

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای

دستور کار آزمایشگاه فیزیک

پایه ۲

ویرایش بهمن ۹۷

مخصوص دانشجویان رشته علوم پایه و فنی

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دستور کار آزمایشگاه فیزیکی پایه ۲

مخصوص دانشجویان رشته فنی

مؤلفین :

هایده جعفریان، صادق سلطانی، علی سعیدی، مهدی شهیدی

صفحه آرای : فاطمه شبانی

ویرایش بهمن ۹۷

فهرست مطالب

دستورکلی برای انجام کارهای آزمایشگاه :	۴
آزمایش ۱ : آشنایی با اسیلوسکوپ	۱۴
آزمایش ۲ : آشنایی با دستگاه‌های اندازه‌گیری، مقاومت‌ها و نحوه خواندن آنها	۲۵
آزمایش ۳ : مدارهای مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر	۳۳
آزمایش ۴ : مشاهده اختلاف فاز و تعیین فرکانس مجهول با استفاده از اشکال لیسازو	۳۸
آزمایش ۵ : قانون اهم، قوانین کیرشهف، اتصال سری و موازی لامپ‌ها	۴۳
آزمایش ۶ : شارژ و دشارژ خازن؛ اتصال سری و موازی خازن‌ها	۴۸
آزمایش ۷ : ترانسفورماتور؛ بررسی تجربی قانون لنز؛ تعیین مقاومت با استفاده از پل وتستون و پل تار	۵۲
آزمایش ۸ : بررسی میدان مغناطیسی در حلقه و سیم‌لوله، تعیین مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین به کمک حلقه حامل جریان	۶۰
آزمایش ۹ : مقاومت، خازن و القاگر در مدارهای AC	۶۷

دستور کلی برای انجام کارهای آزمایشگاه :

دانشجویان بایستی به این مطلب توجه کنند که در این دانشکده ضمن فراگرفتن مطالب نظری، خود را برای کارهای تحقیقاتی و علمی عملی در آزمایشگاه مهیا سازند و این تنها با صرف وقت و تمرین و ممارست امکان پذیر است. برای اینکه بتوان از کار در آزمایشگاه نتیجه مطلوب را بدست آورد بایستی نکات زیر که شما را برای کار در آزمایشگاه ماهرتر و تواناتر می سازد، مورد توجه قرار دهید.

۱) احاطه به موضوع کار :

هر دانشجو موظف است قبل از اینکه به آزمایشگاه بیاید، آزمایش مورد نظر را به دقت مطالعه نماید تا در هنگام انجام آزمایش از هدف انجام آزمایش و تئوری آن اطلاع کامل داشته باشد. در این خصوص اگر تئوری موجود در دستور کار دارای ابهامی باشد می توان از کتابهای فیزیک پایه مانند فیزیک پایه هالیدی، فیزیک دانشگاهی زیمانسکی و... استفاده نمود.

۲) مراقبت از وسایل :

احتیاط و دقت در بکار بردن لوازم آزمایشگاه لازمه کار در آزمایشگاه است و برای جلوگیری از شکستن و یا خراب شدن آنها قبل از هر آزمایش باید لوازم مربوط به آن را بررسی نموده و با آنها آشنا گردید. وسایلی را که با طرز کار آنها آشنا نیستید بدون اجازه مربی آزمایشگاه دست نزنید و اگر در هنگام انجام آزمایش در اسباب خود گیر و یا اشکالی مشاهده کردید، مطلقاً متوسل به زور نشوید؛ بلکه از مربی آزمایشگاه کمک بگیرید.

وسایل آزمایشگاهی را که در آزمایشگاه بکار می برید پس از پایان آزمایش مرتب نمایید و وسایل برقی را حتماً خاموش کنید.

۳) تنظیم و تقسیم کار :

با توجه به محدود بودن وقت باید هر گروه به شکل مناسبی کارهای مربوط به آزمایش را بین افراد گروه تقسیم نماید در این خصوص باید سعی شود که تمام افراد گروه در انجام آزمایش مشارکت نمایند.

۴) نظم و ترتیب :

نظم و ترتیب در آزمایشگاه بالاترین اولویت کار در آزمایشگاه را دارا می باشد و باید حتماً موارد زیر را هنگام کار کردن با وسایل آزمایشگاهی بکار ببندید:

الف) اسبابها و وسایل اندازه گیری را طوری مرتب بچینید که به هم تکیه نکنند و حتی الامکان مانع کارهای یکدیگر نشوند.

ب) دقت کنید که اسبابهای اندازه‌گیری را هیچگاه برای اندازه‌گیری مقادیر، بیش از حداکثر مقداری که بر روی آنها درج شده است، بکار نبرید.

ج) سعی کنید دستگاه‌ها را مطابق شکل سوار کنید.

د) از جابجایی و آوردن وسایل از میزهای کار دیگر جدا خودداری نمایید.

ه) حتماً پس از پایان آزمایش میز کار خود را مرتب کرده و صندلی‌ها را در جای خود قرار دهید.

۵) علاقمندی به کار :

انجام یک آزمایش در آزمایشگاه تنها برای ادای تکلیف انجام نمی‌گردد و چنانچه علاقه و شوق نسبت به انجام آزمایش نداشته باشید، نه تنها به نتیجه مطلوب نمی‌رسید، بلکه وقت خود و سایر دانشجویان را بیهوده تلف کرده‌اید. دانشجویان باید بدانند که انجام کارهای آزمایشگاه برای آنها مفید است و در نتیجه با عشق و علاقه کافی به انجام یک تجربه در آزمایشگاه دست بزنید.

۶) اشتباهات اندازه‌گیری :

انجام یک اندازه‌گیری دقیق در آزمایشگاه عملی است مشکل و توفیق در آن بستگی به طبیعت و چگونگی موضوع آزمایش و همچنین به وسایل اندازه‌گیری و دستگاههای آزمایشگاه دارد. حال عوامل مهمی را که تاثیر کلی در آزمایش داشته و ما را از اشتباهات برحذر می‌دارند گوشزد می‌کنیم.

الف) دستگاههای اندازه‌گیری :

اکثر خطاهایی که در آزمایش‌ها رخ می‌دهند مربوط به دستگاه‌ها و وسایل اندازه‌گیری است. بنابراین لازم است که قبلاً موارد زیر را بدانیم.

۱- حساسیت :

دستگاهی را حساس می‌گوئیم که با آن بتوان کوچکترین تغییر کمیت مورد نظر آزمایش را تشخیص داد.

۲- درستی :

دستگاهی را درست می‌گوئیم که نتایج سنجش آن با مقدار واقعی کمیت مورد نظر اندازه‌گیری خیلی به هم نزدیک باشند.

۳- قابل اطمینان :

دستگاهی را قابل اطمینان گویند که نتایج اندازه‌گیری مکرر آن همیشه یکسان بوده و با هم اختلاف نداشته باشد.

ب) روش آزمایش :

روشی که برای انجام آزمایش انتخاب می‌شود، در حصول نتیجه صحیح تاثیر بسزایی دارد که در اینجا به دلیل محدود بودن دقت دانشجویان، روش آزمایش در دستور کار آزمایشگاه داده شده است.

ج) مهارت شخص آزمایش کننده :

دانشجو باید قبل از هر آزمایش موضوع مورد آزمایش را به دقت مطالعه نماید و با آمادگی و آگاهی کافی به انجام آزمایش بپردازد. به همین دلیل در اول هر جلسه و قبل از شروع آزمایش یک کوئیز در مورد آزمایش همان جلسه از دانشجو گرفته می‌شود که قسمتی از نمره نهایی دانشجو را شامل می‌گردد.

همچنین دانشجو باید در پایان آزمایش، گزارشی از مشاهدات و نتایج آزمایش ارائه دهد که این گزارش شامل قسمت‌های مختلفی از جمله عنوان و هدف آزمایش، جداول و محاسبات مربوطه، رسم منحنی‌ها و محاسبات خطا، نتیجه آزمایش و نظریات دانشجو می‌باشد.

علاوه بر موارد فوق باید سوالات هر آزمایش که در دستور کار مشخص شده، کتبا در برگه گزارش کار پاسخ داده شود.

لازم به ذکر است که تمیزی و مرتب بودن برگه گزارش کار نشانه دقت عمل و سلیقه دانشجو بوده و نیز بخشی از نمره مربوط به آن را شامل می‌شود.

رسم منحنی‌ها :

در رسم منحنی‌ها نکات زیر را مراعات کنید.

- ۱- منحنی را همیشه روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.
- ۲- کمیت‌هایی را که بر هر محور بکار می‌برید کنار آن یادداشت کنید.
- ۳- مقیاس‌ها را چنان انتخاب کنید که حتی الامکان تمام طول هر دو محور استفاده شود. بدین منظور اغلب لازم است که از نشان دادن مبدا روی محور مختصات صرف نظر کنید؛ مگر اینکه بدون نشان دادن مبدا بر روی صفحه کاغذ منحنی ناقص بماند که در این صورت مقیاس را کوچک بگیرید.
- ۴- نقاط به دست آمده از آزمایش را با یک نقطه پررنگ یا با علامت "x" مشخص کنید.
- ۵- تمامی اعداد و حروف و نقاط منحنی و خود آن واضح باشد.
- ۶- عموماً هنگام رسم منحنی نباید تمام نقاط آزمایش را به یکدیگر وصل کرد و یک خط شکسته تشکیل داد؛ بلکه بایستی منحنی را طوری رسم کرد که نقاط آزمایشی کم و بیش در طرفین منحنی قرار گیرند.
- ۷- برای مدرج کردن محورها فقط اعدادی مانند ۱۰، ۲۰، ۳۰ و.... را در کنار آن بنویسید. لازم نیست که اندازه‌های عددی تمام نقاط منحنی را در کنار محورها یادداشت کنید.

خطای اندازه‌گیری :

هر اندازه‌گیری با خطا با عدم قطعیت همراه است. در هنگام انجام آزمایش با دقت در انجام آزمایش و استفاده صحیح و مناسب از وسایل آزمایش باید تا حد امکان خطا را کاهش داد. ولی به دلیل محدودیت دقت وسایل اندازه‌گیری، خطاهای اتفاقی و خطاهای ناشی از عوامل محیطی، نمی‌توان خطا را در یک آزمایش به صفر رساند. به همین دلیل در یک آزمایش باید میزان خطا را محاسبه نمود تا دقت انجام آزمایش مشخص گردد.

خطای مطلق :

بعلت محدود بودن دقت وسایل اندازه‌گیری و مهارت و آزمودگی شخص آزمایش کننده، هیچوقت نمی‌توان اندازه واقعی یک کمیت را اندازه‌گیری کرد؛ بلکه نتیجه اندازه‌گیری مقداری با اندازه واقعی آن کمیت اختلاف دارد که این اختلاف به خطا یا بیراهی مطلق مرسوم است.

اگر مقدار واقعی کمیت را با x' و مقداری که در نتیجه آزمایش بدست آمده با x نمایش دهیم در این صورت خطای مطلق برابر خواهد بود با :

$$\Delta x' = |x' - x|$$

از آنجا که مقدار خطای مطلق و علامت آن معلوم نیست (زیرا اگر معلوم باشد دیگر خطا نیست)، بنابراین مقدار واقعی کمیت در محدوده زیر قرار دارد :

$$x - \Delta x < x' < x + \Delta x$$

خطای نسبی :

خطای مطلق تنها میزان دقت آزمایش را نشان نمی‌دهد. بلکه در حقیقت بایستی دید که این خطا در اندازه‌گیری چه مقدار از کمیت مورد اندازه‌گیری رخ داده است. می‌توان خطای نسبی را به صورت زیر تعریف کرد.

مقدار واقعی / خطای مطلق = خطای نسبی

$$\text{خطای نسبی} = \frac{\Delta x}{x'}$$

دقت :

باتوجه به مطالب فوق می‌توان گفت که هر چه خطای نسبی کل کوچکتر باشد، دقت روش اندازه‌گیری بیشتر است. بنابراین دقت را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد :

$$\text{دقت} = \frac{1}{|x' - x|}$$

(دقت عبارت است از عکس خطای مطلق)

حساسیت :

وقتی عقربه دستگاهی در مقابل کوچکترین کمیت مورد اندازه‌گیری انحراف پیدا کند، می‌گوئیم آن دستگاه حساس است. حساسیت دستگاه برابر است با "عکس خطای نسبی اندازه‌گیری شده"

اشتباه :

چنانچه خطا از حدود دقت لازم کمتر باشد مجاز است و اگر بیشتر باشد، آن خطا را اشتباه می‌گویند. در این مواقع باید آزمایش از نو انجام گیرد.

محاسبات خطا :

بعضی از کمیت‌های فیزیکی قابل اندازه‌گیری هستند. برای این کمیات خطای مطلق در اندازه‌گیری کمیت برابر با کوچکترین میزان قابل سنجش توسط وسیله اندازه‌گیری است. برای مثال اگر با خط‌کش معمولی یک جسم اندازه‌گیری شود، خطای مطلق برابر $\Delta x = 1 \text{ mm}$ است.

از طرفی اکثر کمیات مورد علاقه ما در فیزیک مستقیماً قابل سنجش نیستند و با کمک فرمول‌هایی به کمیات قابل سنجش مرتبط می‌شوند. بنابراین در حالت کلی باید بتوان درباره این کمیت‌ها نیز خطا را محاسبه کرد. در ساده‌ترین حالت یک کمیت بصورت حاصل جمع، تفاضل، حاصل ضرب و خارج قسمت کمیت‌های دیگر می‌باشد و در حالت کلی‌تر کمیت مورد نظر به صورت تابع پیچیده‌تری از کمیت‌ها قابل اندازه‌گیری است.

(۱) خطای حاصل جمع :

اگر $x = c + d$ و حداکثر خطاهایی که در اندازه‌گیری مقادیر c و d رخ می‌دهد به ترتیب برابر Δc و Δd باشد، در این صورت خطای مطلق Δx عبارتست از:

$$\begin{aligned} x + \Delta x &= (c + \Delta c) + (d + \Delta d) \\ \Rightarrow \Delta x &= \Delta c + \Delta d \end{aligned}$$

و میزان خطای نسبی برابر است با :

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta c}{c + d} + \frac{\Delta d}{c + d}$$

(۲) خطای تفاضل :

اگر کمیت مورد نظر به صورت $x = c - d$ باشد، به طریق مشابهی نظیر محاسبه خطای حاصل ضرب می‌توان نوشت :

$$\begin{aligned}x + \Delta x &= (c + \Delta c) - (d + \Delta d) \\ \Rightarrow \Delta x &= \Delta c - \Delta d\end{aligned}$$

اما چون علامت‌های Δc و Δd معلوم نیستند، خطای مطلق و خطای نسبی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\begin{aligned}\Delta x &= \Delta c + \Delta d \\ \frac{\Delta x}{x} &= \frac{\Delta c}{c - d} + \frac{\Delta d}{c - d}\end{aligned}$$

(۳) خطای حاصل ضرب :

اگر کمیت مورد اندازه‌گیری به صورت زیر باشد :

$$x = c d$$

داریم :

$$\begin{aligned}x + \Delta x &= (c + \Delta c).(d + \Delta d) \\ \Rightarrow \Delta x &= c \Delta d + d \Delta c + \Delta c . \Delta d\end{aligned}$$

چون $\Delta c . \Delta d$ در مقابل بقیه جملات بسیار کوچک است، لذا از آن سر نظر می‌کنیم. در این صورت :

$$\Delta x = c \Delta d + d \Delta c$$

خطای نسبی در مورد حاصل ضرب به صورت زیر است.

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{c \Delta d + d \Delta c}{c d} = \frac{\Delta c}{c} + \frac{\Delta d}{d}$$

در حالت خاصی که همه کمیتها با هم برابر باشند (یعنی $x = c^n$ باشد)، خطای نسبی برابر است با :

$$\frac{\Delta x}{x} = n \frac{\Delta c}{c}$$

(۴) خطای تقسیم :

اگر کمیتی به صورت $x = \frac{c}{d}$ باشد، داریم :

$$x + \Delta x = \frac{(c + \Delta c)}{(d + \Delta d)}$$

$$\Rightarrow \Delta x = \frac{c + \Delta c}{d + \Delta d} - \frac{c}{d} = \frac{d \Delta c - c \Delta d}{d^2 - d \Delta d}$$

چون Δd در مقابل d خیلی کوچک است، لذا در مخرج کسر از $d \Delta d$ در مقابل d^2 صرف نظر می‌کنیم:

$$\Delta x = \frac{d \Delta c - c \Delta d}{d^2}$$

پس خطای نسبی تقسیم دو کمیت برابر است با :

$$\Rightarrow \frac{\Delta x}{x} = \frac{d \Delta c - c \Delta d}{d^2} \times \frac{d}{c} = \frac{\Delta c}{c} - \frac{\Delta d}{d}$$

چون واقعا علامتهای Δc و Δd معلوم نیستند، لذا بایستی حداکثر خطا منظور گردد. بنابراین :

$$\Rightarrow \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta c}{c} + \frac{\Delta d}{d}$$

قانون کلی محاسبه بیراهی نسبی (خطای نسبی) :

یک راه کلی برای محاسبه خطای نسبی $\frac{\Delta x}{x}$ از طریق دیفرانسیل‌گیری لگاریتمی است. اگر کمیت اندازه مورد نظر ما x باشد که این کمیت با کمیت‌های c, d, e, f, \dots که مستقیماً آزمایش می‌گردند، با رابطه :

$$x = (c, d, e, f, \dots)$$

ارتباط داشته باشد، برای محاسبه خطای نسبی ابتدا از رابطه فوق لگاریتم و سپس دیفرانسیل می‌گیریم. پس از آن بجای دیفرانسیل‌های c, d, e, f, \dots بیراهی‌های ماکزیمم هرکدام از این کمیت‌ها را قرار می‌دهیم.

بعنوان مثال :

$$x = ab$$

$$\ln x = \ln(ab) = \ln a + \ln b$$

$$\frac{dx}{x} = \frac{da}{a} + \frac{db}{b} \Rightarrow \frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}$$

مثال : به کمک یک کولیس با دقت 0.1 mm شعاع سکه‌ای را اندازه‌گیری نموده‌ایم. اگر شعاع اندازه‌گیری شده برابر $r = 11.1 \text{ mm}$ باشد، مطلوبست مقدار واقعی سطح سکه؟

حل : فرض می‌کنیم سطح واقعی سکه s و سطح اندازه‌گیری شده S باشد. بنابراین داریم :

$$s = \pi r^2 = \pi (11.1)^2 = 387 \text{ mm}^2$$

برای بدست آوردن Δs یعنی خطای اندازه‌گیری، باید خطای نسبی را حساب کنیم :

$$s = \pi r^2 \Rightarrow Lns = Ln\pi + 2Lnr$$

$$\frac{ds}{s} = 0 + 2 \frac{dr}{r} \Rightarrow \frac{\Delta s}{s} = 2 \frac{\Delta r}{r} \Rightarrow \Delta s = 2 \frac{\Delta r}{r} \times s$$

$$\Delta s = \frac{2 \times 0.1}{11.1} \times 387 = 7 \text{ mm}^2$$

بنابراین s' سطح واقعی سکه برابر است با :

$$s - \Delta s \leq s' \leq s + \Delta s$$

$$380 \text{ mm}^2 \leq s' \leq 394 \text{ mm}^2$$

در نتیجه مقدار واقعی سطحی سکه بین دو حد بالا می‌باشد. این موضوع را از راه حدود اندازه‌گیری شعاع نیز می‌توان استنباط نمود:

کمترین مقدار ممکن برای شعاع سکه با توجه به دقت کولیس برابر است با :

$$r - \Delta r = 11.1 - 0.1 = 11 \text{ mm}$$

بنابراین حداقل سطح سکه برابر است با :

$$s = \pi r^2 = \pi(11) = 380 \text{ mm}^2$$

بیشترین مقدار ممکن برای شعاع سکه با توجه به دقت کولیس برابر است با :

$$r + \Delta r = 11.1 + 0.1 = 11.2 \text{ mm}$$

و در نتیجه حداکثر سطح سکه برابر است با :

$$s = \pi r^2 = \pi(11.2) = 394 \text{ mm}^2$$

این همان نتیجه‌ای است که از طریق محاسبه لگاریتمی خطا محاسبه گردید.

مطلب دیگری که باید در حل مسایل فیزیکی و در آزمایشگاه فیزیک بخاطر سپرد، استفاده از سیستم‌های مختلف اندازه‌گیری می‌باشد.

سیستم‌هایی که در آزمایشگاه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، سیستم‌های M.K.S و C.G.S می‌باشند. اولی سیستم اندازه‌گیری بین المللی است که در این سیستم کمیتی از قبیل طول، جرم و زمان کمیات اصلی و بقیه کمیت‌های فرعی هستند.

کمیات اصلی کمیتی هستند که برای تعیین مقدار آنها واحد مستقلى تعريف می‌کنیم؛ مثل طول که در سیستم M.K.S با متر m و در سیستم C.G.S با سانتیمتر cm سنجیده می‌شود.

کمیت فرعی کمیاتی هستند که به وسیله فرمول‌هایی با کمیت‌های اصلی ارتباط پیدا می‌کنند. واحد این کمیت اصلی بوسیله این فرمول‌ها مشخص می‌گردد. مثلاً سرعت در سیستم M.K.S با متر بر ثانیه m/s و در سیستم C.G.S با سانتی‌متر بر ثانیه cm/s سنجیده می‌شود.

جدولی که ارائه می‌گردد کمیت‌های اصلی و فرعی را دو سیستم فوق معرفی و واحدهای اندازه‌گیری آنها را بیان می‌کند.

International System of Units (SI)

SI Base Units

Base Quantity	Name	Symbol
Length	meter	m
Mass	kilogram	kg
Time	second	s
Electric current	ampere	A
Temperature	kelvin	K
Amount of substance	mole	mol
Luminous intensity	candela	cd

SI Prefixes

Factor	Name	Symbol	Numerical Value
10^{12}	tera	T	1 000 000 000 000
10^9	giga	G	1 000 000 000
10^6	mega	M	1 000 000
10^3	kilo	k	1 000
10^2	hecto	h	100
10^1	deka	da	10
10^{-1}	deci	d	0.1
10^{-2}	centi	c	0.01
10^{-3}	milli	m	0.001
10^{-6}	micro	μ	0.000 001
10^{-9}	nano	n	0.000 000 001
10^{-12}	pico	p	0.000 000 000 001

SI Derived Units

Derived Quantity	Name	Symbol	Equivalent SI units
Frequency	hertz	Hz	s^{-1}
Force	newton	N	$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
Pressure	pascal	Pa	N/m^2
Energy	joule	J	$N \cdot m$
Power	watt	W	J/s
Electric charge	coulomb	C	$s \cdot A$
Electric potential	volt	V	W/A
Electric resistance	ohm	Ω	V/A
Celsius temperature	degree Celsius	$^{\circ}C$	K^*

*Unit degree Celsius is equal in magnitude to unit kelvin.

* Adapted from NIST Special Publication 811

* SI rules and style conventions recommend using spaces rather than commas to separate groups of three digits.

Some Fundamental Constants of Physics

Constant	Symbol	Computational Value	Best (1998) Value	
			Value ^a	Uncertainty ^b
Speed of light in a vacuum	c	3.00×10^8 m/s	2.997 924 58	exact
Elementary charge	e	1.60×10^{-19} C	1.602 176 487	0.025
Gravitational constant	G	6.67×10^{-11} m ³ /s ² · kg	6.674 28	100
Universal gas constant	R	8.31 J/mol · K	8.314 472	1.7
Avogadro constant	N_A	6.02×10^{23} mol ⁻¹	6.022 141 79	0.050
Boltzmann constant	k	1.38×10^{-23} J/K	1.380 650 4	1.7
Stefan–Boltzmann constant	σ	5.67×10^{-8} W/m ² · K ⁴	5.670 400	7.0
Molar volume of ideal gas at STP ^d	V_m	2.27×10^{-2} m ³ /mol	2.271 098 1	1.7
Permittivity constant	ϵ_0	8.85×10^{-12} F/m	8.854 187 817 62	exact
Permeability constant	μ_0	1.26×10^{-6} H/m	1.256 637 061 43	exact
Planck constant	h	6.63×10^{-34} J · s	6.626 068 96	0.050
Electron mass ^c	m_e	9.11×10^{-31} kg	9.109 382 15	0.050
		5.49×10^{-4} u	5.485 799 094 3	4.2×10^{-4}
Proton mass ^c	m_p	1.67×10^{-27} kg	1.672 621 637	0.050
		1.0073 u	1.007 276 466 77	1.0×10^{-4}
Ratio of proton mass to electron mass	m_p/m_e	1840	1836.152 672 47	4.3×10^{-4}
Electron charge-to-mass ratio	e/m_e	1.76×10^{11} C/kg	1.758 820 150	0.025
Neutron mass ^c	m_n	1.68×10^{-27} kg	1.674 927 211	0.050
		1.0087 u	1.008 664 915 97	4.3×10^{-4}
Hydrogen atom mass ^c	m_{1H}	1.0078 u	1.007 825 031 6	0.0005
Deuterium atom mass ^c	m_{2H}	2.0136 u	2.013 553 212 724	3.9×10^{-5}
Helium atom mass ^c	m_{4He}	4.0026 u	4.002 603 2	0.067
Muon mass	m_μ	1.88×10^{-28} kg	1.883 531 30	0.056
Electron magnetic moment	μ_e	9.28×10^{-24} J/T	9.284 763 77	0.025
Proton magnetic moment	μ_p	1.41×10^{-26} J/T	1.410 606 662	0.026
Bohr magneton	μ_B	9.27×10^{-24} J/T	9.274 009 15	0.025
Nuclear magneton	μ_N	5.05×10^{-27} J/T	5.050 783 24	0.025
Bohr radius	a	5.29×10^{-11} m	5.291 772 085 9	6.8×10^{-4}
Rydberg constant	R	1.10×10^7 m ⁻¹	1.097 373 156 852 7	6.6×10^{-6}
Electron Compton wavelength	λ_C	2.43×10^{-12} m	2.426 310 217 5	0.0014

^aValues given in this column should be given the same unit and power of 10 as the computational value.

^bParts per million.

^cMasses given in u are in unified atomic mass units, where 1 u = $1.660\,538\,782 \times 10^{-27}$ kg.

^dSTP means standard temperature and pressure: 0°C and 1.0 atm (0.1 MPa).

آزمایش ۱: آشنایی با اسیلوسکوپ

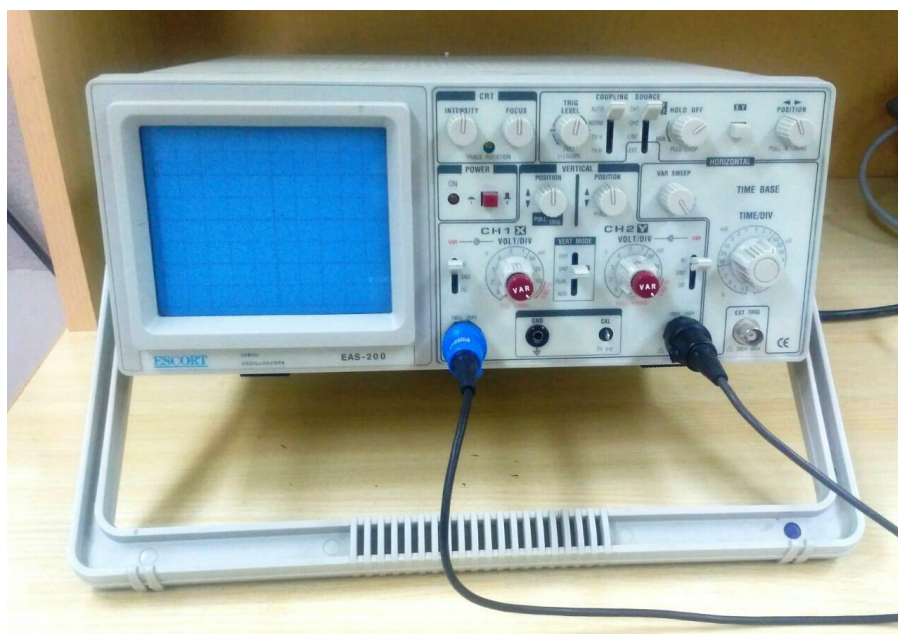
هدف آزمایش: آشنایی با نحوه استفاده از اسیلوسکوپ، مشاهده شکل موج‌ها، نحوه اندازه‌گیری ولتاژ قله به قله یک موج، ولتاژ یک نقطه از موج و اندازه‌گیری فرکانس موج

تئوری آزمایش:

اسیلوسکوپ وسیله‌ای اساسی در آزمایشگاه‌های الکترونیک است که به کمک آن می‌توان کمیت‌های مختلفی مانند شکل موج، ولتاژ، فرکانس، اختلاف فاز و علائم الکترونیکی را مشاهده و اندازه‌گیری نمود.

اندازه‌گیری و مشاهده شکل موج‌ها در اسیلوسکوپ از ولتاژ با فرکانس صفر (DC) شروع و به فرکانس مشخصی ختم می‌گردد که معمولاً اسیلوسکوپ را با این فرکانس مشخص می‌کنند. مثلاً اسیلوسکوپ ۲۰ مگاهرتز، یعنی اسیلوسکویی که می‌تواند ولتاژهای DC و AC تا ۲۰ MHZ را نمایش دهد.

اسیلوسکوپ‌ها در نوع آنالوگ و دیجیتال ساخته می‌شوند که ما در اینجا به بررسی نوع آنالوگ آن می‌پردازیم.



شکل (۱)

اسیلوسکوپ‌ها ممکن است یک کاناله و یا چند کاناله باشند. اسیلوسکوپ‌های مورد استفاده در آزمایشگاه دو کاناله می‌باشند؛ یعنی همزمان قادر به نمایش دادن دو سیگنال روی صفحه نمایش خود هستند.

پروب (Probe) : برای انتقال سیگنال های الکتریکی به اسیلوسکوپ ، از استفاده می شود. تصویر پروب در شکل (۲) نمایش داده شده است.



شکل (۲)

سیم رابط پروب معمولاً از جنس کابل کواکسیال می باشد تا میزان نویز به حداقل برسد. نوک پروب به صورت گیره‌ای فنری است که می توان آن را به یک نقطه از مدار وصل کرد. اگر پوشش پلاستیکی نوک پروب را برداریم، نوک آن به صورت سوزنی می‌شود که در آزمایشگاه از آن استفاده می‌گردد. انتهای فلزی سیم رابط که به ورودی اسیلوسکوپ وصل می شود BNC نام دارد. BNC دارای یک شیار مورب است که وقتی آن را به ورودی اسیلوسکوپ وصل می کنیم و ۹۰ درجه در جهت عقربه های ساعت می‌چرخانیم این قطعه کاملاً به اسیلوسکوپ متصل می شود. همچنین روی پروب کلیدی با دو حالت ۱× و ۱۰× وجود دارد که در حالت ۱× سیگنال بدون هیچ گونه تضعیفی از طریق پروب به اسیلوسکوپ اعمال می‌گردد و در حالت ۱۰× ابتدا سیگنال در داخل پروب ۱۰ برابر تضعیف شده و سپس به اسیلوسکوپ اعمال می‌گردد. باید توجه داشت که اگر از حالت ۱۰× پروب، برای اندازه‌گیری استفاده شود مقادیر قرائت شده دامنه را باید در عدد ۱۰

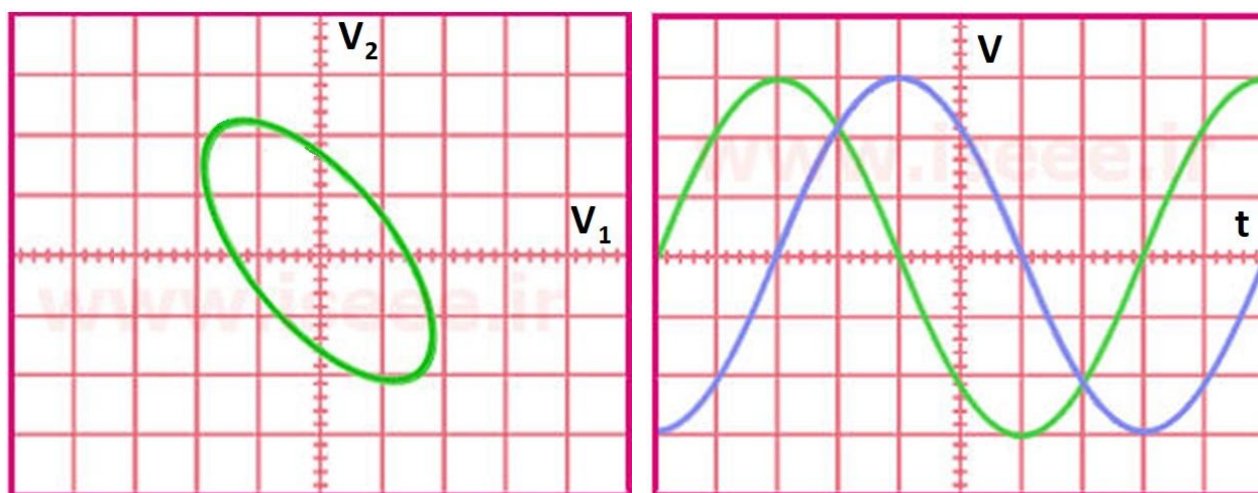
ضرب نمود تا مقدار واقعی دامنه سیگنال بدست آید. موارد کاربرد $\times 10$ برای سیگنال‌های با دامنه زیاد می‌باشد.

توجه شود که تحت هیچ شرایطی پروب را از اسیلوسکوپ‌های آزمایشگاه باز نکنید و در صورت لزوم برای انجام اینکار به استاد خود اطلاع دهید.

خروجی اسیلوسکوپ نموداری است که با استفاده از آن مشخصات مورد نظر با سیگنال و روی بررسی می‌شود. به طور کلی در موارد مختلفی که در این آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد، اسیلوسکوپ را در دو حالت ممکن قرار می‌دهیم: مد عادی و مد $X-Y$.

مد عادی: در این حالت بر روی صفحه نمایش محور افق متناظر با زمان، و محور عمود محور ولتاژ می‌باشد. یعنی آنچه که بر روی صفحه نمایش مشاهده می‌شود نمودار ولتاژ بر حسب زمان، مربوط به ورودی کانال یک یا کانال دو یا هر دو می‌باشد. (تصویر سمت راست در شکل ۳)

مد $X-Y$: در این حالت بر روی صفحه نمایش محور افق متناظر با ولتاژ کانال یک و محور عمود متناظر با ولتاژ کانال دو می‌باشد. یعنی زمان بین نمودارهای V_1-t و V_2-t حذف می‌شود و آنچه که بر روی صفحه نمایش مشاهده می‌شود، نمودار ولتاژ کانال ۲ بر حسب کانال ۱ می‌باشد (تصویر سمت چپ در شکل ۳). توجه شود هنگامی که از این مد استفاده می‌کنیم، باید هر سه دکمه ۱۰، ۶ و ۱۲ مشخص شده در شکل (۵)، در حالت $X-Y$ قرار بگیرند.

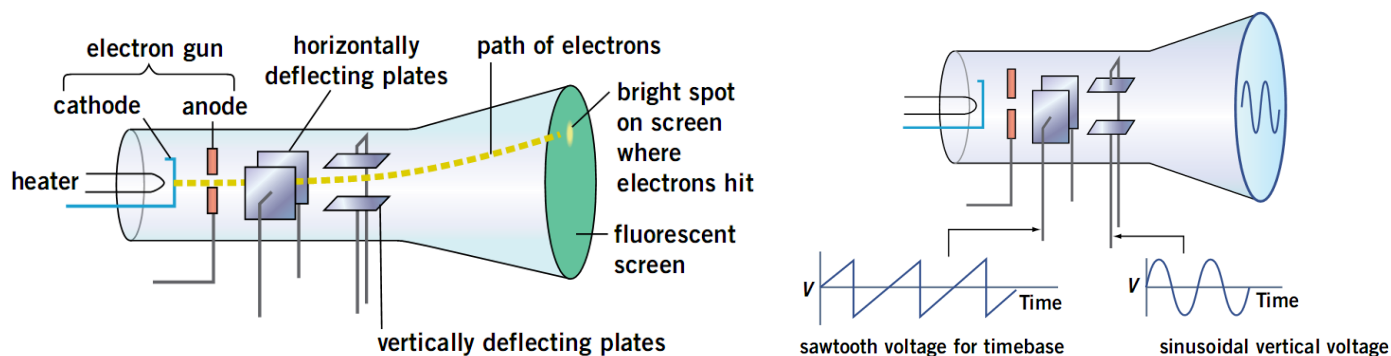


شکل (۳)

در ادامه به بررسی ساختمان اسیلوسکوپ و معرفی کلیدهای مختلف بر روی اسیلوسکوپ می‌پردازیم.

ساختمان اسیلوسکوپ:

در شکل (۴) اجزای مختلف اسیلوسکوپ نشان داده شده است.



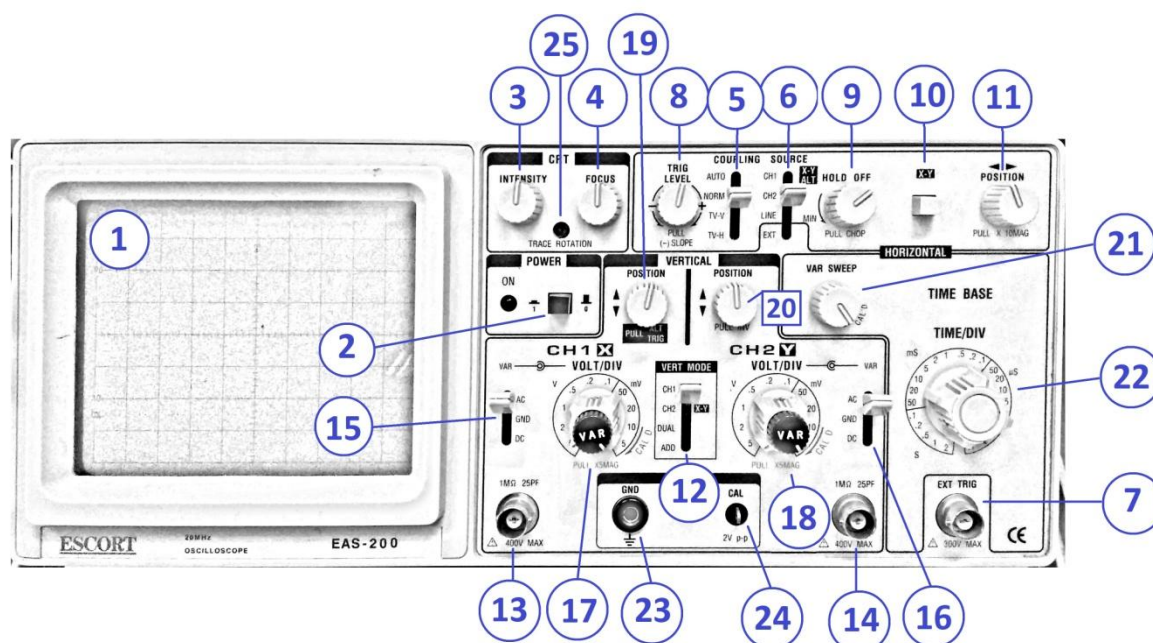
شکل (۴)

در اسیلوسکوپ در ابتدا یک اشعه الکترونی تولید می‌شود. منظور از اشعه الکترونی تعداد زیادی الکترون می‌باشد که به صورت یک اشعه فوق العاده باریک درآمده و با سرعت بسیار زیاد (چند هزار کیلومتر در ثانیه) در حرکت است. زمانی که این اشعه الکترونی با سرعت زیاد با مواد فسفرسانس پشت صفحه نمایش اسیلوسکوپ برخورد می‌کند مواد فسفرسانس از خود نور تولید می‌کنند. برای اینکه این اشعه الکترونی شکل موج‌ها را روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش دهد، لازم است در دو جهت عمودی و افقی حرکت کند. بر این اساس دو دسته صفحه به نام‌های صفحات انحراف عمودی و صفحات انحراف افقی را در مسیر حرکت اشعه الکترونی قرار می‌دهند. هر کدام از این صفحات، از دو صفحه موازی تشکیل شده‌اند. در اثر ایجاد اختلاف پتانسیل بین دو صفحه موازی، اشعه الکترونی به سمت صفحه دارای پتانسیل بیشتر متمایل می‌شود و به این ترتیب محل برخورد اشعه الکترونی با مواد فسفرسانس پشت صفحه نمایش تغییر می‌کند. نتیجه این عمل آنست که محل تولید نور روی صفحه نمایش تغییر می‌کند.

سیگنالی که ما می‌خواهیم روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده شود به صفحات انحراف عمودی اعمال می‌شود و متناسب با تغییرات دامنه این سیگنال، اشعه الکترونی در راستای عمودی جابجا می‌شود. اما برای اینکه شکل موج به طور صحیح روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده شود، باید همزمان با جابجا شدن اشعه در راستای عمودی، اشعه در راستای افقی نیز جابجا شود. در غیر این صورت روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ به جای یک موج سینوسی فقط یک خط عمودی دیده می‌شود.

برای اینکه شکل موج ورودی به درستی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده شود، همیشه همزمان با سیگنال ورودی یک موج به صفحات انحراف افقی اعمال می‌شود. این موج را که موج Ramp می‌گویند، مانند تصویر سمت راست شکل (۴) یک موج دندانه اریای است. در واقع موج Ramp بستری است که موج اصلی بر روی آن سوار می‌شود. اگر فرکانس موج Ramp با فرکانس سیگنال ورودی یکی باشد، یک سیکل کامل از موج ورودی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود و اگر فرکانس موج Ramp بیش از فرکانس سیگنال ورودی باشد، چند سیکل از سیگنال ورودی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود. برای اینکه شکل موج ساکنی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ داشته باشیم، لازم است تا حرکت افقی اشعه الکترونی هر بار از محل مشخصی از سیگنال ورودی شروع شود که این وظیفه بر عهده قسمت تریگر اسیلوسکوپ می‌باشد. اگر عمل تریگر انجام نشود ممکن است سیگنال ورودی در صفحه نمایش اسیلوسکوپ حرکت کند. برای عمل تریگر روش‌های مختلفی وجود دارد و بر این اساس کلیدهایی بر روی پانل اسیلوسکوپ تعبیه شده است که به وسیله آنها می‌توان نوع تریگر را انتخاب نمود. این کلیدها در شکل (۵) شامل کلیدهای ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹ می‌باشند که در بخش بعد راجع به آنها توضیح داده می‌شود.

بخش‌های مختلف پانل اسیلوسکوپ:



شکل (۵)

(۱) **صفحه نمایش:** در این بخش تصویر حاصل از لامپ کاتدی (که تحت اثر سیگنال ورودی قرار گرفته شده است) مشاهده می‌شود. صفحه نمایش از خطوطی به موازات محور افقی (X) و خطوطی به موازات محور قائم (Y) تشکیل شده است. این خطوط مربع‌هایی را تشکیل می‌دهند که هر یک از آنها متناظر با یک درجه می‌باشد.

(۲) **POWER:** این کلید برای روشن و خاموش کردن دستگاه به کار می‌رود. توجه داشته باشید هنگامی که کلید در وضعیت روشن قرار می‌گیرد، چند ثانیه طول می‌کشد تا تصویر بر روی نمایشگر مشاهده شود.

(۳) **INTENSITY و (۴) FOCUS:** این کلیدها به ترتیب برای تنظیم شدت نور و کانونی کردن تصویر به کار می‌روند.

کلیدهای مربوط به تریگر (کلیدهای ۵، ۶، ۷، ۸ و ۹): تریگر عملی است که به وسیله آن بخش مشخصی از موج انتخاب شده و در صفحه نمایش نشان داده می‌شود. چنانچه تریگر به صورت درست انجام نگیرد، سیگنال ورودی بر روی صفحه نمایش حرکت می‌کند. کلیدهایی که برای عملیات تریگر بر روی اسیلوسکوپ قرار دارند عبارتند از:

(۵) **کلید COUPLING:** اگر این کلید در حالت **Auto** باشد، عملیات تریگر توسط مدار داخلی اسیلوسکوپ انجام می‌گیرد (حتی اگر به ورودی اسیلوسکوپ سیگنالی اعمال نشود). در اثر این کار یک خطی افقی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود که نشان دهنده آماده به کار بودن اسیلوسکوپ است. اما در صورتی که این کلید در حالت **Normal** باشد، عمل تریگر فقط به کمک موج ورودی انجام می‌شود؛ لذا در صورتی که ورودی نداشته باشیم، هیچ گونه خطی و یا موجی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر نخواهد شد. در حالت **TV-H** عمل تریگر توسط سیگنال‌های افقی تلویزیون انجام می‌شود و در حالت **TV-L** عمل تریگر توسط سیگنال‌های عمودی تلویزیون انجام می‌شود. این کلید در حالت عادی بر روی Auto قرار می‌گیرد.

(۶) **کلید SOURCE:** با این کلید منبع تریگر انتخاب می‌شود:

CH1: در این حالت عمل تریگر توسط سیگنال اعمال شده به کانال ۱ انجام می‌شود.

CH2: در این حالت عمل تریگر توسط سیگنال اعمال شده به کانال ۲ انجام می‌شود.

LINE: در این حالت عمل تریگر با فرکانس برق شهر انجام می‌شود.

EXT: در این حالت باید موجی را که می خواهیم توسط آن عمل تریگر انجام شود، از خارج اسیلوسکوپ و توسط ترمینال مخصوص آن (از طریق ورودی ۷) به اسیلوسکوپ اعمال کنیم.

EXT TRIG (۷): ترمینال تریگر خارجی در حالت **EXT** که در بالا توضیح داده شد، در صورت نیاز به این ورودی وصل می شود.

TRIG LEVEL (۸) ولوم: این ولوم نقطه شروع موج نشان داده شده بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ را معین می کند. همچنین اگر موج نمایش داده شده بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ، در جهت افقی حرکت کند و ثابت نباشد باید به کمک این ولوم شکل موج را ثابت نگهداشت.

HOLD OFF (۹): سیگنال هایی که در مقابل تریگرینگ مقاومت می کنند، را می توان بوسیله این ولوم تریگر کرد و برای ثابت کردن شکل موج از آن کمک گرفت.

X-Y (۱۰): دستگاه را به مد **X-Y** می برد. توجه شود هنگام استفاده از این کلید، کلیدهای ۶ و ۱۲ هم در حالت **X-Y** قرار گیرند.

POSITION (۱۱): تصویر سیگنال خروجی را در راستای افقی جابجا می کند.

VERT MODE (۱۲): این کلید در چهار وضعیت قرار می گیرد:

CH1: تنها سیگنال مربوط به کانال یک را نشان می دهد.

CH2: تنها سیگنال مربوط به کانال ۲ را نشان می دهد.

DUAL: نمایشگر سیگنال کانال یک و کانال دو را همزمان نشان می دهد.

ADD: سیگنال کانال یک و کانال دو در راستای محور قائم با هم جمع می شوند و تصویر آن نشان داده می شود. (در اسیلوسکوپ هایی که کلید **SLOP** دارند، با فشردن آن سیگنال کانال ۲ از کانال یک کم شده و تفاوت این دو نشان داده می شود).

(۱۳) محل اتصال ورودی کانال ۱ می باشد.

(۱۴) محل اتصال ورودی کانال ۲ می باشد.

(۱۵) کلید سه وضعیتی کانال یک: این کلید در سه وضعیت قرار می گیرد:

AC: در این حالت مقدار DC حذف شده و تنها مقدار AC نمایش داده می شود.

GND: در این حالت تمام سیگنال ها بسته می شوند و تنها اتصال به زمین باقی می ماند. بنابراین نمایشگر تنها یک خط صاف را نشان می دهد که می توان از آن به عنوان خط مبنا در اندازه گیری DC استفاده کرد.

DC: در این حالت هر دو مقدار AC و DC نمایش داده می شود.

(۱۶) **کلید سه وضعیتی کانال دو:** معادل کلید ۱۵ برای کانال ۲ می باشد.

(۱۷) **VOLT/DIV CH1:** کلید ضریب مربوط به کانال ۱ می باشد. توجه شود هنگام استفاده از این کلید، ولومی که بر روی آن قرار دارد (ولوم کالیبراسیون)، تا انتها و در جهت ساعتگرد به سمت راست چرخیده شده باشد. هنگامی که دستگاه در مد عادی قرار دارد عدد رو به روی نشانگر این کلید، ضریب خانه های ولتاژ کانال ۱ می باشد. یعنی اگر دو نقطه از موج نشان داده شده در نمایشگر در راستای عمود به اندازه دو خانه با هم فاصله داشته باشند و نشانگر بر روی ۵۰ میلی ولت قرار داشته باشد، اختلاف پتانسیل این نقاط عبارت است از: $2 \times 50 = 100 \text{ mV}$

در مد X-Y، عدد روبروی نشانگر این کلید عبارت است از ضریب مورد استفاده در راستای محور افقی.

(۱۸) **VOLT/DIV CH2:** کلید ضریب مربوط به کانال ۲ می باشد.

(۱۹) تصویر سیگنال خروجی کانال یک را در راستای قائم جابجا می کند.

(۲۰) تصویر سیگنال خروجی کانال دو را در راستای قائم جابجا می کند.

(۲۱) **VAR SWEEP:** دکمه کالیبراسیون محور زمانی می باشد. هنگام استفاده از کلید ۲۲ باید این دکمه در جهت ساعتگرد و تا انتها به سمت راست چرخیده شده باشد.

(۲۲) **TIME/DIV:** این کلید دارای ضرایبی بر حسب ثانیه، میلی ثانیه و میکروثانیه است. توجه شود هنگام استفاده از این کلید، دکمه ولومی ۲۱ (دکمه کالیبراسیون زمانی)، تا انتها و در جهت ساعتگرد به سمت راست چرخیده شده باشد. عدد رو به روی نشانگر این کلید، ضریب خانه های محور زمانی می باشد.

(۲۳) **GND:** محل اتصال به زمین

(۲۴ و ۲۵) از این نقاط برای کالیبراسیون و تنظیم کردن اسیلوسکوپ استفاده می شود. این تنظیمات از قبل توسط تکنیسین آزمایشگاه صورت می گیرد.

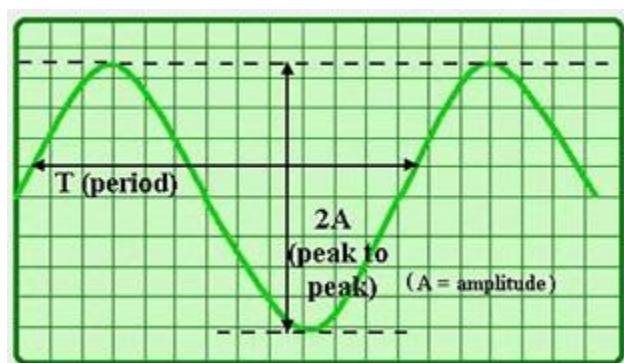
سیگنال ژنراتور: این دستگاه یک منبع ولتاژ متغیر است که با کمک آن می‌توان شکل موج‌های مختلف (مربعی، سینوسی، دندانه اره‌ای و غیره) را با فرکانس‌ها و دامنه‌های متفاوت تولید کند.



شکل (۶)

اندازه‌گیری ولتاژ: توسط اسیلوسکوپ می‌توان ولتاژهای AC و DC را با دقت خیلی زیاد اندازه‌گیری کرد. برای این منظور ابتدا ولوم **Volt Variable** را تا انتها در جهت حرکت عقربه‌های ساعت می‌چرخانیم و آن را در حالت **Cal** قرار می‌دهیم. سپس کلید ۱۳ یا ۱۴ را در حالت **GND** قرار داده تا یک خط افقی نشان داده شود. با استفاده از کلیدهای ۱۹ یا ۲۰ این خط را بر روی یکی از خطوط افقی می‌بریم. این خط به عنوان خط مبنا در اندازه‌گیری‌های ما شناخته می‌شود. حال کلید ۱۳ یا ۱۴ را بر روی **AC** می‌بریم تا سیگنال اعمال شده به اسیلوسکوپ بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر شود. برای بدست آوردن ولتاژ هر نقطه از موج فاصله عمودی آن نقطه تا خط مبنا را بر حسب تعداد خانه‌های مربعی روی صفحه نمایش بدست می‌آوریم و نتیجه را در ضریب **Volt/Div** (کلید ۱۷ یا ۱۸) ضرب می‌کنیم.

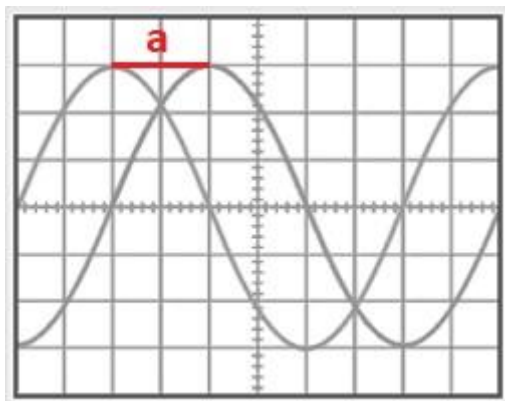
ولتاژ مؤثر یک سیگنال V_{rms} عبارتست از ولتاژ پیک موج تقسیم بر $\sqrt{2}$. در حقیقت هنگامی که ولتاژ یک موج متناوب را توسط مولتی‌متر اندازه می‌گیریم، V_{rms} آنرا می‌خوانیم.



اندازه‌گیری زمان تناوب و فرکانس:

برای اندازه‌گیری زمان تناوب یک موج متناوب باید ابتدا ولوم **time Variable** (کلید ۲۱) را در حالت **Cal** قرار داده و سپس تعداد خانه‌های در بر گرفته شده

توسط یک دوره تناوب از موج را در ضریب Time/Div (کلید ۲۲) ضرب نمود. فرکانس موج نیز از تقسیم عدد یک بر زمان دوره تناوب بر حسب ثانیه، بدست می‌آید.



اندازه‌گیری اختلاف فاز: با استفاده از اسیلوسکوپ می‌توان اختلاف فاز دو موج متناوب را اندازه‌گیری کرد. توجه داشته باشید هنگامی اندازه‌گیری اختلاف فاز دو موج معنا پیدا می‌کند که آن دو موج دوره تناوب یکسانی داشته باشند (هم فرکانس باشند). برای این منظور دو روش وجود دارد. در روش اول ابتدا توسط کلید Time/Div و ولوم Volt Variable سعی می‌کنیم کمی بیش از یک سیکل سیگنال متناوب را در

صفحه نمایش قرار دهیم. (در اندازه‌گیری اختلاف فاز چون ضرایب Time/Div ساده می‌شوند، می‌توانیم ولوم Volt Variable را از حالت Cal خارج کنیم). سپس تعداد خانه‌های قرار گرفته بین قسمت‌های هم فاز دو موج در راستای افقی (مقدار **a** در شکل) را بر تعداد خانه‌های قرار گرفته بین دو نقطه هم‌فاز مربوط به یکی از موج‌ها تقسیم کرده و نتیجه را در ۳۶۰ ضرب می‌کنیم. بدین ترتیب اختلاف فاز بین دو موج بر حسب درجه تعیین می‌شود. این روش در آزمایش ۳ مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش دیگر تعیین اختلاف فاز، استفاده از اشکال لیسازو می‌باشد که در آزمایش شماره ۴ با آن آشنا خواهید شد.

اجرای آزمایش:

الف) یک موج سینوسی دلخواه به اسیلوسکوپ بدهید. برای این موج ولتاژ قله، ولتاژ قله به قله، ولتاژ موثر (V_{rms})، و ولتاژ دو نقطه دلخواه که بر روی موج قرار دارند را بدست بیاورید. شکل موج بر روی کاغذ میلی‌متری ترسیم کرده و نتایج را به همراه محاسبات بر روی آن بنویسید. عدد متناظر با کلیدهای Time/Div و Volt/Div را بر روی کاغذ میلی‌متری یادداشت کنید. (می‌توانید از شکل موج عکس گرفته و در منزل رسم نمایید).

حال بدون آنکه به کلیدهای فانکشن دست بزنید، خروجی آنرا به مولتی‌متر وصل کرده و مقدار ولتاژ را با استفاده از مولتی‌متر بخوانید. عدد خوانده شده را با V_{rms} مقایسه کنید.

ب) با استفاده از سیگنال ژنراتور سیگنال‌های زیر را به اسیلوسکوپ داده و شکل آنرا در کاغذ میلی‌متری رسم کنید. بر روی هر شکل عددی که کلیدهای Time/Div و Volt/Div نشان می‌دادند را بر روی آن یادداشت کنید. (فرکانس را تنها با فانکشن و دامنه ولتاژ را با اسیلوسکوپ تنظیم کنید. می‌توانید از شکل موج‌ها عکس گرفته و آنها را در منزل رسم نمایید).

موج سینوسی با فرکانس ۱۵۰۰ Hz و دامنه ولتاژ ۲ V

موج دندانه اره‌ای با فرکانس ۵۰۰ Hz و دامنه ولتاژ ۲/۴ V

موج مربعی با فرکانس ۷۰۰ Hz و دامنه ولتاژ ۱/۵ V

ج) مولد سیگنال را بر روی فرکانس‌های خواسته شده در جدول قرار دهید. حال با استفاده از اسیلوسکوپ دوره تناوب و فرکانس موج ورودی را اندازه بگیرید. با فرض دقیق بودن فرکانس اندازه‌گیری شده توسط اسیلوسکوپ، خطای خروجی مولد را محاسبه کنید.

خطای نسبی	خطای مطلق	فرکانس اندازه‌گیری شده توسط اسیلوسکوپ	دوره تناوب اندازه‌گیری شده توسط اسیلوسکوپ	فرکانس فانکشن
				۱۵۰ Hz
				۳۰۰ Hz
				۷۰۰ Hz
				۲ KHz

آزمایش ۲: آشنایی با دستگاه‌های اندازه‌گیری، مقاومت‌ها و نحوه خواندن آنها

الف: آشنایی با دستگاه‌های اندازه‌گیری

هدف آزمایش: آشنایی با دستگاه‌های اندازه‌گیری، آشنایی با ساختمان و طرز کار گالوانومتر، بستن مدار، قرار دادن ولت‌متر و آمپر‌متر در مدار

تئوری آزمایش:

دستگاه‌های اندازه‌گیری الکتریکی، برای اندازه‌گیری کمیت‌های مانند شدت جریان، اختلاف پتانسیل (ولتاژ)، مقاومت، انرژی و توان به کار می‌رود.

دستگاه ممکن است یک منظوره باشد (مثل ولت‌متر که برای اندازه‌گیری ولتاژ به کار می‌رود)، یا ممکن است برای چند منظور به کار رود (مثل مولتی‌مترها یا اوومترها که برای اندازه‌گیری کمیت‌های مختلف الکتریکی مثل ولتاژ، جریان و مقاومت مورد استفاده قرار می‌گیرند).

دستگاه‌های اندازه‌گیری در دو دسته کلی ساخته و مورد استفاده قرار می‌گیرند :

(۱) آنالوگ

(۲) رقمی یا دیجیتال

در نوع آنالوگ یک عقربه روی صفحه‌ای که از قبل مدرج شده کمیت اندازه‌گیری را نشان می‌دهد، و در نوع دیجیتال کمیت اندازه‌گیری شده به صورت عدد روی صفحه ظاهر می‌شود. معمولاً وسایل اندازه‌گیری دیجیتال دارای دقت بیشتری هستند.

آوومتر آنالوگ :

آوومتر دستگاهی است که با تغییر یک کلید که روی آن نصب شده می‌توان آن را به سه دستگاه آمپر‌متر، ولت‌متر و اهم‌متر تبدیل نمود. حروف A و V و O به ترتیب اول کلمات Ampere و Volt و Ohm می‌باشند. یک آوومتر معمولاً از یک صفحه مدرج با یک عقربه و یک کلید دورانی S و یک پیچ تنظیم و دو جای پیچ تشکیل شده است که اندازه‌گیری با استفاده از آن انجام می‌شود. با تغییر دادن کلید به چند حالت می‌توان اندازه‌گیری‌های مختلف انجام داد.

اندازه‌گیری ولتاژ متناوب AC.V

اندازه‌گیری ولتاژ مستقیم DC.V

اندازه‌گیری جریان متناوب AC.A

اندازه‌گیری جریان مستقیم DC.A

اندازه‌گیری مقاومت Ω

در هر حالت، کلید اصلی چند پله برای تعیین رنج دارد. رنج حداکثر محدوده اندازه‌گیری دستگاه در هر حالت انتخابی است. به عنوان مثال چنانچه در آوومتر کلید تعیین رنج روی عدد ۱۵۰ ولت قرار گرفته باشد، یعنی دستگاه قادر است حداکثر تا ولتاژ ۱۵۰ ولت را اندازه‌گیری کند. یکی از نکات مهم در اندازه‌گیری تعیین رنج مناسبی است که اندازه‌گیری تحت آن انجام می‌شود. یک راه ساده برای انتخاب رنج مناسب در اندازه‌گیری یک کمیت با حدود مقدار مجهول، بدین صورت است که ابتدا کلید را در بالاترین رنج ممکن برای کمیتی که می‌خواهیم اندازه‌گیری کنیم، قرار می‌دهیم. سپس پله پله کلید را به سمت رنج‌های پایین‌تر می‌چرخانیم. این عمل را آنقدر ادامه می‌دهیم تا عقربه آوومتر به انتها بچسبد. وقتی این اتفاق افتاد، کلید اصلی را یکی به عقب باز می‌گردانیم. در این صورت ما رنج مناسبی برای اندازه‌گیری خود انتخاب کرده‌ایم.

آوومتری که در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرد، در شکل زیر نشان داده شده است. همانطور که در تصویر مشخص است، در گوشه بالایی سمت چپ دستگاه، یک کلید سه حالت قرار دارد:

(۱) هنگامی که کلید در وضعیت چپ قرار داشته باشد دستگاه خاموش است.

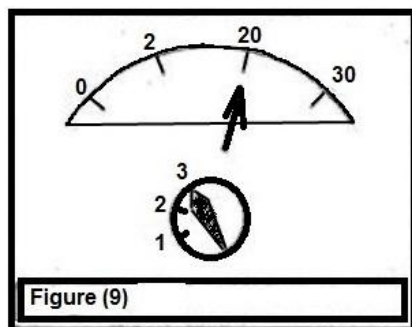
(۲) هنگامی که کلید را در حالت وسط قرار می‌دهیم، معیار اندازه‌گیری کمان قرمز رنگ در وسط صفحه نمایش است. در این حالت آوومتر تنها قادر به تشخیص کمیت‌ها تحت ولتاژ DC است. مزیت این حالت این است که جابجا وصل کردن سر مثبت و منفی در اندازه‌گیری‌های DC، تنها باعث تغییر جهت جابجایی عقربه بر روی یک صفحه مدرج متقارن می‌شود و تغییری در خواندن ما ایجاد نمی‌کند. توجه شود که در این حالت قبل از شروع اندازه‌گیری، باید عقربه روی عدد صفر کمان قرمز رنگ قرار گیرد. چنانچه غیر از این بود، با استفاده از دکمه ولومی که



در گوشه بالایی سمت راست دستگاه تعیه شده، آن را صفر می‌کنیم.

۳) وقتی کلید در سمت چپ قرار گیرد، معیار اندازه‌گیری کمان بالایی صفحه نمایش است. در این حالت آوومتر قادر به تشخیص کمیت‌ها تحت ولتاژ DC و AC است. عیب این حالت این است که سر مثبت و منفی دارای اهمیت است و باید در جهت درست به دستگاه متصل شود.

سپس آوومتر را در مدار قرار می‌دهیم و با توجه به عددی که عقربه نشان می‌دهد و رنجی که آوومتر در آن قرار دارد، پارامتر مورد نظر را اندازه‌گیری می‌کنیم.



مثال) در شکل مقابل کلید روی ۳ ولت DC قرار دارد و عقربه روی عدد ۲۰ از کمان منحرف شده است. در این صورت ولت‌متر مقدار ۲ ولت را نشان می‌دهد.

آوومتر دیجیتالی :

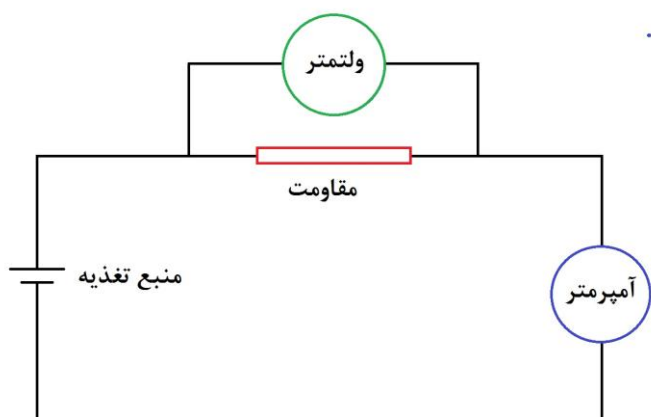
در این نوع آوومتر، مانند آوومتر آنالوگ می‌توان مقدار ولتاژ، مقاومت و جریان را اندازه‌گیری نمود. بخش‌های اصلی آوومتر دیجیتال عبارتند از: یک صفحه مانیتور، یک کلید دورانی، دکمه روشن خاموش و چند جای فیش برای اتصال سیم‌های رابط. در پایین دستگاه چند جای فیش مشاهده می‌شود. از دو سیمی که برای اندازه‌گیری کمیت مورد نظر از مدار خارج شده، همواره یکی از آنها به بخش COM آوومتر وارد می‌شود. سر دیگر را نیز با توجه به کمیتی که می‌خواهیم اندازه‌گیری کنیم و علامت‌هایی که در کنار فیش‌ها نوشته شده به آوومتر متصل می‌کنیم.



نکته‌ای که در اندازه‌گیری بوسیله آوومتر وجود دارد توجه کردن به حداکثر مقدار است که دستگاه تحمل بارگزاری بر روی آن را دارد. برای استفاده‌ای که ما در آزمایشگاه از آوومترها می‌کنیم، این موضوع در اندازه‌گیری شدت جریان الکتریکی اهمیت پیدا می‌کند. همانطور که مشخص است برای اندازه‌گیری شدت جریان دو محل بر روی دستگاه تعبیه شده است. به عنوان مثال در مدل ESCORT-176، یکی برای شدت جریان تا سقف ۴۰۰ mA و دیگری تا سقف ۱۰ A. چنانچه حدود

جریان مورد نظر را بدانیم، سیم‌ها را طبق سقف حد مجاز، به دستگاه متصل می‌کنیم. اما اگر حدود جریان را ندانیم، باید ابتدا سیم را به سوکت 10 A وصل کنیم و چنانچه مانیتور عددی کمتر از 0.4 A را نشان می‌داد، آنگاه اجازه این را داریم که از سوکت 400 میلی‌آمپری استفاده کنیم.

نحوه قرار دادن ولت‌متر و آمپر‌متر در مدار:

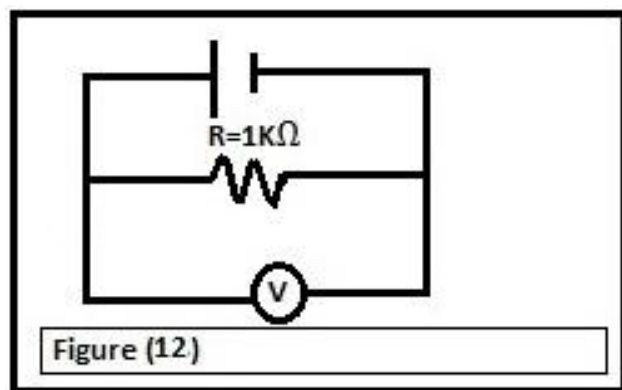


ولت‌متر همیشه به طور موازی به دو سر کمیت مورد اندازه‌گیری وصل می‌شود و مقدار اختلاف سطح یا ولتاژ را به دست می‌دهد. اما آمپر‌متر همیشه به طور سری در مدار قرار می‌گیرد زیرا شدت جریان مورد اندازه‌گیری باید از داخل آن عبور کند؛ یعنی سیم از یک طرف مدار وارد یکی از فیش‌های آمپر‌متر شده و سیم دیگر از جای فیش دیگر خارج می‌شود.

منبع تغذیه :

ساده ترین منبع تغذیه یک باتری است. منبع تغذیه مورد استفاده در یک آزمایشگاه متشکل از یک سیم پیچ متغیر است که قادر است ولتاژ 220 ولت برق شهر را به چندین ولتاژ از نوع متناوب و مستقیم تبدیل کند. با استفاده از جا فیش‌های مناسب می‌توان ولتاژ مستقیم یا متناوب را دریافت نمود و به کمک پیچ روی منبع تغذیه ولتاژ مناسب را می‌توان تنظیم کرد.

اجرای آزمایش :

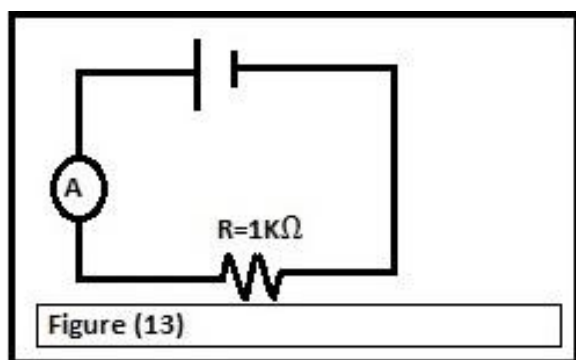


الف) مدار را مطابق شکل زیر ببینید.

پیچ تنظیم ولتاژ را در سه محل داده شده در جدول قرار داده و برای هر حالت ولتاژ دو سر مقاومت را توسط ولتمتر با انتخاب رنج مناسب بخوانید و در جدول زیر وارد کنید.

تذکر : در موقع شروع کار دقت کنید که پیچ منبع در کمترین مقدار خود باشد و در پایان کار منبع را خاموش کنید.

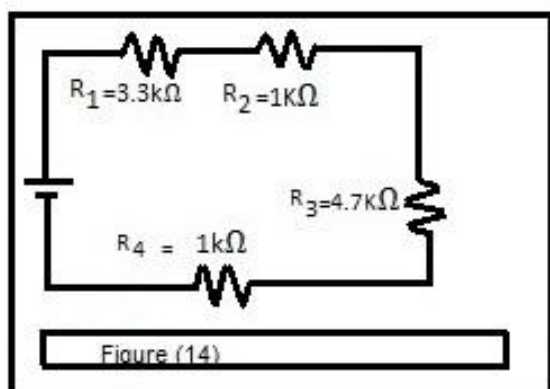
محل پیچ تنظیم ولتاژ	2(VOLT)	8(VOLT)	11(VOLT)
رنج ولتمتر (آنالوگ)			
ولتاژ دوسر مقاومت (آنالوگ)			
ولتاژ دوسر مقاومت (دیجیتال)			



ب) مدار را مطابق شکل زیر ببندید.

پیچ تنظیم ولتاژ را در سه حالت داده شده تنظیم کنید و در هر حالت جریان را یادداشت کنید.

محل پیچ تنظیم ولتاژ	2(VOLT)	4(VOLT)	6(VOLT)
رنج آمپرمتر (آنالوگ)			
جریان مقاومت (آنالوگ)			
جریان مقاومت (دیجیتال)			



ج) مدار را مطابق شکل ببندید.

ولتاژ را روی ۱۰ ولت قرار داده و اختلاف پتانسیل و جریان مقاومت‌های مدار را اندازه‌گیری نموده و در جدول زیر وارد نمایید.

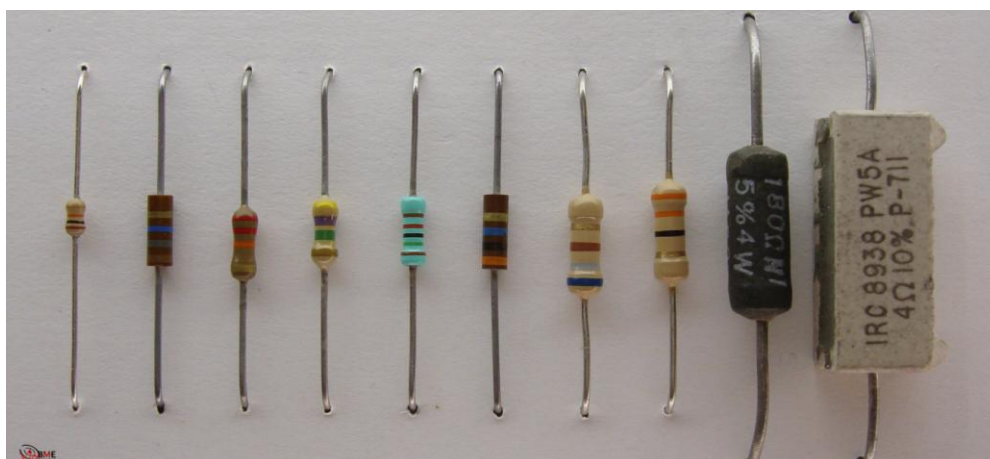
$V_s = 10\text{volt}$	V_{R1}	V_{R2}	V_{R3}	V_{R4}	I_{R1}	I_{R2}	I_{R3}	I_{R4}	I
دیجیتال									
محاسبه									

ب) مقاومت‌ها و نحوه خواندن آنها :

هدف آزمایش : آشنایی با انواع متداول مقاومت، اندازه‌گیری مقاومت توسط اهم‌متر و خواندن مقاومت با استفاده از کدهای رنگی

تئوری آزمایش :

تقریباً تمام مدارهای الکترونیکی برای عملکرد صحیح به مقاومت‌ها نیازمند هستند. مقاومت‌ها امکان کنترل جریان و یا ولتاژ ارائه شده را فراهم می‌کنند. یک مقاومت ایده‌آل عنصری است با یک مقاومت الکتریکی، که مقدار آن صرف‌نظر از ولتاژ اعمالی به دو سرش یا جریان الکتریکی عبوری از آن، ثابت می‌ماند. اما بدلیل اینکه مقاومت‌های جهان واقعی نمی‌توانند این شرایط ایده‌آل را برآورده سازند، آنها را بگونه‌ای طراحی می‌کنند که در برابر تغییرات دما و دیگر عوامل محیطی، نوسانات کمی در مقاومت الکتریکی‌شان ایجاد شود. انواع متداول مقاومت که در وسایل برقی و الکترونیکی به کار می‌روند بیشتر از نوع ترکیبی، پوسته کربنی، سیمی و پوسته اکسید فلزی هستند. در شکل زیر چند نوع متداول از مقاومت‌های ثابت نشان داده شده است:



رابطه بین ولتاژ، جریان و مقاومت در یک جسم توسط معادله $V=IR$ که از قانون اهم گرفته شده، بیان می‌شود. اگر V و I دارای یک رابطه خطی باشند (که به مفهوم ثابت بودن R در یک محدوده است)، آنگاه آن ماده در آن محدوده اهمی خوانده می‌شود. یک مقاومت ایده‌آل، دارای مقاومت ثابت در تمامی فرکانس‌ها و مقادیر ولتاژ و جریان است. مواد ابررسانا در دماهای بسیار پایین دارای مقاومت صفر هستند. عایق‌ها ممکن است دارای مقاومت‌هایی بسیار بالا (اما نه بینهایت) باشند. لکن تحت ولتاژهای به میزان کافی زیاد، دچار شکست می‌شوند و جریان بزرگی را از خود عبور می‌دهند.

تعیین مقاومت با استفاده از نوار رنگی :

مقاومت‌ها معمولاً با نوارهای رنگی روی بدنه مشخص می‌شوند که با یادگیری طرز خواندن آنها به راحتی مقدار مقاومت‌ها را می‌توان نشان داد. مقاومت‌های کربنی معمولی دارای چهار نوار رنگی‌اند. نوار اول، اولین رقم نوار دوم، دومین رقم و نوار سوم تعداد صفرها را مشخص می‌کند. نوار چهارم نیز درصد خطا را نشان می‌دهد. مثلاً اگر نوارهای رنگی اول تا چهارم به ترتیب زرد، قرمز، قرمز و طلایی باشد مقدار مقاومت برابر ۴۲۰۰ اهم با ۵٪ خطا می‌باشد.

درصد خطا	عدد متناظر	رنگ نوار
-	0	سیاه
1%	1	قهوه‌ای
2%	2	قرمز
3%	3	نارنجی
4%	4	زرد
-	5	سبز
-	6	آبی
-	7	بنفش
-	8	خاکستری
-	9	سفید
5%	-	طلایی
10%	-	نقره‌ای
20%	-	بی رنگ

جدول مقابل، مربوط به کد رنگ‌ها برای این نوع مقاومت است. توجه شود که کد رنگ‌های طلایی و نقره‌ای تنها برای تعیین درصد خطا بکار می‌روند. بنابراین اگر این نوارها را روی مقاومت دیدیم، آن را نوار آخر (و نه اول) در نظر می‌گیریم.

اجرای آزمایش :

مقدار مقاومت‌های R_1 تا R_4 را که در اختیار شما قرار گرفته است، با استفاده از اهم‌تر دیجیتال و آنالوگ و همچنین از طریق رمز رنگی آن مشخص نمائید و مقدار آن را در جداول زیر یادداشت کنید.

مقاومت	نواررنگی اول	نواررنگی دوم	نواررنگی سوم	نواررنگی چهارم	درصد خطا	رنج مقاومت با استفاده از رنگها	مقاومت خوانده شده بوسیله مولتی‌متر دیجیتال
R_1							
R_2							
R_3							
R_4							

پرسش‌ها :

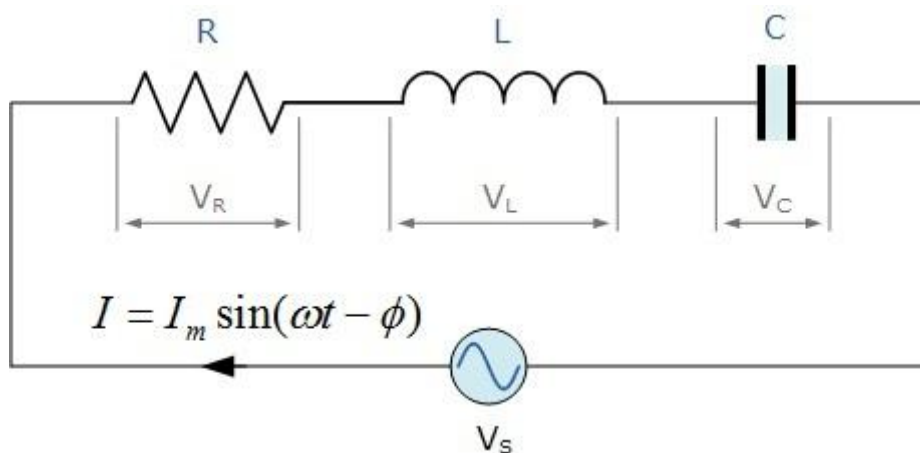
- (۱) با توجه به اینکه جریان‌های وارد شونده و خارج شونده از یک مقاومت با هم برابرند، اختلاف پتانسیل یا افت ولتاژ مقاومت چگونه به وجود می‌آید؟
- (۲) چرا باید ولتاژ منبع تغذیه را پس از وصل کردن به مدار تنظیم نمود؟
- (۳) چرا قرار دادن آمپرتر به طور موازی ممکن است باعث صدمه دیدن مدار گردد؟
- (۴) اختلاف پتانسیل یا ولتاژ بین دو نقطه از یک مدار را تعریف کرده و دلیل به وجود آمدن اختلاف پتانسیل الکتریکی را توضیح دهید.
- (۵) مقدار یک مقاومت با ۵٪ خطا، ۴۵ کیلو اهم است کد رنگی آن را بنویسید.
- (۶) تolerانس یا درصد خطا در یک مقاومت یعنی چه؟

آزمایش ۳: مدارهای مشتق‌گیر و انتگرال‌گیر

تئوری آزمایش:

مدار RC بسته به ترکیب، نوع ورودی اعمال شده و نحوه قرار دادن R یا C در خروجی، می‌تواند به صورت مدار مشتق‌گیر یا انتگرال‌گیر رفتار کند.

همانطور که می‌دانیم در یک مدار RLC متوالی با emf خارجی $V_i = V_{im} \sin \omega t$ و جریان $I = I_m \sin(\omega t - \phi)$ ، دامنه جریان I_m و فاز جریان ϕ ، از رابطه‌های زیر بدست می‌آیند:



$$I_m = \frac{V_{im}}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}} \quad (1)$$

$$\tan \phi = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \quad (2)$$

روابط بالا برای یک مدار RC متوالی ($L=0$) به صورت زیر تقلیل می‌یابد:

$$I_m = \frac{V_{im}}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{C\omega})^2}} \quad (3)$$

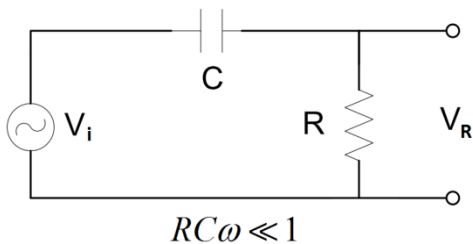
$$\tan \phi = \frac{1}{RC\omega} \quad (4)$$

در حالت بخصوص $RC\omega \ll 1$ ،

$$I_m = \frac{V_{im}}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{C\omega})^2}} = \frac{V_{im}}{\frac{1}{C\omega} \sqrt{(RC\omega)^2 + 1}} \approx C\omega V_{im} \quad (5)$$

$$\phi = \text{Arctg}(\infty) = \pi / 2 \quad (6)$$

بنابراین جریان مدار برای ولتاژ اعمالی $V_i = V_{im} \sin \omega t$ ، به صورت زیر است:



$$I = I_m \sin(\omega t - \pi / 2) = C\omega V_{im} \cos(\omega t) \quad (7)$$

پس ولتاژ دو سر مقاومت را می‌توان از رابطه زیر تعیین کرد:

$$V_R = IR = RC\omega V_{im} \cos(\omega t) \quad (8)$$

از طرفی $\frac{dV_i}{dt} = \omega V_{im} \cos(\omega t)$ ، بنابراین

$$V_R = RC \frac{dV_i}{dt} \quad (9)$$

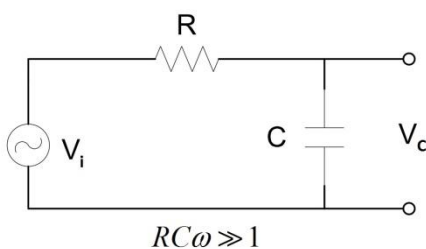
در نتیجه در مدار RC متوالی چنانچه $RC\omega \ll 1$ باشد، ولتاژ دو سر مقاومت با مشتق ولتاژ اعمالی به مدار متناسب است. در این حالت می‌گوییم مدار مشتق‌گیر است.

همچنین در حالت خاص $RC\omega \gg 1$ داریم،

$$I_m = \frac{V_{im}}{\sqrt{R^2 + (\frac{1}{C\omega})^2}} = \frac{V_{im}}{R \sqrt{1 + (\frac{1}{RC\omega})^2}} \approx \frac{V_{im}}{R} \quad (10)$$

$$\phi = \text{Arctg}(0) = 0 \quad (11)$$

بنابراین جریان مدار برای ولتاژ اعمالی $V_i = V_{im} \sin \omega t$ ، به صورت زیر است:



$$I = I_m \sin(\omega t) = \frac{V_{im}}{R} \sin(\omega t) \quad (12)$$

از طرفی ولتاژ دو سر خازن را می‌توان از رابطه زیر تعیین کرد:

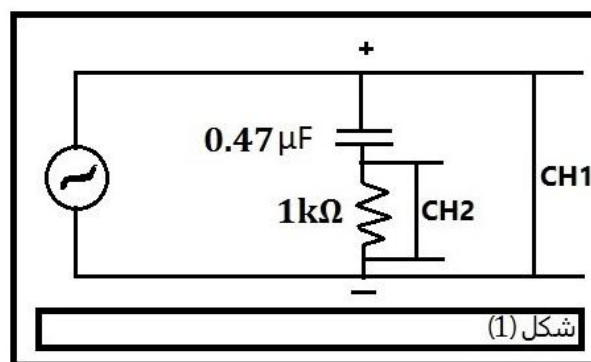
$$V_C = \frac{1}{C} \int I dt = \frac{1}{C} \int \frac{V_{im}}{R} \sin(\omega t) dt = \frac{1}{RC} \int V_i dt \quad (13)$$

در نتیجه در مدار RC متوالی چنانچه $RC\omega \gg 1$ باشد، ولتاژ دو سر خازن با انتگرال ولتاژ اعمالی به مدار متناسب است. در این حالت می‌گوییم مدار انتگرال‌گیر است.

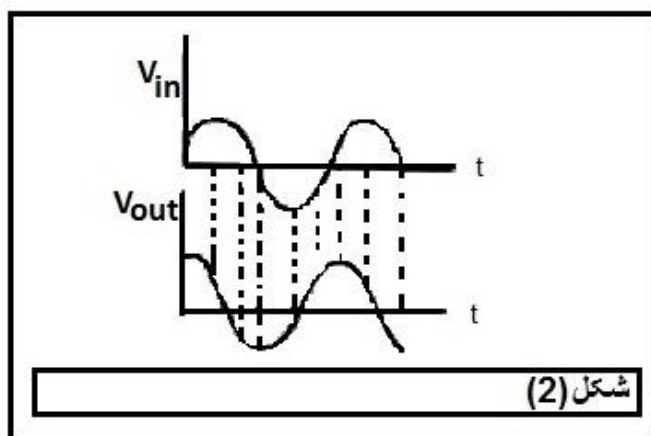
اجرای آزمایش :

الف) مدار مشتق‌گیر

مدار را مطابق شکل ۱ ببندید.



منبع ولتاژ را بر روی فرکانس 1KHz و شکل موج سینوسی تنظیم کنید. سپس مطابق شکل ولتاژهای ورودی (CH1) و خروجی (CH2) را به ورودی‌های اسیلوسکوپ متصل کرده و شکل موج آن را مشاهده کنید. سپس اختلاف فاز دو موج ϕ را از رابطه زیر بدست آورید. (روش تعیین اختلاف فاز در آزمایش ۱ بیان شده است)



$$\phi = \frac{\text{فاصله قله به قله دو موج}}{\text{فاصله قله به قله یکی از موج‌ها}} \times 360$$

اکنون خازن با ظرفیت را $C = 100\text{pf}$ در مدار قرار دهید. این بار نیز اختلاف فاز را به دست بیاورید و محاسبات خود را گزارش دهید.

حالتی که $C = 100\text{pf}$ و $C = 0.47\mu\text{f}$ در مدار باشند را با یکدیگر مقایسه نموده و نتیجه‌گیری کنید.

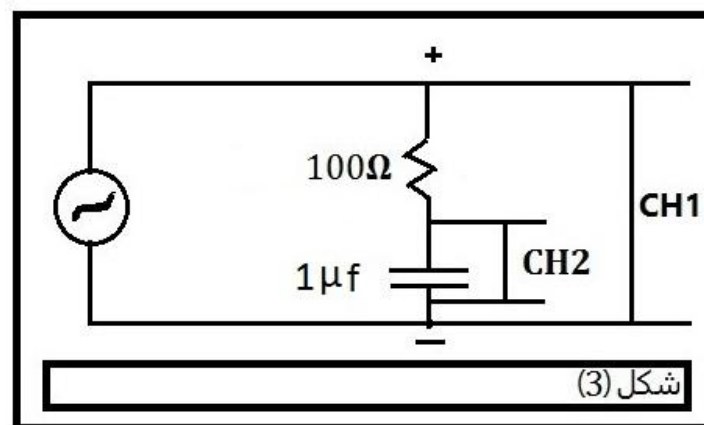
آزمایش فوق را با دادن یک موج دندان‌های و مربعی به جای سینوسی تکرار کنید و شکل موج‌های ورودی و خروجی را در گزارش کار رسم کنید. (می‌توانید از شکل موج‌ها عکس گرفته و آنها را در منزل رسم نمایید)

پرسش :

(۱) به کمک محاسبه نشان دهید که شکل موج خروجی مشتق شکل موج ورودی می‌باشد و مداری که ترتیب داده بودید یک مدار مشتق‌گیر می‌باشد.

ب) مدار انتگرال‌گیر

مدار را مطابق شکل ۳ ببندید و به ورودی آن یک موج سینوسی با فرکانس 1KHz بدهید.



مطابق شکل ولتاژهای ورودی و خروجی را به ورودی‌های اسیلوسکوپ متصل کنید و شکل موج آن را مشاهده کنید. سپس اختلاف فاز آنها را به دست بیاورید و محاسبات را در گزارش کار وارد کنید.

اکنون مقاومت مدار را $R = 100K\Omega$ انتخاب کنید و این بار نیز اختلاف فاز را به دست بیاورید و محاسبات خود را گزارش دهید.

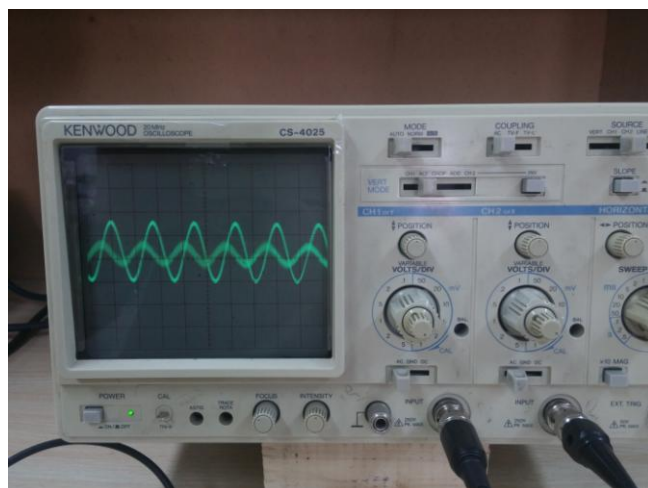
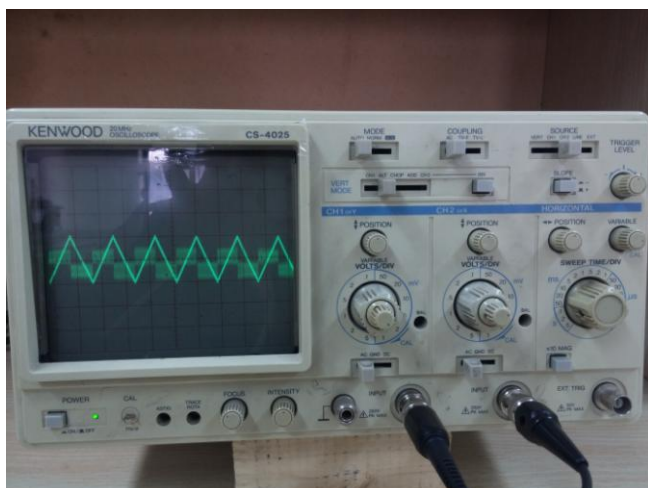
حال مقاومت $R = 100\Omega$ و $R = 100K\Omega$ را با یکدیگر مقایسه کنید و نتیجه‌گیری کنید.

آزمایش فوق را با دادن یک موج دندان‌های و مربعی به جای سینوسی تکرار کنید و شکل موج‌های ورودی و خروجی را در گزارش کار رسم کنید.

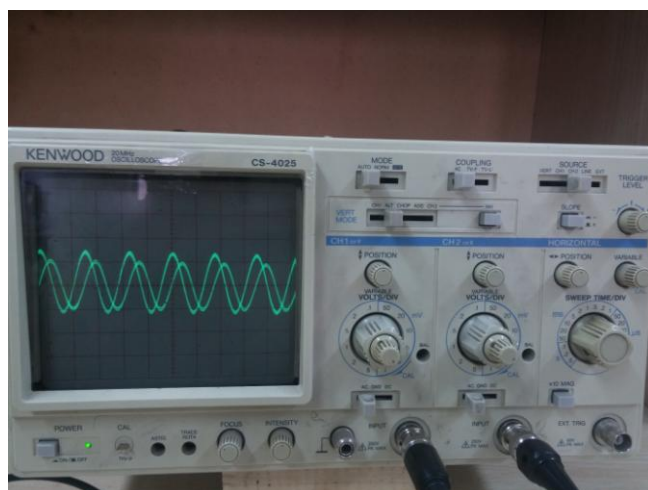
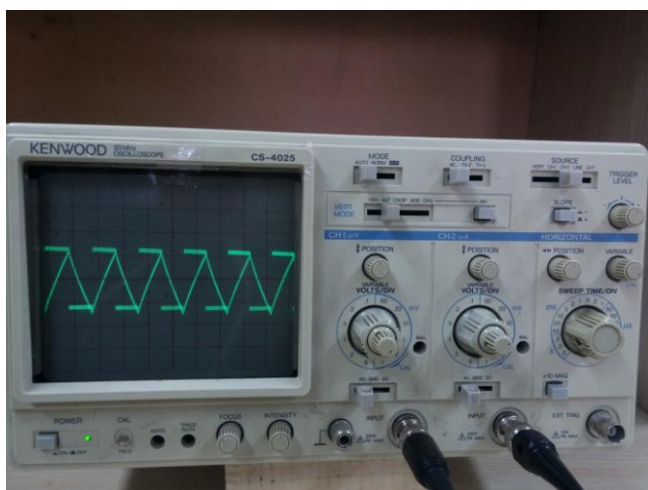
پرسش :

(۱) به کمک محاسبه نشان دهید که شکل موج خروجی انتگرال شکل موج ورودی می باشد و مداری که ترتیب داده بودید یک مدار انتگرال گیر می باشد.

مشتق گیر



انتگرال گیر



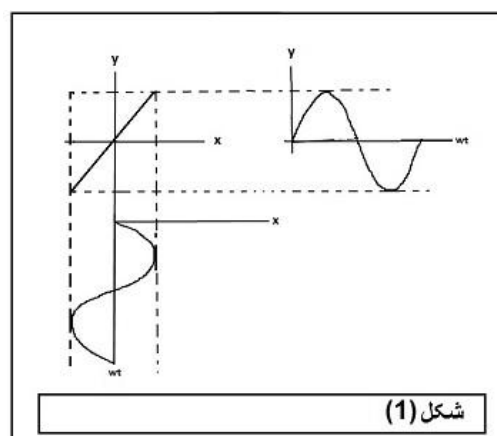
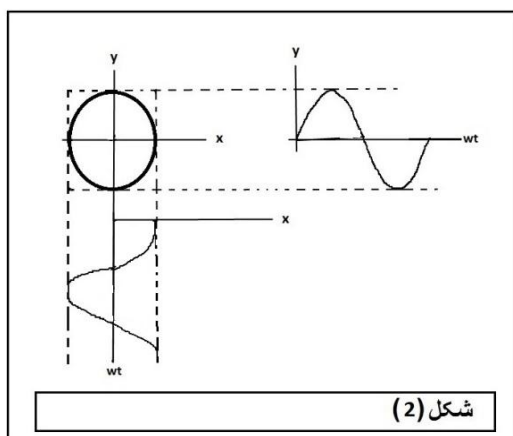
آزمایش ۴: مشاهده اختلاف فاز و تعیین فرکانس مجهول با استفاده از اشکال لیسازو

تئوری آزمایش:

می‌دانیم که معادله ترکیب دو موج هم فرکانس عمود بر هم به معادلات $x = a \sin \omega t$ و $y = b \sin(\omega t + \varphi)$ که اختلاف فاز آنها φ می‌باشد عبارتند از:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{a.b} \cos \varphi - \sin^2 \varphi = 0 \quad (1)$$

هنگامی که دو موج سینوسی $x = a \sin \omega t$ و $y = b \sin(\omega t + \varphi)$ را به ورودی‌های اسیلوسکوپ داده و کلید Time/div را در حالت X-Y قرار می‌دهیم، دستگاه دو موج را با هم ترکیب می‌کند. در این صورت تحت شرایط خاص، تصاویری که به اشکال لیسازو معروفند، بر روی صفحه نمایش دستگاه قابل رویت است. در حقیقت اشکال لیسازو ترکیب دو موج عمود بر هم هستند که پارامتر زمان بین آنها حذف شده است؛ در نتیجه آنچه که مشاهده می‌شود تغییرات پارامتر X نسبت به Y است. در شکل (۱) و (۲) به ترتیب ترکیب دو موج هم فرکانس و هم دامنه در حالت $\varphi = 0$ و $\varphi = \frac{\pi}{2}$ نشان داده شده است.



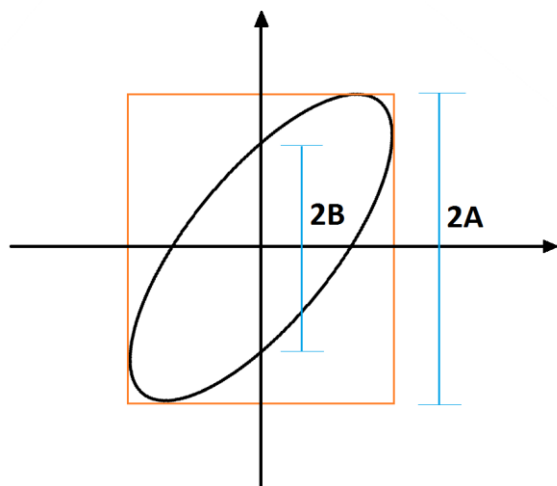
اندازه‌گیری فرکانس با استفاده از اشکال لیسازو:

بدین منظور فرکانس متغیر معلوم را به یکی از ورودی‌های اسیلوسکوپ، و فرکانس مجهول را به ورودی دیگر آن می‌دهیم. در این صورت هنگامی یک شکل ثابت روی صفحه اسیلوسکوپ دیده می‌شود که فرکانس یکی از آنها مضرب صحیحی از فرکانس دیگر باشد. تحت این شرایط نسبت دو فرکانس از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{\text{بیشترین تعداد نقاط برخورد شکل با محوری به موازات محور Y}}{\text{بیشترین تعداد نقاط برخورد شکل با محوری به موازات محور X}} \quad (2)$$

اندازه‌گیری اختلاف فاز دو موج هم‌فرکانس:

چنانچه دو موج سینوسی هم‌فرکانس که با هم اختلاف فاز φ دارند به ورودی‌های اسیلوسکوپ وصل شود، مطابق شکل یک بیضی که در یک مربع محاط است، روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده می‌شود. در این صورت اختلاف فاز φ از رابطه زیر بدست می‌آید:



$$\sin \varphi = B / A \quad (3)$$

به عنوان نتیجه‌ای از رابطه بالا، اگر دو موج هم دامنه و هم فرکانس با اختلاف فاز صفر به ورودی‌های اسیلوسکوپ داده شود، از ترکیب آن دو موج یک خط راست (با زاویه ۴۵ درجه) روی صفحه اسیلوسکوپ دیده می‌شود. در شکل زیر چند نمونه از اشکال لیسازو در شرایط مختلف نشان داده شده است.

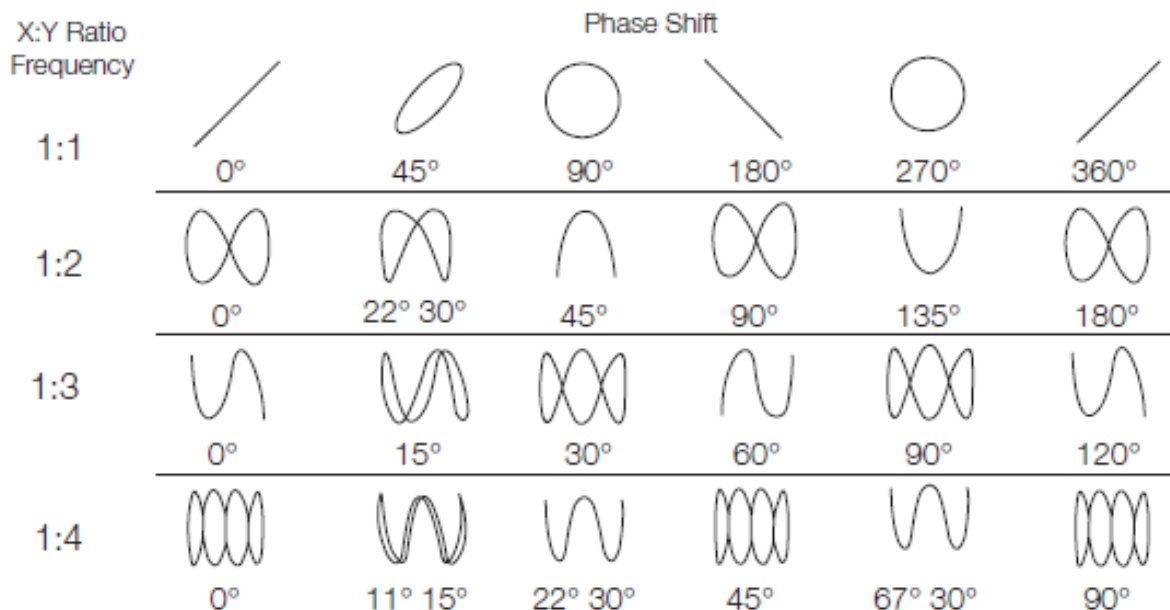
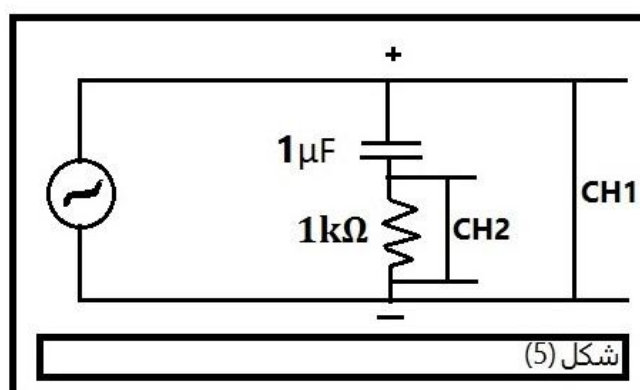


Figure 70. Lissajous patterns.

اجرای آزمایش

الف) مشاهده اختلاف فاز

مدار را مطابق شکل زیر ببندید. به ورودی‌های اسیلوسکوپ دو موج سینوسی با فرکانس 1KHz بدهید تا از ترکیب دو موج بر روی صفحه یک بیضی ایجاد شود. با توجه به رابطه (۳) اختلاف فاز بین دو موج را به دست آورید. روش محاسبه و شکل نمودار را در گزارش کار خود ذکر کنید.



ب) تعیین فرکانس مجهول

ابتدا هر یک از ورودی‌های ۱ و ۲ اسیلوسکوپ را به طور جداگانه به دو سیگنال ژنراتوری که بر روی میز قرار دارد متصل کنید. اسیلوسکوپ را در مد X-Y قرار دهید. حال فرکانس فانکشن ورودی ۱ را بر روی ۱۰۰ Hz قرار دهید و تا پایان آزمایش به آن دست نزنید. اگر فرکانس فانکشن ۲ را تغییر دهید، اشکال مختلفی را بر روی صفحه نمایش مشاهده می‌کنید. با استفاده از دکمه‌های Volt/DIV مربوط به کانال ۱ و ۲، شکل موج را به طور کامل داخل نمایشگر اسیلوسکوپ قرار دهید. فرکانس ورودی ۲ را آنقدر تغییر دهید تا یک شکل تقریباً ثابت بر روی صفحه اسیلوسکوپ دیده شود. سپس فرکانس روی فانکشن ۲ را قرائت کرده و به همراه شکل لیسازوی نشان داده شده، در جدول زیر یادداشت نمایید (برای رسم شکل می‌توانید از صفحه نمایشگر عکس گرفته و از روی آن شکل را ترسیم کنید). حال با استفاده از شکل لیسازو و فرکانس ورودی ۲ و همین‌طور رابطه (۲)، فرکانس ورودی ۱ را بدست آورید. این کار را حداقل برای سه شکل لیسازو، تکرار کرده و نتیجه را در جدولی مانند جدول زیر یادداشت کنید.

- فرکانس ورودی ۱ را بر روی ۱۵۰ و ۲۰۰ هرتز قرار داده و موارد بالا را تکرار کنید.

فرکانس ثابت ورودی ۱	فرکانس ورودی ۲	شکل لیسازو	فرکانس ورودی ۱ با استفاده از شکل لیسازو	میانگین
۱۰۰ Hz				
۱۵۰ Hz				

فرکانس ثابت ورودی ۱	فرکانس ورودی ۲	شکل لیسازو	فرکانس ورودی ۱ با استفاده از شکل لیسازو	میانگین
۲۰۰ Hz				

- توجه شود که ما در این بخش از آزمایش، فرکانس ورودی ۱ را تنها با دانستن فرکانس ورودی ۲ و شکل لیسازوی حاصل تعیین می‌کنیم. بنابراین چنانچه به یکی از ورودی‌های اسیلوسکوپ فرکانسی مجهول داده شود، با این روش می‌توان آن فرکانس را اندازه گیری کرد.

آزمایش ۵: قانون اهم، قوانین کیرشهف، اتصال سری و موازی لامپ‌ها

الف) قانون اهم

هدف آزمایش: مطالعه قانون اهم ($V = IR$) در یک مدار ساده و رسم منحنی تغییرات V بر حسب I برای یک مقاومت

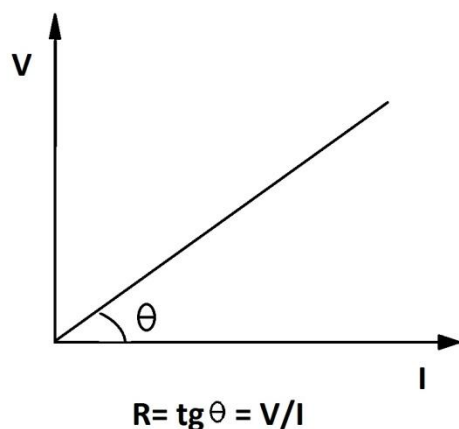
وسایل آزمایش: چند عدد مقاومت، منبع تغذیه، آمپر متر، ولت متر و سیم رابط

تئوری آزمایش:

طبق قانون اهم اگر به دو سر یک هادی الکتریکی (مثلا یک سیم) اختلاف پتانسیل V را وصل کنیم، رابطه (۱) بین دو کمیت جریان (I) و ولتاژ (V) برقرار است.

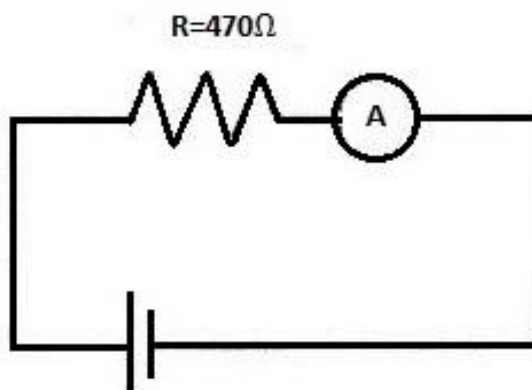
$$V = IR \quad (1)$$

در این رابطه R را مقاومت هادی می‌گویند که به جنس و خصوصیات فیزیکی آن بستگی دارند و بر حسب ولت بر آمپر یا اهم سنجیده می‌شود. رابطه (۱) نشان می‌دهد که تغییرات V بر حسب I خطی و مطابق شکل زیر می‌باشد.



اجرای آزمایش :

(۱) مدار شکل زیر را ببندید.



(۲) به ازای ولتاژهای مختلف مطابق جدول، جریان مدار را در جدول زیر وارد کنید.

$V (V)$	۰.۵	۱	۱.۵	۲	۲.۵	۳	۳.۵	۴
$I (mA)$								
$R (\Omega)$								

(۳) برای هر اندازه‌گیری مقاومت را به دست آورید.

(۴) با استفاده از جدول بالا منحنی تغییرات V بر حسب I را روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید.

(۵) با استفاده از نمودار به دست آمده R را محاسبه کنید.

ب) قوانین کیرشهف :

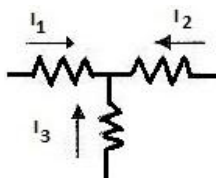
هدف آزمایش : بررسی قوانین کیرشهف در مدار

قوانین کیرشهف: برای پیدا کردن شدت جریان و یا اختلاف پتانسیل در مدارهایی که دارای شاخه‌های زیادی هستند، می‌توان از قوانین دو گانه کیرشهف که به شرح زیر بیان می‌شود استفاده کرد:

(۱) در هر نقطه از یک مدار الکتریکی مجموع جریان‌هایی که به آن نقطه (گره) وارد می‌شود، برابر است با مجموع جریان‌هایی که از آن گره خارج می‌شوند. به عبارت دیگر مجموع جبری جریان‌هایی که به یک نقطه اتصال وارد می‌شوند، مساوی صفر است.

$$\sum I = 0 \quad (2)$$

۲) در هر مدار بسته الکتریکی جمع جبری تمام اختلاف پتانسیل‌ها روی حلقه مدار برابر صفر است. درباره علامت جبری شدت جریان توضیح داده می‌شود که طبق قرار داد جریان‌هایی که به سمت نقطه اتصال جریان دارند، مثبت و جریان‌هایی که از آن نقطه دور می‌شوند منفی فرض می‌شوند.



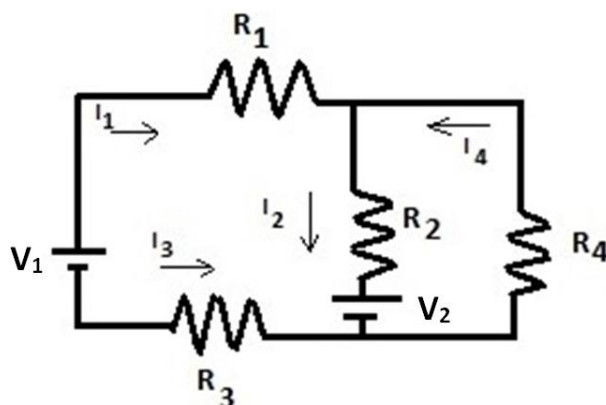
بدین ترتیب در شکل مقابل برای نقطه اتصال خواهیم داشت :

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0$$

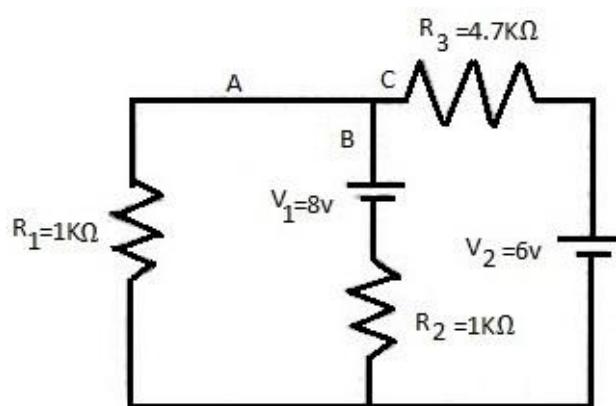
در مورد علامت جبری ولتاژها بدین ترتیب عمل می‌کنیم که در یک حلقه بسته جهت دلخواهی برای جریان انتخاب می‌کنیم. سپس از یک نقطه شروع کرده و مدار را دور می‌زنیم. اگر در جهت جریان انتخابی، از مقاومت‌ها عبور کنیم افت پتانسیل، و در غیر این صورت افزایش پتانسیل را برای آن‌ها منظور می‌کنیم. برای نیروهای محرکه (باتری) چنانچه جهت حرکت روی نیروی محرکه از منفی به مثبت باشد آن را مثبت و اگر از مثبت به منفی باشد آن را منفی فرض می‌کنیم. به شکل زیر توجه کنید. چنانچه به ترتیب حلقه سمت چپ و راست را در جهت عقربه‌های ساعت پیمایش کنیم، داریم:

$$-R_1 I_1 - R_2 I_2 - V_2 + R_3 I_3 + V_1 = 0$$

$$R_4 I_4 + V_2 + R_2 I_2 = 0$$



اجرای آزمایش :



۱) مداری مطابق شکل ببندید.

۲) آمپرتر را به ترتیب در نقاط A و B و C در مسیر مدار قرار داده و جریان‌های به دست آمده را یادداشت کنید.

۳) رابطه $\sum I = 0$ را برای جریان‌های به دست آمده تحقیق کنید.

۴) با استفاده از ولت‌متر اختلاف پتانسیل‌های دوسر هر یک از مقاومت‌ها و باتری‌ها را خوانده و یادداشت کنید.

۵) از روی جواب‌های به دست آمده قانون دوم کیرشهف را تحقیق کنید.

ج) تحقیق اتصال سری و موازی مقاومت‌ها

✓ اتصال سری :

در این نوع اتصال از تمام مقاومت‌ها جریان الکتریکی یکسانی عبور می‌کند، اما بسته به مقدار مقاومت الکتریکی آنها اختلاف پتانسیل دوسرشان متفاوت است. به طوری که اختلاف پتانسیل دو سر باتری برابر است با مجموع افت پتانسیل مقاومت‌های حاضر در مدار. یعنی :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 \quad (3)$$

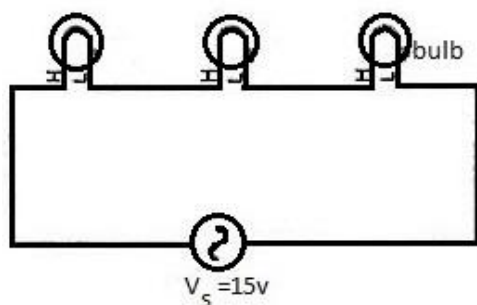
✓ اتصال موازی :

در این نوع اتصال تمام مقاومت‌ها تحت یک اختلاف پتانسیل اند؛ اما بسته به مقدار مقاومت هر یک از شاخه‌ها، جریان اصلی در آنها تقسیم می‌گردد. این تقسیم جریان به گونه‌ای است که جریان کل ورودی به محل انشعاب با مجموع جریان‌های تقسیم شده در شاخه‌ها برابر است. یعنی :

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (4)$$

اجرای آزمایش :

حالت سری:



۱) لامپها را به صورت متوالی در مدار قرار دهید.

۲) منبع ولتاژ AC را روی ۱۵ ولت تنظیم نمایید و کلید را

وصل کنید. (مقدار دقیق آن را به کمک ولت سنج AC

اندازه بگیرید)

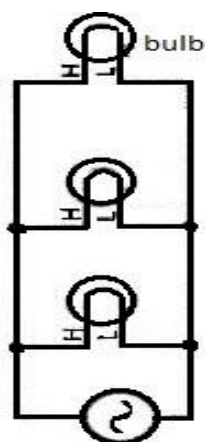
۳) به کمک آمپرسنج AC جریان مدار را در نقاط مختلف اندازه بگیرید و آنها را یادداشت نمایید. از این نتایج به چه نتیجه‌ای می‌رسید؟

۴) اختلاف پتانسیل دو سر هر یک از لامپ‌ها اندازه گرفته و صحت رابطه $V = V_1 + V_2 + V_3$ را تحقیق کنید.

۵) توان نیروی محرکه را با توان مصرفی در لامپ‌ها مقایسه کنید. نتیجه را توضیح دهید.

۶) یکی از لامپ‌ها را از مدار خارج کنید. چه تغییری در نور سایر لامپ‌ها رخ می‌دهد؟

حالت موازی:



۱) با همان لامپ‌های قبلی، مدار را به صورت موازی ببندید.

۲) منبع ولتاژ AC را روی ۴ ولت تنظیم نمایید (مقدار دقیق آن را به کمک ولت سنج AC اندازه بگیرید) و کلید را وصل کنید.

۳) به کمک آمپرسنج AC جریان مدار را در شاخه‌های مختلف اندازه گرفته و صحت رابطه $I = I_1 + I_2 + I_3$ را تحقیق کنید.

۴) توان نیروی محرکه را با توان مصرفی در لامپ‌ها مقایسه کنید. نتیجه را توضیح دهید.

۵) یکی از لامپ‌ها را از مدار خارج کنید. چه تغییری در نور سایر لامپ‌ها رخ می‌دهد؟

آزمایش ۶ : شارژ و دشارژ خازن؛ اتصال سری و موازی خازن‌ها

الف) شارژ و دشارژ خازن

هدف آزمایش : بررسی چگونگی شارژ (پرشدن) و دشارژ (تخلیه) خازن، رسم منحنی تغییرات ولتاژ یک

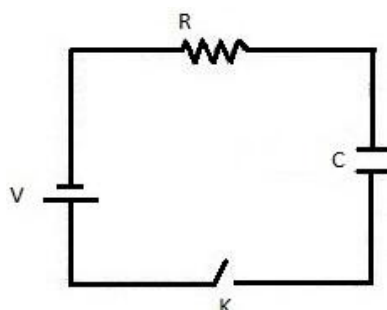
خازن در حال شارژ یا دشارژ نسبت به زمان، به دست آوردن ثابت زمانی

وسایل مورد نیاز : باتری، خازن، مقاومت، کرونومتر، ولت‌متر، سیم رابط.

تئوری آزمایش : اگر صفحات یک خازن (که نوع ساده آن از دو صفحه فلزی موازی که توسط عایقی از

هم جدا شده‌اند تشکیل شده) را به ولتاژ ثابت یک باتری وصل کنیم، تحت این اختلاف پتانسیل بر روی صفحات خازن مقداری بار با علامت مخالف ذخیره می‌شود. بار ذخیره شده در خازن با ولتاژ اعمال شده متناسب بوده و از رابطه $q = CV$ بدست می‌آید. در این رابطه C را ظرفیت خازن می‌نامند.

ظرفیت خازن به جنس عایق بین صفحات، مساحت صفحات و فاصله آنها بستگی دارد. واحد ظرفیت کولن بر ولت یا فاراد بوده و واحدهای کوچکتر آن میکروفاراد (10^{-6} فاراد) و پیکوفاراد (10^{-12} فاراد) می‌باشند.



چنانچه خازنی مانند شکل مقابل در مدار قرار گیرد، با بستن کلید k جریانی در مدار برقرار گردیده و بارهای الکتریکی تحت اختلاف پتانسیل خازن از طریق مدار بین صفحات خازن جابجا می‌شوند. این جریان تا وقتی که ولتاژ خازن (V_c) برابر با ولتاژ باتری (V_o) گردد برقرار است.

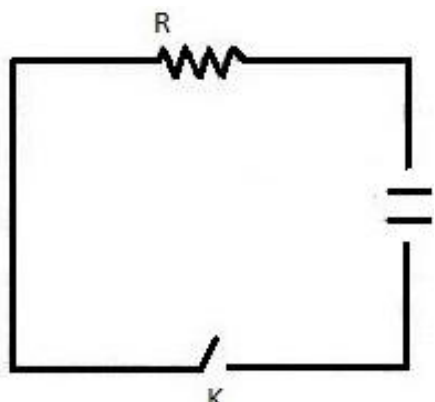
بنابراین با بستن کلید k اختلاف پتانسیل دو سر خازن پس از مدتی از صفر به مقدار ماکزیمم V_o می‌رسد. یعنی اگر ضمن باردار شدن ولتاژ خازن لحظه به لحظه اندازه‌گیری شود، مشاهده می‌گردد که ولتاژ به تدریج زیاد می‌شود؛ این در حالی است که شدت جریان کاهش می‌یابد.

زیاد شدن تدریجی ولتاژ حین شارژ از رابطه (۱) پیروی می‌کند.

$$V_c = V_o(1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (1)$$

در این رابطه C ظرفیت خازن و R مقاومت مدار است. بنا به تعریف زمان لازم برای رسیدن ولتاژ دو سر خازن به ۶۳٪ ولتاژ اعمال شده (یعنی $V_o[1 - e]$) را ثابت زمانی گفته و با τ نمایش می‌دهند. همانطور که

از رابطه (۱) مشخص است، مقدار τ برابر حاصل ضرب $\tau = RC$ است. چنانچه بعد از پر شدن کامل خازن باتری را از مدار حذف کنیم، با بستن کلید k بار خازن به تدریج تخلیه می‌شود. تغییرات ولتاژ دوسر خازن از رابطه (۲) تبعیت می‌کند.



$$V_c = V_o e^{\frac{-t}{RC}} \quad (2)$$

همانطور که از رابطه (۲) مشخص است با گذشت یک ثابت زمانی $(\tau = RC)$ ، ولتاژ دو سر خازن به 0.37 ولتاژ اولیه کاهش می‌یابد.

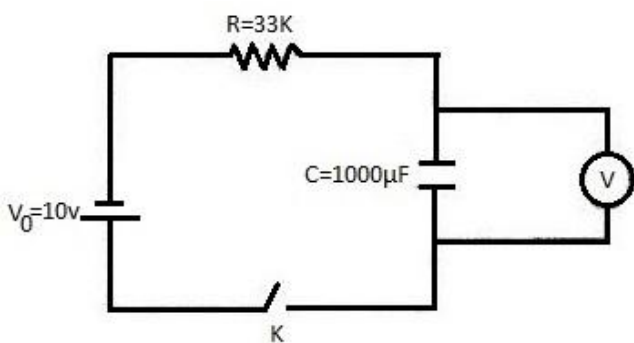
$$(e \approx 2.72)$$

اجرای آزمایش :

توجه: در شارژ خازن حتما به سر منفی-مثبت خازن توجه شود و سر منفی آن را به قطب منفی منبع تغذیه متصل کنید.

شارژ خازن :

(۱) ابتدا خازن $1000\mu F$ را که در اختیار دارید کاملا تخلیه کنید (برای این کار کافی است دو سر



خازن را به یک سیم به هم وصل کنید)

(۲) مدار را مطابق شکل مقابل ببندید. (کلید k حتما باز باشد)

(۳) کلید k را بسته و همزمان با بستن آن کرونومتر را به کار بیندازید. سپس هر ۵ ثانیه به ۵ ثانیه ولتاژ خازن را از روی

ولت‌متر خوانده تا به بیش از ۹ ولت برسد. مقادیر خوانده شده را در جدول زیر یادداشت کنید.

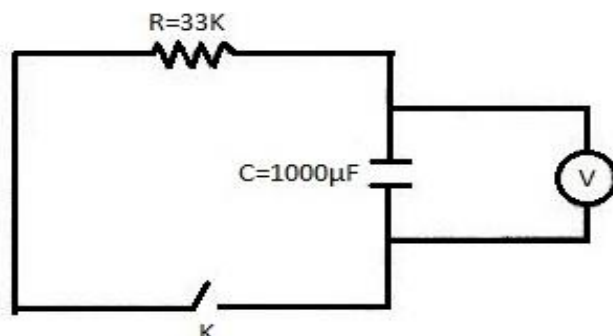
T(s)	
V_c	

(۴) با استفاده از جدول، منحنی شارژ خازن را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

۵) با استفاده از نمودار رسم شده و رابطه (۱) ثابت زمانی را به دست آورید و از روی آن ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

دشارژ خازن :

۱) ابتدا خازن را به میزان ۱۰ ولت شارژ کرده و آن را در مداری مطابق شکل زیر قرار دهید. (کلید k حتما باز باشد)



۲) کلید k را بسته و همزمان کروномتر را به کار بیندازید. سپس هر ۵ ثانیه به ۵ ثانیه ولتاژ خازن را از روی ولتمتر خوانده تا به زیر ۱ ولت برسد. مقادیر خوانده شده را در جدول زیر یادداشت کنید.

T(s)	
V_c	

۳) با استفاده از جدول، منحنی دشارژ خازن را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

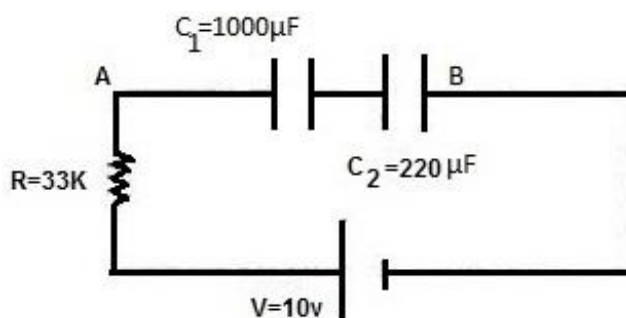
۴) با استفاده از نمودار رسم شده و رابطه (۲) ثابت زمانی را به دست آورید و از روی آن ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

ب) اتصال سری و موازی خازن ها :

همانطور که می دانید ظرفیت معادل دو خازن که به طور سری به هم وصل شده اند از رابطه $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ و ظرفیت معادل دو خازن موازی از رابطه $C = C_1 + C_2$ بدست می آید.

✓ خازن‌های سری :

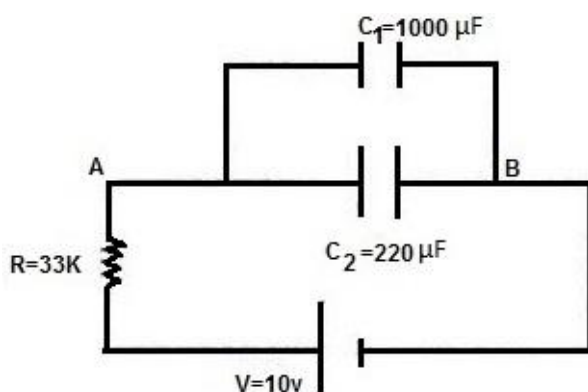
برای تحقیق رابطه $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ ، مداری مطابق شکل زیر بسته و (با توجه به نحوه‌ی درست قرار دادن سر منفی و مثبت خازن در مدار) شروع به شارژ کردن خازن‌ها نمایید. ولتاژ بین دو نقطه A و B را هر ۲ ثانیه اندازه‌گیری کرده و نمودار آن را برحسب زمان روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید. از روی نمودار بدست آمده و رابطه (۱) ثابت زمانی را محاسبه کرده و مقدار ظرفیت C را از رابطه $\tau = RC$ تعیین کنید. این مقدار را با مقداری که از رابطه $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ محاسبه می‌شود مقایسه کنید.



✓ خازن‌های موازی :

برای تحقیق رابطه $C = C_1 + C_2$ ، مداری مطابق شکل زیر بسته و (با توجه به نحوه‌ی درست قرار دادن سر منفی و مثبت خازن در مدار) شروع به شارژ کردن خازن‌ها نمایید. ولتاژ بین دو نقطه A و B را هر

۵ ثانیه اندازه‌گیری کرده و نمودار آن را برحسب زمان روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید. از روی نمودار بدست آمده و رابطه (۱) ثابت زمانی را محاسبه کرده و مقدار ظرفیت C را از رابطه $\tau = RC$ بدست آورید. این مقدار را با مقداری که از رابطه $C = C_1 + C_2$ محاسبه می‌شود، مقایسه کنید.



آزمایش ۷ : ترانسفورماتور؛ بررسی تجربی قانون لنز؛ تعیین مقاومت با استفاده از پل وتستون و پل تار

الف) ترانسفورماتور:

هدف آزمایش: بررسی تجربی ترانسفورماتور در ولتاژ متناوب

وسایل آزمایش: منبع تغذیه متناوب، سیم پیچ با دوره‌های متفاوت، هسته آهنی، مولتی‌متر، سیم‌های رابط

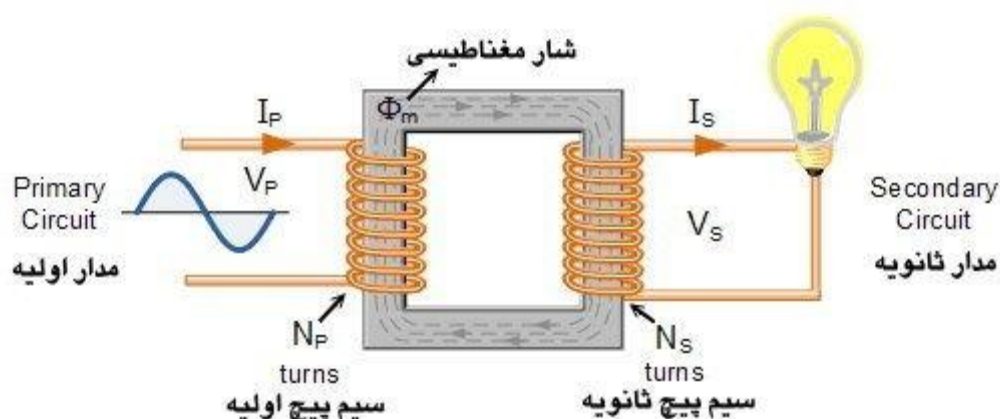
تئوری آزمایش:

در انتقال انرژی الکتریکی بین نیروگاه برق تا مصرف کننده برای کمینه کردن اتلاف‌های I^2R در خطوط انتقال (که معمولاً اتلاف‌های اهمی خوانده می‌شود)، بهتر آنست که جریان بکار رفته کمترین و در نتیجه ولتاژ بکار رفته بیشترین مقدار خود را داشته باشد. به بیان دیگر قاعده کلی انتقال انرژی الکتریکی بدین صورت است: انرژی در بالاترین ولتاژ ممکن و در پایین‌ترین جریان ممکن انتقال یابد. از طرف دیگر به دلایل ایمنی و نیز برای کارآمدی وسایلی که طراحی می‌شود، مطلوب آن است که هم در پایانه‌های تولید برق و هم در پایانه‌های مصرف (منازل و کارخانه‌ها) ولتاژهای نسبتاً پایینی بکار گرفته شود.

قاعده‌ی انتقال به یک ناهمخوانی اساسی بین شرط لزوم انتقال انرژی به نحوی کارآمد با ولتاژ بالا، و شرط تولید و مصرف ایمن انرژی با ولتاژ پایین می‌انجامد. بنابراین به وسیله‌ای نیاز داریم که با آن بتوانیم ولتاژ در یک مدار ac را برای انتقال انرژی بالا برده و برای مصرف پایین بیاوریم. این موضوع باید در حالی صورت گیرد که حاصلضرب جریان ولتاژ حتی الامکان ثابت بماند تا از اتلاف انرژی جلوگیری شود. مبدل یا ترانسفورماتور چنین وسیله‌ای است؛ هیچ بخش متحرکی ندارد و تنها بر مبنای قانون القای فاراده کار می‌کند.

در شکل زیر نمای شماتیک یک ترانسفورماتور نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود ترانسفورماتور از دو پیچه که بر روی یک هسته آهنی قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. پیچه اولیه که به منبع تغذیه متصل می‌گردد، یک القاگر خالص است. پیچه دوم نیز که مصرف کننده به آن متصل می‌شود،

پیچه ثانویه نامیده می‌شود. در حالت ایده‌آل فرض می‌شود که مقاومت پیچه‌ها ناچیز است. در عمل نیز مبدل‌هایی که با قابلیت‌های بالایی طراحی شده‌اند، اتلاف انرژی ای در حدود ۱٪ دارند.

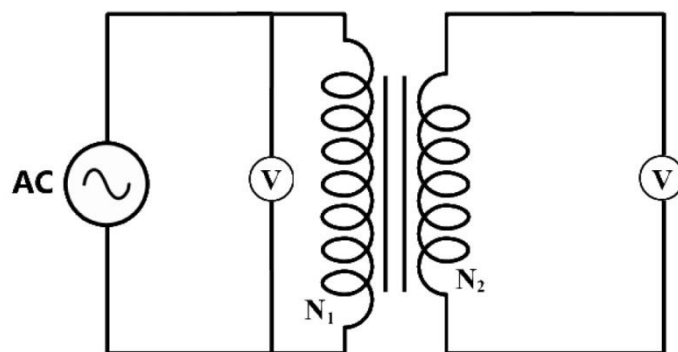


در یک ترانسفورماتور، نیروی محرکه الکتریکی به فرم $\xi = \xi_m \sin \omega t$ به پیچه اولیه وارد می‌شود. جریان اولیه‌ی متغیر سینوسی، شار مغناطیسی متغیر سینوسی Φ_B را در هسته آهنی ایجاد می‌کند. هسته، شار مغناطیسی را تقویت کرده و موجب انتقال آن به پیچه‌ی ثانویه می‌شود. به دلیل تغییر شار مغناطیسی، نیروی محرکه الکتریکی در هر دور از سیم پیچ ثانویه القا می‌شود. در واقع با فرض اینکه اتلاف شار مغناطیسی صفر باشد، این نیروی محرکه بر دور $(\xi_{\text{دور}})$ ، در سیم پیچ اولیه و ثانویه یکسان است. ولتاژ دو سر سیم پیچ اولیه برابر حاصل ضرب $\xi_{\text{دور}}$ در تعداد دورهای آن است؛ یعنی $V_P = \xi_{\text{دور}} \cdot N_P$. به همین ترتیب ولتاژ دوسر ثانویه به صورت $V_S = \xi_{\text{دور}} \cdot N_S$ است.

$$\xi_{\text{دور}} = \frac{V_P}{N_P} = \frac{V_S}{N_S} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \quad (1) \quad \text{بنابراین می‌توانیم بنویسیم:}$$

روش آزمایش

- مدار را مطابق شکل زیر به ازای $N_P=600$ و $N_S=300$ ببندید.



- فرکانس منبع تغذیه را بر روی ۵۰ Hz قرار داده و ولتاژ سیم پیچ اولیه را به ازای ده مقدار در بازه ۰/۵ تا ۵ ولت تغییر دهید. به ازای هر ولتاژ داده شده به سیم پیچ اولیه، ولتاژ سیم پیچ ثانویه را اندازه‌گیری کرده و در جدول یادداشت کنید.
 - به ازای $N_p=300$ و $N_s=1200$ ، مراحل فوق را تکرار کرده و نتایج را در جدول یادداشت نمایید.
 - برای هر سری از داده‌ها، نمودار V_p بر حسب V_s را در کاغذ میلی‌متری رسم کنید. با محاسبه شیب نمودار درستی رابطه $V_p = \frac{N_p}{N_s} V_s$ را بررسی کرده و خطای مطلق و نسبی را بدست آورید.
- توجه: در هر قسمت ابتدا مدار را به طور کامل بسته و سپس ولتاژ را به آن اعمال کنید.

	V_p (V)	V_s (V)		V_p (V)	V_s (V)
$N_p=600$			$N_p=300$		
$N_s=300$			$N_s=1200$		

ب) بررسی تجربی قانون لنز

هدف: بررسی اثر نیروی محرکه القایی در سقوط آزاد اجسام

تئوری آزمایش:

همانطور که می‌دانیم، شار مغناطیسی عبوری از سطح A که در میدان مغناطیسی B قرار دارد از رابطه زیر تعریف می‌شود:

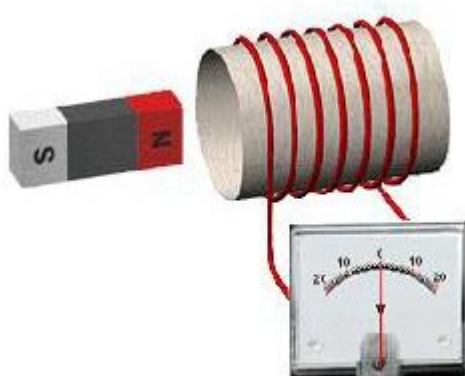
$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (3)$$

اگر شار مغناطیسی عبوری از سطح که توسط یک حلقه رسانای بسته محدود شده است با زمان تغییر کند، یک جریان و یک نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود. نیروی محرکه القایی عبارتست از (قانون فاراده):

$$\xi = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (4)$$

علامت منفی در رابطه بالا به خاطر قانون لنز منظور شده است. طبق قانون لنز جهت جریان القایی به گونه‌ای است که میدان مغناطیسی حاصل از این جریان با تغییر شار مغناطیسی‌ای که این جریان را القا می‌کند، مخالفت می‌کند.

اگر مانند شکل زیر یک آهنربا را از جهت N به یک سیملوله نزدیک کنیم، طبق قانون لنز جریان القایی در



جهتی است که با تغییرات شار درون سیملوله مخالفت می‌کند. یعنی این جریان باعث ایجاد قطب همنام در ابتدای سیملوله می‌شود و این موضوع مانعی در مقابل حرکت آهنربا به سمت سیملوله ایجاد می‌کند. از طرف دیگر اگر همین آهنربا از سیملوله دور می‌شد، طبق قانون لنز جهت جریان القایی به گونه‌ای بود تا با کاهش شار مغناطیسی درون آن مخالفت شود. این جریان باعث می‌شود تا در سمت نزدیک آهنربا، قطب ناهمنام آن ایجاد

شود. بنابراین در مجموع جهت جریان القایی درون یک پیچه به گونه‌ای است که با حرکت آهنربا درون خود مخالفت کرده و نیرویی در جهت مخالف به آن وارد می‌کند. حال اگر ما به جای پیچه یک میله رسانا

قرار دهیم، جهت جریان القایی درون آن مانند مشابه پیچه خواهد بود و با حرکت آهنربا درون خود مخالف می‌کند.

اجرای آزمایش :

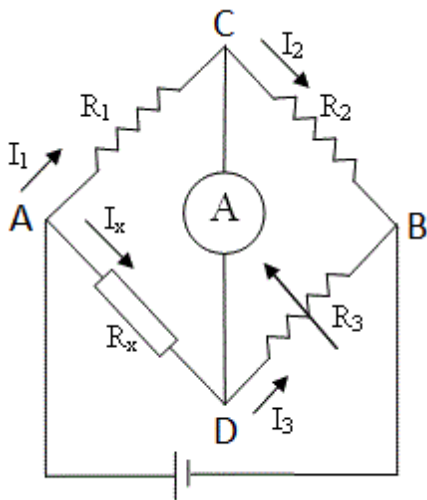
دستگاه را مطابق شکل سوار کرده و زمان سنج را روشن کنید. ابتدا استوانه غیرمغناطیسی را درون لوله بیاندازید و به وسیله زمان‌سنج زمان سقوط را بدست آورید. سپس زمان سنج را Reset کرده و استوانه مغناطیسی را درون لوله انداخته تا زمان سقوط آن بدست آید.



- دو زمان بدست آمده را با هم مقایسه کرده و دلیل این تفاوت زمان را توضیح دهید.
- با رسم شکل جهت جریان القایی و نیروهای وارد بر آهنربا، هنگامی که استوانه مغناطیسی درون میله قرار دارد، را نشان دهید.
- آیا می‌توان (با چشم پوشی از مقاومت هوا) یک شتاب ثابت برای سقوط استوانه مغناطیسی در نظر گرفت؟ چرا؟

ج) تعیین مقاومت با استفاده از پل وتستون و پل تار

تئوری آزمایش :



همانطور که در شکل دیده می‌شود، پل وتستون ترکیبی از چهار مقاومت R_1 تا R_4 است به طوریکه اختلاف پتانسیل دو نقطه C و D صفر شود.

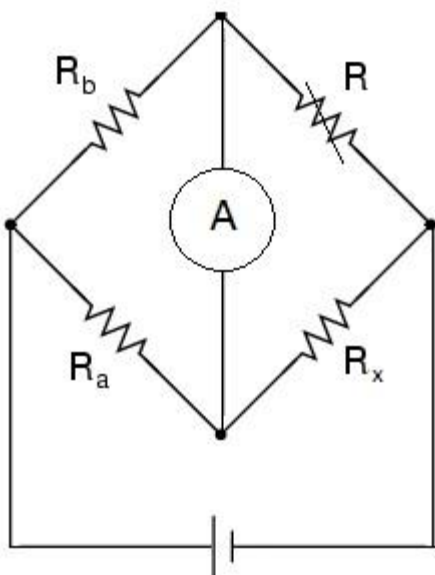
یکی از کاربردهای متداول پل وتستون، اندازه‌گیری سریع و دقیق مقاومت مجهول R_x می‌باشد. بدین منظور همانند شکل، مقاومت مجهول را درون مدار قرار می‌دهیم. سپس مقاومت R_3 را آنقدر تغییر داده تا آمپر متر جریان صفر را نشان دهد. تحت این شرایط داریم:

$$\begin{cases} V_{AC} = V_{AD} \Rightarrow R_1 I_1 = R_x I_x \\ V_{CB} = V_{DB} \Rightarrow R_2 I_2 = R_3 I_3 \\ I_1 = I_2, I_x = I_3 \end{cases} \Rightarrow \frac{R_1 I_1}{R_2 I_2} = \frac{R_x I_x}{R_3 I_3} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3}$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{R_1}{R_2} \times R_3 \quad (4)$$

بنابراین با استفاده از رابطه (۴) می‌توان مقدار R_x را تعیین کرد.

اجرای آزمایش :



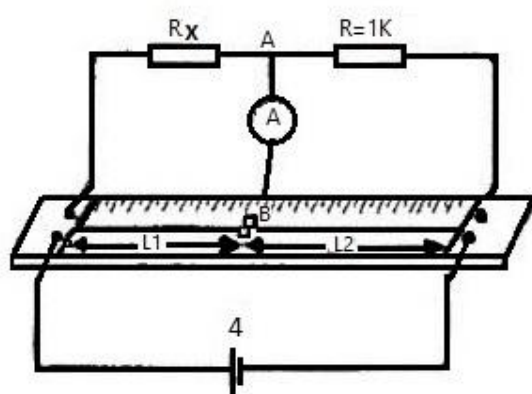
مدار را مطابق شکل زیر ببندید. مقاومت R را آنقدر تغییر دهید تا از آمپر متر جریانی عبور نکند. سپس با استفاده از رابطه (۴) جدول زیر را کامل کنید.

ولتاژ	R_a	R_b	R	R_x
10 V	4.7 KΩ	10 KΩ		

- پل تار

تئوری آزمایش :

پل وتستون را می‌توان به صورت ساده تری که پل تار نام دارد سوار نمود. شکل زیر مدار پل تار را نشان می‌دهد که از یک رشته سیم یکنواخت یک متری تشکیل شده است.



با تنظیم سرمتحرک (B) می‌توان ولتاژ بین دو نقطه A و B را صفر نمود. در نتیجه از آمپر متر جریانی عبور نمی‌کند. در این صورت مقاومت‌های R_x و R و سیم‌های L_1 و L_2 مانند چهار شاخه پل وتستون می‌باشند. در یک پل تار متقارن روابط به صورت زیر هستند :

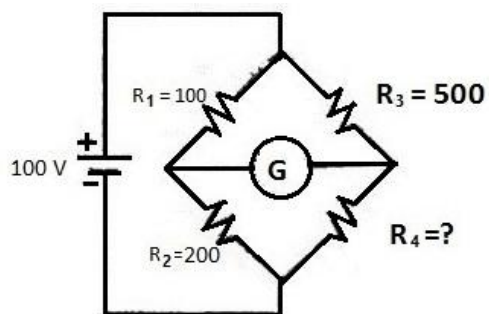
$$\frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2} \Rightarrow R_x = \frac{L_1}{L_2} \times R$$

اجرای آزمایش :

مدار را مطابق شکل بالا ببندید. مقاومت مجهول R_x است. $R_1 = 1K\Omega$ را اختیار کنید. ولتاژ DC برابر $4V$ به مدار اعمال کنید. سرمتحرک پل را حرکت دهید تا جایی که هیچ جریانی از شاخه AB عبور نکند. سپس طول L_1 و L_2 را به دست آورده و نتایج را در جدول زیر وارد نمایید.

R_x	L_1	L_2	R_1	ولتاژ
				4v

پرسش‌ها :



(۱) در مدار مقابل مقاومت R_4 را طوری حساب کنید که مدار

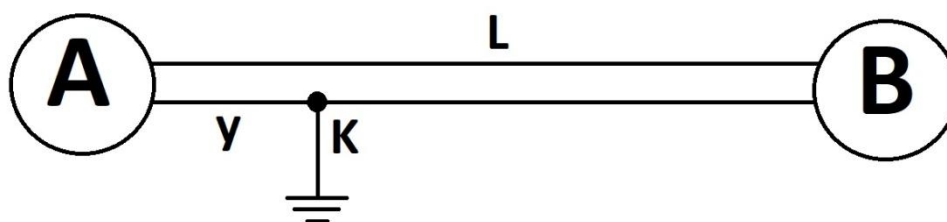
پل به حالت تعادل درآید. همچنین نسبتهای $\frac{V_{R_3}}{V_{R_4}}$ و $\frac{V_{R_1}}{V_{R_2}}$

را حساب کنید.

(۲) مطابق شکل فرض می‌کنیم بین دو نقطه A و B از زیر زمین دو رشته سیم به طول L برای برق رسانی

به B کشیده شده باشد. چنانچه در نقطه k یکی از این دو رشته به زمین اتصال پیدا کرده باشد، محل

خرابی کابل را چگونه می‌توان بدست آورد؟ رابطه آن را به دست آورید؟



آزمایش ۸: بررسی میدان مغناطیسی در حلقه و سیملوله، تعیین مولفه افقی میدان

مغناطیسی زمین به کمک حلقه حامل جریان

الف) بررسی میدان مغناطیسی در حلقه

هدف: بررسی میدان مغناطیسی در مرکز حلقه و چگونگی بستگی آن به شعاع و تعداد دورهای حلقه

تئوری آزمایش:

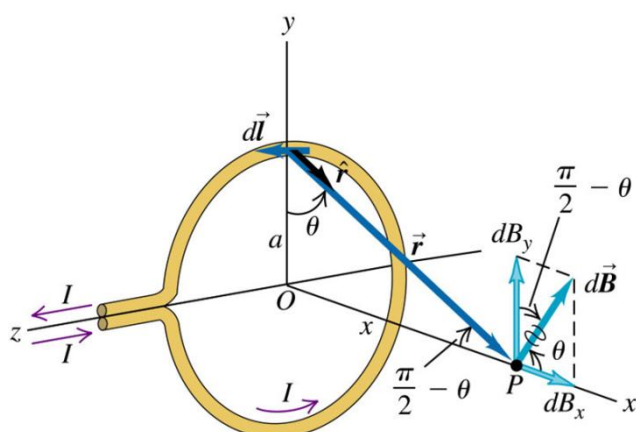
شکل زیر حلقه‌ای رسانا به شعاع a را نشان می‌دهد که حامل جریان I می‌باشد. با توجه به قانون بیوساوار اندازه میدان مغناطیسی dB ناشی از یک المان طولی dL که حامل جریان I می‌باشد، عبارت است از:

$$|d\vec{B}| = dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{r^2} \quad (1)$$

که در آن $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T \cdot m}{A}$ و r فاصله المان

مزبور تا نقطه مورد نظر P است. با توجه به شکل بر

نقطه‌ای روی محور حلقه داریم:



$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{dl}{a^2 + x^2} \quad (2)$$

بنابراین برای مولفه‌های x و y می‌توان نوشت:

$$dB_x = dB \cos \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{dl}{a^2 + x^2} \cdot \frac{a}{(a^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (3)$$

$$dB_y = dB \sin \theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{dl}{a^2 + x^2} \cdot \frac{x}{(a^2 + x^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (4)$$

به دلیل تقارن موجود، مجموع مولفه‌های عمود بر محور x برابر صفر می‌شود؛ یعنی $B_y = 0$. به منظور

یافتن مجموع مولفه‌های x ، از رابطه (۳) روی کل حلقه انتگرال می‌گیریم. نتیجه عبارت خواهد بود از:

$$B_x = B = \frac{\mu_0 I a^2}{2(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (5)$$

در مرکز حلقه ($X=0$) نتیجه بالا به صورت زیر حاصل می‌آید :

$$B(X=0) = \frac{\mu_0 I}{2a} \quad (6)$$

در نهایت برای حلقه‌ای که شامل N دور سیم می‌شود، میدان مغناطیسی در مرکز حلقه عبارت است از:

$$B = N \frac{\mu_0 I}{2a} \quad (7)$$

اجرای آزمایش :

- (۱) حلقه رسانا با یک دور را ($N = 1$) در محل پایه خود نصب کنید.
- (۲) با کمک مولد الکتریکی، جریان الکتریکی ۵ آمپر را به اتصالات حلقه متصل کنید. جهت تنظیم جریان در مدار، ابتدا مطمئن شوید منبع تغذیه در مدار قرار ندارد. بعد از آن منبع تغذیه را روشن کرده و کلید سمت راست نمایشگر را بر روی A قرار دهید. سپس دکمه ولومی A را تا انتها به سمت چپ (جهت پادساعتگرد) بچرخانید. پس از آن با استفاده از خروجی سمت چپ دستگاه (DC)، آمپر متر و حلقه را در مدار قرار دهید. حال به آرامی کلید ولومی A را به سمت راست چرخانده تا جریان $5A$ در مدار برقرار شود.
- (۳) با قرار دادن نوک پروب اندازه‌گیری میدان مغناطیسی در مرکز حلقه، بزرگی میدان را اندازه بگیرید. (بدین منظور ابتدا کلید دستگاه را بر روی $G/10$ قرار دهید و حتی‌الامکان وسایل مغناطیسی مانند آهنربا و موبایل را از پروب دور کنید. قبل از برقراری جریان عددی که نمایشگر نشان می‌دهد را یادداشت کنید. سپس نوک پروب را در مرکز حلقه حامل جریان قرار داده و عدد روی آن را بخوانید. سپس تفاضل این عدد و عدد اولیه را بدست آورید و آن را A بنامید. در نتیجه میدان مغناطیسی عبارت است از $\frac{A}{10} G$ و یا $\frac{A}{100} mT$).
- (۴) با تعویض حلقه‌های مشابه ولی با دوره‌های $N = 2, N = 3$ مراحل ۲ و ۳ را تکرار نموده و جدول زیر را کامل کنید.

N (دور)	۱	۲	۳
$B (mT)$			
$R (cm)$ (شعاع حلقه)			

۵) با کمک این نتایج نمودار $B - N$ را رسم کرده و صحت رابطه (۷) را تحقیق کنید.

۶) آزمایش را با حلقه‌های تک دور دیگر، ولی با شعاع‌های متفاوت و شدت جریان ۵ آمپر تکرار کنید و میدان را در مرکز حلقه بیابید. سپس جدول زیر را کامل کنید.

$R (cm)$			
$B (mT)$			

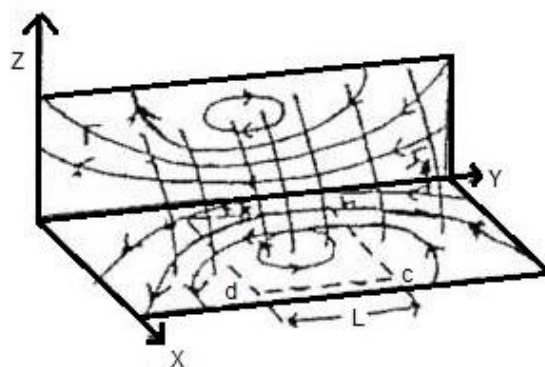
۷) با رسم نمودار صحت رابطه (۷) را تحقیق کنید.

ب) بررسی میدان مغناطیسی در سیملوله

هدف: تعیین میدان مغناطیسی در امتداد محور یک سیم لوله طویل

تئوری آزمایش:

سولنوئید (سیم لوله) یک سیم‌پیچ به شکل استوانه است که حامل جریان I است. برای سادگی ما در شکل زیر سیم لوله‌ای را نشان داده ایم که بیش از چند دور ندارد. همه دورها حامل جریان I هستند و میدان کل B در هر نقطه عبارت است از حاصل جمع برداری میدان‌های ناشی از تک تک دورها. این شکل خطوط را در صفحات XY, YZ نمایش می‌دهد.



در صورتی که طول سیم لوله در مقایسه با سطح مقطع آن بسیار زیاد باشد، میدان در داخل سیم لوله در نزدیکی محور آن تا حد زیادی یکنواخت و به موازات محور است و میدان در خارج سیم لوله بسیار ناچیز است به طوری که می‌توان از آن چشم پوشید. ($B = 0$)

در یک سیم‌لوله ایده آل که طول L خیلی بیشتر از شعاع R است، میدان در تمام نقاط داخل آن که دور از دو سر سیم‌لوله قرار دارند، به موازات محور سیم‌لوله بوده و اندازه آن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$B = \mu_0 NI \quad (8)$$

که در آن B بزرگی میدان، μ_0 ثابت تراوایی، N تعداد دور در واحد طول و I جریان الکتریکی است.

اجرای آزمایش :

۱) ابتدا مشخصات سیم‌لوله مانند L, R, N را از روی آن یادداشت کنید و سپس مدار شامل منبع تغذیه، آمپر متر و سیم لوله را به طور سری ببندید.

۸) با استفاده از مولد الکتریکی جریان ۱ آمپر را به آن متصل کنید. جهت تنظیم جریان در مدار، ابتدا مطمئن شوید منبع تغذیه در مدار قرار ندارد. بعد از آن منبع تغذیه را روشن کرده و کلید سمت راست نمایشگر را بر روی A قرار دهید. سپس دکمه ولومی A را تا انتها به سمت چپ (جهت پادساعتگرد) بچرخانید. پس از آن با استفاده از خروجی سمت چپ دستگاه (DC)، آمپر متر و حلقه را در مدار قرار دهید. حال به آرامی کلید ولومی A را به سمت راست چرخانده تا جریان $1A$ در مدار برقرار شود.

توجه شود که حداکثر جریان قابل تحمل سیم‌لوله بر روی آن درج شده است و عبور جریان‌های بالاتر باعث آسیب دیدن و سوختن سیم‌لوله می‌شود.

۲) نوک میله پروب را از یکی از سمت‌ها در ابتدای سیم‌لوله قرار دهید و میدان مغناطیسی را یادداشت کنید (متناظر با $Z=0$ در جدول زیر). حال پروب را تا انتها یک سانتی‌متر - یک سانتی‌متر به درون سیم‌لوله وارد کنید و اعداد متناظر با $Z=1$ و $Z=2$ و... را در جدول زیر وارد کنید.

$Z (cm)$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$B (mT)$										

۳) اینبار نوک میله پروب را از سمت دیگر سیم‌لوله (به طول L که روی سیم‌لوله نوشته شده است) در ابتدای آن قرار دهید و میدان مغناطیسی را یادداشت کنید (متناظر با $Z=L$ در جدول زیر). حال

پروب را تا انتها یک سانتی متر- یک سانتی متر به درون سیملوله وارد کنید و اعداد متناظر با $Z=L-1$ و $Z=L-2$ و... را در جدول زیر وارد کنید.

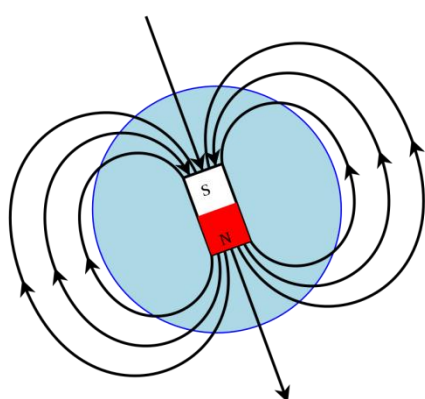
$Z (cm)$	L	L-1	L-2	L-3	L-4	L-5	L-6	L-7	L-8	L-9
$B (mT)$										

۴) با ترکیب دو جدول فوق تغییرات میدان مغناطیسی در طول سیملوله (یعنی نمودار B بر حسب Z) را بر روی کاغذ میلی متری رسم کنید.

۵) به طور کیفی آنچه از این نمودار متوجه شده‌اید را در گزارش کار خود بنویسید.

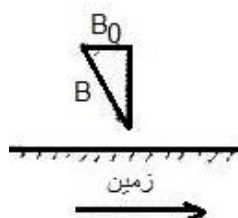
۶) میدان مغناطیسی را از رابطه (8) محاسبه و با مقدار بدست آمده در مرکز سیملوله ($B_{Z=L/2}$) مقایسه کنید. سپس درصد خطا را بدست آورید.

ج) تعیین مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین به کمک حلقه حامل جریان



همان طور که می‌دانید زمین مانند یک آهنربا عمل می‌کند. نموداری از میدان مغناطیسی زمین در شکل مقابل نشان داده شده است.

همان گونه که از شکل پیداست بردار میدان مغناطیسی (B) در هر نقطه از فضا بر خط القای مغناطیسی مماس است که این میدان در نزدیکی سطح زمین دارای یک زاویه با سطح افق است. هدف ما در این آزمایش تعیین مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین (B_0) در شکل زیر) در محل آزمایش است.

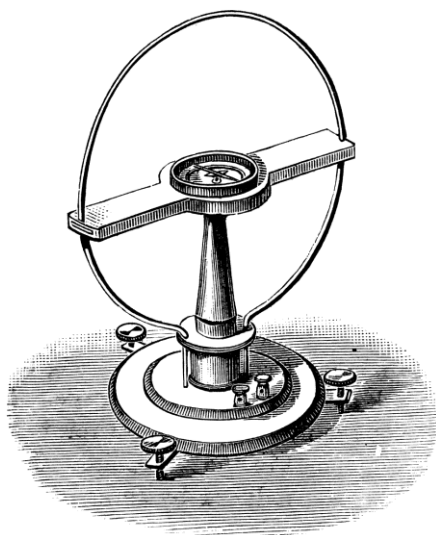


برای این منظور ما از حلقه حامل جریان استفاده می‌کنیم. می‌دانیم شدت میدان مغناطیسی در مرکز یک حلقه دایره‌ای شکل که شامل N دور سیم است و از آن جریان I عبور می‌کند، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$B = \frac{\mu_0 N I}{2r} \quad (9)$$

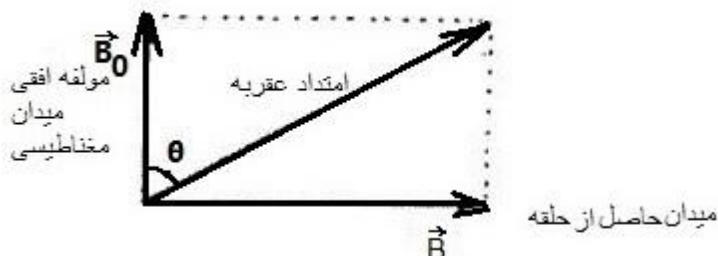
در این رابطه r شعاع حلقه است و μ_0 تراوایی خلا نامیده می‌شود: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} T.m / A$

جهت میدان مغناطیسی را می‌توان به کمک قاعده دست راست تعیین کرد. بدین ترتیب که اگر حلقه را با دست راست خود بگیریم به گونه‌ای که انگشت شصت در جهت جریان باشد، جهت میدان مغناطیسی در جهت بسته شدن چهار انگشت دیگر است.



یکی از راه‌هایی که می‌توان برای تعیین مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین از آن استفاده کرد، روش گالوانومتر تانژانت است. بدین منظور از یک قطب‌نما که صفحه زیرین آن مدرج شده است استفاده می‌شود.

در این روش قطب‌نما در مرکز پیچه حامل جریان قرار می‌گیرد. در صورتی که از پیچه جریانی عبور نکند، عقربه مغناطیسی تحت تاثیر B_0 به سمت شمال جغرافیایی زمین سمت‌گیری می‌کند. اما با برقراری جریان در سیم پیچ، عقربه مغناطیسی تحت اثر دو میدان قرار می‌گیرد: B_0 و B مربوط به پیچه حامل جریان در مرکز آن. بدیهی است در این حالت مانند شکل زیر عقربه مغناطیسی در امتداد برآیند این دو میدان قرار خواهد گرفت.



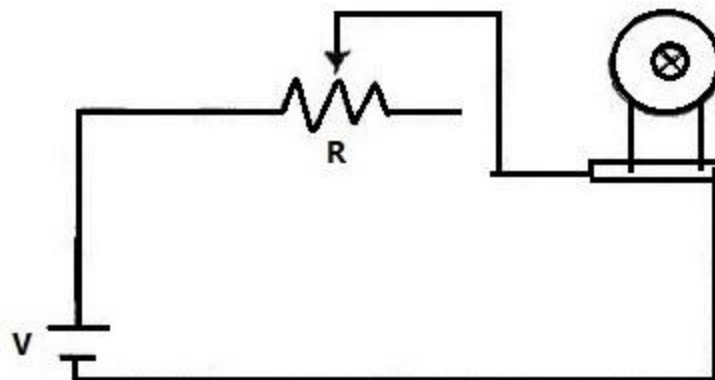
همانطور که در شکل مشخص است بین کمیت‌های B_0 و B و θ رابطه زیر برقرار است:

$$\tan \theta = \frac{B}{B_0} \quad (10)$$

که در آن $B = \frac{\mu_0 NI}{2R}$ ، B_0 مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین، و θ انحراف قطب‌نما از راستای شمال جغرافیایی است.

اجرای آزمایش :

- (۱) پایه‌های گالوانومتر تانژانت را آنقدر بچرخانید تا عقربه مغناطیسی قطب نما (که در حالت عادی در جهت شمال جغرافیایی زمین سمت‌گیری کرده است) در صفحه سیم پیچ قرار گیرد.
- (۲) مداری مطابق شکل زیر تشکیل دهید و سعی کنید اشیا فلزی و مغناطیسی را دور از گالوانومتر قرار دهید. (در ابتدا کلید حتماً باز باشد)



- (۳) سپس کلید را بسته و با استفاده از رئوس‌تای جریان‌های خواسته شده را برقرار کنید و به ازای آن‌ها جدول زیر را تکمیل کنید.

شعاع $r = 10.5 \text{ cm}$

دور $N = 20$

$I (A)$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
θ					
$\tan \theta$					
B					
B_0					

- (۴) مقدار میانگین B_0 را تعیین کنید.

آزمایش ۹: مقاومت، خازن و القاگر در مدارهای AC

تئوری آزمایش:

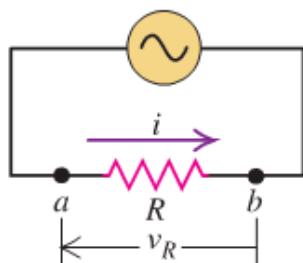
جریان متناوب (AC) جریان الکتریکی‌ای است که در آن اندازه جریان به صورت چرخه‌ای تغییر می‌کند؛ بر خلاف جریان مستقیم که در آن اندازه جریان مقدار ثابتی می‌ماند. برق تحویل داده شده به شرکت‌های تجاری و منازل مسکونی به صورت متناوب است. شکل یک مدار AC معمولاً به صورت یک موج سینوسی کامل است ولی در کاربردهای خاص ممکن است شکل موج‌های مختلفی مانند امواج مثلثی یا مربعی استفاده شود.

بسیاری از مطالبی که درباره مدارهای جریان مستقیم (DC) می‌دانیم، در مدارهای جریان متناوب (AC) نیز قابل استفاده‌اند. اما پیچیده‌ها و خازن‌ها در مدارهای AC خواص متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در این آزمایش طرز رفتار مقاومت‌ها، خازن‌ها و پیچیده‌های القاگر را تحت شرایط جریان متناوب بررسی خواهیم کرد.

الف) مقاومت در مدارهای AC

مقاومت R متصل به چشمه‌ی ac

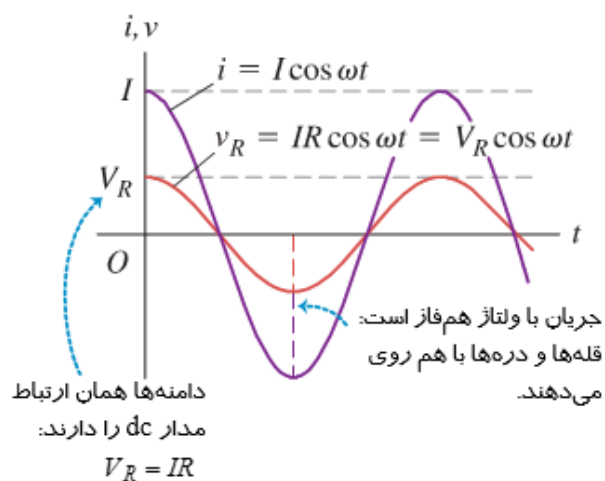
(الف) مدار با منبع ac و مقاومت



یک مدار ساده AC شامل مقاومت و منبع تغذیه در شکل مقابل نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است جریان و ولتاژ در مدار AC که شامل یک مقاومت می‌شود، هم فاز هستند. همچنین در هر لحظه، قانون اهم برای مقاومت برقرار است. یعنی:

$$V = IR \quad (1)$$

(ب) نمودارهای جریان و ولتاژ بر حسب زمان



از آنجا که ولت سنج و آمپرسنج در حالت AC همواره مقدار موثر (r.m.s) را نشان می‌دهند، می‌توان نوشت:

$$V_{rms} = IR_{rms} \quad (2)$$

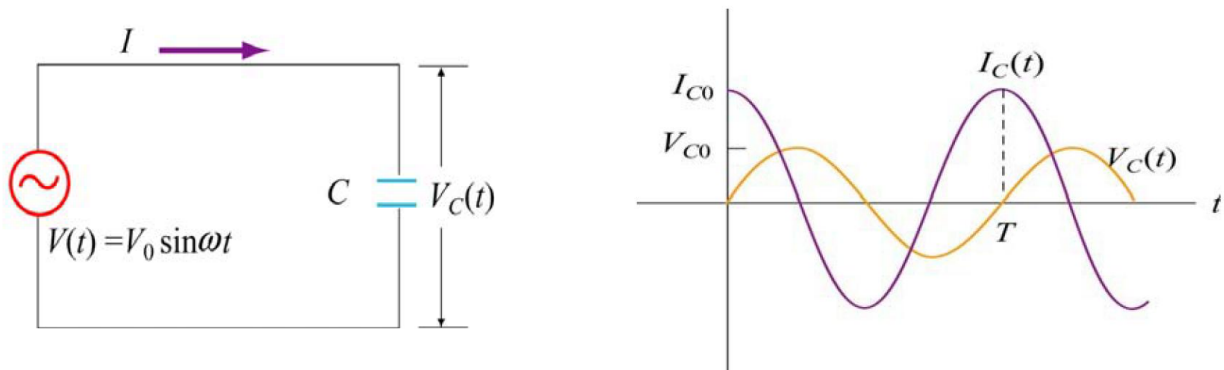
ب) خازن در مدارهای AC

در شکل زیر مدار ساده AC شامل یک خازن نشان داده شده است. چنانچه ولتاژ دو سر خازن به صورت $V(t) = V_0 \sin \omega t$ باشد، داریم:

$$Q(t) = CV(t) = CV_0 \sin \omega t \quad (3)$$

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = CV_0 \cos \omega t \quad (4)$$

بنابراین هنگامی که یک خازن تحت یک ولتاژ متناوب قرار می‌گیرد، جریان و ولتاژ به اندازه $\pi/2$ با هم اختلاف فاز دارند. همانطور که از شکل زیر مشخص است، ولتاژ دو سر خازن همواره به اندازه $1/4$ دوره تناوب از جریان عبوری عقب تر است.



روشن است که خازن همیشه با عبور جریان مخالفت می‌کند. مثلاً در یک مدار DC خازن عبور جریان را کاملاً متوقف می‌کند. این خاصیت با مقاومت ظاهری خازن نشان داده می‌شود. مقاومت خازن را با X_c نمایش می‌دهند و با ظرفیت (C) و بسامد چشمه ولتاژ (f) به صورت زیر ارتباط دارد:

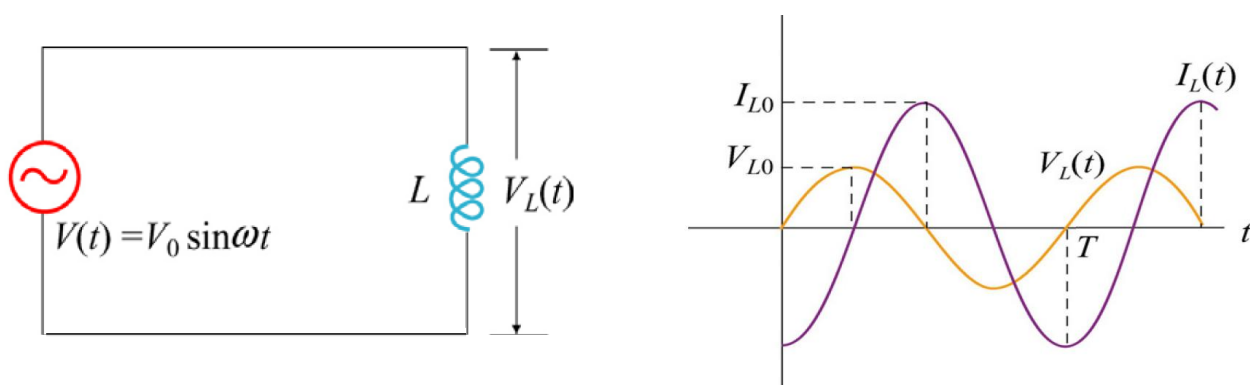
$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \quad (5)$$

یکای این کمیت همان اهم (Ω) است. رابطه بین ولتاژ و جریان موثر مدار نیز به صورت زیر بیان می‌شود.

$$V_{rms} = X_c I_{rms} \quad (6)$$

ج) پیچه (القاگر) در مدارهای AC

در شکل زیر یک القاگر متصل به یک چشمه ولتاژ AC، نشان داده شده است. هنگامی که جریان گذرنده از یک پیچه در حال تغییر باشد یک نیروی محرکه خودالقا در پیچه تولید می‌شود که با تغییر جریان مخالفت می‌کند. یعنی ولتاژ سینوسی باعث عبور جریانی سینوسی از مدار می‌شود اما نیروی محرکه القا شده در پیچه با تغییر جریان مخالفت می‌کند. در نتیجه این امر، عبور جریان از مدار به تاخیر می‌افتد؛ به طوری که در مدار القاگر ولتاژ دو سر القاگر از جریان مدار به مقدار $(1/4)$ چرخه (سیکل) جلوتر است.

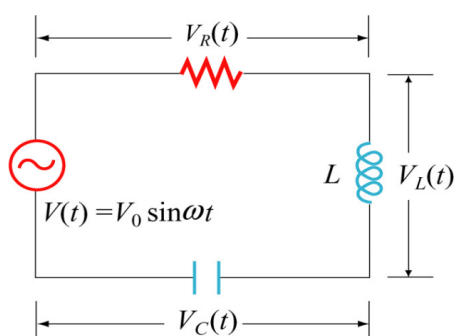


در اینجا هم مانند مدارهای R و C با نوعی مقاومت رو به رو هستیم که آن را مقاومت ظاهری القایی می‌نامند. این کمیت را با X_L نمایش می‌دهیم با ضریب خودالقایی (L) و بسامد چشمه ولتاژ به صورت زیر ارتباط دارد.

$$X_L = 2\pi fL \quad (7)$$

یکای این کمیت نیز اهم (Ω) است. رابطه بین ولتاژ و جریان موثر مدار نیز به صورت زیر بیان می‌شود.

$$V_{rms} = X_L I_{rms} \quad (8)$$



د) مدار RLC متوالی

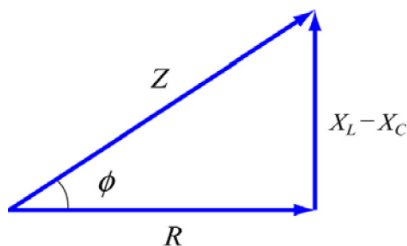
برای یک مدار RLC متوالی مانند شکل مقابل، مقاومت ظاهری به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (9)$$

در نتیجه رابطه بین ولتاژ و جریان موثر مدار (که توسط ولت‌متر و آمپر‌متر AC قابل اندازه‌گیری است) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$V_{rms} = I_{rms} Z \quad (10)$$

توجه کنید که در اینجا هم به شکلی از قانون اهم می‌رسیم که در آن به جای R ، عامل ریشه دوم قرار گرفته است.



همچنین اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ نیز به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\phi = \text{Arctan} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) \quad (10)$$

به طوری که:

$$V(t) = V_0 \sin \omega t \quad , \quad I(t) = \frac{V_0}{Z} \sin(\omega t - \phi) \quad (11)$$

ه) تشدید در مدارهای متوالی RCL

طبق رابطه (10) هنگامی که Z کمترین مقدار خود را دارد، I به بیشترین مقدار خود می‌رسد. همانطور که از رابطه (9) مشخص است، این شرایط به ازای $X_L = X_C$ رخ می‌دهد. در این حالت گفته می‌شود مدار در حالت تشدید قرار دارد. با توجه به تعریف X_L, X_C بسامد تشدید در مدار RLC متوالی عبارتست از:

$$X_L = X_C \rightarrow \omega L = \frac{1}{\omega C} \rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (12)$$

و) عناصر متوالی R, L, C در مدارهای AC

با توجه به موارد ب و ج در مدارهای AC ولتاژهای V_c, V_L نسبت به یکدیگر 180° درجه اختلاف فاز دارند و در نتیجه علامت‌های مختلفی دارند. به همین دلیل این ولتاژها متقابلاً اثر یکدیگر را تخریب می‌کنند. از

آنجا که ولت سنج‌های AC همیشه مقادیری مثبت را نشان می‌دهند، حاصل جمع ولتاژها در یک حلقه RLC که تحت یک ولتاژ متناوب قرار دارد، صفر نمی‌شود. از این رو قاعده کیرشهف را نمی‌توان برای حاصل جمع ولتاژهای اندازه‌گیری شده توسط ولت سنج‌های AC نوشت.

در مدارهای AC ولتاژ اندازه‌گیری شده در دو انتهای دو مولفه مدار متوالی، با حاصل جمع ولتاژهای این دو مولفه برابر نیست. به عنوان نمونه در مدار AC، ولت سنجی که به دوسر مجموعه متوالی یک القاگر (سلف) و یک خازن وصل شده است، مقداری معادل $|V_c - V_L|$ را نشان می‌دهد. به طور کلی در یک مجموعه AC، اگر V_L, V_c و V_R مقادیر موثر ولتاژ در القاگر، خازن و مقاومت باشد، ولتاژ موثر V_{rms} در دوسر مجموعه RCL از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V = \sqrt{V_R^2 - (V_L - V_c)^2} \quad (13)$$

ی) توان مصرف شده در مدارهای AC

میانگین زمانی توان مصرف شده در مدار RLC متوالی که تحت ولتاژ AC قرار دارد، از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\langle P(t) \rangle = I_{rms} V_{rms} \cos \phi \quad (14)$$

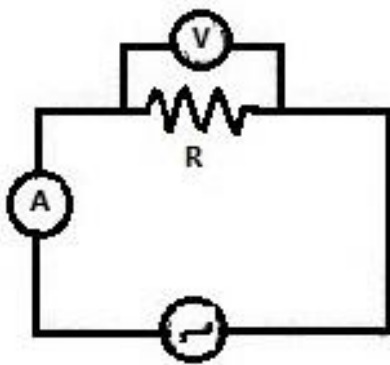
کمیت $\cos \phi$ ضریب توان نام دارد که عبارتست از:

$$\cos \phi = \frac{R}{Z} \quad (15)$$

همانطور که مشخص است هنگامی که $\cos \phi = 1$ و یا $Z = R$ باشد، مدار در حالت تشدید قرار گرفته و $\langle P(t) \rangle$ به بیشینه مقدار خود می‌رسد.

اجرای آزمایش :

(الف)



(۱) مدار ساده زیر را ببندید و به ازای ولتاژهای مختلف، جریان مدار را اندازه بگیرید و در جدول زیر وارد کنید.

$$R = 50\Omega$$

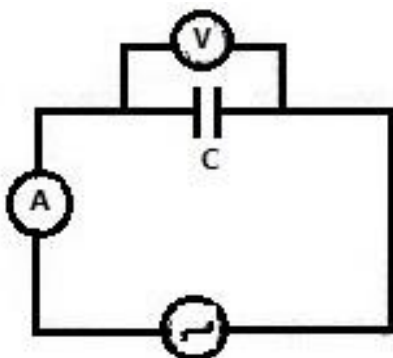
$V (v)$			
$I (mA)$			
IR			

(۲) درستی رابطه $V = IR$ را تحقیق کنید.

(ب)

(۱) در مدار اول به جای R ، خازن C را قرار داده و به ازای بسامدهای مختلف، منبع ولتاژ و جریان مدار را اندازه بگیرید و جدول زیر را کامل کنید.

$$C = 10\mu f$$

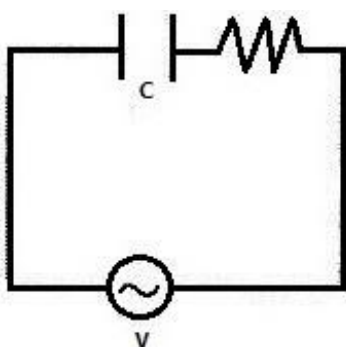


$f (Hz)$	100	500	1000
$I (mA)$			
X_c			
$X_c I$			
v			

(۲) درستی رابطه $V = X_c I$ را تحقیق کنید.

(۳) با قرار دادن مقاومت R به طور متوالی با خازن مدار RC را تشکیل دهید.

$$R = 50\Omega \quad , \quad C = 10\mu f$$

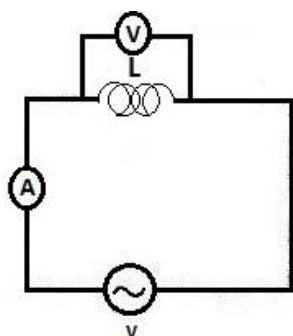


(۴) به ازای بسامدهای فوق V_R و V_c را اندازه گرفته و درستی رابطه $V = \sqrt{V_R^2 + V_c^2}$ را تحقیق نماید.

$f \text{ (Hz)}$	100	500	1000
V_c			
V_R			
V			

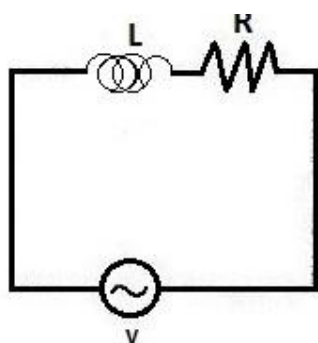
(ج)

(۱) مدار ساده القاگر (سلف) را مطابق شکل زیر ببینید و به ازای بسامدهای مختلف منبع ولتاژ و جریان مدار را اندازه بگیرید و جدول زیر را کامل کنید.



$$L = 51 \text{ mH}$$

$f \text{ (Hz)}$	100	500	1000
$I \text{ (mA)}$			
X_L			
$X_L I$			
V			



(۲) درستی رابطه $V = X_L I$ را تحقیق کنید.

(۳) با قرار دادن مقاومت R به طور متوالی با القاگر مدار RL را تشکیل دهید.

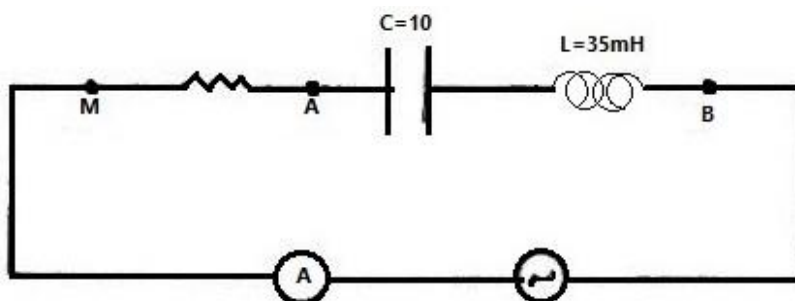
(۴) به ازای بسامدهایی که در جدول آمده V_R و V_c را اندازه گرفته و

درستی رابطه $V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$ را تحقیق نماید.

$f \text{ (Hz)}$	100	500	1000
V_L			
V_R			
V منبع			
V رابطه			

(د)

(۱) عناصر R, C, L را به طور متوالی در مدار AC مطابق شکل زیر قرار دهید.



(۲) با استفاده از ولت سنج AC موارد خواسته شده در جدول را اندازه گرفته و درستی روابط زیر را تحقیق کنید.

f	I	V_R	V_C	V_L	V_{AB}	V_{MB}

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$
$$V_{AB} = |V_L - V_C|$$

(۳) بسامد منبع ولتاژ (f) و جریان مدار (I) را یادداشت کرده و با توجه به مقادیر R, C, L مقاومت ظاهری (Z) را تعیین کنید.

(ه)

(۱) در مدار RCL آزمایش قبلی با اطلاع از مقادیر C, L بسامد تشدید را از طریق نظری محاسبه کنید.

$$(12) \rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

۲) با تغییر بسامد منبع ولتاژ حول مقدار بدست آمده از قسمت قبل، جریان را اندازه بگیرید و جدول زیر را کامل کنید. (مثلا چنانچه در قسمت قبل فرکانس را ۲۰۰ هرتز بدست آورده‌اید، فرکانس منبع را از ۱۵۰ تا ۲۵۰ هرتز، ده تا ده تا تغییر داده و جریان را یادداشت کنید)

$f \text{ (Hz)}$											
$I \text{ (mA)}$											

۳) نمودار تغییرات I بر حسب f را رسم و به کمک آن بسامد تشدید را تعیین کنید و با مقدار نظری محاسبه نمائید.

۴) با استفاده از رابطه (14) مقدار میانگین زمانی توان مصرف شده در مدار RLC، به ازای فرکانس‌های جدول بالا را محاسبه کرده و نمودار $I - \langle P(t) \rangle$ را رسم کنید.

پیوست ۱) فرمت گزارش کار

به نام خدا

شماره آزمایش

عنوان آزمایش

نام استاد مربوطه

شماره گروه

اعضای گروه

(نام نویسنده گزارش کار به عنوان اسم اول ذکر شود.)

روز و ساعت کلاس (روز هفته)

تاریخ انجام آزمایش

تاریخ تمویل گزارش کار

هدف از انجام آزمایش:

تئوری آزمایش:

در این قسمت موارد و نکات تئوری و فیزیکی مربوط به آزمایش بیان می‌شود.

شرح آزمایش:

در این بخش به نمونه انجام آزمایش، جداول، نمودارها، ریز محاسبات، محاسبه فضای فواسته شده و ... پرداخته می‌شود. توجه شود که نمودارها باید بر روی کاغذ میلی‌متری و در برگه‌ای جداگانه رسم شود؛ به طوریکه بیش از هشتاد درصد صفحه کاغذ میلی‌متری را دربر گیرد.

پاسخ به پرسش‌ها:

در این قسمت به سوالات مطرح شده در دستورکار پاسخ داده می‌شود.

گزارش کار باید به صورت تمیز و خوانا و به شکل دست نویس ارائه شود و از تمویل نسخه‌های تایپی خودداری گردد.

صفحه اول در یک صفحه جداگانه در ابتدای گزارش کار قرار می‌گیرد.