شناسایی نیستند زیرا باعث شیفت کمیت مورد اندازه‌گیری به مقادیر بیشتر یا کمتر می شوند. **این خطاها از** کالیبره نبودن دستگاه‌ها، معیوب بودن دستگاه‌ها و یا نادیده گرفتن ضرایب تصحیح ایجاد می شوند.

**دقت اندازه‌گیری**: هر وسیله‌ای دقت اندازه‌گیری محدودی دارد که کم‌ترین مقدار قابل اندازه‌گیری با آن وسیله است.

**کمیت‌ها** را می توان به طور ***مستقیم*** یا ***غیرمستقیم*** اندازه‌گیری کرد و خطای مربوط به هر اندازه‌گیری، بسته به نوع آن به دست می آید. **برای مثال** اگر طولی را با خط‌کش اندازه بگیریم، آن را به طور مستقیم اندازه‌گیری کرده‌ایم. اما اگر طول موردنظر را از طریق اندازه‌گیری سرعت و زمان و از رابطه $x = vt$ به دست آوریم، از روش غیر مستقیم برای اندازه گیری طول استفاده کرده‌ایم.

### خطای مطلق، خطای نسبی و درصد خطای نسبی

**خطای مطلق** حداکثر اختلاف کمیت با مقدار واقعی آن است. مثال: اگر طول اندازه‌گیری شده را $x$ بنامیم و مقدار واقعی آن طول $x'$ باشد، **خطای مطلق** اندازه‌گیری $\Delta x = |x - x'|$ می‌باشد. پس در نهایت طول اندازه‌گیری شده را به صورت $x \pm \Delta x$ بیان می کنیم.

**خطای نسبی** (RE) میزان دقت آزمایش را نشان می دهد و نسبت خطای مطلق به کمیت اندازه‌گیری شده است: $RE = \frac{\Delta x}{x}$

**درصد** خطای نسبی، از رابطه روبرو به دست می آید: $\%RE = \frac{\Delta x}{x} \times 100$

### خطای اندازه گیری مستقیم

**کمیتی** را چندین بار اندازه به صورت مستقیم گرفته‌ایم و به دلیل عوامل خطا در هر بار اندازه‌گیری داده های متفاوتی به دست آورده‌ایم. **محتمل‌ترین** مقدار کمیت، میانگین تمام داده هاست که برای کمیت $x$ که $n$ بار اندازه‌گیری شده است به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \bar{x}_i}{n}$$

**برای** محاسبه خطای میانگین، اگر تعداد دفعات اندازه‌گیری کمتر از ۶ باشد: $\overline{\Delta x} = |x_i - \bar{x}|_{max}$

و اگر بیش از ۶ بار اندازه‌گیری انجام شده باشد: $\overline{\Delta x} = \frac{\sum_{i=1}^{n}|x_i - \bar{x}|}{n}$

اگر $\Delta x$ محاسبه شده کم‌تر از دقت وسیله اندازه‌گیری باشد، خطای مطلق را برابر با دقت وسیله می گیریم.

اگر فقط یک بار اندازه‌گیری انجام شود، خطای مطلق برابر با دقت وسیله اندازه‌گیری است.

در نهایت کمیت را به صورت $\bar{x} \pm \overline{\Delta x}$ گزارش می‌کنیم.

## خطای اندازه‌گیری غیرمستقیم

۱. *خطای حاصل جمع و تفریق:*

**جمع**-کمیت $x$ مجموع کمیت های اندازه‌گیری شده a و b است: $x = a + b$

خطای مطلق $x$ مجموع خطاهای مطلق a و b است:

$$x \pm \Delta x = (a \pm \Delta a) + (b \pm \Delta b) = (a + b) \pm (\Delta a + \Delta b)$$

پس $\Delta x = \Delta a + \Delta b$ و $\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a+b}$ = خطای نسبی

**تفریق**-کمیت $y$ حاصل تفریق کمیت های اندازه‌گیری شده a و b است: $x = a - b$

خطای مطلق $x$ مجموع خطاهای مطلق a و b است:

$$y \pm \Delta y = (a \pm \Delta a) - (b \pm \Delta b) = (a - b) \pm (\Delta a - \Delta b)$$

از آن جا که عوامل خطا یکدیگر را حذف نمی کنند، $\Delta a + \Delta b$ جایگزین $\Delta a - \Delta b$ می‌شود. پس $\Delta y = \Delta a + \Delta b$ و

$\frac{\Delta y}{y} = \frac{\Delta a + \Delta b}{a-b}$ = خطای نسبی

همان‌گونه که مشاهده شد، خطای نسبی جمع از خطای نسبی تفریق کم‌تر است.

۲. *خطای توابع مختلف:*

خطای انواع توابع را می توان از روش ln گیری محاسبه کرد:

**ضرب**- کمیت u از حاصل‌ضرب کمیت‌های اندازه‌گیری شده a و b به دست می آید: $u = ab$

برای محاسبه خطا از طرفین رابطه ln می گیریم:

$$\ln u = \ln a + \ln b$$

سپس مشتق می گیریم:

$$d(\ln u) = d(\ln a) + d(\ln b) \rightarrow \frac{du}{u} = \frac{da}{a} + \frac{db}{b} \rightarrow \frac{\Delta u}{u} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \rightarrow$$

$$\Delta u = u\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right)$$

در حالت کلی:

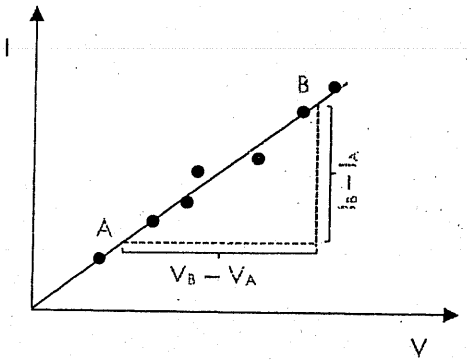
$$u = a \times b \times c \times \dots$$
$$\Delta u = u\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} + \cdots\right)$$

تقسیم- کمیت v از حاصل‌تقسیم کمیت‌های اندازه‌گیری شده a و b به دست می آید: $v = \frac{a}{b}$

$$\ln v = \ln a - \ln b$$
$$d(\ln v) = d(\ln a) - d(\ln b) \rightarrow \frac{dv}{v} = \frac{da}{a} - \frac{db}{b} \rightarrow \frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \rightarrow$$
$$\boldsymbol{\Delta v = v\left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right)}$$

# رسم نمودار

گاهی در تکرار اندازه‌گیری ها، کمیتی را به طور مستقل تغییر می دهیم (مثلاً کمیت y) و کمیت وابسته به آن (مثلاً کمیت x) را اندازه می‌گیریم. سپس می توان نمودار تغییرات y بر حسب x را رسم نمود و از آن کمیت سومی را به صورت غیر مستقیم اندازه‌گیری کرد. برای مثال، مقاومت یک رسانا، R، را می توان از نسبت ولتاژ دو سر رسانا، V، به جریانی که از آن می‌گذرد، I، به طور غیرمستقیم (رابطه R=V/I) به دست آورد. در عمل می توان مقدار ولتاژ را تغییر داد و هر بار جریان متناسب با آن را اندازه گرفت. در نهایت با رسم نمودار جریان بر حسب ولتاژ که نموداری خطی است و محاسبه شیب نمودار، مقدار مقاومت رسانا را تعیین کرد. در نمودار روبرو:




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

که در واقع نمودار خط راستی است که عرض از مبدأ آن صفر و شیب آن 1/R می باشد. شیب چنین خطی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\text{شیب} = \frac{I_B - I_A}{V_B - V_A} = \frac{1}{R} \quad \rightarrow R = \frac{1}{\text{شیب}}$$

و خطای آن با *ln*گیری از رابطه روبرو به دست آید:

$$\Delta a = a\left[\frac{\Delta I_B + \Delta I_A}{I_B - I_A} + \frac{\Delta V_B + \Delta V_A}{V_B - V_A}\right]$$

برای رسم نمودار، بهترین نقاط را به هم وصل نمایید و دقت داشته باشید که لزوماً تمام نقاط روی خط قرار نمی گیرند. گاهی نمودار خطی نیست. در چنین مواقعی ممکن است نمودار لگاریتمی یا نیمه لگاریتمی خطی شود. در این حالت شیب نمودارهای لگاریتمی یا نیمه لگاریتمی را محاسبه کنید و کمیت موردنظر را از آن به دست آورید.

# آشنایی با وسایل

## ۱,۱ مقاومت های رنگی

یکی از انواع مقاومت‌های استاندارد، مقاومت‌های رنگی هستند. در این مقاومت‌ها، مقدار مقاومت و درصد خطای (تلورانس) آن را با استفاده از نوارهای رنگی روی آن مشخصی می‌کنند. در این آزمایشگاه از مقاومت‌های چهار نواری استفاده می‌شود. هر حلقه رنگی کد مخصوص خود را دارد. جدول (۱) زیر کد رنگ‌های مختلف را نشان می‌دهد.

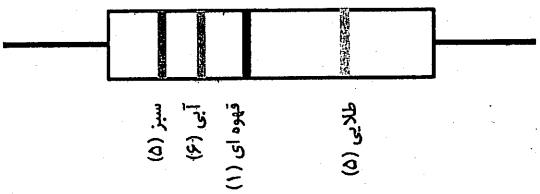
جدول ۱. کدهای مقاومت رنگی

| رنگ | کد | درصد خطا |
|---|---|---|
| سیاه | ۰ | --- |
| قهوه ای | ۱ | ۱ |
| قرمز | ۲ | ۲ |
| نارنجی | ۳ | --- |
| زرد | ۴ | --- |
| سبز | ۵ | --- |
| آبی | ۶ | --- |
| بنفش | ۷ | --- |
| خاکستری | ۸ | --- |
| سفید | ۹ | --- |
| طلایی | --- | ۵ |
| نقره ای | --- | ۱۰ |
| بی رنگ | --- | ۲۰ |

در مقاومت‌های چهار نواری معمولاً یکی از نوارها که مربوط به درصد خطاست، با بقیه نوارها کمی فاصله دارد. برای خواندن مقدار مقاومت، آن را طوری در دست بگیرید که نوار خطا سمت راست قرار بگیرد. سه نوار دیگر مقدار مقاومت را بر حسب اهم (Ω) مشخص می‌کنند. از سمت چپ، دو نوار اول مشخص کننده رقم اول و دوم یک عدد دو رقمی هستند و نوار سوم نماینده توانی از ۱۰ است که باید در این عدد دو رقمی ضرب شود. اگر رنگ اول، دوم و سوم به ترتیب با a، b و c نام‌گذاری شوند، مقدار مقاومت ار رابطه زیر به دست می آید:

$$R = ab \times 10^{c}$$

مثال:

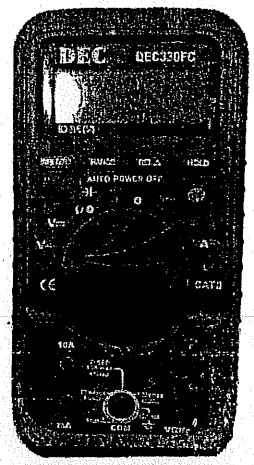



$R = 56 \times 10^{1} = 560\ \Omega$

خطا $= \%5 \times 560 = 28\ \Omega$

$\rightarrow\ R \pm \Delta R = 560 \pm 28\ \Omega$

## ۱,۲ مولتی متر یا آوومتر دیجیتال




مطالب این بخش از سایت https://btmco.ir/MultiMeter.aspx نقل شده است.

مولتی‌متر دستگاهی است که به وسیله آن می توان چند کمیت مختلف را اندازه گیری کرد. تمام مولتی‌مترها با جزئی اختلاف مانند یکدیگر هستند. مولتی‌متر دیجیتال از یک قاب متحرک تشکیل شده است که در داخل یک میدان مغناطیسی دائمی قرار گ رفته و میزان چرخش آن را سیگنال نشان می‌دهد. وقتی جریان معینی از قاب عبور می‌کند، صفحه دیجیتال متصل به آن تغییر کرده و مقدار جریان را نشان می‌دهد. روی صفحه آوومتر قسمت‌های زیر مشاهده می شود:

۱. صفحه دیجیتال
۲. کلید انتخاب یا سلکتور
۳. ترمینال‌ها و دکمه‌های تنظیم کننده

در مولتی‌متر مورد نظر روی صفحه، برای کمیت‌های مختلف در چهار ردیف قوس‌های مدرج تعیین شده است که که هر ردیف به درجات مختلف تقسیم شده است روی صفحه علائم V برای اختلاف پتانسیل، A برای شدت جریان، Ω برای مقاومت الکتریکی، AC برای جریان متناوب و DC برای جریان مستقیم به کار رفته است. معمولا درجه‌بندی مربوط به مقاومت الکتریکی از راست به چپ و سایر درجه‌بندی ها از چپ به راست می باشد.

سلکتور کلیدی است که می تواند روی صفحه دایره شکل حول خود حرکت کند. در محیط دایره درجاتی است که حوزه کار دستگاه را نشان می‌دهد. اعدادی که کلید سلکتور مقابل آن‌ها قرار داده می شود ممکن است کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از درجات قوس‌های مدرج باشند. در عمل حوزه کار انتخاب شده را بر آخرین عدد قوس مدرج تقسیم نموده، حاصل تقسیم را که ضریب قرائت نامیده می شود در عدد متقابل به عقربه ضرب می نماییم. به این ترتیب مقدار کمیت به دست می آید.

**هنگام کار با دستگاه مولتی متر توجه به نکات زیر ضروری است:**

۱. برای اندازه گیری شدت جریان باید دستگاه را به طور سری در مدار قرار داد.
۲. برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل باید دستگاه را به طور موازی بین دو نقطه از مدار قرار داد.
۳. هنگام اندازه گیری مقاومت لازم است جریان برق را قطع کنیم. در غیر این صورت به دستگاه آسیب می رسد.
۴. دستگاه را با احتیاط جا به جا می کنیم و از وارد آمدن ضربه به آن و یا سقوط دستگاه جلوگیری می نماییم.
۵. پیچ تنظیم صفر دستگاه را نباید دستکاری کرد، زیرا این بخش از دستگاه خیلی حساس است و ممکن است فنر مربوط به آن قطع و دستگاه خراب شود.
۶. همیشه هنگام اندازه گیری کمیت ها کلید سلکتور را روی بیشترین درجه قرار می دهیم و در صورت لزوم به تدریج آن را کاهش می دهیم تا به دستگاه لطمه ای وارد نشود.
۷.حتی الامکان کلید سلکتور را در جهت حرکت عقربه های ساعت می چرخانیم، به علاوه چرخاندن سریع کلید سلکتور برای دستگاه خالی

از ضرر نیست.

**طرز کار مولتی متر دیجیتال**

الف) اندازه گیری مقاومت: کلید سلکتور را روی بیشترین پله (Range) مقاومت قرار می دهیم، فیش سیاه رنگ را درون ترمینال (-) یا (com) مشترک و فیش قرمز به درون ترمینالی که مربوط به مقاومت یا (+) است قرار می دهیم. سر دیگر آنها را به طرز مناسبی به طرفین مقاومت مورد نظر وصل می کنیم و مقاومت را می خوانیم.

ب) طرز اندازه گیری ولتاژ مستقیم: سلکتور را برروی DC آورده و فیش سیاه رنگ را درون ترمینال (com) و فیش قرمز را درون ترمینال (+) یا ترمینالی که مربوط به ولت است قرار می دهیم. سر دیگر آنها را به طور مناسب به قطبین مولد یا دو نقطه از مدار وصل می کنیم و ولتاژ را اندازه گیری می کنیم..

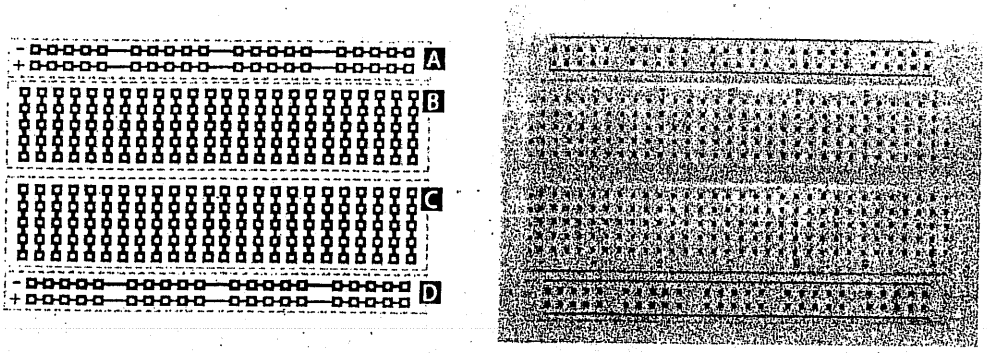
ج) طرز اندازه گیری شدت جریان مستقیم (DCm): یکی از فیشها را به COM و دیگری را به mA وصل و دو سر فیش را هم به قطبین مولد یا دو نقطه از مدار متصل می کنیم و شدت جریان را اندازه گیری می کنیم. برای اندازه گیری شدت جریان های بیش از 30 mA تا 10 A فیش قرمز رنگ را درون ترمینال 10 A قرار می دهیم.

د) طرز اندازه گیری 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 می کنیم.

هـ) طرز اندازه گیری شدت جریان متناوب: فیش سیاه رنگ را درون ترمینال COM و فیش قرمز را درون ترمینال مربوط به mA وصل می کنیم. یا در صورت لزوم به ترمینال 10 A وصل می کنیم.

## ۱,۳ برد آموزشی یا بِرد بُورد

از برد بورد برای بستن مدارهای الکتریکی استفاده می‌شود. این برد شامل تعداد زیادی پایانه است که پایه‌های مقاومت یا خازن را می‌توان در آن‌ها فرو برد و توسط سیم‌های رابط به بقیه مدار وصل کرد. این پایانه‌ها از دو ردیف دو ستونی (ردیف‌های A و D در شکل ۱-ب) و دو ردیف پنج ستونی (ردیف‌های B و C در شکل ۱-ب) تشکیل شده‌اند. در ردیف های A و D که برای اتصال به منبع تغذیه استفاده می‌شوند، معمولاً تمام سوراخ‌های افقی به هم وصل‌اند. این اتصالات در شکل ۱-ب با رنگ های قرمز و آبی مشخص شده اند. در ردیف های B و C سوراخ‌ها در ستون های ۵تایی به هم اتصال دارند. این اتصالات در شکل ۱-ب با خطوط خاکستری نشان داده شده‌اند.




(ب) (الف)

**شکل ۱. (الف) برد آموزشی، (ب) شماتیک برد آموزشی.**

# آزمایش ۱- مقاومت های رنگی و بستن یک مدار ساده

**هدف آزمایش:** آشنایی با مقاومت‌های رنگی و اندازه‌گیری مستقیم مقاومت با آوومتر، آشنایی با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان مستقیم با استفاده از آوومتر و اندازه‌گیری غیر مستقیم مقاومت

**وسایل آزمایش:** سه مقاومت رنگی، برد بورد، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، سیم‌های رابط، آوومتر دیجیتالی

برای اندازه‌گیری مقاومت از روش‌های مستقیم و غیرمستقیم استفاده می‌شود. این آزمایش از دو بخش انجام می‌شود. در بخش اول مقاومت را به طور مستقیم با استفاده از کدهای رنگی و با استفاده از آوومتر دیجیتالی می خوانیم. در بخش دوم، از روش غیرمستقیم و با استفاده از اندازه‌گیری ولتاژ و جریان، مقاومت را اندازه می‌گیریم.

**الف) اندازه‌گیری مستقیم مقاومت با کدهای رنگی و با آوومتر دیجیتالی:**

**مبانی نظری:** اگر دو رشته سیم را به اختلاف پتانسیل V وصل کنیم، از سیم جریان الکتریکی عبور می کند. این جریان به هدایت سیم یا مقاومت الکتریکی آن بستگی دارد. هدایت معرف قابلیت عبور جریان الکتریکی از سیم است و مقاومت سیم، یعنی نسبت اختلاف پتانسیل به شدت جریان عبوری از سیم، عکس هدایت است. مقاومت سیم با توجه به جنس آن تابعی از ولتاژ و یا جریان الکتریکی و نیز درجه حرارت است. چنین رشته ای را مقاومت الکتریکی می‌نامیم.

**روش انجام آزمایش:**

۱. سلکتور آوومتر دیجیتالی را در محدوده‌ی اندازه‌گیری مقاومت آورده و آن را به اهم‌متر تبدیل کنید.
۲. فیش سیاه‌رنگ آوومتر را در پایانه‌ی منفی (COM یا -) و فیش قرمزرنگ را در پایانه‌ی مثبت (+) قرار دهید.
۳. اگر از آوومتر دیجیتالی استفاده می‌کنید، انتهای دو فیش آن را به یکدیگر وصل کنید و از صفر شدن آن به صورت خودکار اطمینان حاصل کنید.
۴. سه مقاومت رنگی انتخاب کنید و آن‌ها را در پایانه‌های مناسبی از برد آموزشی محکم کنید.
۵. یک بار با استفاده از کدهای رنگی و بار دیگر با استفاده از آوومتر دیجیتالی اندازه‌ی هر مقاومت را تعیین کرده و جدول زیر را کامل کنید:

| | نوار اول | نوار دوم | نوار سوم | نوار چهارم | $R_c \pm \Delta R_c$ (با کد رنگی) | $R_d \pm \Delta R_d$ (با آوومتر) | $\frac{\lvert R_c - R_d \rvert}{R_d} \times 100$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | | | | | | |
| ۲ | | | | | | | |
| ۳ | | | | | | | |

**ب) اندازه‌گیری غیرمستقیم مقاومت با استفاده از یک مدار ساده**

**مبانی نظری:** ساده‌ترین مدار الکتریکی شامل یک مقاومت (R) است که دو سر آن به یک منبع تغذیه ولتاژ مستقیم وصل شده است. در اثر اختلاف پتانسیل (V) ایجاد شده در دو سر مقاومت یک جریان الکتریکی (I) از آن عبور خواهد کرد که در رابطه‌ی $R = \frac{V}{I}$ صدق می کند. کمیت‌های V، I و R را می‌توان با استفاده از آوومتر اندازه‌گیری کرد و رابطه‌ی $R = \frac{V}{I}$ را تحقیق کرد.

**روش انجام آزمایش:**

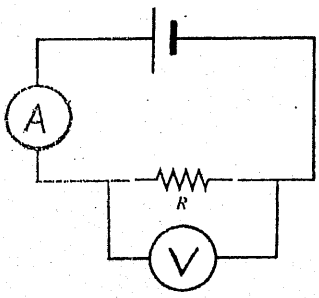
۱. یک مقاومت رنگی را انتخاب کنید و آن را در برد آموزشی محکم کنید.

۲. با استفاده از آوومتر اندازه‌ی مقاومت را به طور مستقیم تعیین نموده و در جدول یادداشت کنید ($R_d \pm \Delta R_d$).

۳. منبع تغذیه ولتاژ مستقیم را در حالی که خاموش است، مطابق شکل به کمک سیم‌های رابط به دو سر مقاومت متصل کنید.

۴. با انتخاب مناسب سلکتور آوومتر، آن را به آمپرمتر تبدیل کند.

۵. با توجه به قطب‌های مثبت و منفی، آمپرمتر را به طور سری و ولت‌متر را به طور موازی برای اندازه‌گیری جریان عبوری از مقاومت و ولتاژ دو سر آن در مدار قرار دهید. در صورتی که تنها یک آوومتر در اختیار دارید، پس از اندازه‌گیری جریان، آوومتر را در حالت ولت‌متر قرار دهید و با آن ولتاژ را اندازه بگیرید.




۶. پس از بستن مدار بالا، پیچ‌های تنظیم ولتاژ و جریان منبع تغذیه را خلاف عقربه‌های ساعت پیچانده و سپس منبع را روشن کنید.

۷. پیچ تنظیم حداکثر جریان عبوری را روی مقدار مناسبی قرار داده و به آرامی و با استفاده از پیچ‌های تنظیم (coarse) و تنظیم دقیق (fine) ولتاژ، مقدار مناسبی برای ولتاژ به دو سر مقاومت اعمال کنید.

۸. ولتاژ دو سر مقاومت، $V_E$، و جریان عبوری از آن، $I_E$، را اندازه‌گیری کرده و با توجه به رابطه $R = \frac{V}{I}$ اندازه‌ی مقاومت و خطای آن را به طور غیرمستقیم از روابط زیر به دست آورید:

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} \qquad \Delta R_E = R_E \left( \frac{\Delta V_E}{V_E} + \frac{\Delta I_E}{I_E} \right)$$

۹. با تغییر ولتاژ منبع تغذیه، آزمایش را دو بار دیگر تکرار کرده و در مقایسه با اندازه‌گیری مقاومت با آوومتر، درصد انحراف را حساب کرده و جدول زیر را کامل کنید:

| | $R_d \pm \Delta R_d$ | $I_E \pm \Delta I_E$ | $V_E \pm \Delta V_E$ | $R_E \pm \Delta R_E$ | $\frac{\lvert R_d - R_E \rvert}{R_d} \times 100$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | | | | |
| ۲ | | | | | |
| ۳ | | | | | |

**پرسش‌ها:**

۱. از این آزمایش چه نتیجه ای می گیرید؟

۲. رابطه‌ی محاسبه $\Delta R_E$ را ثابت کنید.

# آزمایش ۲- قانون اهم

**هدف آزمایش:** تحقیق قانون اهم، آشنایی با عملکرد رئوستا

**وسایل آزمایش:** مقاومت رنگی، رئوستا، آوومتر، برد بورد، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، سیم‌های رابط

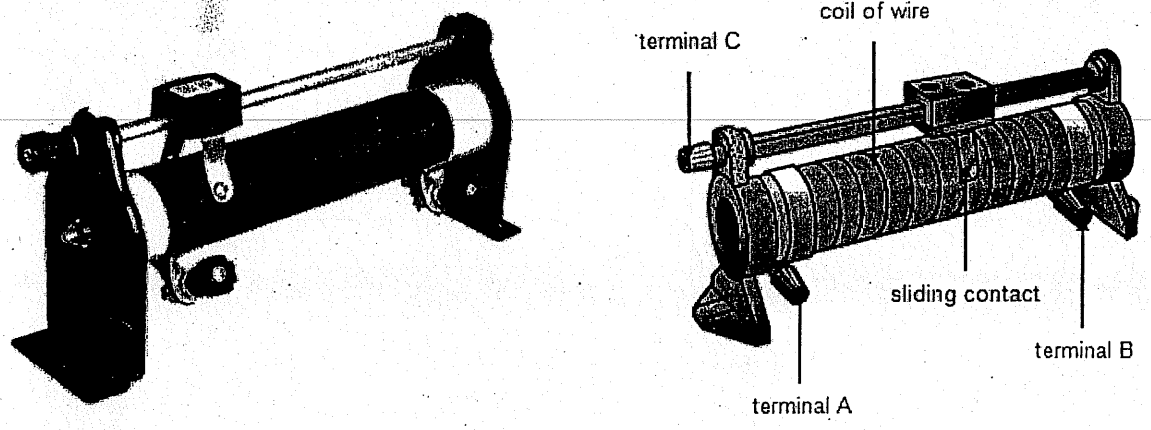
**مبانی نظری:**

اندازه مقاومت سیمی که به اختلاف پتانسیل V وصل شده، بنا به تعریف به صورت تابعی از ولتاژ یا جریان، برابر است با:

$$R(V;I)=\frac{V}{I}$$

اگر نسبت اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت به جریان عبوری از آن مقدار ثابتی باشد، یعنی $R=\frac{V_1}{I_1}=\frac{V_2}{I_2}=\cdots$ یا $V=RI$ که در آن R مقدار ثابتی است و به ولتاژ اعمالی بستگی ندارد، در این صورت مقاومت از قانون اهم پیروی می کند. در این حالت تغییرات ولتاژ بر حسب شدت جریان خطی است. مقاومتی که از این قانون پیروی می‌کند، مقاومت اهمی نامیده می‌شود.

برای تحقیق قانون اهم کافی است به دو سر یک مقاومت ولتاژهای مختلفی را مثلاً به کمک یک منبع تغذیه ولتاژ مستقیم متغیر، اعمال کرد و جریان عبوری از مقاومت را اندازه گرفت. در این صورت، اگر نسبت ولتاژ به جریان به ازای ولتاژهای مختلف، مقدار ثابتی باشد، آن مقاومت از قانون اهم پیروی می‌کند. برای اعمال ولتاژهای مختلف به دو سر یک مقاومت با منبع تغذیه ثابت، می‌توان از رئوستا نیز مطابق آزمایش زیر استفاده کرد.




**شکل ۱. رئوستا**

رئوستا از سیم‌پیچی تشکیل می‌شود که روی یک ماده نارسانا پیچیده شده است. یک لغزانه فلزی (که روی میله‌ای برنجی حرکت می‌کند) با سیم‌پیچ در تماس است و می تواند روی آن بلغزد. در ساختمان هر رئوستا، معمولاً سه پایانه تعبیه شده است. دو پایانه به ابتدا و انتهای سیم‌پیچ (A و B در شکل ۱) و پایانه سوم (C در شکل ۱) به میله‌ی برنجی وصل شده است. در صورتی که از دو پایانه A و B استفاده

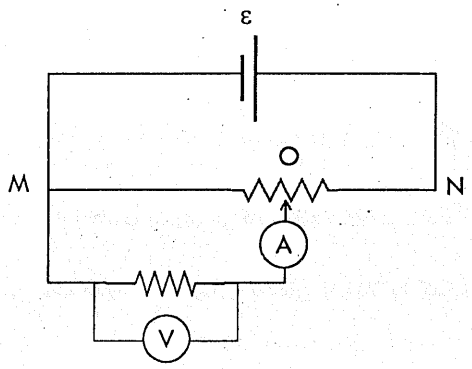
شود، تمام طول سیم‌پیچ وارد مدار می‌شود. اما اگر از پایانه C و یکی دیگر از پایانه‌ها استفاده شود، فقط طول واقع در بین این دو پایانه وارد مدار می‌شود. در چنین حالتی، مقاومتی که در مسیر جریان قرار می‌گیرد، به جای لغزانه بستگی دارد.

**روش انجام آزمایش:**

۱. یک مقاومت دلخواه (حدود ۱ kΩ) را انتخاب کرده و مقدار آن را با آوومتر تعیین کنید.

$R_d \pm \Delta R_d =$

۲. مداری مطابق شکل زیر ببندید.




۳. نقاط M و N رئوستا را به منبع تغذیه وصل کرده و آن را روشن کنید. ولتاژ منبع را با توجه به اندازه مقاومت (حدود ۱۰ ولت) انتخاب کنید.

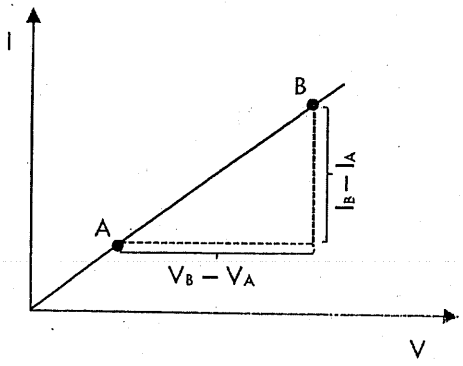
۴. با تغییر مقاومت متغیر توسط لغزانه رئوستا (حرکت دادن لغزانه O)، ولتاژ و جریان عبوری از مقاومت را ده بار تغییر دهید و جدول زیر را پر کنید (یکاها را فراموش نکنید):

| | $V \pm \Delta V$ | $I \pm \Delta I$ | $R \pm \Delta R$ |
|---|---|---|---|
| ۱ | $1 \pm 15\,V$ | $16 \pm 101\,mA$ | $10{,}25\,k\Omega \pm 101$ |
| ۲ | $2 \pm 15\,V$ | $33 \pm 101\,mA$ | |
| ۳ | $3 \pm 15\,V$ | $48 \pm 101\,mA$ | |
| ۴ | $4 \pm 15\,V$ | $65 \pm 101\,mA$ | |
| ۵ | $5 \pm 15\,V$ | $82 \pm 101\,mA$ | |
| ۶ | $6 \pm 15\,V$ | $98 \pm 101\,mA$ | |
| ۷ | $7 \pm 15\,V$ | $117 \pm 101\,mA$ | |
| ۸ | $8 \pm 15\,V$ | $132 \pm 101\,mA$ | |
| ۹ | $9 \pm 15\,V$ | $149 \pm 101\,mA$ | |
| ۱۰ | $10 \pm 15\,V$ | $166 \pm 101\,mA$ | |

۵. مقدار مقاومت میانگین را همراه با خطای آن حساب کنید.

$\bar{R} \pm \overline{\Delta R} =$

۶. نمودار محاسباتی I بر حسب V را روی کاغذ میلیمتری رسم کرده، شیب خط و خطای آن را (با توجه به مقیاس انتخابی) محاسبه کنید.




$$a = \frac{I_B - I_A}{V_B - V_A} =$$

$$\Delta a = a\left(\frac{\Delta I_B + \Delta I_A}{I_B - I_A} + \frac{\Delta V_B + \Delta V_A}{V_B - V_A}\right) =$$

۷. با توجه به این‌که شیب نمودار برابر $\frac{1}{R}$ است، مقدار مقاومت را به همراه خطای آن $\Delta R = R\left(\frac{\Delta a}{a}\right)$ به دست آورید.

$$R \pm \Delta R =$$

**پرسش‌ها:**

۱. آیا مقدار مقاومت انتخابی شما از قانون اهم پیروی می‌کند؟

۲. مقادیر حاصل از اندازه‌گیری مقاومت با آوومتر، میانگین‌گیری و استفاده از نمودار را با یکدیگر مقایسه کنید. کدام یک دقیق‌تر است؟

۳. خطاها را چگونه اندازه‌گیری یا محاسبه کردید؟

# آزمایش ۳- مدارهای ساده (سری، موازی، مختلط)

**هدف آزمایش:** بررسی قوانین مقاومت‌های متوالی، موازی و مختلط

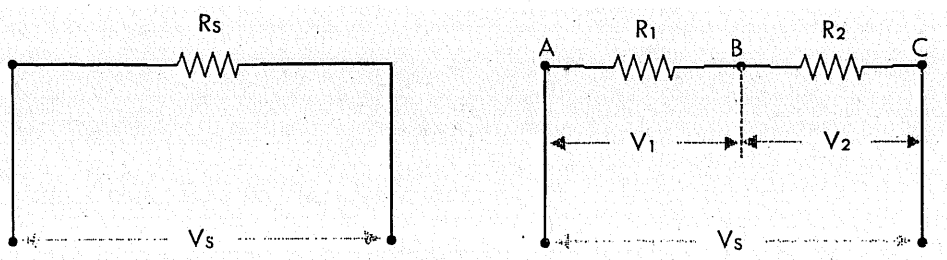
**وسایل آزمایش:** چند مقاومت رنگی، آوومتر، برد بورد، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، سیم‌های رابط

**مبانی نظری:**

اگر دو مقاومت را به طور متوالی (سری) به یکدیگر وصل نموده و آن ها را به اختلاف پتانسیل $V_{AC} = V_A - V_C$ وصل کنیم، قانون بقای بار ایجاب می کند که جریان عبوری از مقاومت برابر باشد ($I_S = I_1 = I_2$). در این حالت با توجه به تعریف اختلاف پتانسیل داریم:

$$V_{AC} = V_A - V_C = (V_A - V_B) + (V_B - V_C) = V_1 + V_2 = V_S$$

که در آن $V_1$ و $V_2$ به ترتیب معرف ولتاژ دو سر مقاومت $R_1$ و $R_2$ است.



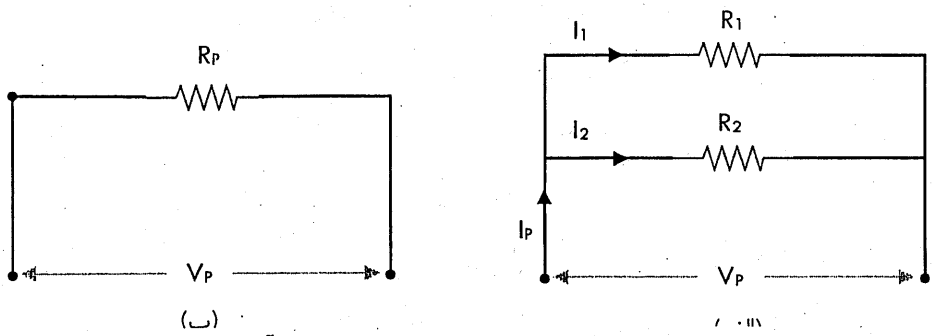

**شکل ۱. (الف) دو مقاومت متوالی و (ب) مقاومت معادل آن‌ها.**

در نتیجه با توجه به رابطه $V = RI$ مقاومت معادل دو مقاومت متوالی برابر است با:

$$R_S = R_1 + R_2$$

به طور کلی مقاومت معادل n مقاومت متوالی از رابطه $R = \sum_{i=1}^{n} R_i$ به دست می‌آید.

اگر دو مقاومت را به صورت موازی به اختلاف پتانسیل یکسان $V_P$ وصل کنیم، آن‌گاه $V_P = V_1 = V_2$ خواهد بود. در این حالت با توجه به قانون بقای بار، جریان کل برابر مجموع جریان‌های عبوری از هر مقاومت است یعنی: $I_P = I_1 + I_2$.




**شکل ۲. (الف) دو مقاومت موازی و (ب) مقاومت معادل آن‌ها.**

در نتیجه به راحتی می‌توان نشان داد که مقاومت معادل دو مقاومت موازی از رابطه زیر به دست می‌آید:

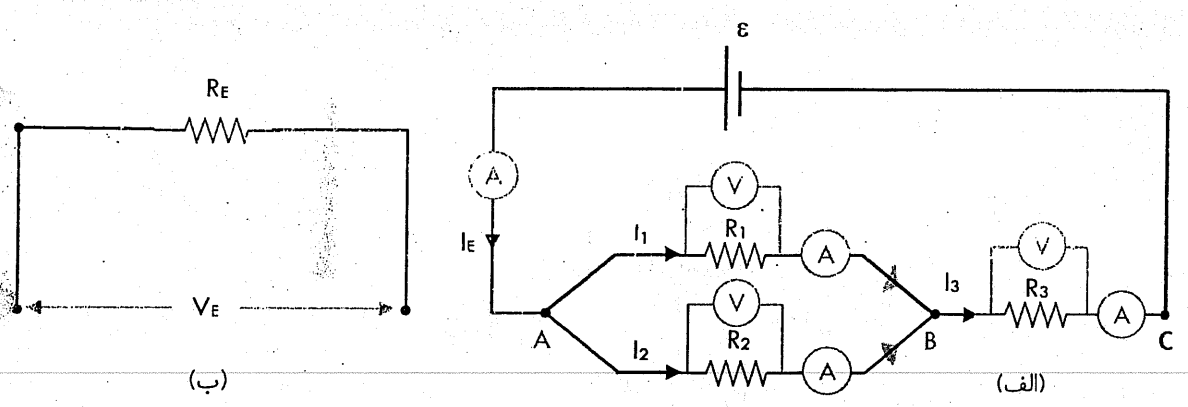
$$R_P = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

در حالت کلی، اگر n مقاومت موازی را به اختلاف پتانسیل یکسانی وصل کنیم، مقاومت معادل از رابطه زیر به دست می آید:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$$

اگر سه مقاومت را مطابق شکل به صورت مختلط بسته و به منبع تغذیه وصل کنیم، با توجه به شکل و قوانین مقاومت‌های موازی و متوالی، به راحتی می‌توان نشان داد که:

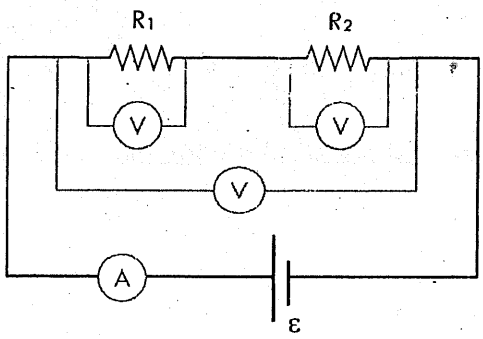
$$\begin{cases} I_E = I_3 \\ I_3 = I_1 + I_2 \\ V_1 = V_2 \\ V_C = V_1 + V_3 = V_2 + V_3 \\ V_E = V_C \end{cases} \quad \text{و} \quad \begin{cases} R_C = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 \\ R_E = \frac{V_E}{I_E} \end{cases}$$




**شکل ۳. (الف) سه مقاومت مختلط و (ب) مقاومت معادل آن‌ها.**

**روش انجام آزمایش:**

**الف) مقاومت‌های متوالی**




۱. دو مقاومت دلخواه انتخاب کنید و اندازه آن‌ها را با کدهای رنگی تعیین کنید ($R_1$ و $R_2$).

۲. دو مقاومت را به صورت متوالی روی برد بورد محکم کرده و آن‌ها را مطابق شکل روبرو با سیم های رابط به منبع تغذیه وصل کنید.

۳. منبع تغذیه را روشن کنید و ولتاژ آن را روی مقدار مشخصی با توجه به اندازه مقاومت‌ها (حدود ۱۰ ولت) قرار دهید. سپس با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان با آوومتر جدول زیر را کامل کنید.

| $R_1 \pm \Delta R_1$ | $R_2 \pm \Delta R_2$ | $R_S \pm \Delta R_S$ | $V_1 \pm \Delta V_1$ | $V_2 \pm \Delta V_2$ | $V_S \pm \Delta V_S$ | $V_E \pm \Delta V_E$ | $I_E \pm \Delta I_E$ | $R_E \pm \Delta R_E$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

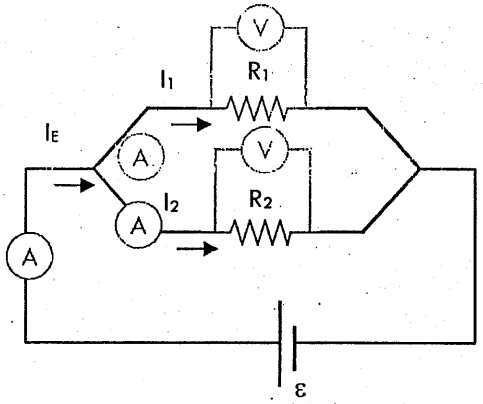
$$\frac{|R_S - R_E|}{R_S} \times 100 = \qquad \frac{|V_S - V_E|}{V_S} \times 100 =$$

که در آن $R_S = R_1 + R_2$، $V_S = V_1 + V_2$ و $R_E = \frac{V_E}{I_E}$ است. همچنین زیرنویس E معرف مقدار تجربی و زیرنویس S معرف مقدار سری است.

**ب) مقاومت‌های موازی**

۱. دو مقاومت دلخواه انتخاب کنید و اندازه آن‌ها را با کدهای رنگی تعیین کنید ($R_1$ و $R_2$).

۲. دو مقاومت را به صورت موازی روی برد بورد محکم کرده و آن‌ها را مطابق شکل زیر با سیم های رابط به منبع تغذیه وصل کنید.




۳. با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان با آوومتر جدول زیر را کامل کنید.

| $R_1 \pm \Delta R_1$ | $R_2 \pm \Delta R_2$ | $R_P \pm \Delta R_P$ | $I_1 \pm \Delta I_1$ | $I_2 \pm \Delta I_2$ | $I_P \pm \Delta I_P$ | $V_E \pm \Delta V_E$ | $I_E \pm \Delta I_E$ | $R_E \pm \Delta R_E$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

$$\frac{|R_S - R_E|}{R_S} \times 100 = \qquad \frac{|I_P - I_E|}{I_P} \times 100 =$$

که در آن $R_P = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}$، $I_P = I_1 + I_2$ و $R_E = \frac{V_E}{I_E}$ است. همچنین زیرنویس E معرف مقدار تجربی و زیرنویس S معرف مقدار سری است.

**پ) مقاومت‌های مختلط**

۱. سه مقاومت دلخواه انتخاب کنید و اندازه آن‌ها را با کدهای رنگی تعیین کنید ($R_1$، $R_2$ و $R_3$).

۲. مدار مختلط را مطابق شکل ۳-الف روی بورد آموزشی بسته و آن را به منبع تغذیه وصل کنید.

۳. منبع تغذیه را روشن کنید و پس از انتخاب ولتاژ مناسب، ولتاژ و جریان قسمت‌های مختلف مدار را به وسیله آوومتر اندازه-گیری کرده و در جدول یادداشت کنید.

| $R_1 \pm \Delta R_1$ | $R_2 \pm \Delta R_2$ | $R_3 \pm \Delta R_3$ | $R_C \pm \Delta R_C$ |
|---|---|---|---|
| | | | |
| $V_E \pm \Delta V_E$ | $I_E \pm \Delta I_E$ | $R_E \pm \Delta R_E$ | $\frac{\lvert R_C - R_E \rvert}{R_C} \times 100$ |
| | | | |
| $I_1 \pm \Delta I_1$ | $I_2 \pm \Delta I_2$ | $I_3 \pm \Delta I_3$ | $\frac{\lvert I_3 - I_E \rvert}{I_3} \times 100$ |
| | | | |

که در آن $V_E$ اختلاف پتانسیل کل (دو سر منبع تغذیه)، $I_E$ جریان کل، و $R_C = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} + R_3$ مقاومت معادل است که از رابطه $R_E = \frac{V_E}{I_E}$ نیز به صورت تجربی به دست می آید.

**پرسش‌ها:**

۱. در آزمایش (ب)، روش تجربی قرار دادن آمپرمتر در مدار را برای اندازه‌گیری جریان‌های $I_1$ و $I_2$ با رسم شکل توضیح دهید.

۲. در آزمایش (پ)، نشان دهید که $\Delta R_C$ از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta R_C = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_1 + \Delta R_2}{R_1 + R_2}\right) + \Delta R_3$$

۳. از مقایسه اندازه‌گیری تجربی و نظری مقاومت معادل چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

# آزمایش ۴- قوانین کیرشهوف- پل وتستون

این آزمایش از دو بخش تشکیل شده است: (الف) قوانین کیرشهوف و (ب) پل وتستون

**(الف) قوانین کیرشهوف**

**هدف آزمایش:** بررسی قوانین کیرشهوف در مدارهای الکتریکی

**وسایل آزمایش:** سه مقاومت رنگی، آوومتر، دو دستگاه منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، سیم‌های رابط

**مبانی نظری:**

(۱) قانون گره: اگر جریان‌های ورودی به هر گره یا انشعاب را مثبت و جریان‌های خروجی را منفی بگیریم، در هر گره جمع جبری جریان-ها صفر است (اصل پایستگی بار الکتریکی): $\sum I = 0$

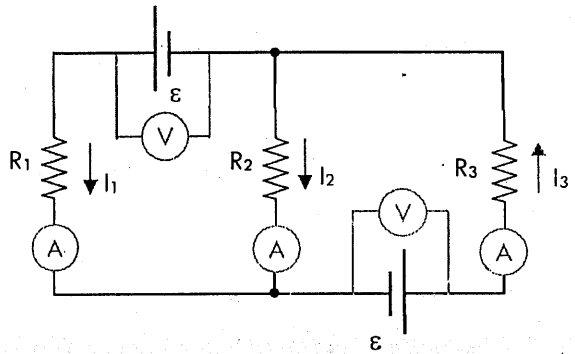
(۲) قانون حلقه: در هر مسیر بسته یا حلقه، جمع جبری اختلاف پتانسیل‌ها برابر صفر است (اصل پایستگی انرژی): $\sum V = 0$

هنگام استفاده از قوانین کیرشهوف، موارد زیر را به خاطر داشته باشید:

- ابتدا جهتی فرضی برای جریان در هر حلقه انتخاب کنید. پس از حل معادلات و یافتن جریان در حلقه‌ها، برای هر جریانی که منفی به دست می آید، جهت جریان در آن حلقه را معکوس می‌کنیم.
- طبق قرارداد، جریان‌های ورودی را با علامت مثبت و جریان‌های خروجی را با علامت منفی نشان می‌دهیم.
- هنگامی که در جهت جریان از مقاومت R می گذریم، پتانسیل به اندازه IR− کاهش و اگر در خلاف جهت جریان از آن بگذریم پتانسیل به اندازه IR+ افزایش می یابد.
- هنگام گذر از منبع تغذیه بدون توجه به جهت جریان اگر از قطب منفی به قطب مثبت منبع تغذیه برویم، پتانسیل به اندازه ε+ (نیروی محرکه منبع تغذیه) افزایش و اگر از قطب مثبت به منفی برویم به اندازه ε- کاهش می یابد.

**روش انجام آزمایش:**

۱. سه مقاومت مختلف را انتخاب کرده و پس از تعیین اندازه آن‌ها، نتایج را در جدول یادداشت کنید.
۲. مداری مطابق شکل زیر ببندید.



۳. اختلاف پتانسیل دو سر منبع تغذیه‌ها را اندازه بگیرید و نتایج را در جدول یادداشت کنید.

| $R_1 \pm \Delta R_1$ | $R_2 \pm \Delta R_2$ | $R_3 \pm \Delta R_3$ | $V_1 \pm \Delta V_1$ | $V_2 \pm \Delta V_2$ |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

۴. شدت جریان عبوری از هر مقاومت را به صورت نظری و با توجه به قوانین کیرشهوف، با انتخاب دو حلقه و یک گره در مدار، و پس از عملیات جبری، از روابط زیر، به دست آورید.

$$I_1 = \frac{R_3V_1 + R_2(V_1 + V_2)}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1} \qquad I_2 = \frac{R_1V_2 - R_3V_1}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1} \qquad I_3 = \frac{R_1V_2 + R_2(V_1 + V_2)}{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}$$

۵. مقدار تجربی شدت جریان عبوری از هر مقاومت را با اندازه‌گیری مستقیم به‌وسیله آمپرمتر به دست آورده و جدول زیر را کامل کنید.

| | $I_1 \pm \Delta I_1$ | $I_2 \pm \Delta I_2$ | $I_3 \pm \Delta I_3$ |
|---|---|---|---|
| T (مقدار نظری) | | | |
| E (مقدار تجربی) | | | |
| $\frac{\lvert T - E \rvert}{T} \times 100$ | | | |

**پرسش‌ها:**

۱. خطاها را چگونه محاسبه کردید؟

۲. روابط محاسبه جریان از قوانین کیرشهوف را ثابت کنید.

**(ب) پل وتستون**

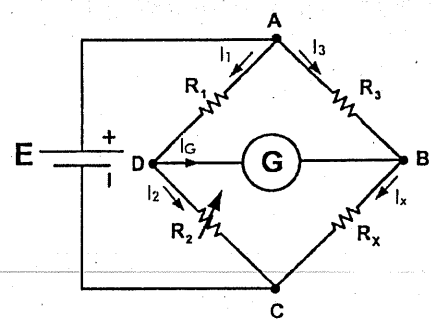
**هدف آزمایش:** تعیین مقاومت مجهول به روش پل وتستون

**وسایل آزمایش:** تعدادی مقاومت رنگی، جعبه مقاومت، گالوانومتر، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، برد بورد، سیم‌های رابط

**مبانی نظری:**

پل وتستون مداری است شامل چهار مقاومت که به یک منبع تغذیه وصل شده‌اند و برای اندازه‌گیری دقیق مقاومت مجهول به کار می‌رود. مطابق شکل زیر، مقاومت‌های $R_1$ و $R_3$ معلوم، مقاومت $R_2$ متغیر و مقاومت $R_x$ مجهول است. بین نقاط D و B گالوانومتری قرار داده

شده است که عبور جریان را نشان می‌دهد. اگر مقاومت متغیر را تغییر دهیم تا عقربه گالوانومتر صفر را نشان دهد (حالت تعادل) آن‌گاه بین نقاط B و D اختلاف‌پتانسیلی وجود ندارد ($V_B = V_D$) و می توان نوشت:




$$\begin{cases} V_{R_1} = V_{R_3} \\ V_{R_2} = V_{R_x} \end{cases} \quad , \quad \begin{cases} I_1 = I_2 \\ I_3 = I_x \end{cases}$$

بدین ترتیب، می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} I_1 R_1 = I_3 R_3 \\ I_2 R_2 = I_x R_x \end{cases} \rightarrow \quad R_1 R_x = R_2 R_3 \rightarrow$$

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

از این رو برای پل وتستون در حال تعادل، یعنی هنگام صفر شدن جریان گالوانومتر، حاصل‌ضرب اندازه مقاومت‌های روبه‌رو با یکدیگر برابر است. بدین ترتیب، با داشتن مقاومت‌های $R_1$ و $R_3$ و تعیین مقاومت $R_2$ می توان مقاومت مجهول $R_x$ را اندازه‌گیری کرد.

**روش انجام آزمایش:**

۱. دو مقاومت ثابت را انتخاب کرده و اندازه آن‌ها را با اهم‌متر یا از روی کدهای رنگی تعیین کنید ($R_1$ و $R_3$).

۲. مقاومت مجهول را $R_x$ بنامید و با استفاده از مقاومت متغیر (جعبه مقاومت) و گالوانومتر، پل وتستون را روی برد بورد بسته و مطابق شکل به منبع تغذیه وصل کنید.

۳. منبع تغذیه را روشن کنید و آن‌قدر مقاومت متغیر ($R_2$) را تغییر دهید تا از گالوانومتر جریانی عبور نکند. در این حالت عقربه گالوانومتر عدد صفر را نشان می دهد، به طوری که اگر مقاومت متغیر را کم یا زیاد کنیم، عقربه گالوانومتر به سمت چپ یا راست منحرف می‌شود.

۴. مقدار مقاومت متغیر ($R_2$) را تعیین کرده و مقاومت مجهول و خطای آن را از روابط زیر محاسبه کنید.

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad ; \quad \Delta R_x = R_x \left( \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} \right)$$

۵. آزمایش را برای دو مقاومت مجهول دیگر تکرار کرده و جدول زیر را کامل کنید.

۶. با توجه به مقدار واقعی مقاومت مجهول، $R_{x,Th}$، و مقدار تجربی آن، $R_{x,Ex}$، با استفاده از پل وتستون، درصد انحراف اندازه-گیری را در هر مورد به دست آورید.

| | $R_1 \pm \Delta R_1$ | $R_2 \pm \Delta R_2$ | $R_3 \pm \Delta R_3$ | $R_x \pm \Delta R_x$ | $\frac{\lvert R_{x,Th} - R_{x,Ex} \rvert}{R_{x,Th}} \times 100$ |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | | | | |
| ۲ | | | | | |
| ۳ | | | | | |

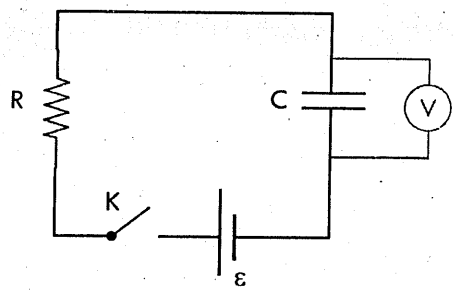
# آزمایش ۵- شارژ و دشارژ خازن

**هدف آزمایش:** رسم منحنی‌های شارژ و دشارژ خازن و محاسبه ظرفیت خازن

**وسایل آزمایش:** خازن، مقاومت رنگی، منبع تغذیه جریان مستقیم، آوومتر، برد بورد، سیم‌های رابط

**مبانی نظری:**

- **شارژ خازن:** اگر بین دو صفحه خازن C اختلاف‌پتانسیل $V_0$ برقرار کنیم، خازن باردار می‌شود. بار ذخیره شده روی صفحات خازن با اختلاف‌پتانسیل دو سر آن متناسب است و از رابطه $q = CV_0$ محاسبه می‌شود. اختلاف‌پتانسیل اعمالی نباید بیش‌تر از ولتاژ شکست خازن باشد. در مدار شکل ۱، برای اختلاف‌پتانسیل‌های دو سر منبع، خازن و مقاومت از نمادهای $V_0$، $V_C$ و $V_R$ استفاده می‌کنیم.




**شکل ۱. مدار پر و خالی شدن خازن**

هنگامی که کلید K بسته می‌شود، در مدار جریان متغیری برقرار می‌شود و تا زمانی که خازن پر شود، ادامه می‌یابد. طبق قوانین کیرشهوف، ولتاژها از روابط زیر پیروی می‌کنند:

$$V_R = V_0 - V_C \qquad (1)$$

که از آن می‌توان جریان عبوری از مدار را به دست آورد:

$$I = \frac{V_0 - V_C}{R} \qquad (2)$$

از طرفی می دانیم جریان آهنگ تغییر بار الکتریکی است:

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d(CV_C)}{dt} = C\frac{dV_C}{dt} \qquad (3)$$

از (۲) و (۳) داریم:

$$\frac{V_0 - V_C}{R} = C\frac{dV_C}{dt} \qquad (4)$$

از آن‌جا که $V_0$ ولتاژ منبع تغذیه و مقدار ثابتی است، می‌توان روابط را به‌صورت زیر بازنویسی کرد:

$$\frac{d(V_0 - V_C)}{V_0 - V_C} = -\frac{dt}{RC} \qquad (5)$$

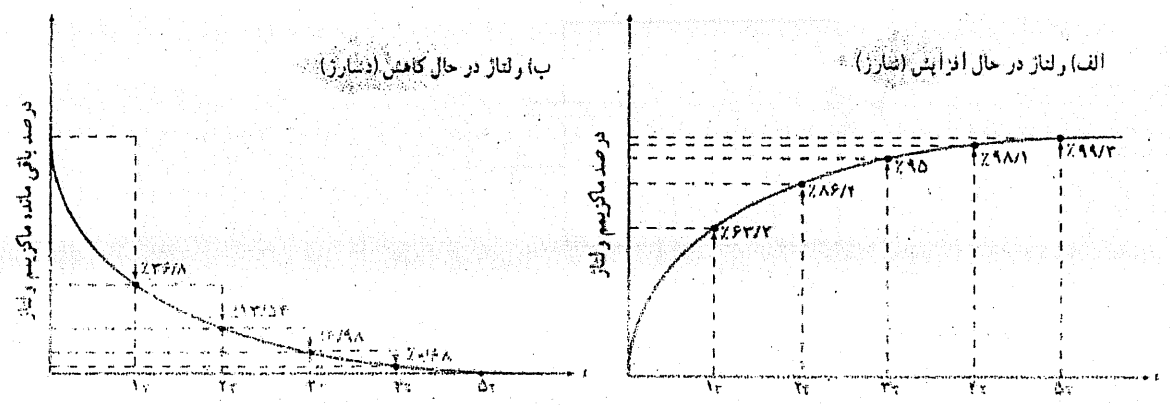
که جواب آن معادله زیر است:

$$\ln(V_0 - V_C) = -\frac{t}{RC} + \ln a \qquad (6)$$

که در آن a ثابت انتگرال‌گیری است که از شرایط اولیه به دست می‌آید. از آن‌جا که در t=0، داریم Vc=0، مقدار a برابر با V0 می‌شود و نهایتاً خواهیم داشت:

$$V_C = V_0(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

این معادله تغییرات اختلاف‌پتانسیل دو سر خازن با زمان را نشان می‌دهد که در آن V0 مقدار بیشینه ولتاژ دو سر خازن است (خازن تا زمانی شارژ می‌شود که ولتاژ دو سر آن با ولتاژ منبع تغذیه برابر شود). حاصل‌ضرب RC بعدی برابر با بعد زمان دارد و از این‌رو ثابت زمانی نامیده و با τ نشان داده می‌شود. شکل ۲-الف نمودار تغییرات ولتاژ دو سر خازن را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، اختلاف‌پتانسیل دو سر خازن پس از گذشت یک ثابت زمانی به حدود ۶۳ ٪ مقدار بیشینه آن می‌رسد. مقدار اختلاف‌پتانسیل پس از دو، سه، چهار و پنج ثابت زمانی نیز نشان داده شده است. پس از پنج ثابت زمانی، اختلاف‌پتانسیل دو سر خازن به ۹۹,۳ ٪ مقدار ماکزیمم آن رسیده است.




**شکل ۲. (الف) منحنی شارژ خازن و (ب) منحنی دشارژ خازن. شکل از سایت** http://niarelec.ir/3243/capacitor.html **گرفته شده است.**

- **دشارژ خازن:** اگر پس از شارژ خازن، کلید K را باز کنیم و اتصالی از انتهای مقاومت به انتهای خازن برقرار کنیم، خازن از طریق مقاومت تخلیه (دشارژ) می‌شود. معادله دشارژ را می‌توان با صفر قرار دادن V0 و حل معادلات به صورت زیر به دست آورد:

$$V_C = V_0 e^{-\frac{t}{RC}} = V_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

شکل ۲-ب نمودار دشارژ خازن را نشان می‌دهد. همچنین در نمودار، مقدارهای ولتاژ دو سر خازن پس از گذشت یک تا پنج ثابت زمانی نشان داده شده است. پس از گذشت یک ثابت زمانی، Vc به ۳۶/۸ ٪ مقدار اولیه‌اش می‌رسد.

**روش انجام آزمایش:**

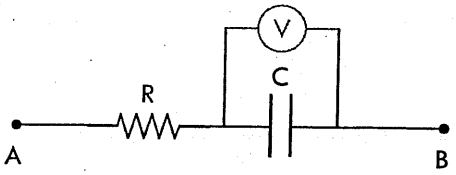
۱. مقاومتی در حدود چند کیلواهم انتخاب کنید و مقدار آن را اندازه بگیرید (یا با کدهای رنگی یا با آوومتر):

$R \pm \Delta R =$

۲. از روی خازنی که انتخاب کرده‌اید، ظرفیت و ولتاژ شکست آن را خوانده و یادداشت کنید:

$C_{Real}$ = , $V_d$ =

۳. مقاومت و خازن را به طور سری مطابق شکل زیر روی برد بورد محکم کنید و به دو سر خازن یک ولت‌متر وصل کنید.




۴. اگر ولت‌متر ولتاژ مشخصی را نشان داد، خازن باردار است و باید آن را تخلیه کرد. برای این منظور خازن را در مقاومت تخلیه کنید؛ یعنی دو سر آزاد مقاومت و خازن (نقاط A و B) را به یکدیگر وصل کنید و مدتی صبر کنید تا خازن تخلیه شود. پس از تخلیه، ولت‌متر ولتاژ دو سر خازن را صفر نشان می‌دهد. برای تخلیه خازن، هرگز دو سر آن را مستقیماً به یکدگر وصل نکنید.

۵. ولتاژ منبع تغذیه را روی مقداری کم‌تر از ولتاژ شکست خازن تنظیم کنید و آن را خاموش کنید. دو سر آزاد خازن و مقاومت (نقاط A و B) را به منبع تغذیه ولتاژ مستقیم وصل کنید. اگر از خازن الکترولیتی استفاده می‌کنید، هنگام اتصال به منبع تغذیه به قطب‌های مثبت و منفی خازن توجه کنید.

۶. هنگامی که منبع تغذیه را روشن می‌کنید خازن شروع به پر شدن می‌کند. برای ثبت افزایش ولتاژ خازن از ولت‌متر با موبایل خود فیلم بگیرید. هنگامی که آماده فیلم‌گرفتن هستید، منبع را روشن کنید و تا رسیدن ولتاژ دو سر خازن (مقداری که ولت‌متر) نشان می‌دهد به مقدار نهایی (مقداری که روی منبع تغذیه تنظیم کرده‌اید) فیلم بگیرید.

۷. سپس با استفاده از فیلم ضبط‌شده، مقدارهای ولتاژ را در زمان‌های مختلف پیدا کنید و جدول زیر را پر کنید. دقت کنید که احتمالاً لازم است که تمام زمان‌ها را شیفت دهید تا اولین ولتاژ خوانده شده روی ولت‌متر در زمان $t = 0\ s$ باشد.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t (s) | | | | | | | | | | | | |
| $V_C$ (V) | | | | | | | | | | | | |

۸. منحنی تغییرات ولتاژ دو سر خازن، $V_C$، بر حسب زمان، $t$، را روی کاغذ میلیمتری یا با استفاده از کامپیوتر رسم کرده و ثابت زمانی خازن را از روی آن به دست آورید. برای این‌منظور باید ابتدا مقدارهای $0.63V_0$، $0.86V_0$ و $0.96V_0$ را روی نمودار مشخص کنید و زمان‌های متناظر با آن ($t_1$، $t_2$ و $t_3$) را به دست آورید. این زمان‌ها به ترتیب متناظر با یک، دو و سه ثابت زمانی هستند. سپس با میانگین‌گیری ثابت زمانی خازن را محاسبه کنید.

$$\begin{cases} V_1 = 0.63V_0 & \rightarrow \tau_1 = t_1 = \\ V_2 = 0.86V_0 & \rightarrow \tau_2 = \frac{1}{2}t_2 = \\ V_3 = 0.95V_0 & \rightarrow \tau_3 = \frac{1}{3}t_3 = \end{cases}$$

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_1+\tau_2+\tau_3}{3} = \ , \quad \Delta\bar{\tau} = |\bar{\tau} - \tau_i|_{max} = \ , \quad \bar{\tau} \pm \Delta\bar{\tau} =$$

۹. با توجه به مقادیر $R$ و $\bar{\tau}$ ظرفیت خازن به همراه خطای آن را به دست آورید:

$$C_{Exp} = \frac{\tau}{R} \quad ; \; \Delta C_{Exp} = C_{Exp}\left(\frac{\Delta\tau}{\tau} + \frac{\Delta R}{R}\right) \quad , \qquad C_{Exp} \pm \Delta C_{Exp} =$$

۱۰. با توجه به مقدار واقعی ظرفیت خازن ($C_{Real}$) و مقدار اندازه‌گیری شده ($C_{Exp}$)، درصد انحراف اندازه‌گیری را محاسبه کنید:

$$\text{درصد انحراف} = \frac{|C_{Real} - C_{Exp}|}{C_{Real}} \times 100 =$$

۱۱. در ادامه، مراحل بالا را برای تخلیه خازن انجام دهید. دوباره موبایل‌تان را آماده فیلم‌گرفتن از ولت‌متر کنید. ولتاژ ماکزیمم دو سر خازن را از روی ولت‌متر یادداشت کنید:

$V_0 \pm \Delta V_0 =$

۱۲. منبع تغذیه را از نقاط A و B قطع کنید. هم‌زمان که شروع به فیلم‌گرفتن می‌کنید، نقطه A را با سیمی به B وصل کنید. این‌بار، ولتاژ دو سر خازن کاهش می‌یابد و پس از مدت زمانی به صفر می‌رسد.

۱۳. سپس با استفاده از فیلم ضبط‌شده، مقدارهای ولتاژ را در زمان‌های مختلف پیدا کنید و جدول زیر را پر کنید. دقت کنید که احتمالاً لازم است که تمام زمان‌ها را شیفت دهید تا اولین ولتاژ خوانده شده روی ولت‌متر در زمان $t = 0\ s$ باشد.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | ... |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| t (s) | | | | | | | | | | | | |
| $V_C$ (V) | | | | | | | | | | | | |

۱۴. منحنی تغییرات ولتاژ دو سر خازن، $V_C$، بر حسب زمان، t، را روی کاغذ میلیمتری یا با استفاده از کامپیوتر رسم کرده و ثابت زمانی خازن را از روی آن به دست آورید. برای این‌منظور باید ابتدا مقدارهای $0.37V_0$، $0.14V_0$ و $0.056V_0$ را روی نمودار مشخص کنید و زمان‌های متناظر با آن ($t_1$، $t_2$ و $t_3$) را به دست آورید. این زمان‌ها به ترتیب متناظر با یک، دو و سه ثابت زمانی هستند. سپس با میانگین‌گیری ثابت زمانی خازن را محاسبه کنید.

$$\begin{cases} V_1 = 0.37V_0 & \rightarrow \tau_1 = t_1 = \\ V_2 = 0.14V_0 & \rightarrow \tau_2 = \frac{1}{2}t_2 = \\ V_3 = 0.05V_0 & \rightarrow \tau_3 = \frac{1}{3}t_3 = \end{cases}$$

$$\bar{\tau} = \frac{\tau_1+\tau_2+\tau_3}{3} = \quad , \quad \Delta\bar{\tau} = |\bar{\tau} - \tau_i|_{max} = \quad \bar{\tau} \pm \Delta\bar{\tau} =$$

۱۵. با توجه به مقادیر $R$ و $\bar{\tau}$ ظرفیت خازن به همراه خطای آن را به دست آورید:

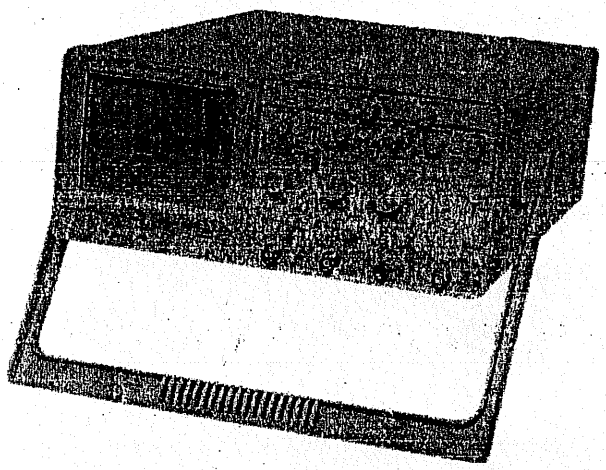
$$C_{Exp} = \frac{\tau}{R} \quad ; \; \Delta C_{Exp} = C_{Exp}\left(\frac{\Delta\tau}{\tau} + \frac{\Delta R}{R}\right) \quad , \qquad C_{Exp} \pm \Delta C_{Exp} =$$

۱۶. با توجه به مقدار واقعی ظرفیت خازن ($C_{Real}$) و مقدار اندازه‌گیری شده ($C_{Exp}$)، درصد انحراف اندازه‌گیری را محاسبه کنید:

$$\text{درصد انحراف} = \frac{|C_{Real} - C_{Exp}|}{C_{Real}} \times 100 =$$

# آزمایش ۶- آشنایی با اسیلوسکوپ

پیش از انجام این آزمایش بخش زیر را مطالعه کنید. مطالب این بخش با کمی ویرایش از سایت https://btmco.ir/Oscillos-Cope.aspx آورده شده است.



شکل ۱. اسیلوسکوپ آنالوگ

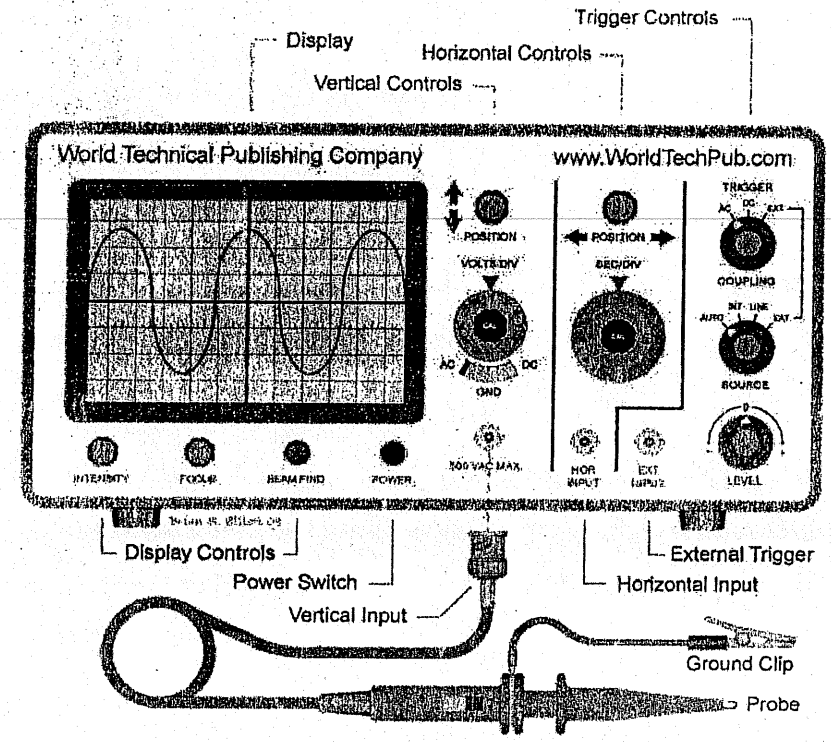
اسیلوسکوپ یک دستگاه اندازه گیری است که می توان از آن برای مشاهده و اندازه گیری ولتاژ, فرکانس, زمان تناوب, اختلاف فاز و همچنین مشخصه های ولت وآمپر عناصر نیمه هادی (مانند دیودها, ترانزیستورها و...) استفاده کرد.

**صفحه نمایشگر**

هر اسیلوسکوپ دارای یک صفحه نمایشگر است که دو قسمت اصلی تشکیل شده است.

الف) محور زمان

ب) محور ولتاژ



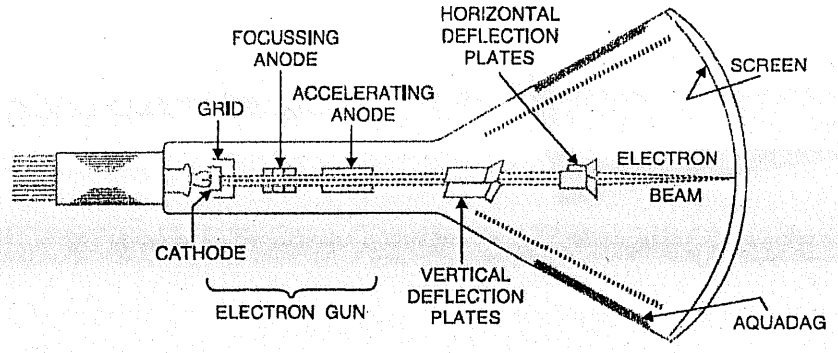

شکل۲. شماتیک اسیلوسکوپ یک کاناله و پراب.

در اسیلوسکوپ درجه بندی بر حسب سانتیمترو میلیمتر می باشد (خانه های بزگ ۱ سانتی متری و خانه های کوچک ۲ میلیمتری می باشد.

**کانال**

ورودی هر اسیلوسکوپ کانال نامیده می شود که هر اسیلوسکوپ بر اساس تعداد کانال‌هایی که می‌توان به آن اعمال کرد تقسیم‌بندی می‌شود: یک کاناله, دو کاناله, سه کاناله و چهار کاناله که اسیلوسکوپ های ۳ و ۴ کاناله دیجیتال می باشند.

اسیلوسکوپ آنالوگ بر اساس انحراف الکترون در میدان الکتروستاتیکی کار می کند.




**شکل ۱. لامپ پرتو کاتدی**

اسیلوسکوپ از یک لامپ پرتو کاتدی که قلب دستگاه است و تعدادی مدار برای کار کردن لامپ پرتو کاتدی تشکیل شده است. قسمت‌های مختلف لامپ پرتو کاتدی عبارتند از:

**تفنگ الکترونی**

تفنگ الکترونی باریکه متمرکزی از الکترون‌ها را بوجود می‌آورد که شتاب زیادی کسب کرده‌اند. این باریکه الکترون با انرژی کافی به صفحه فلوئورسان برخورد می‌کند و بر روی آن یک لکه نورانی تولید می‌کند. تفنگ الکترونی از رشته گرمکن، کاتد، شبکه آند پیش شتاب دهنده، آند کانونی‌کننده و آند شتاب‌دهنده تشکیل شده است.

الکترون‌ها از کاتدی که به طور غیر مستقیم گرم می‌شوند، گسیل می‌شوند. این الکترون‌ها از روزنه کوچکی در شبکه کنترل می‌گردند. شبکه کنترل معمولاً یک استوانه هم‌محور با لامپ است و دارای سوراخی است که در مرکز آن قرار دارد. الکترون‌های گسیل شده از کاتد که از روزنه می‌گذرند (به دلیل پتانسیل مثبت زیادی که به آندهای پیش شتاب دهنده و شتاب دهنده اعمال می‌شود)، شتاب می‌گیرند. باریکه الکترونی را آند کانونی‌کننده، کانونی می‌کند.

**صفحات انحراف دهنده**

صفحات انحراف دهنده شامل دو دسته صفحه است. صفحات انحراف قائم که به طور افقی نسب می‌شوند و یک میدان الکتریکی در

صفحه **قائم** ایجاد می‌کنند و صفحات y نامیده می‌شوند. صفحات انحراف افقی بطور قائم نصب می‌شوند و انحراف افقی ایجاد می‌کنند و صفحات x نامیده می‌شوند. فاصله صفحات به اندازه کافی زیاد است که باریکه بتواند بدون برخورد با آنها عبور کند.

**صفحه فلوئورسان**

جنس این پرده که در داخل لامپ پرتو کاتدی قرار دارد، از جنس فسفر است. این ماده دارای این خاصیت است که انرژی جنبشی الکترون‌های برخورد کننده را جذب می‌کند و آنها را به صورت یک لکه نورانی ظاهر می‌سازد. قسمت‌های دیگر لامپ پرتو کاتدی شامل پوشش شیشه‌ای، پایه که از طریق آن اتصالات برقرار می‌شود، است.

**مولد مبنای زمان**

اسیلوسکوپ ها بیشتر برای اندازه‌گیری و نمایش کمیات وابسته به زمان بکار می‌روند. برای این کار لازم است که لکه نورانی لامپ روی پرده با سرعت ثابت از چپ به راست حرکت کند. بدین منظور یک ولتاژ مثبت به صفحات انحراف افقی اعمال می‌شود. مداری که این ولتاژ مثبت را تولید می‌کند، مولد مبنای زمان یا مولد رویش نامیده می‌شود.

**سیستم انحراف قائم**

چون سیگنال‌ها برای ایجاد انحراف قابل اندازه‌گیری بر روی صفحه لامپ به اندازه کافی قوی نیستند، لذا معمولاً تقویت قائم لازم است. هنگام اندازه‌گیری سیگنال‌های با ولتاژ بالا باید آن‌ها را تضعیف کرد تا در محدوده تقویت‌کننده‌های قائم قرار گیرند. خروجی تقویت‌کننده قائم، از طریق انتخاب هم‌زمانی در وضعیت داخلی، به تقویت‌کننده همزمان نیز اعمال می‌شود.

**سیستم انحراف افقی**

صفحات انحراف افقی را ولتاژ رویش که مولد مبنای زمان تولید می‌کند، تغذیه می‌کند. این سیگنال از طریق یک تقویت‌کننده اعمال می‌شود، ولی اگر دامنه سیگنال‌ها به اندازه کافی باشد، می‌توان آن را مستقیماً اعمال کرد. هنگامی که به سیستم انحراف افقی، سیگنال خارجی اعمال می‌شود، باز هم از طریق تقویت‌کننده افقی و کلید انتخاب رویش در وضعیت خارجی اعمال خواهد شد. اگر کلید انتخاب رویش در وضعیت داخلی باشد، تقویت کننده افقی، سیگنال ورودی خود را از مولد رویش دندانه‌داری که با تقویت کننده هم‌زمان راه اندازی می‌شود، می‌گیرد.

**هم‌زمانی**

هر نوع رویشی که بکار می‌رود، باید با سیگنال مورد بررسی همزمان باشد. تا یک تصویر بی‌حرکت بوجود آید. برای این کار باید فرکانس سیگنال مبنای زمان مقسوم علیه‌ای از فرکانس سیگنال مورد بررسی باشد.

**مواد محو کننده**

در طی زمان رویش، ولتاژ دندانه‌دار رویش اعمال شده به صفحات x، لکه نورانی را بر یک خط افقی از چپ به راست روی صفحه لامپ حرکت می‌دهد. اگر سرعت حرکت کم باشد، یک لکه دیده می‌شود و اگر سرعت زیاد باشد، لکه به صورت یک خط دیده می‌شود. در سرعت‌های خیلی زیاد، ضخامت خط کم شده و تار به نظر می‌رسد و یا حتی دیده نمی‌شود.

**کنترل وضعیت**

وسیله‌ای برای کنترل حرکت مسیر باریکه بر روی صفحه لازم است. با این کار شکل موج ظاهر شده بر روی صفحه را می‌توان بالا یا پائین یا به چپ یا راست حرکت داد. این کار را می‌توان با اعمال یک ولتاژ کوچک سیستم داخلی (که مستقل است) به صفحات انحراف دهنده انجام داد. این ولتاژ را می‌توان با یک پتانسیومتر تغییر داد.

**کنترل کانونی بودن**

الکترود کانونی‌کننده مثل یک عدسی با فاصله کانونی تغییر می‌کند. این تغییر با تغییر پتانسیل آند کانونی کننده صورت می‌گیرد.

**کنترل شدت**

شدت باریکه با پتانسیومتر کنترل‌کننده شدت که پتانسیل شبکه را نسبت به کاتد تغییر می‌دهد، تنظیم می‌شود.

**مدار کالیبره سازی**

در اسیلوسکوپهای آزمایشگاهی معمولا یک ولتاژ پایدار داخلی تولید می‌شود که دامنه مشخصی دارد. این ولتاژ که برای کالیبره سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، معمولا یک موج مربعی است.

اگرچه کلیدهای کنترلی اسکوپ های مختلف کمی با هم فرق می کنند ولی در مجموع در اسکوپ‌های آنالوگ یک سری کلیدهای اساسی وجود دارند که اگرچه در ظاهر تفاوت‌هایی وجود دارند ولی در نهایت وظیفه آن‌ها در مدل های مختلف یکی است.

**قسمت vertical**

۱. CH1: ورودی شماره یک اسیلوسکوپ

۲. CH2: ورودی شماره دو اسیلوسکوپ

۳. کلید(AC-GND-DC)

۳-۱. مدAC: اگر کلید روی این قسمت قرار گیرد فقط سیگنال جریان متناوب وارد اسیلوسکوپ می‌شود و از نمایش ولتاژ DC جلوگیری می‌شود.

۳-۲. مد DC: اگر کلید روی این حالت تنظیم شود سیگنال ورودی هر چه باشد (اعم از DC یا AC یا ترکیبی از هر دو) روی صفحه نمایش داده می شود.

۳-۳. مدGND: اگر این حالت انتخاب شود، ورودی اسیلوسکوپ به زمین وصل می شود و ارتباط الکتریکی بین پروب و اسیلوسکوپ قطع می شود. این حالت برای تنظیم صفر اسیلوسکوپ کاربرد دارد.

۴. ولوم VARIABLE: که بر روی سلکتور VOLT/DIV قرار دارد و برای کالیبره کردن دستگاه بکار می رود که باید همیشه در منتها علیه سمت راست قرار گیرد (جهت عقربه های ساعت چرخانده شود) تا ضریب ۱ داشته باشد (برای صفر کردن خطای ولتاژ).

۵. ولومPOSITION: با این ولوم می‌توان شکل موج روی صفحه نمایش را عمودی حرکت داد.

۶. کلید Mode: این کلید چهار وضعیت دارد: الف) CH1، ب) CH2، ج) DUAL و د) ADD

بسته به این که از کدام یک از ورودی های اسکوپ استفاده کنیم می تونیم کلید MODE رو تنظیم کنیم که به ترتیب از بالا به پایین اسکوپ، روی صفحه نمایش، کانال یک، کانال دو، دو موج را هم‌زمان و در وضعیتADD، جمع ریاضی دو موج را نشان خواهد داد.

۷. ولوم VOLT/DIV: با تغییر این پتانسیومتر دامنه موجی که در صفحه نمایش ظاهر می شود، تغییر می‌کند.

**نکته:** با تغییر مقیاس (مقدارVOLT/DIV) می‌توان هر شکل موجی رابر روی صفحه نمایش نشان داد. اسیلوسکوپ هیچ نوع دخل و تصرفی در (مقدار دامنه یا پریود) موج نمی کند و تنها مقیاس را تغییر می دهد. (صحیح ترین انتخاب مقیاس برای نشان دادن موج این است که شکل موج در ماکزیمم دامنه قابل دید (بزرگ‌ترین حالت پیک تو پیک) و داشتن ۱ یا ۲ پریود میباشد.

۸. دکمه فشاری ALT: با فشار دادن این دکمه هر دو کانال با هم موج به اسیلوسکوپ داده و موج هر دو کانال با هم رسم می شود ولی شکل موج های آن در تمام لحظات با هم در صفحه اسیلوسکوپ دیده نمی شود. بلکه یک در میان روی صفحه حساس ظاهر می‌شوند.

۹. دکمه فشاری CHOP: فشار دادن این دکمه کانال ۱ و ۲ هر دو روشن شده و می‌توان دو موج جداگانه را توسط ورودی‌های این دو کانال به طور مجزا در صفحه اسیلوسکوپ مشاهده نمود.

**قسمتTRIGGER**

۱. SOURCE: برای نمایش یک شکل موج پایدار در صفحه اسیلوسکوپ لازم است شکل موج جاروب‌کننده (SWEEPR) با شکل موج ورودی سنکرون (هم‌زمانی) داسته باشد لذا برای سنکرون کردن لازم است یک شکل موج به آن اعمال شود که نوع این سیگنال سنکرون کننده در محل SOURCE به صورت زیر تعیین می شود:

۱-۱. CH1 و CH2: اگر در یکی از این دو وضعیت باشد، باید برای پایدار بودن موج هر کانال در قسمت vertical در وضعیت مشابهSOURCE باشد؛ یعنی وقتی CH1 است، SOURCE هم باید CH1 و وقتی CH2 است، SOURCE هم باید CH2 باشد. (در این صورت اگر موج ثابت نشد از کلید LEVEL برای نگه داشتن موج استفاده می کنیم.

۱-۲. EXT: اگر در این وضعیت قرار گیرد می توان سیگنال جاروب‌کننده را از خارج توسط ترمینال (EXT-TRIG) راه انداز خارجی موج با فرکانس لازم را به صفحات افقی داد.

۱-۳. اگر فرکانس سیگنال همان فرکانس برق شهر باشد از دکمه ی INE برای تأمین سیگنال جاروب‌کننده استفاده می کنیم.

۲. LEVEL: برای نگه داشتن موج به کار می رود.

۳. SLOPE: نمودار را نسبت به محور V قرینه می کند.

۴. TRIC: تحریک کننده مدار می باشد.

**قسمتHORIZONTAL**

۱. ولوم POSITION: با این ولوم می توان شکل موج روی صفحه نمایش گر را در جهت افقی حرکت داد.

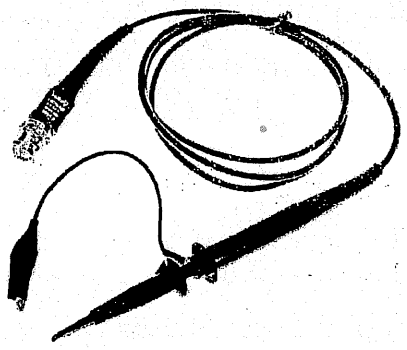
۲. سلکتور TIME/VAR: با تغییر این کلید پریود موج تغییر می‌کند. در نتیجه واحد زمان بر روی محورT ها عوض می شود. برای خواندن مقدار پریود واقعی یک موج تعداد واحدهای دیده شده را در عدد TIM/DIV می کنیم. در روی این سلکتور سه دسته تنظیمات بر حسب ثانیه (s) میلی ثانیه (ms) و میکرو ثانیه (µs) وجود دارد که هنگام تبدیل باید به این واحدها توجه نمود.

۳. ولوم SWP VAR: با این ولوم می توان تعداد بیشتری شکل موج را روی صفحه منعکس کرد. (برای صفرکردن خطای فرکانس)

۴. کلید فشاری MAG10: با فشار دادن این کلید موج ۱۰ برابر می شود.

**پراب (Probe)**

برای مشاهده شکل موج اعمالی به اسیلوسکوپ در ابتدا با پراب سیگنال الکتریکی را به ورودی اسیلوسکوپ وصل می‌کنیم. سیم رابط اسیلوسکوپ از سه قسمت تشکیل شده است ۱)مغزی فلزی که به کانال اسیلوسکوپ وصل می شود و b.n.p نامیده می شود ۲) پراب که به مدار متصل می شود ۳) وسیم shield که پراب را به b.n.c متصل کرده است.



شکل ۴. پراب اسیلوسکوپ

در روی پراب کلید (۱×) و(۱۰×) وجود دارد. چنانچه دامنه سیگنال ورودی کم باشد از حالت ۱× و چنانچه دامنه سیگنال ورودی بزرگ باشد از حالت ۱۰× استفاده می شود. (در حالت ورودی ۱۰× سیگنال ورودی ۱۰ برابر تضعیف می شود.)

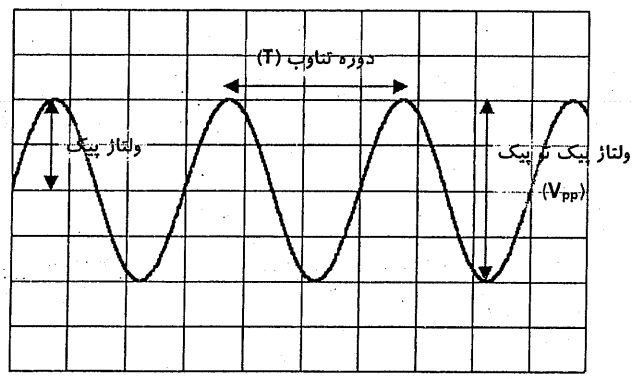
**نحوه اندازه گیری با اسیلوسکوپ**

قبل از شروع کار با اسیلوسکوپ باید دو کار انجام دهیم:

الف) تنظیمات اولیه: کلید های Gain Variable Control رو که به صورت کلیدی کوچک‌تر بر روی کلیدهایVOLT/DIV و TIME/DIV قرار دارند تا انتها در جهت عقربه های ساعت بچرخانید.

در اسیلوسکوپهای آنالوگ کلیدهای کشویی رو به بالا و کلیدهای فشاری همه بیرون باید باشد.

ب) کلید سه حالت AC-GND-DC رو برای هر دو کانال در حالت GND قرار بدید و با دستگیره POSITION محور عمودی را روی صفر قرار دهید. به وسیله کلیدهای INTENSITY و FOCUS به ترتیب شدت نور و نازکی موج را تنظیم کنید و بعد از تنظیم زمین کلیدها رو در وضعیت DC قرار بدید.




**شکل ۵. ولتاژ متناوب در نمایشگر اسیلوسکوپ**

**اندازه‌گیری ولتاژ (دامنه)**

برای اندازه‌گیری ولتاژ پیک تو پیک، $V_{pp}$، با استفاده از اسیلوسکوپ، ابتدا فاصله عمودی بین قله تا دره موج را اندازه گرفته و آن را در مقیاس محور عمودی (عدد مشخصه VOLTS/DIV) ضرب می‌کنیم. عدد به دست آمده اندازه دامنه P-P موج خواهد بود. به عنوان مثال اگر در حالتی که VOLT/DIV روی عدد ۲ و تعداد خانه‌های محصور شده توسط موج در راستای عمودی برابر ۳/۴ باشد آن‌گاه برای بدست آوردن مقدار $V_{pp}$ از ضرب این دو عدد داریم:

$$V_{pp} = \text{عدد VOLT/DIV} \times \text{تعداد خانه‌های عمودی}$$

$$3.4 \times 2 = 6.8 \text{ V}$$

و برای دامنه موج داریم:

$$V_S = \frac{V_{pp}}{2}$$

دقت داشته باشید که با آوومتر یا ولت‌مترهای AC نمی‌توان دامنه یک موج متناوب را اندازه گرفت. عددی که ولت‌متر نشان می‌دهد، ولتاژ موثری ($V_{eff}$) است که جذر میانگین مربعی ولتاژ یا دامنه موج است. این عدد با $V_{rms}$ نشان داده می شود:

$$V_{eff} = V_{rms} = \frac{V_S}{\sqrt{2}} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}}$$

تعداد خانه های عمودی محصور شده را از قله تا پایین ترین نقطه موج بشمارید و در VOLT/DIV آن کانال ضرب کنید.

**اندازه‌گیری دوره تناوب یا فرکانس**

تعداد خانه های افقی در بر گیرنده یک دوره تناوب قرار گرفته اند در واحد TIME/DIV ضرب کنید. سپس برای به‌دست‌آوردن فرکانس، عدد به‌دست‌آمده را معکوس کنید. مثلاً عددTIME/DIV روی ۵۰ ms و تعداد خانه‌های افقی در یک دوره برابر ۵/۲ است:

پریود (T)= عدد TIME/DIV × تعداد خانه‌های افقی

$$5.2 \times 50ms = 260ms$$

فرکانس $\rightarrow F=1/T=1/260\ ms = 3.8\ Hz$

**هدف آزمایش:** آشنایی با اسیلوسکوپ (مشاهده امواج، اندازه‌گیری فرکانس، ولتاژ و اختلاف فار امواج، ترکیب امواج و شکل‌های لیساژو)

**وسایل آزمایش:** اسیلوسکوپ، سیگنال ژنراتور، ولت‌متر، پراب

**روش انجام آزمایش:**

اسیلوسکوپ را روشن کرده و پس از پیدا کردن پرتو، با استفاده از پیچ FOCUS، آن را کانونی کنید. سپس شدت نور را با پیچ INTENSITY تنظیم کنید.

**الف) اندازه‌گیری دوره تناوب و فرکانس:**

۱. با استفاده از سیگنال ژنراتور، موجی سینوسی، مربعی یا مثلثی با فرکانس مجهول به ورودی CHI (کانال Y) اسیلوسکوپ بفرستید.
۲. کلید MODE را در حالت CHI قرار دهید و با پیچ VOLTS/DIV دامنه موج را تنظیم کنید. با پیچ TIME/DIV فرکانس موج را تغییر دهید تا وقتی که دو تا سه پریود کامل از ولتاژ روی صفحه ظاهر شود.
۳. اگر موج روی صفحه در حال حرکت است، به‌وسیله پیچ TRIGGER LEVEL آن را ساکن کنید.
۴. دوره تناوب موج و فرکانس آن را به‌دست آورید.
۵. سپس چندین بار فرکانس موج را تغییر دهید و هر بار دوره تناوب و فرکانس را اندازه بگیرید. جدول زیر را پر کنید.

| فرکانس موج از روی ژنراتور | فرکانس تعیین شده توسط اسیلوسکوپ ($f=1/T$) | دوره تناوب (T) | موقعیت پیچ TIME/DIV | تعداد خانه‌های اشغال شده به‌وسیله یک موج | شکل موج |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

**ب) اندازه‌گیری ولتاژ:**

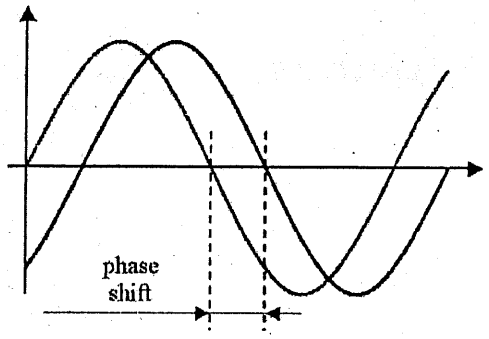
۱. ولتاژ منبع تغذیه را تغییر دهید و هر بار طبق روشی که پیش‌تر توضیح داده شد، ولتاژ پیک تو پیک ($V_{pp}$) و ولتاژ موثر ($V_{eff}$) موج ایجاد شده روی صفحه اسیلوسکوپ را اندازه بگیرید و در جدول زیر وارد کنید.

۲. با استفاده از ولت‌متر، ولتاژ موج را دوباره اندازه بگیرید. برای این‌کار، ولت‌متر را روی حالت AC قرار دهید. نتیجه را در جدول زیر وارد کنید و با مقدارهای به‌دست‌آمده از مرحله قبل مقایسه کنید.

| $V_{eff}$ از ولت‌متر | $V_{eff}$ از اسیلوسکوپ | $V_{pp}$ از اسیلوسکوپ | تعداد خانه‌های اشغال شده از min تا max | موقعیت پیچ VOLTS/DIV | شکل موج |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

**پ) اختلاف فاز دو موج سینوسی هم فرکانس:**

در صورتی که دو موج سینوسی هم‌فرکانس دارای اختلاف فاز معینی باشند، برای اندازه‌گیری اختلاف فاز بین آن دو می‌توان از اسیلوسکوپ استفاده کرد. برای این منظور می‌توان از دو روش استفاده کرد. روش اول مشاهده دو موج به صورت هم‌زمان بر روی صفحه




**شکل ۱. نمایش دوتایی دو موج**

اسیلوسکوپ و اندازه‌گیری تاخیر زمانی و تبدیل آن به اختلاف فاز از طریق رابطه $\varphi = 2\pi\frac{t}{T}$ است (شکل ۱). در این رابطه، T دوره تناوب و t فاصله زمانی دو نقطه مشابه متوالی از دو موج است.

در روش دوم از برهم‌نهی دو موج در دو راستای عمود بر هم براس اندازه‌گیری اختلاف فاز استفاده می‌شود. در این آزمایش از روش دوم استفاده می‌کنیم. دو موج هم‌فرکانس با اختلاف فاز φ را در نظر بگیرید:

$$x = A\sin\omega t \quad \rightarrow \quad \frac{x}{A} = \sin\omega t$$

$$y = B\sin(\omega t + \varphi) \quad \rightarrow \quad \frac{y}{B} = \sin(\omega t + \varphi)$$

با جمع زدن مجذور روابط بالا، و پس از عملیات ریاضی، معادله مسیر حرکت را می‌توان به صورت زیر به دست آوردد:

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{y}{B}\right)^2 - \frac{2xy}{AB}\cos\varphi = \sin^2\varphi$$

در حالت کلی معادله بالا معادله‌ی یک بیضی مایل است. این بیضی در حالت $0 < \varphi < \pi/2$، در ربع اول و سوم و در حالت $\pi/2 < \varphi < \pi$ در ربع دوم و چهارم قرار دارد. برای بررسی بیش‌تر حالت‌های زیر را در نظر می‌گیریم.

۱) اگر اختلاف فاز بین دو موج هم‌فرکانس صفر باشد (φ=0) داریم:

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{y}{B}\right)^2 - \frac{2xy}{AB} = 0 \rightarrow \left(\frac{x}{A} - \frac{y}{B}\right)^2 \quad \rightarrow \quad y = \frac{B}{A}x$$

بنابراین در این حالت معادله مسیر، معادله یک خط راست با شیب مثبت است.

۲) اگر اختلاف فاز بین دو موج هم‌فرکانس ۹۰° باشد (φ=π/2)، داریم:

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{y}{B}\right)^2 = 1$$

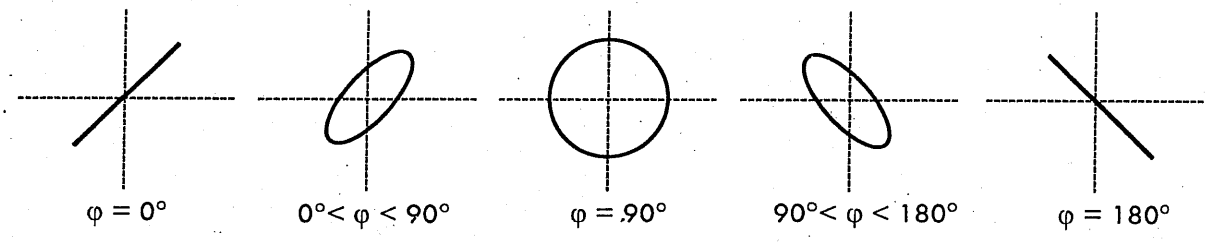
در این حالت، معادله مسیر معادله‌ی یک بیضی افقی یا عمودی (بسته به مقادیر A و B) با شیب مثبت است.

۳) اگر اختلاف فاز بین دو موج هم‌فرکانس ۱۸۰° باشد (φ=π)، داریم:

$$\left(\frac{x}{A}\right)^2 + \left(\frac{y}{B}\right)^2 + \frac{2xy}{AB} = 0 \rightarrow \left(\frac{x}{A} + \frac{y}{B}\right)^2 \quad \rightarrow \quad y = -\frac{B}{A}x$$

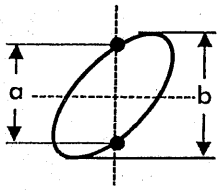
بنابراین در این حالت، معادله مسیر، معادله‌ی یک خط راست با شیب منفی است.

شکل‌های زیر مسیر حرکت را در اختلاف فازهای متفاوت نشان می‌دهند. برای پیدا کردن اختلاف فاز دو موج هم‌فرکانس کافی است آن‌ها را به دو کانال اسیلوسکوپ وصل کرده و کلید XY را فشار دهیم. در این حالت، موج کانال I و کانال II در راستای متعامد بر هم نهاده می‌شوند و با توجه به شکل منحنی حاصل روی اسیلوسکوپ، می‌توان اختلاف فاز دو موج را به دست آورد.




**شکل ۲. نمایش منحنی‌های لیساژو با اختلاف فازهای متفاوت**

اگر شکل ظاهر شده خط راستی در ربع اول و سوم باشد، اختلاف فاز برابر با صفر است و اگر خط راستی در ربع دوم و چهارم باشد، اختلاف فاز برابر با ۱۸۰° خواهد بود. بیضی افقی یا عمودی، نماینده اختلاف فاز ۹۰° درجه است. در مورد بیضی مایلی که در ربع اول و سوم باشد، اختلاف فاز بین صفر و ۹۰° در مورد بیضی مایلی که در ربع دوم و چهارم باشد، اختلاف فاز بین ۹۰° و ۱۸۰° خواهد بود. در این حالت، با توجه به شکل زیر، $\sin\varphi$ نسبت طول a و b است. از این‌رو، برای اندازه‌گیری اختلاف فاز دو موج با استفاده از کلید XY، ابتدا a و b را اندازه‌گیری کرده و سپس با توجه به رابطه زیر φ را به دست می‌آوریم:




**شکل ۳. بیضی مایل با اختلاف‌فاز φ**

**روش انجام آزمایش:**

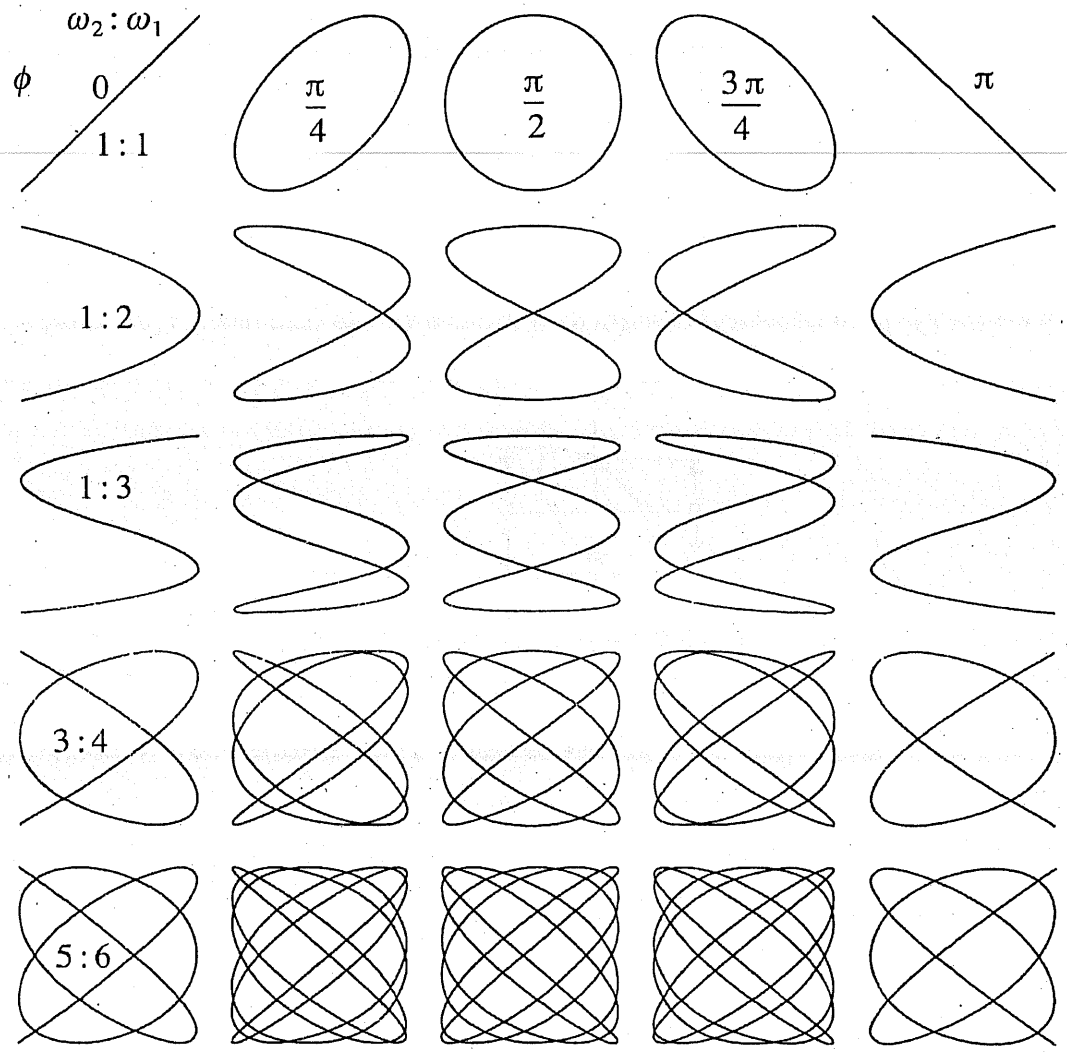
۱. دو موج هم‌فرکانس را به ورودی‌های کانال I و II اسیلوسکوپ بدهید.
۲. با انتخاب کلید XY ترکیب دو موج را روی صفحه مشاهده کنید.
۳. اختلاف‌فاز بین دو موج هم‌فرکانس را با توجه به شکل موج در سه حالت مختلف پیدا کرده و جدول زیر را کامل کنید.

| شکل ترکیب دو موج | a | b | $\varphi = \sin^{-1}\frac{a}{b}$ |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

**ت) مشاهده اشکال لیساژو:**

اگر دو نیرو در امتدادهای عمود بر هم بر جسمی وارد شوند و هر کدام از آن‌ها یک حرکت نوسانی به جسم بدهندجسم تحت تاثیر این دو نیرو مسیری را طی می‌کند که با توجه به فرکانس حرکت نوسانی در دو راستا، می‌تواند باز یا بسته باشد. اگر نسبت فرکانس‌ها کسر

ساده‌ای باشد ($\frac{f_x}{f_y} = \frac{n_y}{n_x}$)، مسیر حرکت شکل بسته‌ای خواهد بود که به آن منحنی لیساژو می‌گویند. اشکال لیساژو را می‌توان از ترکیب دو موج سینوسی $x = a_x \sin \omega_x t$ و $y = a_y \sin(\omega_y t + \varphi)$ در دو امتداد عمود بر هم به شرطی که $f_x$ مضرب صحیحی از $f_y$ باشد، به‌دست آورد. چند نمونه از این اشکال را در شکل زیر ببینید.




**شکل ۴. نمایش اشکال لیساژو با نسبت فرکانس و اختلاف فازهای متفاوت**

فرض کنید فرکانس موج کانال I (کانال Y) معلوم و فرکانس کانال II (کانال X) مجهول است. برای به دست آوردن فرکانس مجهول ($f_x$)، از منحنی لیساژو، مستطیلی را اطراف منحنی فرض می‌کنیم و تعداد نقاط تماس مستطیل با منحنی در امتداد اطلاع افقی ($n_x$) و عمودی ($n_y$) منحنی را به دست می‌آوریم. سپس فرکانس مجهول را از رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$f_x = \frac{n_y}{n_x} f_y$$

**روش انجام آزمایش:**

۱. دو منبع تغذیه متناوب به دو کانال اسیلوسکوپ وصل کنید.

۲. توسط یکی از آن‌ها موجی به کانال I اسیلوسکوپ بدهید و فرکانس آن را اندازه بگیرید و آن را $f_y$ بنامید.

۳. کلید XY را انتخاب کنید. یک خط مستقیم روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ مشاهده می‌کنید. این خط مربوط به حرکت نوسانی در راستای عمودی است که ناشی از پتانسیل اعمال شده توسط منبع به کانال I است.

۴. منبع تغذیه دوم را به کانال II اسیلوسکوپ بدهید و فرکانس آن را اندکی کم‌تر از فرکانس موج اول انتخاب کنید.

۵. فرکانس منبع دوم را به‌آرامی زیاد کنید تا اولین شکل لیساژو که بیضی است، روی صفحه نمایش ظاهر شود. در این حالت $n_x$ و $n_y$ هر دو برابر با ۲ هستند.

۶. فرکانس منبع دوم را به‌آرامی افزایش دهید تا اشکال لیساژوی دیگری روی صفحه ظاهر شوند. برای هر یک از این اشکال، $n_x$ و $n_y$ را بیابید و در جدول زیر یادداشت کنید. سپس کلید XY را به حالت عادی برگردانید و فرکانس موج کانال II را اندازه بگیرید ($f_{x,osc}$).

| شکل منحنی لیساژو | $f_y$ | $n_y$ | $n_x$ | $f_x = \frac{n_y}{n_x} f_y$ | $f_{x,osc}$ | $\frac{\lvert f_x - f_{x,osc} \rvert}{f_x} \times 100$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

# آزمایش ۷- بررسی مدارهای R-R و R-C در جریان متناوب

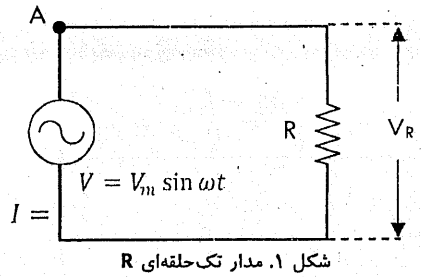
**هدف آزمایش:** بررسی مدارهای تک حلقه‌ای R-R و R-C

**وسایل آزمایش:** مقاومت رنگی، جعبه مقاومت، جعبه خازن، منبع تغذیه متناوب، اسیلوسکوپ، سیم‌های رابط

## الف) مدار تک‌حلقه R-R

### مبانی نظری

فرض کنید به دو سر مقاومت R، اختلاف‌پتانسیل $V = V_m \sin \omega t$ اعمال شود. اگر اختلاف‌پتانسیل دو سر مقاومت $V_R$ باشد، با استفاده از قضیه حلقه داریم:



شکل ۱. مدار تک‌حلقه‌ای R

$$V_A - V_R + V_m \sin \omega t = V_A \quad \rightarrow \quad V_R = V_m \sin \omega t$$

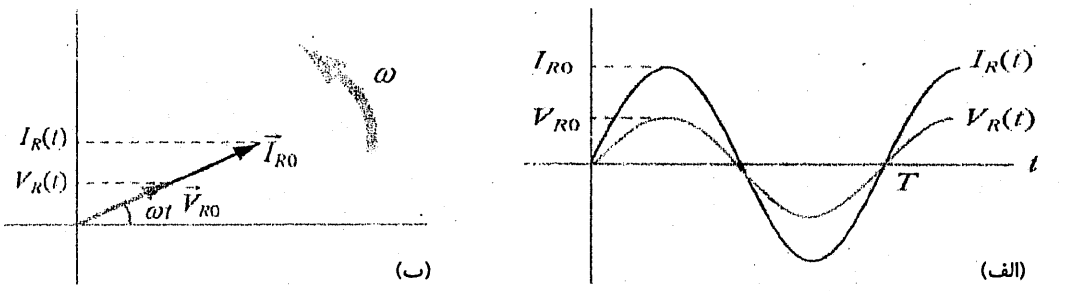
با توجه به رابطه $I = V_R/R$، داریم:

که در آن، $I_m$ بیشینه شدت جریان در مقاومت است و داریم: $V_{m,R} = RI_m$

از مقایسه روابط بالا نتیجه می‌گیریم که $V_R$ و I هم فاز هستند، یعنی اختلاف‌پتانسیل دو سر مقاومت و شدت جریان با هم صفر می‌شوند، با هم به مقدار بیشینه خود می‌رسند و با هم تغییر جهت می‌دهند. تنها اثر مقاومت در این حالت، اتلاف انرژی الکتریکی است.

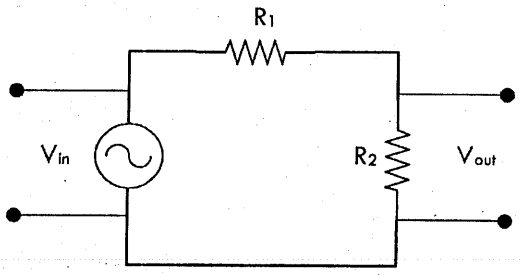
رفتار $V_R$ و I را می توان با فازورها یا بردارهای فازنما به راحتی نشان داد. در شکل ۲-الف نمودار تغییرات اختلاف‌پتانسیل و جریان در یک دوره تناوب نشان داده شده‌اند. در شکل ۲-ب، برادرهای فازنمای $V_R$ و I نمایش داده شده‌اند. برادرهای فازنما ویژگی‌های زیر را دارا می‌باشند:

- طول بردار فازنما متناظر با دامنه است.
- بردار متناظر با هر کمیت با سرعت زاویه‌ای ω در جهت پادساعت‌گرد می‌چرخد.
- تصویر بردار در راستای محور قائم، با مقدار کمیت متناوب در زمان t متناظر است.



شکل ۲. (الف) نمودارهای $V_R$ و $I_R$ بر حسب زمان و (ب) بردارهای فازنمای $V_R$ و $I_R$. مقدارهای $V_{R0}$ و $I_{R0}$ متناظر با بیشینه ولتاژ و جریان هستند.

اگر مقاومتی به مدار شکل ۱ اضافه کنیم، مدار R-R شکل ۳ حاصل می شود. با توجه به شکل، اگر ولتاژ ورودی به صورت




**شکل ۳. مدار تک حلقه‌ای R-R.**

$V = V_m \sin \omega t$ باشد، می‌توان ولتاژ خروجی مقاومت $R_2$ را به صورت زیر به دست آورد:

$$V_{in} = I(R_1 + R_2) = V_m \sin \omega t \quad \rightarrow \quad I = \frac{V_m}{R_1 + R_2} \sin \omega t$$

$$V_{out} = IR_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_m \sin \omega t \quad \rightarrow \quad \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

که نشان می‌دهد پتانسیل $V_{out}$ کوچک‌تر از پتانسیل $V_{in}$ است.

**روش انجام آزمایش:**

۱. مدار شکل ۳ را ببندید. برای $R_1$ می‌توانید از مقاومت رنگی و برای $R_2$ از جعبه مقاومت استفاده کنید. دو سر منبع تغذیه را به دو سر کانال I اسیلوسکوپ و دو سر مقاومت $R_2$ را به دو سر کانال II اسیلوسکوپ وصل کنید.

۲. مقادیر $R_1$ و $R_2$ را یادداشت کنید.

۳. منبع تغذیه را روی فرکانس دلخواهی تنظیم کرده و دامنه و فرکانس موج هر دو کانال را اندازه بگیرید و در جدول یادداشت کنید.

۴. کلید ALT را انتخاب کنید تا هر دو موج بر روی صفحه اسیلوسکوپ نمایش داده شوند. آیا بین این دو موج اختلاف‌فاز مشاهده می‌کنید؟

۵. کلید ALT را به حالت عادی برگردانید و کلید XY را انتخاب کنید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟

۶. فرکانس و پیچ ولتاژ منبع تغذیه را ۵ بار تغییر داده و مراحل ۴ تا ۶ را تکرار کرده و جدول زیر را کامل کنید. برای $V_{in}$ و $V_{out}$ می‌توانید از $V_{pp}$ کانال I و II استفاده کنید.

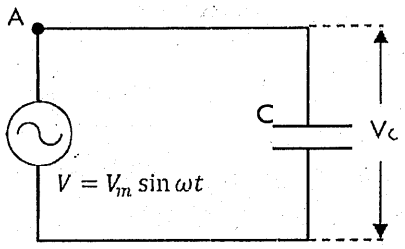
| | $f=\frac{1}{T}$ | $V_{in}$ | $V_{out}$ | مقدار عملی $=\frac{V_{out}}{V_{in}}$ | مقدار تئوری $=\frac{R_2}{R_1+R_2}$ | $\%RE=\frac{\lvert\text{مقدار تئوری}-\text{مقدار عملی}\rvert}{\text{مقدار تئوری}}\times 100$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | | | | | |
| ۲ | | | | | | |
| ۳ | | | | | | |
| ۴ | | | | | | |
| ۵ | | | | | | |

۷. در مدار R-R نسبت $\frac{V_{out}}{V_{in}}=\frac{R_2}{R_1+R_2}$ باید مستقل از فرکانس باشد. این موضوع را با رسم $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ (ستون پنجم جدول) بر حسب فرکانس (ستون دوم جدول) تحقیق کنید.

**(ب) مدار تک‌حلقه R-C**

**مبانی نظری**

ابتدا مداری تک‌حلقه‌ای شامل خازن که به ولتاژ متناوب $V=V_m\sin\omega t$ وصل است، در نظر بگیرید (شکل ۴). با استفاده از قضیه حلقه داریم:



شکل ۴. مدار تک‌حلقه‌ای C

$$V_A-V_C+V_m\sin\omega t=V_A \quad\rightarrow\quad V_C=V_m\sin\omega t$$

با توجه به رابطه $C=\frac{q}{V_C}$، برای جریان خواهیم داشت:

$$q=CV_m\sin\omega t \quad\rightarrow\quad I=\frac{dq}{dt}=C\omega V_m\cos\omega t=I_m\cos\omega t$$

جریان را با تبدیل زیربه صورت تابعی سینوسی نیز می‌توان نوشت:

$$I=I_m\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right)\quad,\quad I_m=C\omega V_m$$

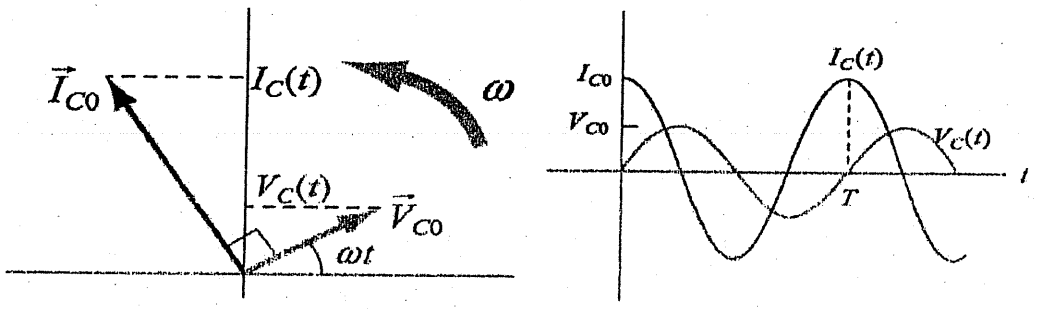
از رابطه بالا به این نتیجه می‌رسیم که جریان خازن با ولتاژ آن اختلاف فازی معادل به $\pi/2$ دارد. از رابطه $I_m$، می‌توانیم مقاومت ظاهری خازن ($X_C$) را به صورت زیر تعریف کنیم:

$$I_m=C\omega V_m \quad\rightarrow\quad X_C=\frac{V_m}{I_m}=\frac{1}{C\omega}=\frac{1}{2\pi fC}$$

و به این ترتیب، ولتاژ بیشینه دو سر خازن می‌شود:

$$V_{m,C} = X_C I_m$$

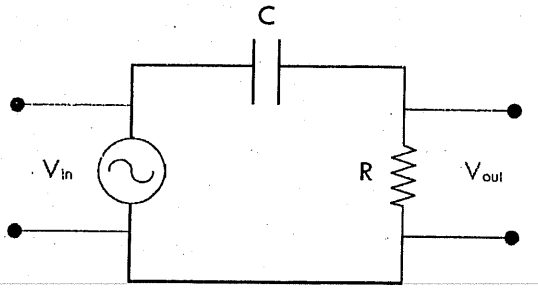
در شکل ۵ نمودارهای سینوسی و بردارهای فازنمای جریان و ولتاژ خازن نشان داده شده اند.




(ب) (الف)

شکل ۵. (الف) نمودارهای Vc و Ic بر حسب زمان و (ب) بردارهای فازنمای Vc و Ic. مقدارهای Vco و Ico متناظر با بیشینه ولتاژ و جریان هستند.

حالا یک مدار R-C شامل یک خازن و یک مقاومت مطابق شکل ۶ در نظر بگیرید. وجود اختلاف فاز سبب می‌شود که نتوان ولتاژهای خازن و مقاومت را به صورت عددی جمع کرد و از این رو برای جمع اختلاف‌پتانسیل‌ها بایستی از بردارهای فازنما استفاده کرد.




شکل ۶. مدار تک حلقه‌ای R-C.

مطابق شکل ۷، اختلاف فاز بین ولتاژ منبع و ولتاژ مقاومت، یا اختلاف فاز بین ولتاژ منبع و جریان مدار را می‌توان از رابطه زیر به دست آورد:

$$\tan\varphi = \frac{V_C}{V_R} = \frac{IX_C}{IR} = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{RC\omega}$$

و مقاومت مدار که به آن امپدانس مدار گفته می‌شود، برابر خواهد بود:

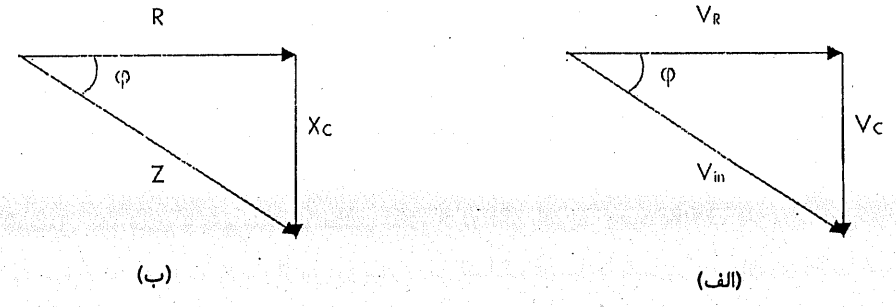
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2\omega^2}}$$

بدین ترتیب، جریان کل مدار از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \sin(\omega t + \varphi)$$

و به راحتی می‌توان نشان داد که $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ بر حسب فرکانس، تابعی صعودی است که با رابطه زیر معرفی می‌شود:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$




**شکل ۷. جمع برداری (الف) اختلاف‌پتانسیل و (ب) مقاومت به روش فرنل.**

**روش انجام آزمایش**

۱. مدار شکل ۶ را ببندید. برای R می‌توانید از جعبه مقاومت و برای C از جعبه خازن استفاده کنید. دو سر منبع تغذیه را به دو سر کانال I اسیلوسکوپ و دو سر مقاومت R را به دو سر کانال II اسیلوسکوپ وصل کنید.

۲. مقادیر R و C را یادداشت کنید.

۳. منبع تغذیه را روی فرکانس دلخواهی تنظیم کرده و دامنه و فرکانس موج هر دو کانال را اندازه بگیرید و در جدول یادداشت کنید. فرکانس باید طوری انتخاب شود که اندازه Xc و R تقریباً هم‌مرتبه باشند.

۴. کلید ALT را انتخاب کنید تا هر دو موج بر روی صفحه اسیلوسکوپ نمایش داده شوند. آیا بین این دو موج اختلاف‌فاز مشاهده می‌کنید؟

۵. کلید ALT را به حالت عادی برگردانید و کلید XY را انتخاب کنید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟

۶. فرکانس و پیچ ولتاژ منبع تغذیه را ۵ بار تغییر داده و مراحل ۴ تا ۶ را تکرار کرده و جدول زیر را کامل کنید. برای $V_{in}$ و $V_{out}$ می‌توانید از $V_{pp}$ کانال I و II استفاده کنید.

| | $f$ | $V_{in}$ | $V_{out}$ | $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ | مقدار عملی $= \frac{V_{out}}{V_{in}}$ | مقدار تئوری $= \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$ | $\%\text{RE} = \frac{\lvert\text{مقدار تئوری} - \text{مقدار عملی}\rvert}{\text{مقدار تئوری}} \times 100$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | | | | | | |
| ۲ | | | | | | | |
| ۳ | | | | | | | |
| ۴ | | | | | | | |
| ۵ | | | | | | | |

۷. در مدار R-C نسبت $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2+X_C^2}}$ بر حسب فرکانس صعودی است و در فرکانس‌های بالا که Xc در مقایسه با R قابل صرف‌نظر کردن است، به سمت مقدار ثابتی میل می‌کند. این موضوع را با رسم $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ (ستون ششم جدول) بر حسب فرکانس (ستون دوم جدول) تحقیق کنید.

# آزمایش ۸- بررسی مدارهای R-L و R-L-C در جریان متناوب و پدیده تشدید

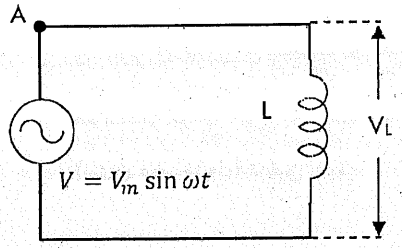
**هدف آزمایش:** بررسی مدارهای تک‌حلقه‌ای R-L و R-L-C

**وسایل آزمایش:** جعبه مقاومت، جبه خازن، جعبه خودالقا، منبع تغذیه متناوب، اسیلوسکوپ، سیم‌های رابط

**(الف) مدار تک‌حلقه R-L**

**مبانی نظری**

ابتدا مداری تک‌حلقه‌ای شامل القاگر (سیم‌پیچ، خودالقا، سلف) که به ولتاژ متناوب $V = V_m \sin \omega t$ وصل است، در نظر بگیرید (شکل ۱). ولتاژ متناوب منبع تغذیه سبب ایجاد نیرو محرکه خودالقایی در القاگر می‌شود که با تغییر جریان مخالفت می‌کند. با استفاده از قضیه حلقه داریم:



شکل ۱. مدار تک‌حلقه‌ای L

$$V_A - V_L + V_m \sin \omega t = V_A \quad \rightarrow \quad V_L = V_m \sin \omega t$$

از طرفی می‌دانیم :

$$V_L = L\frac{dI}{dt} \quad \rightarrow \quad L\frac{dI}{dt} = V_m \sin \omega t \quad \rightarrow \quad dI = \frac{V_m}{L} \sin \omega t \, dt$$

با انتگرال‌گیری جریان را به دست می‌آوریم:

$$I = -\frac{V_m}{L\omega} \cos \omega t$$

که آن را با تبدیل زیر به صورت تابعی سینوسی نیز می‌توان نوشت:

$$I = I_m \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad , \quad I_m = \frac{V_m}{L\omega}$$

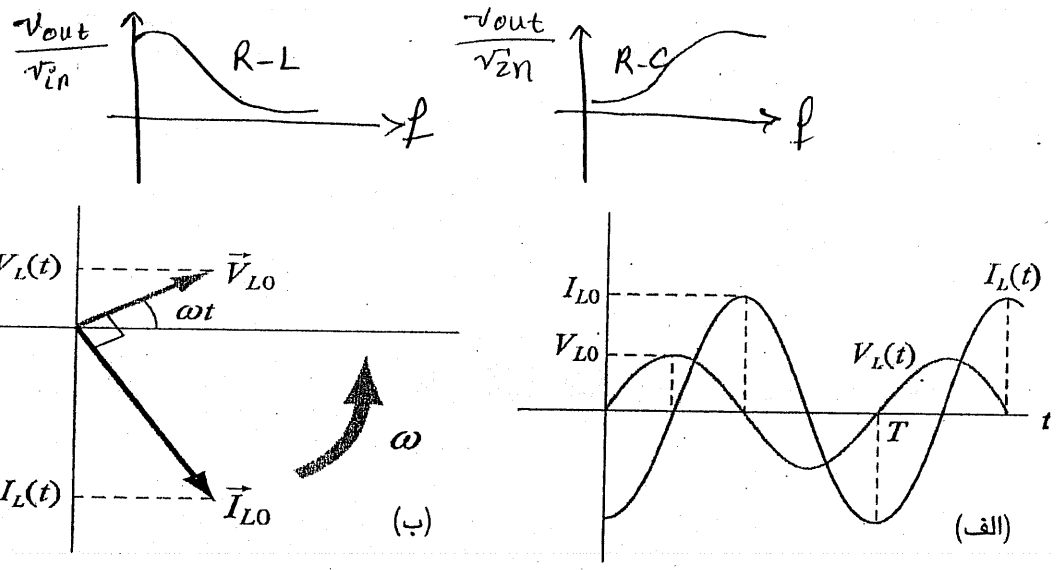
از رابطه بالا به این نتیجه می‌رسیم که جریان خازن با ولتاژ آن اختلاف فازی معادل به $\pi/2$- دارد یعنی جریان به اندازه $\pi/2$ از ولتاژ عقب‌تر است. از رابطه $I_m$، می‌توانیم مقاومت ظاهری القاگر ($X_L$) را به صورت زیر تعریف کنیم:

$$X_L = \frac{V_m}{I_m} = L\omega = 2\pi f L$$

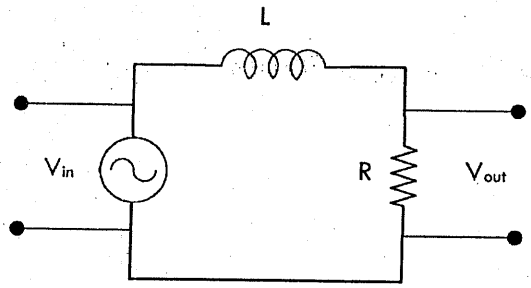
و به این ترتیب، ولتاژ بیشینه دو سر القاگر می‌شود:

$$V_{m,L} = X_L I_m$$

در شکل ۲ نمودارهای سینوسی و بردارهای فازنمای جریان و ولتاژ القاگر نشان داده شده اند.




شکل ۲. (الف) نمودارهای $V_L$ و $I_L$ بر حسب زمان و (ب) بردارهای فازنمای $V_L$ و $I_L$. مقدارهای $V_{L0}$ و $I_{L0}$ متناظر با بیشینه ولتاژ و جریان هستند.




شکل ۳. مدار تک حلقه‌ای R-L.

در حالت کلی مدار مطابق شکل ۳ شامل مقاومت است.

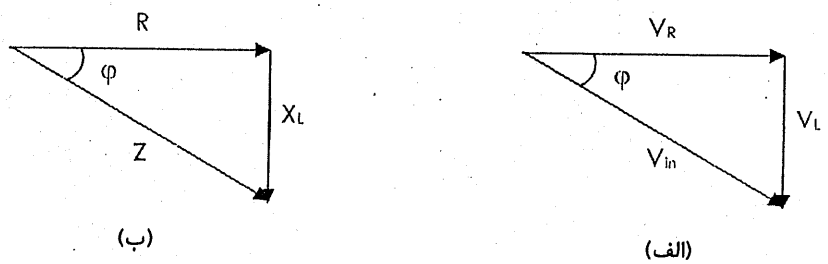
برای چنین مداری داریم:

$$I = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\varphi = \tan^{-1}\left(-\frac{X_L}{R}\right) = \tan^{-1}\left(-\frac{L\omega}{R}\right)$$

و مقاومت مدار که به آن امپدانس مدار گفته می‌شود، برابر خواهد بود:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$$




شکل ۴. جمع برداری (الف) اختلاف‌پتانسیل و (ب) مقاومت به روش فرنل.

و می‌توان نشان داد که $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ بر حسب فرکانس، تابعی نزولی است که با رابطه زیر معرفی می‌شود:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

**روش انجام آزمایش**

۱. مدار شکل ۶ را ببندید. برای R می‌توانید از جعبه مقاومت و برای L از جعبه القاگر استفاده کنید. دو سر منبع تغذیه را به دو سر کانال I اسیلوسکوپ و دو سر مقاومت R را به دو سر کانال II اسیلوسکوپ وصل کنید.

۲. مقادیر R و L را یادداشت کنید.

۳. منبع تغذیه را روی فرکانس دلخواهی تنظیم کرده و دامنه و فرکانس موج هر دو کانال را اندازه بگیرید و در جدول یادداشت کنید. فرکانس باید طوری انتخاب شود که اندازه Xc و R تقریباً هم‌مرتبه باشند.

۴. کلید ALT را انتخاب کنید تا هر دو موج بر روی صفحه اسیلوسکوپ نمایش داده شوند. آیا بین این دو موج اختلاف‌فاز مشاهده می‌کنید؟

۵. کلید ALT را به حالت عادی برگردانید و کلید XY را انتخاب کنید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟

۶. فرکانس و پیچ ولتاژ منبع تغذیه را ۵ بار تغییر داده و مراحل ۴ تا ۶ را تکرار کرده و جدول زیر را کامل کنید. برای $V_{in}$ و $V_{out}$ می‌توانید از $V_{pp}$ کانال I و II استفاده کنید.

| | $f$ | $V_{in}$ | $V_{out}$ | $X_C = 2\pi fL$ | مقدار عملی $= \frac{V_{out}}{V_{in}}$ | مقدار تئوری $= \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$ | $\%RE = \frac{\lvert \text{مقدار تئوری} - \text{مقدار عملی} \rvert}{\text{مقدار تئوری}} \times 100$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | | | | | | |
| ۲ | | | | | | | |
| ۳ | | | | | | | |
| ۴ | | | | | | | |
| ۵ | | | | | | | |

۷. در مدار R-L نسبت $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2+X_L^2}}$ بر حسب فرکانس نزولی است و در فرکانس‌های پایین که $X_L$ در مقایسه با R قابل صرف‌نظر کردن است، به سمت مقدار ثابتی میل می‌کند. این موضوع را با رسم $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ (ستون ششم جدول) بر حسب فرکانس (ستون دوم جدول) تحقیق کنید.

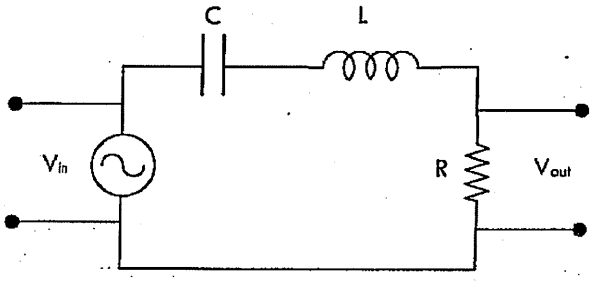
**(ب) مدار تک‌حلقه R-L-C**

**مبانی نظری**

در مدار شکل ۵، مقاومت R، خازن C و القاگر L به طور سری به یک منبع تغذیه متناوب وصل شده‌اند. اگر اختلاف‌پتانسیل منبع به صورت $V = V_m \sin \omega t$ تغییر کند، با اعمال قضیه حلقه داریم:

$$V = V_R + V_L + V_C$$

که در آن $V_R$، $V_L$، $V_C$ و $V$ اختلاف‌پتانسیل‌های لحظه‌ای دو سر مقاومت، القاگر، خازن و منبع تغذیه هستند. هر یک از این اختلاف‌پتانسیل‌ها تابعی سینوسی از زمان هستند که به یکدیگر اختلاف فاز دارند. در نتیجه، به آسانی قسمت‌های قبل نمی‌توانیم معادله جریان نسبت به زمان را به دست آوریم. برای این کار از نمودار فازنما استفاده می کنیم.



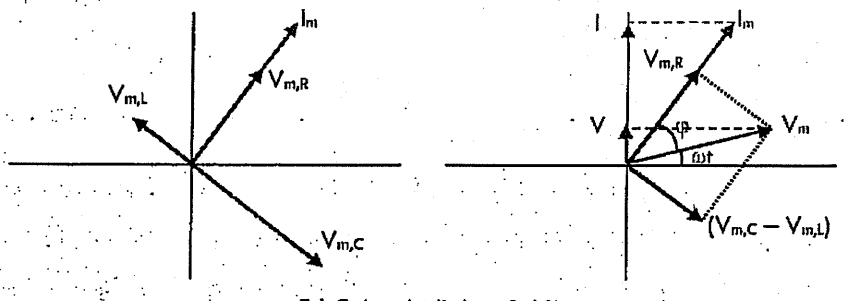

**شکل ۵. مدار تک حلقه‌ای R-L-C.**

با توجه به این‌که اندازه شدت جریان لحظه‌ای در تمام اجزای مدار در هر لحظه یکسان است، فاز جریان در تمام اجزای مدار یکسان خواهد بود. به سخن دیگر، برای جریان در یک مدار تک‌حلقه‌ای، یک معادله وجود دارد. شدت جریان در مقاومت با اختلاف پتانسیل دو سر آن هم‌فاز است و در نتیجه بردار فازنمای جریان منطبق بر بردار فازنمای اختلاف‌پتانسیل دو سر مقاومت است و نیز داریم:

$$V_{m,L} = X_L \quad ; \quad V_{m,C} = X_C I_m \quad ; \quad V_{m,R} = R I_m$$

با توجه به شکل ۶ می‌توان نوشت:

$$V_m^2 = V_{m,R}^2 + (V_{m,C} - V_{m,L})^2$$




**شکل ۶. نمودار فازنمای مدار R-L-C.**

با جایگذاری اندازه‌های اختلاف‌پتانسیل بر حسب اندازه شدت جریان در رابطه بالا، خواهیم داشت:

$$V_m^2 = R I_{m,R}^2 + I_{m,R}^2 (X_C - X_L)^2 \quad \rightarrow \quad V_m = I_m \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$$

و از آن جا خواهیم داشت:

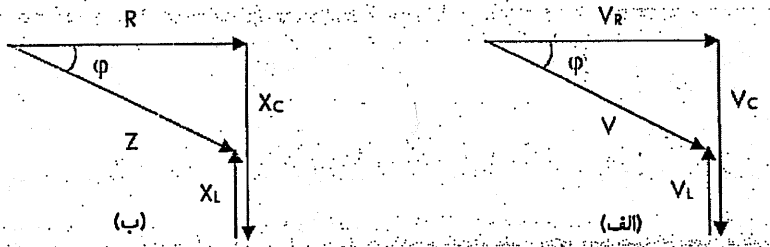
$$I_m = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}}$$

و با تعریف مقاومت ظاهری یا امپدانس به صورت $Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2}$ می‌توان نوشت:

$$I_m = \frac{V_m}{Z} \quad \rightarrow \quad V_m = ZI_m$$

به کمک ترسیم فرنل با استفاده از شکل ۷ می‌توان اختلاف فاز ولتاژ را نسبت به شدت جریان دو سر مدار به دست آورد.

$$\tan\varphi = \frac{V_{m,C} - V_{m,L}}{V_{m,R}} = \frac{X_C - X_L}{R}$$




شکل ۷. جمع برداری (الف) اختلاف‌پتانسیل و (ب) مقاومت مدار R-L-C به روش فرنل.

از این رو، اگر معادله اختلاف‌پتانسیل دو سر مدار به صورت $V = V_m \sin\omega t$ باشد، معادله شدت جریان در مدار به صورت زیر خواهد بود:

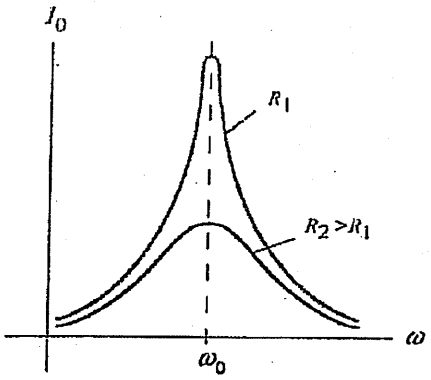
$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi)$$

**تشدید در مدار تک حلقه‌ای R-L-C**

رابطه $\tan\varphi = \frac{X_C - X_L}{R}$ نشان می‌دهد که اگر $X_C > X_L$ باشد، $\varphi > 0$ است و شدت جریان نسبت به اختلاف‌پتانسیل تقدم فاز دارد. در صورتی که $X_C < X_L$ باشد، $\varphi < 0$ است و شدت جریان نسبت به اختلاف‌پتانسیل تاخیر فاز دارد. در حالتی که $X_C = X_L$ باشد، $\varphi = 0$ است و اختلاف‌پتانسیل دو سر مدار با شدت جریان هم‌فاز است. در این حالت Z به کم‌ترین مقدار خود برای R رسیده و بنا بر رابطه $I_m = \frac{V_m}{Z}$، شدت جریان به بیشینه مقدار خود می‌رسد. این همان حالت تشدید است و داریم:

$$X_C = X_L \rightarrow \quad L\omega = \frac{1}{C\omega} \quad \text{یا} \quad LC\omega_0^2 = 1$$

که در آن $\omega_0$ فرکانس طبیعی نوسانات مدار است.




شکل ۸. تشدید در مدار R-L-C.

## روش انجام آزمایش

۱. مدار شکل ۵ را ببندید. برای R می‌توانید از جعبه مقاومت و برای L از جعبه القاگر استفاده کنید. دو سر منبع تغذیه را به دو سر کانال I اسیلوسکوپ و دو سر مقاومت R را به دو سر کانال II اسیلوسکوپ وصل کنید.

۲. مقادیر R، C و L را یادداشت کنید.

۳. منبع تغذیه را روی فرکانس پایینی تنظیم کرده و فرکانس موج هر دو کانال را اندازه بگیرید و در جدول یادداشت کنید.

۴. کلید ALT را انتخاب کنید تا هر دو موج بر روی صفحه اسیلوسکوپ نمایش داده شوند. آیا بین این دو موج اختلاف‌فاز مشاهده می‌کنید؟

۵. کلید ALT را به حالت عادی برگردانید و کلید XY را انتخاب کنید. چه چیزی مشاهده می‌کنید؟

۶. فرکانس و پیچ ولتاژ منبع تغذیه را ۵ بار تغییر داده و مراحل ۴ تا ۶ را تکرار کرده و جدول زیر را کامل کنید. برای $V_{in}$ و $V_{out}$ می‌توانید از $V_{pp}$ کانال I و II استفاده کنید.

| | $f$ | $V_{in}$ | $V_{out}$ | $X_C$ | $X_L$ | مقدار عملی $= \frac{V_{out}}{V_{in}}$ | مقدار تئوری $= \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$ | $\%RE = \frac{\lvert \text{مقدار تئوری} - \text{مقدار عملی} \rvert}{\text{مقدار تئوری}} \times 100$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | | | | | | | | |
| ۲ | | | | | | | | |
| ۳ | | | | | | | | |
| ۴ | | | | | | | | |
| ۵ | | | | | | | | |

۷. در مدار R-L نسبت $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2+(X_C-X_L)^2}}$ بر حسب فرکانس ابتدا صعودی است و بعد از رسیدن به فرکانس تشدید نزولی خواهد بود. مدار در فرکانس‌های بالا که $X_C$ در مقایسه با R قابل صرف‌نظر کردن است، القاگری و در فرکانس‌های پایین که $X_L$ در مقایسه با R قابل صرف‌نظر کردن است، خازنی خواهد بود. این موضوع را با رسم $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ (ستون ششم جدول) بر حسب فرکانس (ستون دوم جدول) تحقیق کنید و فرکانس تشدید را از روی نمودار به دست آورید.

$\omega_0 =$

۸. برای پیدا کردن فرکانس تشدید، کلید XY را فشار داده و آن‌قدر فرکانس منبع تغذیه را تغییر دهید تا بیضی تبدیل به خط شود (به طوری که با تغییر بسیار کمی در فرکانس دوباره به بیضی تبدیل شود) و با برگرداندن کلید XY به حالت عادی، فرکانس تشدید را اندازه بگیرید و با حالت قبل مقایسه کنید.

$\omega_0 =$