Physics 2 Laboratory, University of Kashan

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

تألیف:

دکتر سیدمحمدباقر قریشی

(عضو هیأت علمی دانشگاه کاشان)

سمانه قنبری کاشان

(مدرس دانشگاه کاشان)

Physics 2 Laboratory University of Kashan

سازمان انتشارات واحد مازندران

۱۳۹۶

سرشناسه	:	قریشی، سیدمحمدباقر، ۱۳۵۷-
عنوان و نام پدیدآور	:	آزمایشگاه فیزیک پایه ۲/ سیدمحمدباقر قریشی، سمانه قنبری‌کاشان.
مشخصات نشر	:	ساری: جهاد دانشگاهی، سازمان انتشارات، واحد مازندران، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	:	۱۲۰ص.: مصور(بخشی رنگی)، جدول، نمودار.
شابک	:	۹۷۸-۹۶۴-۲۶۳۰-۹۶-۷
وضعیت فهرست‌نویسی	:	فیپا
یادداشت		واژه‌نامه
موضوع		آزمایش‌های فیزیک الکتریسیته و مغناطیس
شناسه افزوده	:	قنبری‌کاشان، سمانه، ۱۳۶۵-
شناسه افزوده	:	جهاد دانشگاهی. سازمان انتشارات. واحد مازندران
رده بندی دیویی	:	۳۷۳/۲۳۸۰۷۶
شماره کتابشناسی ملی	:	۴۸۵۵۹۵۷

آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

گردآوری و تألیف: ..... سیدمحمدباقر قریشی- سمانه قنبری‌کاشان

ناشر: ..... انتشارات جهاد دانشگاهی واحد مازندران

طراح جلد و صفحه‌آرا: ..... سمانه قنبری‌کاشان

نوبت چاپ: ..... اوّل - ۱۳۹۶

شمارگان: ..... ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ..... ۱۰۰۰۰۰ ریال

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۲۶۳۰-۹۶-۷

حق چاپ و نشر محفوظ است.

سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی مازندران

نشانی: ساری–خیابان امیر مازندرانی–خیابان وصال- جهاد دانشگاهی مازندران- صندوق پستی: ۱۶۴۷- ۴۸۱۷۵

Physics 2 Laboratory University of Kashan

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ۷

فهرست آزمایش‌ها

۰-آشنایی با وسایل اندازه‌گیری ۹
۱- اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی ۲۱
۲- اندازه‌گیری مقاومت ویژه ۲۷
۳- ساخت ولت‌متر و آمپرمتر با گالوانومتر ۳۱
۴- اندازه‌گیری مقاومت‌درونی باتری، منبع‌تغذیه و ولت‌سنج ۳۷
۵- شارژ و دشارژ خازن ۴۳
۶- قوانین القا و ترانسفورماتورها ۴۹
۷- آشنایی با اسیلوسکوپ (نوسان‌نما) ۵۷
۸- بررسی مدار R-R و R-C در جریان متناوب ۷۱
۹- بررسی مدار R-L و R-L-C در جریان متناوب ۷۷
۱۰- تعیین ضریب خودالقایی سیم‌پیچ استوانه‌ای ۸۵
۱۱- تعیین ضریب گذردهی خلأ ۸۹
۱۲- اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین ۹۳
۱۳- تحقیق قوانین کیرشهف در مدارهای الکتریکی ۹۷
۱۴- رسم منحنی پسماند هسته آهنی با استفاده از اسیلوسکوپ ۱۰۱
۱۵- قانون القای فارادی ۱۰۵

پیوست و منابع

مروری بر اصول خطاگیری و رسم نمودار ۱۰۹
فهرست منابع و مآخذ ۱۱۹

Physics 2 Laboratory University of Kashan

Physics 2 Laboratory University of Kashan

پیشگفتار

امام علی(ع):

العِلمُ بِلا عَمَلٍ وَبالٌ ، العَمَلُ بِلا عِلمٍ ضَلالٌ.

علمِ بدون عمل وبال است؛ عملِ بدون علم گمراهی است.

سپاس و ستایش خداوند بلندمرتبه را که به لطف و عنایت بی‌کران او توفیق تدوین و تنظیم کتاب آزمایشگاه فیزیک پایه ۲ حاصل آمد. کتابی که پیش رو دارید حاصل تلاشی مجدانه به‌منظور تدوین و تألیف دانسته‌ها و تجربیات نگارندگان در راستای بهبود و گسترش آزمایشگاه فیزیک الکتریسیته و مغناطیس در ایران است. این کتاب مطابق با آخرین سرفصل وزارت علوم و تحقیقات و همگام با مراجع معتبر علمی دنیا تنظیم شده است. هدف از تهیه و انتشار کتاب آزمایشگاه فیزیک پایه ۲ (شامل آزمایش‌هایی در زمینه فیزیک الکتریسیته و مغناطیس) کمک به توسعه و درک بهتر مفاهیم فیزیک الکتریسیته و مغناطیس است.

همچنین کتاب حاضر بر اساس امکانات موجود در آزمایشگاه‌های فیزیک دانشگاه‌های داخل و بر اساس تجربه تدریس در آزمایشگاه‌های مختلف داخل تهیه و تنظیم شده است. از طرفی به آزمایش‌هایی که دارای مفهوم فیزیکی و کاربردی هستند بیشتر توجه شده است. در پژوهش‌های تجربی علاوه بر اندازه‌گیری دقیق، نحوه‌ی محاسبه و ارائه درصد خطا از اهمیت بسزائی برخوردار هستند. به‌عبارت‌دیگر تعیین دقت آزمایش و تفسیر آن تأییدی بر صحت نحوه آزمایش است. لذا سعی شده در اکثر آزمایش‌ها نمودار مربوطه رسم شود و با استفاده از نتایج به‌دست‌آمده خطای نسبی آزمایش محاسبه شود. از دانشجویان عزیز درخواست می‌شود این درس را مانند دروس نظری نپندارند و سعی در حفظ مطالب ننمایند، بلکه تلاش نمایند علاوه بر درک مفاهیم فیزیکی با تمرین و ممارست بیشتر به نحوه کار دستگاه‌ها و کار با آن‌ها در جهت کسب نتایج دقیق تلاش نمایند.

در پایان از دانشجویان عزیز، همکاران گرامی و خوانندگان محترم استدعا داریم که با رهنمودهای ارزشمند خود، ما را در جهت رفع نقایص احتمالی یاری نمایند.

مؤلفان

تابستان ۱۳۹۶

Physics 2 Laboratory University of Kashan

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آشنایی با وسایل اندازه‌گیری

اهداف

- تشخیص مقدار مقاومت به‌وسیله نوارهای رنگی
- نحوه کار با آوومترهای عقربه‌ای و دیجیتالی
- نحوه کار با منبع تغذیه ولتاژ مستقیم

وسایل مورد نیاز

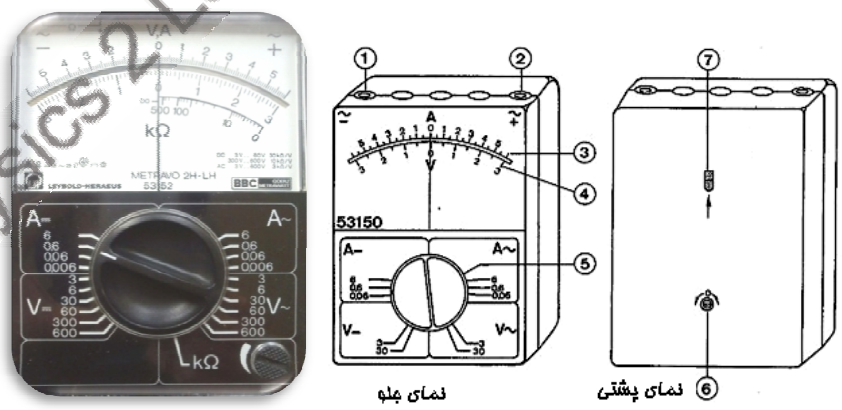
منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، باتری، آوومترهای عقربه‌ای و دیجیتالی، مقاومت‌های متفاوت و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

آوومتر (A.V.O. meter) یا مولتی‌متر (Multimeter) دستگاهی است که با استفاده از آن می‌توان چند کمیت مختلف را اندازه‌گیری کرد و نام آن از حروف اول کلمات Amper، Volt و Ohm گرفته شده است. تمام آوومترها با تفاوتی اندک مانند یکدیگر هستند. معمولاً آوومترها به‌صورت عقربه‌ای (آنالوگ) و دیجیتالی ساخته می‌شوند. هر آوومتر از یک صفحه نمایش (عقربه‌ای یا دیجیتالی)، کلیدهای انتخابگر، پایانه‌های ورودی و کلیدهای تنظیم‌کننده تشکیل شده است. برای اندازه‌گیری شدت جریان، ولتاژ (مستقیم≡ و متناوب≈) و مقدار اهمی مقاومت، کافی است کلید انتخابگر را در محدوده‌ی مناسب قرار دهید تا دستگاه به‌ترتیب به آمپرمتر، ولتمتر و اهم‌متر تبدیل گردد.

آوومتر عقربه‌ای

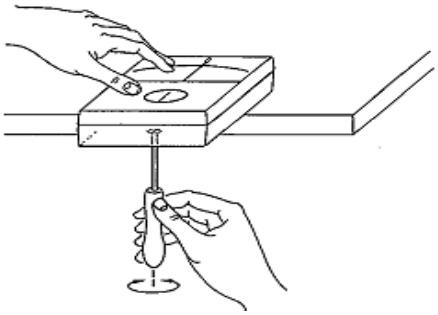
آوومتر عقربه‌ای از یک قاب متحرک تشکیل شده که در داخل یک میدان مغناطیسی دائمی قرار گرفته است. وقتی جریان معینی از قاب عبور کند، قاب و عقربه متصل به آن منحرف شده و عقربه مقدار جریان را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است آیینه‌ای بین دو کمان تعبیه شده است که به‌وسیله آن می‌توان خطای دید در اندازه‌گیری را کاهش داد. برای خواندن درجات، بایستی به‌طور عمود به صفحه مدرج نگاه کرد. در دید عمودی تصویر عقربه در آیینه دیده نمی‌شود که در این حالت خطای اندازه‌گیری کمینه خواهد بود.



شکل(۱): آوومتر عقربه‌ای با نمایش اجزاء آن (۱و۲: پایانه‌های ورودی، ۳:کمان ولتاژ و جریان، ۴: کمان مقاومت، ۵: کلید انتخابگر، ۶: پیچ تنظیم، ۷: اهرم باز کردن دستگاه).

Physics 2 Laboratory University of Kashan

هنگام کار با دستگاه توجه به نکات زیر ضروری است:



۱- برای اندازه‌گیری شدت جریان باید دستگاه را به‌طور سری در مدار قرار داد.

۲- برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل باید دستگاه را به‌طور موازی بین دو نقطه از مدار قرار داد.

۳- هنگام اندازه‌گیری مقاومت لازم است جریان مدار قطع شود. در غیر این صورت به دستگاه آسیب می‌رسد.

۴- جهت تنظیم صفر دستگاه، با چرخش پیچ پشت دستگاه مکان عقربه بر روی صفر تنظیم می‌شود. لازم به ذکر است که پیچ تنظیم صفر دستگاه نباید دست‌کاری شود، زیرا این بخش از دستگاه خیلی حساس است و ممکن است فنر مربوط به آن قطع و به دستگاه آسیب برسد.

۵- اگر کلید انتخابگر مقابل درجه‌ای قرار داده شود و عقربه بیش از حد مجاز منحرف گردد باید بلافاصله مدار قطع شود و کلید انتخابگر روی بیشترین پله (رنج) قرار داده شود.

۶- اگر چرخش درجه در جهت معکوس باشد یا باید فیش‌هایی که در داخل پایانه قرار دارند جابه‌جا شوند، یا اینکه تعویض در پایانه منبع تغذیه انجام شود.

۷- اگر اشتباهاً انتخابگر در محدوده‌ای از اندازه‌گیری قرار بگیرد و دستگاه به‌صورت دیگری مورد استفاده قرار گیرد، باعث خرابی دستگاه می‌شود. مثلاً اگر اشتباهاً انتخابگر در محدوده آمپر قرار داده شود و از آن به‌عنوان ولتمتر استفاده شود (به‌طور موازی) و یا بالعکس، باعث خرابی دستگاه می‌گردد. به‌همین‌ترتیب اگر انتخابگر در محدوده اهم باشد و از آن به‌عنوان ولتمتر یا آمپرمتر استفاده شود، باعث سوختن دستگاه می‌شود.

۸- در حالت ولتمتر و آمپرمتر، بر خلاف اهم‌متر، انتخابگر حداکثر مقدار قابل اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. مثلاً اگر کلید گردان در وضعیت $60V$ باشد آوومتر، ولتمتری است که حداکثر می‌تواند تا $60V$ را نشان دهد و اگر بیش از آن ولتاژ به دستگاه اعمال شود باعث خرابی می‌گردد. به‌همین‌علت باید انتخابگر در بیشترین مقدار قرار داده شود و سپس به‌تدریج حالت صحیح انتخاب شود.

دقت اندازه‌گیری در جریان و ولتاژ

هر گاه کمیتی اندازه‌گیری می‌شود، باید دقت آن نیز مشخص شود. دقت هر وسیله کمترین مقدار تغییراتی است که آن وسیله قادر به اندازه‌گیری آن است. بدیهی است که دقت اندازه‌گیری یک وسیله الزاماً مقدار ثابت نیست و با توجه به مقدار مورد اندازه‌گیری، دقت اندازه‌گیری نیز متفاوت خواهد بود. برای تعیین دقت دستگاه در هر حالت باید کوچکترین مقیاس دستگاه را در پله انتخاب شده محاسبه نمود.

$$\text{مقدار کمیت} \rightarrow \text{درجات انحراف عقربه} \times \text{کوچکترین مقیاس} = \frac{\text{مقدار پله انتخاب شده توسط انتخابگر}}{\text{کل تقسیمات کمان انتخاب شده}} = \text{کوچکترین مقیاس}$$

به‌عنوان مثال، برای ولتمتر در صورتی که پله در حالت $3V \equiv$ باشد:

- هر درجه‌ای که از روی کمان ۶۰- (کل تقسیمات=۶۰) خوانده شود در دقت $\frac{3}{60} = 0.05$ ضرب می‌شود.
- هر درجه‌ای که از روی کمان ۳۰- (کل تقسیمات=۳۰) خوانده شود در دقت $\frac{3}{30} = 0.1$ ضرب می‌شود.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

به‌دلیل اهمیت بیان دقت در خواندن اعداد خوانده شده از ولت‌متر و آمپرمتر، مقادیر مربوط به‌دقت این وسایل به ازای پله‌های مختلف در جدول‌های ۱ و ۲ محاسبه و نمایش داده شده است.

جدول(۱): محاسبه دقت پله‌های مختلف ولت‌متر عقربه‌ای.

ولت‌متر	کمان (۶-۰)					
پله	۳	۶	۳۰	۶۰	۳۰۰	۶۰۰
$\Delta V\ (V)$	۰/۰۵	۰/۱	۰/۵	۱	۵	۱۰
ولت‌متر	کمان (۳-۰)					
پله	۳	۶	۳۰	۶۰	۳۰۰	۶۰۰
$\Delta V\ (V)$	۰/۱	۰/۲	۱	۲	۱۰	۲۰

جدول(۲): محاسبه دقت پله‌های مختلف آمپرمتر عقربه‌ای.

آمپرمتر	کمان (۶-۰)			
پله	۶	۰/۶	۰/۰۶	۰/۰۰۶
$\Delta I\ (A)$	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۱
آمپرمتر	کمان (۳-۰)			
پله	۶	۰/۶	۰/۰۶	۰/۰۰۶
$\Delta I\ (A)$	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۲

اندازه‌گیری ولتاژ (مستقیم و متناوب)

- یک سر فیش را درون پایانه مشترک (Com-) و فیش دیگر را در ترمینال V قرار دهید.
- سیم‌ها را به‌صورت موازی به دو نقطه‌ای که می‌خواهید پتانسیل بین آن‌ها را اندازه‌گیری کنید، متصل نمائید.
- انتخابگر را بچرخانید و در حالت $V \approx$ (برای ولتاژ متناوب) و در حالت $V \equiv$ (برای ولتاژ مستقیم)، در مناسب‌ترین پله برای اندازه‌گیری ولتاژ قرار دهید. اگر محدوده اندازه کمیت مورد نظر را نمی‌دانید، از پله‌ای با قابلیت بیش‌تر شروع کنید. در صورتی که عقربه حرکت نکرد و یا میزان انحراف آن خیلی کم بود مقابل درجات کوچک‌تر قرار دهید تا مقیاس مناسب به‌دست آید.

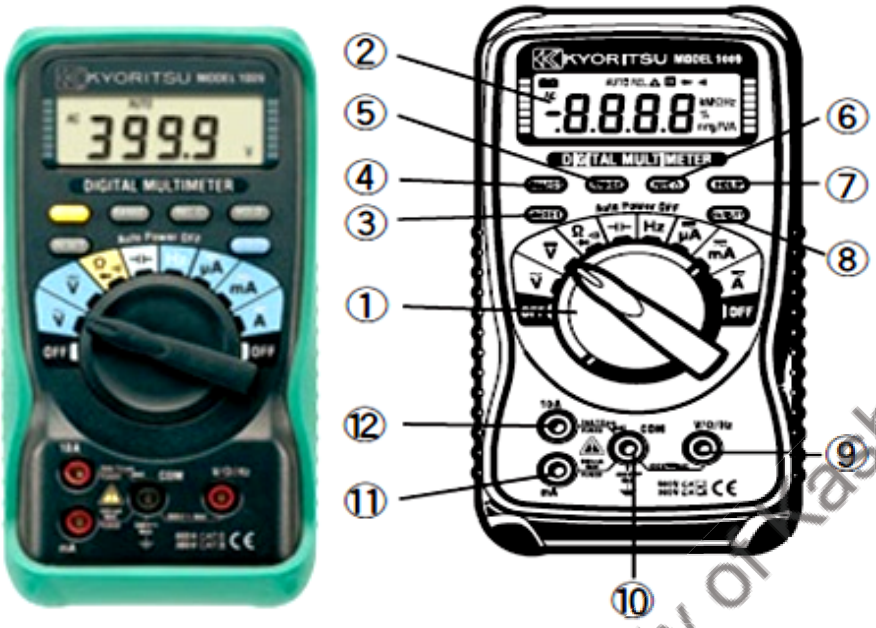
اندازه‌گیری شدت جریان (مستقیم و متناوب)

برای اندازه‌گیری شدت جریان تمام مراحل همانند اندازه‌گیری ولتاژ می‌باشد. با این تفاوت که در این حالت باید دستگاه به‌صورت سری به مدار متصل گردد.

آوومتردیجیتالی

آوومترهای دیجیتالی معمولاً از دقت و حساسیت بالاتری نسبت به آوومترهای عقربه‌ای برخوردار هستند و به‌همین‌دلیل باید آن‌ها را با دقت بیشتری به‌کار برد. در شکل ۲ تصویر آوومتر دیجیتالی KYORITSU(model1009) دیده می‌شود که به توضیح مختصر قسمت‌های آن می‌پردازیم. این آوومتر شامل سه قسمت، ورودی، کلیدهای کنترل و صفحه نمایش می‌باشد.

Physics 2 Laboratory University of Kashan



شکل(۲): نمای آوومتر دیجیتالی ۱: کلید انتخابگر، ۲: صفحه نمایش، ۳: کلید RESET، ۴:کلید SELECT، ۵: کلید RANGE، ۶: کلید REL، ۷: کلید HOLD، ۸: کلید Hz، ۹: پایانه ولتاژ و مقاومت، ۱۰: پایانه مشترک، ۱۱: پایانه mA، ۱۲: پایانه A).

الف) پایانه ورودی

پایانه ورودی از چهار ترمینال $V/\Omega/Hz$، $-com$، mA، $10A$ و دو سیم رابط تشکیل شده است.

- ترمینال com- زمین مولتی‌متر (قطب منفی) است و همواره یکی از سیم‌ها باید به آن وصل شود.
- برای اندازه‌گیری مقاومت، سیم رابط دیگر به ترمینال Ω وصل گردد.
- برای اندازه‌گیری ولتاژ، سیم رابط دیگر به ترمینال V وصل گردد.
- برای اندازه‌گیری جریان کمتر از ۴۰۰ mA، سیم رابط دیگر به ترمینال mA وصل گردد.
- برای اندازه‌گیری جریان بیش‌تر از ۴۰۰mA و کمتر از ۱۰ A، سیم رابط دیگر به ترمینال ۱۰ A وصل گردد.

ب) کلیدهای کنترل

- کلید RESET: با فشار دادن این کلید دستگاه مجدداً شروع به‌کار می‌کند.
- کلید RANGE: دستگاه را در حالت اتوماتیک AUTO قرار می‌دهد و بیشتر برای اندازه‌گیری ولتاژ و مقاومت به‌کار می‌رود که دستگاه را در حالت mV یا V قرار می‌دهد و همچنین در حالت‌های Ω، $K\Omega$ و $M\Omega$ تنظیم می‌کند و با دو بار فشار دادن آن، دستگاه به حالت عادی بر می‌گردد. در حالت اهم‌متر با فشاردادن این کلید به تست دیود و یا اتصال‌یاب (در صورت مقاومت کم، دستگاه سوت می‌زند) تبدیل می‌شود.
- کلید HOLD: با فشار دادن این کلید مفروضات روی صفحه نمایش ثابت خواهد ماند. حالت HOLD فقط در رنج‌های ولتاژ، جریان و اهم کار می‌کند و برای آنکه دستگاه از حالت HOLD خارج شود باید یک بار دیگر این کلید را فشار دهید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

ج) صفحه نمایش

➤صفحه نمایش که از یک LCD (Liguid Crystal Display) تشکیل شده است.

❖ چند تذکر:

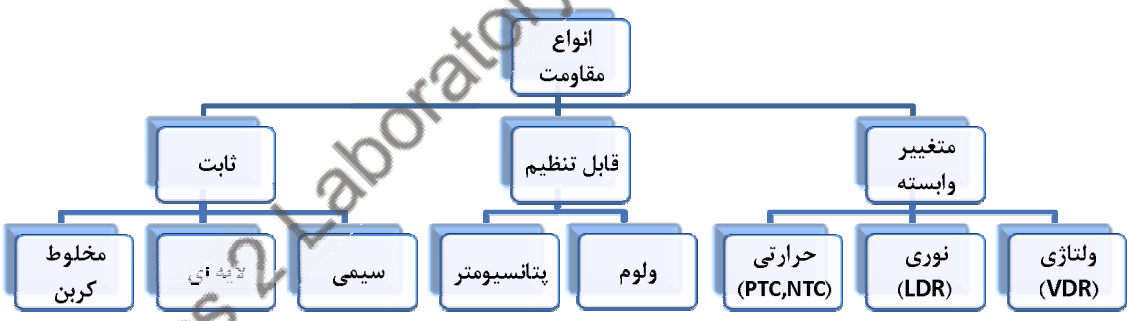
۱. اگر از حدود شدت جریان اطلاعی نداشته باشید، از بالاترین رنج شروع کنید.
۲. هنگام استفاده از آمپرسنج وجود مصرف‌کننده ضروری است. هرگز دو سر آمپرمتر را به دو سر منبع وصل نکنید زیرا در این حالت آمپرمتر خواهد سوخت.
۳. همیشه پس از پایان کار با مولتی‌متر آن را خاموش کنید.
۴. در صورتی که جریان اعمالی از مقدار رنج زیادتر باشد دستگاه سوت ممتد خواهد زد که در این صورت بلافاصله رنج را زیادتر کنید.

دقت اندازه‌گیری در آوومتر دیجیتالی

اندازه‌گیری با آوومتر دیجیتالی منجر به نمایش یک عدد بر روی صفحه نمایش می‌شود که با توجه به عدد قرائت شده می‌توان دقت دستگاه را مشخص نمود. بدین منظور تعداد رقم اعشار عدد خوانده شده، دقت دستگاه در نظر گرفته می‌شود. به‌عنوان مثال اگر ولتاژ $V = 2.350(V)$ اندازه‌گیری شود دقت دستگاه برابر با $\Delta V = 0.001(V)$ در نظر گرفته می‌شود.

مقاومت

مقاومت قطعه‌ای است که در موارد مختلفی از قبیل محدود کردن جریان، تقسیم جریان و یا تقسیم ولتاژ استفاده می‌شود. مقاومت‌ها را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:



شکل (۳): انواع مقاومت‌ها.

هر مقاومت دارای سه مشخصه کلی مقدار اهمی، درصد خطا و توان مجاز می‌باشد که به اختصار هر کدام توضیح داده می‌شود:

الف) مقدار اهمی

مهم‌ترین مشخصه یک مقاومت مقدار آن است که برحسب اهم (Ω)، کیلواهم ($k\Omega$) و یا مگااهم ($M\Omega$) بیان می‌شود. مسئله مهم در مورد مقاومت این است که مقادیر انتخاب شده برای مقاومت‌ها از استاندارد خاصی تبعیت می‌کنند و معمول‌ترین آن استاندارد اروپایی است که با حرف E مشخص می‌شود، به‌عنوان مثال سری E۶ به‌صورت ۶/۸ ، ۴/۷، ۳/۳، ۲/۲، ۱/۵، ۱ می‌باشد، که با ضرب و تقسیم اعداد فوق در مضارب ۱۰ مقادیر مختلف از سری مزبور به‌دست می‌آید. برای مثال از عدد ۲/۲ در سری فوق، مقادیر ۰/۲۲ Ω، ۲/۲ Ω، ۲۲ Ω، ۲۲۰ Ω، ۲/۲ kΩ، ۲۲ kΩ، ۲۲۰ kΩ و ۲/۲ MΩ به‌دست می‌آید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

ب) درصد خطا

مقدار واقعی یک مقاومت در عمل با مقداری که توسط سازنده قید می‌شود اختلاف دارد. این اختلاف، درصد خطا نامیده می‌شود و آن را برحسب درصد بیان می‌کنند. میزان این خطا بستگی به تکنولوژی ساخت و دقت دستگاه‌های تولید مقاومت دارد و به‌همین‌علت سازنده مقاومت به‌همراه مقدار مقاومت، درصد خطا را نیز باید ذکر نماید. برای مثال یک مقاومت ۱۰۰ Ω با درصد خطای ٪۱۰ دارای مقاومت بین ۹۰ تا ۱۱۰ اهم است که ۹۰ اهم را واحد پایینی و ۱۱۰ اهم را واحد بالایی مقدار مقاومت مزبور می‌نامند و مقدار واقعی را تنها با اندازه‌گیری می‌توان به‌دست آورد. مقاومت‌ها برحسب مقدار درصد خطا به ۴ دسته تقسیم می‌شوند:

۱- مقاومت‌های معمولی با درصد خطای ٪۵ تا ٪۲۰

۲- مقاومت‌های نیمه دقیق با درصد خطای ٪۱ تا ٪۵

۳- مقاومت‌های دقیق با درصد خطای ٪۰/۵ تا ٪۱

۴- مقاومت‌های خیلی دقیق با درصد خطای کم‌تر از ٪۰/۵

مقاومت‌های معمولی در وسایل الکترونیکی از قبیل رادیو و تلویزیون مورد استفاده قرار می‌گیرند که دارای خطای ٪۵ هستند. مقاومت‌های دقیق و خیلی دقیق بیش‌تر در دستگاه‌های اندازه‌گیری با حساسیت بالا استفاده می‌شوند.

ج) توان مجاز مقاومت

توان مجاز، حداکثر توانی است که مقاومت به‌طور مداوم می‌تواند به‌صورت حرارت تلف نماید. برای مقاومت‌های لایه کربنی در اندازه واقعی ثابت شده است که حداکثر جریان عبوری را می‌توان از رابطه زیر به‌دست آورد.

$$I_{max}=\sqrt{\frac{P}{I}}$$

اندازه‌گیری مقاومت

الف) اندازه‌گیری مقاومت با استفاده از آوومتر عقربه‌ای

کلید سلکتور را روی قسمت اهم قرار دهید و یک سر سیم رابط را به ترمینال (Com-) و سیم رابط دیگر را به ترمینال اهم وصل کنید، بعد انتهای دیگر سیم‌ها را به یکدیگر وصل کنید. اگر عقربه روی عدد صفر قرار نگرفت دستگاه تنظیم نیست و باید به‌وسیله پیچ تنظیم مربوطه، (پایین طرف راست دستگاه) صفر آن تنظیم شود. در صورتی که عقربه روی صفر قرار نگرفت، باتری دستگاه فرسوده شده و باید تعویض گردد. پس از تنظیم صفر، دو سر فیش‌ها را به طرفین مقاومت موردنظر وصل کنید و اندازه مقاومت را به شرح زیر تعیین نمایید.

ضریب مربوطه × عددی که عقربه روی کمان پایین نشان می‌دهد = مقدار مقاومت اندازه‌گیری شده

Physics 2 Laboratory University of Kashan

ب) اندازه‌گیری مقاومت با استفاده از آوومتر دیجیتالی

سیم رابط سیاه‌رنگ را به ترمینال (Com-) و سیم رابط قرمز رنگ را به ترمینال V/Ω/Hz متصل کنید و کلید انتخابگر را در ناحیه اهم (Ω) قرار دهید، سیم‌های رابط را به دو سر مقاومت متصل کرده و مقدار آن را اندازه بگیرید.

* تذکر: در موقع اندازه‌گیری مقاومت توجه شود که مقاومت مورد نظر نباید به دیگر اجزای مدار متصل باشد.

ج) تشخیص مقدار مقاومت به‌وسیله نوارهای رنگی

معمولاً مقاومت‌های توان پایین دارای ابعاد کوچکی هستند. به‌همین‌علت مقدار مقاومت و درصد خطا را به‌وسیله نوارهای رنگی[1] مشخص می‌نمایند که معمول‌ترین آن‌ها روش چهار نواری است که برای مقاومت‌های با درصد خطای ۲٪ به بالا استفاده می‌شود. در این روش از سه نوار رنگی برای مشخص‌کردن مقدار مقاومت و یک نوار رنگی برای مشخص‌کردن درصد خطا استفاده می‌شود. برای به‌دست‌آوردن مقدار عددی مقاومت لازم است عدد نوار اول و دوم به‌ترتیب در کنار هم قرار گیرند و در عدد ۱۰ به توان عدد نوار سوم، ضرب شود. در ضمن نوار اول به‌خاطر تمایز با نوار چهارم معمولاً به یک طرف نزدیک‌تر است و یا گاهی نوار چهارم به‌خاطر تمایز کمی پهن‌تر از سایر نوارها است. در جدول ۳ معنی رنگ‌ها آمده است.

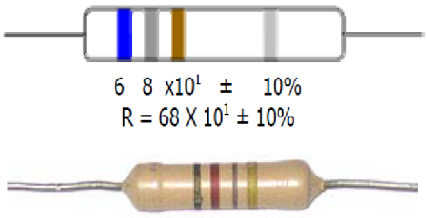
* تذکر: چنانچه مقاومتی نوار چهارم نداشته باشد درصد خطای آن ٪۲۰ است.

جدول(۳): جدول رنگ مقاومت‌ها و عدد مربوط به هر یک از آن‌ها.

رنگ	اعداد صحیح		عدد	درصد خطا
	نوار اول	نوار دوم	نوار سوم	نوار چهارم
سیاه	–	۰	۰	–
قهوه ای	۱	۱	۱	۱٪
قرمز	۲	۲	۲	۲٪
نارنجی	۳	۳	۳	–
زرد	۴	۴	۴	–
سبز	۵	۵	۵	–
آبی	۶	۶	۶	–
بنفش	۷	۷	–	–
خاکستری	۸	۸	–	–
سفید	۹	۹	–	–
طلایی	–	–	X۰/۱	۵٪
نقره ای	–	–	X۰/۰۱	۱۰٪
بی رنگ	–	–	–	۲۰٪

[1] هر کلمه از بیت شعر زیر به ترتیب با حرف اول رنگ‌های داخل جدول شروع شده است که در یادگیری شماره رنگ‌های مقاومت کمک می‌کند.
ساقی قدحی قرار نه زیر سبو آبی بنشان خانه سنبل به نکو

Physics 2 Laboratory University of Kashan



شکل (۴): نمونه‌ای از یک مقاومت رنگی.

مثال: اگر رنگ‌های موجود بر روی مقاومتی به‌صورت (نقره ای- نارنجی- بنفش- زرد) باشد مقدار مقاومت آن چقدر است؟

پاسخ: با درصد خطای ۱۰٪

$$R = 47 \times 10^3 = 47k\Omega$$

$$\Delta R = 47000 \times \frac{10}{100} = 4700\Omega$$

$$(47000 - 4700)\Omega \le R \le (47000 + 4700)\Omega$$

منبع تغذیه سوئیچینگ مستقیم (DC)

شکل (۵): منبع تغذیه سوئیچینگ مستقیم (DC).

یک منبع تغذیه (Power Supply)، دستگاهی است برای تأمین انرژی الکتریکی برای یک یا چند بار مصرفی. منبع تغذیه سوئیچینگ برای کنترل ولتاژ خروجی یا جریان تا یک مقدار خاص است. حداکثر ولتاژ ۳۶-۰ ولت و حداکثر جریان ۳-۰ آمپر می‌باشد. دستگاه با کلید on/off روشن و خاموش می‌شود اگر کلید بسمت داخل باشد دستگاه روشن و اگر بسمت خارج باشد دستگاه خاموش است. برای تنظیم ولتاژ، کلید V-set و برای تنظیم جریان، کلید I-set را انتخاب کرده سپس عدد ولتاژ یا جریان مورد نظر را وارد می‌کنید و برای تأیید در هر دو حالت، کلید V-set انتخاب می‌شود و برای خروج کلید Esc فشار داده می‌شود. مثلاً همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، بعد از تنظیم دستگاه برای ولتاژ، فقط عدد ولتاژ بر روی صفحه‌ی نمایش دیده می‌شود و عدد جریان دیده نمی‌شود. همچنین برای تنظیم ولتاژ با رنج‌های پایین می‌توان از پیچ تنظیم استفاده کرد. برای خروجی گرفتن از منبع تغذیه، مدار را به دو سر قطب مثبت و منفی وصل کرده و بعد کلید (آبی رنگ) out/on/off انتخاب می‌شود.

Physics Laboratory University of Kashan

نحوه انجام آزمایش

الف) اندازه‌گیری مقاومت به‌وسیله اهم‌متر و رنگ

مقدار مقاومت و درصد خطای هر یک از مقاومت‌های برد را با استفاده از رنگ آن به‌دست آورده و در جدول یادداشت کنید. سپس مقاومت‌های فوق را با سیم به اهم‌متر دیجیتالی وصل کنید و مقدار مقاومت را خوانده و هر کدام را جداگانه در جدول یادداشت کنید. توجه داشته باشید به‌هیچ‌عنوان دو سر مقاومت را با دست به اهم‌متر وصل نکنید زیرا مقدار اندازه‌گیری شده دارای خطای زیادی خواهد بود.

شماره	شماره رنگ‌های مقاومت			R (با استفاده از رنگ)	$\frac{\Delta R}{R}$ (درصد خطا)	$\Delta R = (\frac{\Delta R}{R}) \times R$	$R \pm \Delta R$ (مقدار واقعی مقاومت)	R' (با اهم‌متر دیجیتالی)	$\left\|\frac{R-R'}{R}\right\| \times 100$
	۳	۲	۱						
۱									
۲									
۳									
۴									
۵									
۶									

ب) اندازه‌گیری ولتاژ با استفاده از آوومترهای عقربه‌ای و دیجیتالی

۱) باتری که در اختیار دارید به دو سر ولت‌متر عقربه‌ای وصل کنید و برای رنج‌های مختلف مقدار ولتاژ و دقت آن را اندازه‌گیری کنید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

اندازه‌گیری ولتاژ باتری			
رنج ولت‌متر	۳	۶	۳۰
دقت اندازه‌گیری کمان ۶-۰ (V)			
درجه خوانده شده از کمان ۶-۰			
مقدار ولتاژ (V)			
دقت اندازه‌گیری کمان ۳-۰ (V)			
درجه خوانده شده از کمان ۳-۰			
مقدار ولتاژ (V)			

حال مقدار ولتاژ را با آوومتر دیجیتالی اندازه‌گیری کنید و در جدول زیر یادداشت کنید.

مقدار نوشته شده روی باتری (V)	از طریق آوومتر دیجیتالی $V \pm \Delta V(V)$

۲) آزمایش قسمت قبل را تکرار کنید با این تفاوت که به‌جای باتری از منبع تغذیه مستقیم استفاده کنید و ولتاژ منبع تغذیه را روی $E = 1.000 \pm 0.001(V)$ تنظیم کنید.

اندازه‌گیری ولتاژ منبع تغذیه مستقیم			
رنج ولت‌متر	۳	۶	۳۰
دقت اندازه‌گیری کمان ۶-۰ (V)			
درجه خوانده شده از کمان ۶-۰			
مقدار ولتاژ (V)			
دقت اندازه‌گیری کمان ۳-۰ (V)			
درجه خوانده شده از کمان ۳-۰			
مقدار ولتاژ (V)			

Physics 2 Laboratory University of Kashan

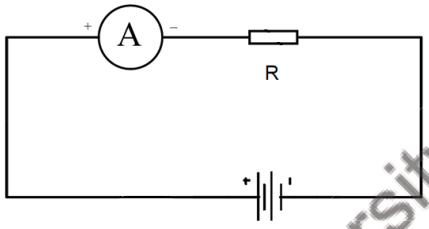
حال مقدار ولتاژ را با آوومتر دیجیتالی اندازه‌گیری کنید و در جدول زیر یادداشت کنید.

ولتاژ منبع تغذیه (V)	از طریق آوومتر دیجیتالی $V \pm \Delta V(V)$

* برای دقت بیش‌تر در اندازه‌گیری ولتاژ، چه مواردی باید در نظر گرفته شود؟

ج) اندازه‌گیری جریان با استفاده از آوومترهای عقربه‌ای و دیجیتالی

۱) برای اندازه‌گیری جریان، باتری را با یک مقاومت و آمپرمتر عقربه‌ای سری کنید و برای رنج‌های مختلف، جدول زیر را کامل کنید.



اندازه‌گیری جریان با قراردادن باتری در مدار				
مقاومت R(Ω)	۲۲۰ (Ω)		۵۶ (Ω)	
رنج آمپرمتر	۰/۰۰۶	۰/۰۶	۰/۶	۶
دقت اندازه‌گیری کمان ۶-۰ (A)				
درجه خوانده شده از کمان ۶-۰				
جریان (A)				
دقت اندازه‌گیری کمان ۳-۰ (A)				
درجه خوانده شده از کمان ۳-۰				
جریان (A)				

حال مقدار آمپر را با آوومتر دیجیتالی اندازه‌گیری کنید و در جدول زیر یادداشت کنید.

از طریق آوومتر دیجیتالی $I \pm \Delta I(A)$	
۲۲۰ (Ω)	
۵۶ (Ω)	

Physics Laboratory University of Kashan

۲) آزمایش قسمت قبل را تکرار کنید با این تفاوت که به‌جای باتری از منبع تغذیه مستقیم استفاده کنید و ولتاژ منبع تغذیه را روی $E = 1.000 \pm 0.001 (V)$ تنظیم کنید.

اندازه‌گیری جریان با قراردادن منبع تغذیه مستقیم در مدار				
مقاومت R(Ω)	۲۲۰ (Ω)		۵۶ (Ω)	
رنج آمپرمتر	۰/۰۰۶	۰/۰۶	۰/۶	۶
دقت اندازه‌گیری کمان ۶-۰ (A)				
درجه خوانده شده از کمان ۶-۰				
جریان (A)				
دقت اندازه‌گیری کمان ۳-۰ (A)				
درجه خوانده شده از کمان ۳-۰				
جریان (A)				

حال مقدار آمپر را با آوومتر دیجیتالی اندازه‌گیری کنید و در جدول زیر یادداشت کنید.

از طریق آوومتر دیجیتالی $I \pm \Delta I (A)$	
۲۲۰ (Ω)	
۵۶ (Ω)	

* برای دقت بیش‌تر در اندازه‌گیری جریان، چه مواردی باید در نظر گرفته شود؟

تکالیف

۱. فرق بین دقت اندازه‌گیری یک کمیت و خطای آن چیست؟
۲. چرا صفر اهم‌متر مخالف جهت صفر ولت‌متر و آمپرمتر می‌باشد؟
۳. چرا با آمپرمتر و ولت‌متر بدون باتری می‌توان اندازه‌گیری نمود؟

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

آزمایش شماره ۱

اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی

اهداف

- تحقیق قانون اهم
- اندازه‌گیری مقاومت مجهول به روش پل وتستون
- اندازه‌گیری مقاومت مجهول به روش پل تار

وسایل مورد نیاز:

مقاومت‌های متفاوت، جعبه مقاومت متغیر، آوومتر دیجیتالی و عقربه‌ای، منبع تغذیه مستقیم، برد آزمایش پل وتستون، پل تار و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

الف) مفهوم مقاومت

همه اجسام در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مقاومت نشان می‌دهند و به‌عبارت‌دیگر از عبور جریان جلوگیری می‌کنند و این عمل به‌نوبه‌ی خود باعث افت ولتاژ می‌شود. همانطور که می‌دانید هادی‌ها دارای تعداد زیادی الکترون آزادند و از این رو جریان الکتریسیته را به‌خوبی عبور می‌دهند. این اجسام از نظر قابلیت هدایت جریان، نسبت به یکدیگر رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهند. الکترون‌ها حین حرکت در هادی، معمولاً به اتم‌های ساکن در جسم برخورد می‌کنند و در اثر همین برخوردها، مسیر حرکت آن‌ها از حالت مستقیم تغییر کرده و در نتیجه حرکت آن‌ها به‌صورت زیگزاگ در می‌آید. الکترون‌ها در کل مسیر، در اثر این برخوردها مقداری از انرژی خود را به‌صورت حرارت از دست می‌دهند. چون چنین پدیده‌ای در همه اجسام مشاهده می‌شود، بنابراین می‌توان گفت: همه اجسام در اثر عبور جریان گرم می‌شوند.

ب) شدت جریان الکتریکی

بنا به‌تعریف، شدت جریان الکتریکی برابر است با: مقدار بار جابه‌جا شده از هر مقطع رسانا در واحد زمان. واحد این کمیت کولن بر ثانیه بوده که به افتخار دانشمند معروف آمپر، آمپر نامیده می‌شود.

$$A = \frac{C}{Sec}$$

ج) مفهوم ولتاژ

در اثر عبور جریان از هر جسمی، مقداری از انرژی الکترون‌ها در اثر برخورد با اتم‌های جسم به‌صورت حرارت از بین می‌رود که هر چه مقاومت جسم بیشتر باشد افت انرژی نیز بیشتر است. بنابراین در دو سر جسم مزبور در اثر عبور جریان، اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌شود که اصطلاحاً به آن ولتاژ گفته می‌شود.

د) مفهوم انرژی

انرژی، به‌معنی توانایی انجام کار است و واحد آن ژول (J) است. در مباحث قبل دیده شد که عبور الکترون‌ها در اجسام، باعث از بین رفتن مقداری انرژی می‌شود که این اتلاف انرژی به‌نوبه‌ی خود باعث گرم شدن جسم می‌گردد. بنابراین می‌توان مقدار انرژی الکتریکی مصرف شده در جسم (W) را بدین صورت نوشت:

Physics 2 Laboratory University of Kashan

$$I=\frac{q}{t}$$
$$V=\frac{W}{q} \qquad \Rightarrow W=VIt=RI^2t$$

W مقدار انرژی بر حسب ژول، q بار الکتریکی بر حسب کولن و t زمان بر حسب ثانیه است.

ه) مفهوم توان

توان، مقدار انرژی مصرف شده یا تولید شده در واحد زمان است. توان و انرژی طبق رابطه $P=\frac{W}{t}$ با یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند که در آن (P) توان برحسب وات است.

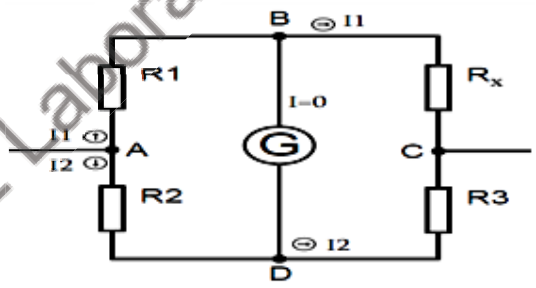
$$P=\frac{W}{t}=\frac{RI^2t}{t}=RI^2 \qquad \text{و} \qquad P=VI=\frac{V^2}{R}$$

قانون اهم

جرج سیمون اهم برای اولین بار در سال ۱۸۲۷ رابطه بین ولتاژ دو سر یک هادی و جریان گذرنده از آن را به‌صورت ریاضی بیان نمود (V=RI) که به افتخار او قانون اهم نامیده شد. به‌عبارت‌دیگر اگر نسبت اختلاف‌پتانسیل دو سر یک مقاومت به جریان عبوری از آن مقدار ثابتی باشد، در این صورت مقاومت از قانون اهم پیروی می‌کند. در این حالت تغییرات ولتاژ بر حسب شدت جریان خطی است و مقاومتی که از این قانون پیروی کند مقاومت اهمی نامیده می‌شود.

پل وتستون

یکی از روش‌های اندازه‌گیری مقاومت مجهول R_X از طریق مدار پل وتستون می‌باشد. پل وتستون از چهار مقاومت و یک گالوانومتر (میکرو آمپرمتر) تشکیل شده است.



شکل (۱): پل وتستون.

حال اگر مقاومت‌ها طوری انتخاب شوند که جریانی از گالوانومتر عبور نکند پل وتستون به تعادل رسیده و می‌توان روابط بین مقاومت‌ها را به‌دست آورد. چون جریانی از گالوانومتر عبور نمی‌کند در نتیجه $V_B=V_D$.

بنابراین می‌توان نوشت:

$$V_A-V_B=V_A-V_D$$
$$V_B-V_C=V_D-V_C$$

اگر جریان شاخه بالایی را i_1 و جریان شاخه پایینی را i_2 در نظر گرفته شود، می‌توان اینگونه نوشت:

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

$$\left.\begin{aligned} R_1 i_1 &= R_2 i_2 \\ R_X i_1 &= R_3 i_2 \end{aligned}\right\} \longrightarrow \frac{R_1}{R_X} = \frac{R_2}{R_3} \rightarrow R_X = R_1 \frac{R_3}{R_2} \qquad (۱)$$

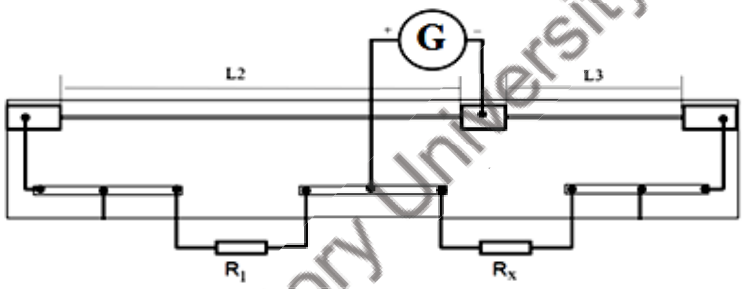
بنابراین مقاومت مجهول R_X را می‌توان با به تعادل درآوردن پل اندازه‌گیری کرد.

پل تار

اساس کار پل تار همانند پل وتستون است با این تفاوت که در پل تار به‌جای مقاومت R_2 و R_3 از یک سیم استفاده می‌شود. نقطه اتصال روی سیم آنقدر جابه‌جا می‌شود تا پل به تعادل در آید (جریان گالوانومتر صفر شود). طبق رابطه پل وتستون مقاومت مجهول از رابطه $R_X = R_1 \frac{R_3}{R_2}$ به‌دست می‌آید، که R_2 و R_3 از روابط زیر محاسبه می‌شوند که در این روابط ρ مقاومت ویژه سیم و S سطح مقطع و L_2 و L_3 طول سیم می‌باشند.

$$R_2 = \rho \frac{L_2}{S} \qquad (۲)$$

$$R_3 = \rho \frac{L_3}{S} \qquad (۳)$$



شکل (۲): پل تار.

با توجه به روابط (۱)، (۲) و (۳) داریم:

$$R_X = R_1 \frac{L_3}{L_2} \qquad (۴)$$

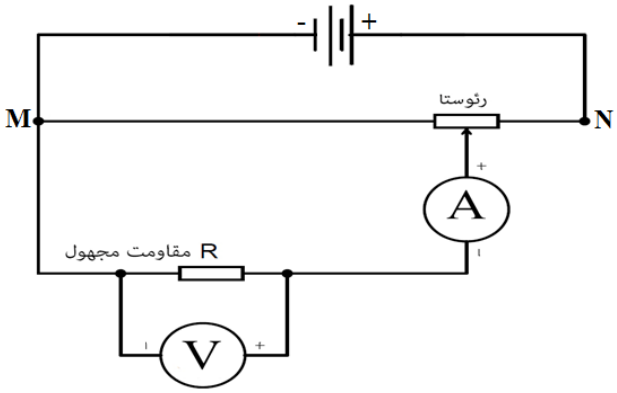
بنابراین با اندازه‌گیری طول‌های L_2 و L_3 و داشتن مقاومت R_1 می‌توان مقاومت مجهول R_X را اندازه‌گیری نمود.

نحوه انجام آزمایش

الف) بررسی قانون اهم

برای تحقیق قانون اهم و ترسیم نمودار ولتاژ - جریان باید شدت جریان عبوری از مقاومت را به ازای ولتاژهای مختلف اندازه‌گیری نمود. برای تغییر ولتاژ می‌توان از منبع تغذیه متغیر و یا رئوستا استفاده نمود. در این آزمایش از رئوستا استفاده می‌شود که در این حالت به آن پتانسیومتر گفته می‌شود. بدین منظور مقاومت را با یک آمپرمتر عقربه‌ای سری نموده و یک سر مقاومت را به ورودی و یک سر آمپرمتر را به سر لغزنده رئوستا متصل کنید (نقاط M و N به رنگ سیاه و سر لغزنده با رنگ قهوه‌ای روی رئوستا مشخص شده است). سپس یک ولتمتر دیجیتالی را برای اندازه‌گیری ولتاژ، با مقاومت موازی کنید. با وصل کردن دو سر رئوستا به منبع تغذیه مدار کامل می‌شود.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

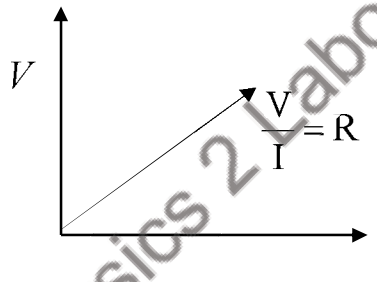


شکل(۳): مدار قانون اهم.

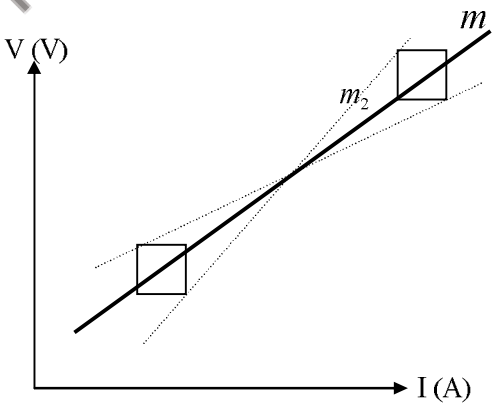
۱) با تغییر مقاومت متغیر توسط لغزنده‌ی رئوستا، ولتاژ و جریان عبوری از مقاومت را قرائت و در جدول زیر یادداشت نمائید.

قانون اهم	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
$V \pm \Delta V(V)$								
$I \pm \Delta I(A)$								
$R \pm \Delta R(\Omega)$								
$\overline{R} \pm \overline{\Delta R}(\Omega)$								

۲) نمودار V برحسب I را در نرم افزار Excel رسم کنید و R را روی نمودار مشخص کنید.



۳) با توجه به اینکه شیب نمودار ولتاژ-جریان برابر مقاومت است($m = R$) روی کاغذ میلیمتری با محاسبه بیشترین و کمترین شیب خطای اندازه‌گیری مقاومت را به‌دست آورید:



$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{\Delta R}{R} = \frac{\max\{|m-m_1|,|m-m_2|\}}{m}$$

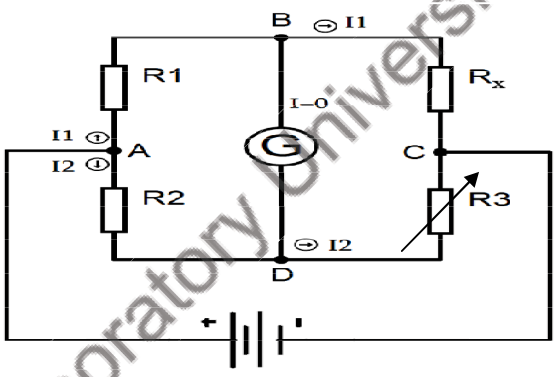
Physics 2 Laboratory University of Kashan

۴) مقاومت را با اهم‌متر اندازه‌گیری کنید و با مقدار میانگین‌گیری و شیب نمودار مقایسه کنید. کدامیک دقیق‌تر است؟ چرا؟

	مقدار کمیت مقاومت
با استفاده از میانگین‌گیری	
با استفاده از نمودار	
با استفاده از اهم‌متر	

ب) مدار پل وتستون

اساس کار پل وتستون به‌این‌صورت است که یک مقاومت مجهول R_X و دو مقاومت ثابت R_1 و R_2 و یک مقاومت متغیر R_3 را در مدار قرار می‌دهند و با تغییر مقاومت R_3 پل را به تعادل می‌رسانند. با اندازه‌گیری مقاومت R_3 و با جایگذاری در رابطه $R_X = R_1 \frac{R_3}{R_2}$ مقدار R_X محاسبه می‌شود.



شکل(۴): مدار پل وتستون.

۱) دو مقاومت ثابت را انتخاب نموده و اندازه آن‌ها را با اهم‌متر اندازه‌گیری کنید و در جدول یادداشت کنید.

۲) دو مقاومت ثابت و مقاومت مجهول (R_X) و جعبه مقاومت را بر روی برد آموزشی بسته و مطابق مدار شکل ۴ به منبع تغذیه و گالوانومتر (سر G_0) متصل کنید.

۳) منبع تغذیه را روشن نموده و ولتاژ را کم‌تر از یک ولت انتخاب نمائید. آنقدر مقاومت متغیر را تغییر دهید تا از گالوانومتر جریانی عبور نکند (بهتر است ابتدا جعبه مقاومت را روی مقاومت خیلی کم (نزدیک صفر) قرار دهید و از سلکتور کم شروع به زیاد کردن نمائید).

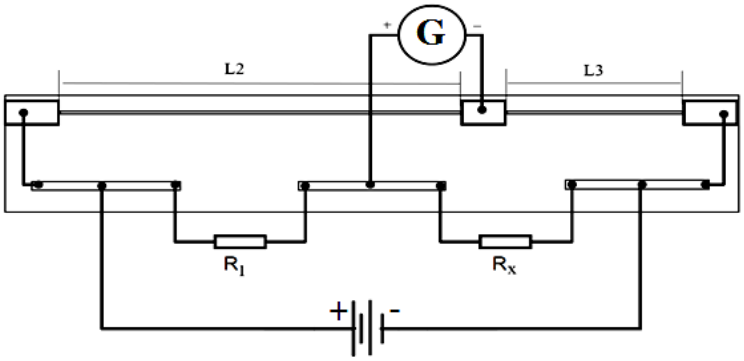
۴) با تعیین مقدار مقاومت متغیر و یادداشت آن در جدول مقدار مقاومت مجهول را محاسبه نمائید.

۵) با توجه به رابطه روبرو، مقدار $\frac{\Delta R_X}{R_X}$ را محاسبه کنید. $\frac{\Delta R_X}{R_X} = \frac{\Delta R_3}{R_3} + \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2}$

$R_1 \pm \Delta R_1(\Omega)$	$R_2 \pm \Delta R_2(\Omega)$	$R_3 \pm \Delta R_3(\Omega)$	$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}$	$\frac{\Delta R_X}{R_X}$

Physics 2 Laboratory University of Kashan

ج) مدار پل تار



شکل(۵): مدار پل تار.

۱) مدار شکل ۵ را ببندید در پل تار فرقی نمی‌کند که مقاومت R_1 و R_x چه مقدار انتخاب شوند اما بهتر است دو مقاومت زیاد با هم اختلاف نداشته باشند. (چرا؟)

۲) سپس منبع ولتاژ را روی ولتاژ کم‌تر !؛ یک ولت تنظیم کنید. یک سر گالوانومتر را به G_0 و سر دیگر را به لغزنده سیم وصل کنید. لغزنده را آنقدر روی سیم حرکت دهید که جریان گالوانومتر صفر شود. با اندازه‌گیری طول‌های L_2 و L_3 با توجه به رابطه (۴)، مقاومت R_X را محاسبه کنید.

۳) با توجه به رابطه روبرو، مقدار $\frac{\Delta R_X}{R_X}$ را محاسبه کنید. $\frac{\Delta R_X}{R_X}=\frac{\Delta R_1}{R_1}+\frac{\Delta L_3}{L_3}+\frac{\Delta L_2}{L_2}$

$R_1 \pm \Delta R_1(\Omega)$	$L_2 \pm \Delta L_2(cm)$	$L_3 \pm \Delta L_3(cm)$	$R_X = R_1 \frac{L_3}{L_2}$	$\frac{\Delta R_X}{R_X}$

۴) حال مقاومت مجهول را با اهم‌متر اندازه بگیرید و مقدار آن را با نتایج این دو آزمایش (پل تار و وتستون) طبق رابطه زیر مقایسه کنید.

R_X (اهم متر)	(پل وتستون)	(پل تار)
	$R_X =$	$R_X =$
	$\Delta R_X =$	$\Delta R_X =$

تکالیف

۱. چرا در آزمایش قانون اهم اگر مقاومت پر اهم (مقاومت در حد مقاومت‌درونی ولت‌سنج) باشد باید ولت متر قبل از آمپرمتر قرار گیرد؟

۲. روش‌هایی که تاکنون برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول به کار برده‌اید را به‌ترتیب دقت در اندازه‌گیری بنویسید و علت کم بودن خطا را توضیح دهید.

۳. چگونه می‌توان از پل وتستون برای اندازه‌گیری درجه حرارت و یا فشار یک محیط استفاده کرد؟

۴. آیا قرار دادن یک آمپرسنج در مدار برای اندازه‌گیری شدت جریان، باعث تغییر در مقدار جریان واقعی می‌شود؟ توضیح دهید.

۵. نشان دهید اگر در پل وتستون در حال تعادل جای آمپرسنج و منبع تغذیه جابه‌جا شود، در این حالت جریانی از آمپرسنج عبور نخواهد کرد؟

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ۲

اندازه‌گیری مقاومت ویژه

اهداف

- بررسی عوامل مؤثر در مقاومت الکتریکی یک رسانا
- تحقیق رابطه $R=\rho\frac{L}{A}$
- اندازه‌گیری مقاومت ویژه نمونه فلزی

وسایل مورد نیاز

برد مقاومت سیمی با طول و سطح مقطع متفاوت، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، آمپرمتر، ولتمتر، سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

دو میله مشابه، یکی از گرافیت و دیگری از مس را در نظر بگیرید. اگر به دو سر میله اختلاف پتانسیل V اعمال شود، مشاهده می‌شود که از میله مسی جریانی عبور خواهد کرد که خیلی بیشتر از جریانی است که از میله گرافیکی عبور می‌کند. واضح است که علت این اختلاف، تفاوت بین مقاومت الکتریکی این دو میله است. طبق قانون اهم اگر طول میله L و سطح مقطع A باشد، آنگاه:

$$R=\rho\frac{L}{A} \qquad (۱)$$

که ρ مقاومت ویژه جسم است و بستگی به جنس و درجه حرارت دارد. اگر R بر حسب اهم، L بر حسب متر و A بر حسب مترمربع باشد، ρ بر حسب اهم-متر خواهد بود. مقاومت ویره را می‌توان به‌صورت $\rho=\frac{E}{J}$ نیز تعریف نمود که در آن، E شدت میدان الکتریکی و J چگالی جریان در داخل سیم رسانا است. هر چه مقاومت ویژه بیش‌تر باشد، شدت میدان الکتریکی بیش‌تری برای ایجاد چگالی جریان معین لازم است. در جدول ۱ مقاومت ویژه چند رسانای مختلف در دمای $۲۰^{o}C$ آورده شده است.

جدول (۱): مقاومت ویژه رساناهای مختلف.

نام ماده	مس	تنگستن	نقره	آلومینیوم	نیکل	آلیاژکنستانتان	فولاد	آهن
$\rho\times10^{-8}(\Omega m)$	۱/۷۲	۵/۵	۱/۶	۲/۸	۶/۹۹	۵۰	۱۸	۱۰

در آزمایشگاه وقتی بخواهند رابطه بین یک کمیت را با پارامترهای وابسته به آن بسنجند، ابتدا پارامترهایی که کمیت ممکن است در آن دخالت داشته باشد را در نظر می‌گیرند، سپس با تغییر فقط یک پارامتر اثر آن را بررسی می‌کنند. در این آزمایش پارامترهایی که در تعیین مقاومت الکتریکی دخالت دارند، عبارتند از طول، سطح مقطع، جنس، دما و....که در هر مرحله یکی متغیر و بقیه ثابت در نظر گرفته می‌شود.

نحوه انجام آزمایش

الف)تحقیق وابستگی مقاومت سیم به طول

برد مقاومت سیمی، شامل سیم‌هایی با قطر و جنس مختلف است که در جدول ۲ مشخصات آن‌ها آمده است.

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

جدول (۲): مشخصات سیم‌های برد مقاومت.

شماره	۱	۲	۳	۴	۵
جنس	کروم نیکل	کروم نیکل	کروم نیکل	کروم نیکل	کروم نیکل
قطر($\pm 0.01mm$)	۰/۷۰	۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۲۰

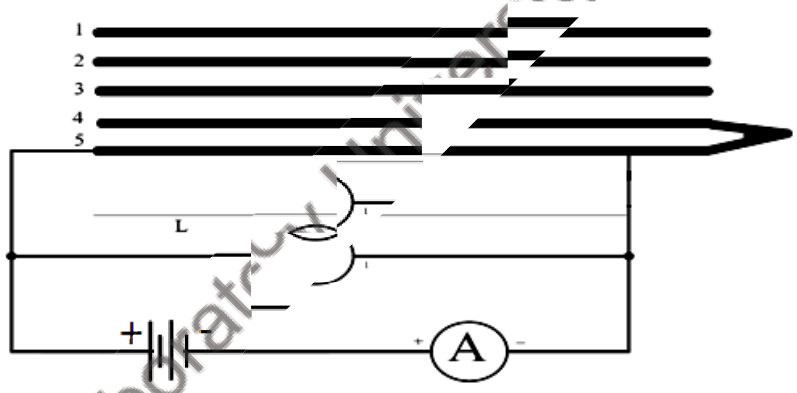
۱) ابتدا مدار شکل ۱ را ببندید و سیم‌های شماره ۴ و ۵ که ضخامت و جنس‌شان یکی است را با یکدیگر سری کنید. و مساحت سیم را محاسبه نمائید.

$$A \pm \Delta A = ... \pm .....(m^2)$$

۲) ولتاژ منبع تغذیه را روی (V) ۱ تنظیم کنید.

۳) با قرار دادن پروپ دستگاه روی فواصل نشانه‌گذاری شده (که هر کدام ۲۵ سانتی‌متر است) ولتاژ و جریان را قرائت کرده و در جدول زیر یادداشت نمائید. سپس با استفاده از رابطه $R = \rho \frac{L}{A}$ مقدار مقاومت ویژه سیم را به‌دست آورید.

۴) از رابطه $R = \rho \frac{L}{A}$ لگاریتم و دیفرانسیل گرفته و به رابطه $\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I} + 2\frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta L}{L}$ برسید. سپس با جایگذاری، خطای نسبی در اندازه‌گیری مقاومت ویژه را محاسبه کنید.



شکل (۱): مدار اندازه‌گیری مقاومت ویژه.

$L \pm 1(cm)$	۲۵	۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵	۱۵۰	۱۷۵	۲۰۰
$V \pm \Delta V\ (V)$								
$I \pm \Delta I\ (A)$								
$R \pm \Delta R\ (\Omega)$								
$\rho \pm \Delta\rho\ (\Omega.m)$								
$\frac{\Delta\rho}{\rho}$								

۵) با رسم نمودار R بر حسب L اولاً خطی‌بودن رابطه بین R و L را تحقیق کنید، ثانیاً با اندازه‌گیری شیب نمودار یعنی ($\frac{\rho}{A}$)، مقاومت ویژه سیم را محاسبه کنید.

$$\rho \pm \Delta\rho = ... \pm .....(\Omega m)$$

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

ب) تحقیق وابستگی مقاومت سیم به سطح مقطع آن

۱) آزمایش قبل را تکرار کنید. اما این بار سیم‌هایی با طول ثابت و قطرهای متفاوت استفاده کنید و به ازای هر قطر، ولتاژ و جریان را اندازه‌گیری کنید و نتایج خود را در جدول زیر ثبت کنید. طول سیم را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$L \pm \Delta l = \ldots\ldots\ldots \pm \ldots\ldots\ldots (m)$$

۲) با اندازه‌گیری ولتاژ و جریان جدول زیر را کامل کنید. برای محاسبه خطا از روش دیفرانسیلی $\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta I}{I} + 2\frac{\Delta r}{r} + \frac{\Delta L}{L}$ بهره بگیرید.

۳) با رسم نمودار R بر حسب $\frac{1}{A}$ اولاً رابطه بین R و A را تحقیق کنید. ثانیاً با اندازه‌گیری شیب نمودار یعنی (ρl) مقاومت ویژه سیم را محاسبه کنید.

$$\rho \pm \Delta\rho = \ldots\ldots\ldots \pm \ldots\ldots\ldots (\Omega m)$$

$2r \pm 0.01\,mm$	۰/۷۰	۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۲۰
$V \pm \Delta V\,(V)$				
$I \pm \Delta I\,(A)$				
$R \pm \Delta R\,(\Omega)$				
$\rho \pm \Delta\rho\,(\Omega.m)$				
$\frac{\Delta\rho}{\rho}$				

تکالیف

۱. در آزمایش اول چرا ولتاژ در طول آزمایش ثابت است؟ اگر تغییرات ولتاژ کم است دلیل آن چیست؟
۲. آیا مقاومت ویژه یک فلز با ظرفیت آن (تعداد الکترون‌های رسانشی) ارتباط دارد؟ توضیح دهید.
۳. آیا با اندازه‌گیری مقاومت ویژه یک فلز می‌توان جنس آن را تعیین کرد؟
۴. اگر دو سیم هم‌وزن و هم‌جنس باشند، ولی قطر یکی دو برابر قطر دیگری باشد نسبت مقاومت آن‌ها چقدر است؟
۵. چگونه می‌توان در این آزمایش از پل تار جهت تعیین مقاومت سیم استفاده نمود؟ شرح دهید.
۶. اگر در فرآیند آزمایش طول متغیر، مدار بطور مداوم وصل باشد چه خطایی در اندازه‌گیری رخ خواهد داد؟

Physics 2 Laboratory University of Kashan

مطالعـه آزاد

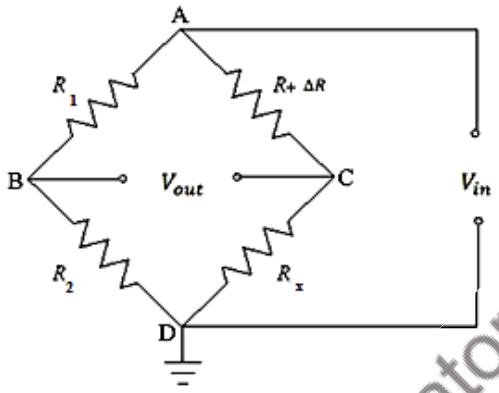
کاربردهای مدار پل وتستون در دستگاه‌های اندازه‌گیری

امروزه یکی از کاربردهای عمومی مدار پل وتستون در صنعت، استفاده از آن در حسگرهای بسیار حساس می‌باشـد. در ایـن دستگاه‌ها جریان گالوانومتر بر اساس تغییرات مقاومت بر اثر تغییر یک کمیت فیزیکی نظیر فشار، دما، کرنش و ... کار می‌کننـد. همچنین میزان عدم تعادل در پل را بر اساس تغییرات فیزیکی یا شرایط دیگر اعمال شده بر حسگر کالیبره می‌کنند.

➢ساخت دماسنج

اگر به جای مقامت R_x یک سنسور مقاومت حرارتی افزایشی(PTC) قرار داده شود. ولتـاژ دو سـر گـالوانومتر از رابطـه زیـر محاسبه می‌شود.

$$V_{out} \approx \frac{\Delta R}{4 \times R} \times V_{in}$$



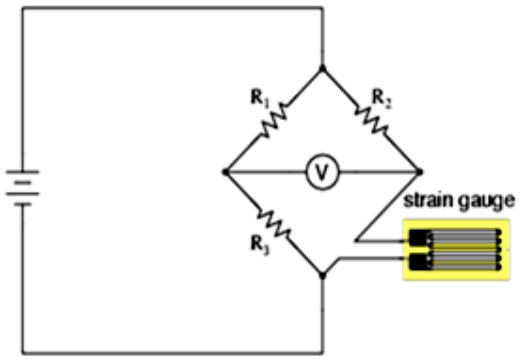
شکل (۱): ساخت دماسنج با استفاده از پل وتستون.

لذا اگر در دو دمای مشخص (مثلا ۰ و ۱۰۰ درجه سانتی-گراد) ولتاژ خروجی اندازه‌گیری شود می‌توان با مقیاس‌بندی آن، یک دماسنج طراحی نمود.

➢ساخت کرنش‌سنج

کرنش‌سنج‌های مقاومتی که ایده‌ی آن‌هـا بـر اسـاس تغییـر مقاومت بر اثر اعمال نیرو است، در واقع لایه‌های بسیار نازکی از سیم‌های مقاومتی است.

با اعمال نیرو، طول و سطح مقطع سیم تغییر می‌کند و این تغییرات با نیروی اعمالی رابطه دارند. به ایـن ترتیـب بـا اعمـال نیرو و ایجاد این تغییرات، مقاومت کرنش‌سنج تغییر می‌کند و مقدار نیرو را از این طریق می‌توان به‌دست آورد.



شکل (۲): ساخت کرنش‌سنج با استفاده از پل وتستون.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ۳

ساخت ولت‌متر و آمپرمتر با گالوانومتر

اهداف

- آشنایی با ساختمان و طرز کار گالوانومتر
- طراحی و ساخت آمپرمتر با قابلیت اندازه‌گیری N برابر جریان گالوانومتر
- طراحی و ساخت ولتمتر با قابلیت اندازه‌گیری N برابر ولتاژ گالوانومتر

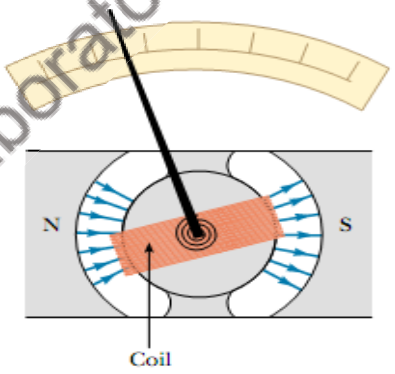
وسایل مورد نیاز:

گالوانومتر، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، مولتی‌متر، جعبه مقاومت متغیر و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

الف) گالوانومتر

گالوانومتر(جریان مستقیم) ابزاری الکترومکانیکی برای اندازه‌گیری جریان‌های کم در حدود میکروآمپر است. این وسیله به‌طور سری در مدار قرار می‌گیرد و به تنهایی قادر به نمایش جریان در دو جهت مخالف است. درجه‌بندی صفحه آن به گونه‌ای است که صفر درجه‌بندی در وسط بوده که هم شامل درجات مثبت و هم درجات منفی است. قسمت عمده ساختمان این دستگاه شامل یک آهنربای دائمی و یک سیم‌پیچ متحرک به شکل قاب با هسته فرومغناطیس است که به دو فنر مارپیچ و یک عقربه متصل است (مطابق شکل ۱). در اثر عبور جریان از سیم‌پیچ میدان مغناطیسی در قاب تولید می‌شود و تحت تأثیر میدان مغناطیسی خارجی ناشی از آهنربای دائمی گشتاوری بر آن وارد می‌شود که موجب انحرافات قاب می‌گردد.



شکل(۱): نمای کلی یک گالوانومتر با قاب متحرک.

هر چه جریان عبوری بیشتر باشد مقدار گشتاور بیشتر بوده و قاب به مقدار بیشتری منحرف خواهد شد. بردار گشتاور $(\vec{\tau})$ برابر است با:

$$\vec{\tau} = \vec{\mu} \times \vec{B} \qquad (۱)$$

در این رابطه $\vec{B}$ بردار میدان مغناطیسی و $\vec{\mu}$ بردار گشتاور دوقطبی مغناطیسی قاب است که اندازه آن برابر است با:

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

$$|\vec{\mu}| = \mu = NIA \qquad (۲)$$

که در رابطه بالا N تعداد دورهای سیم‌پیچ، A سطح مقطع قاب و I جریان عبوری از آن است و در نتیجه مقدار گشتاور از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$|\vec{\tau}| = \tau = NIAB\sin\theta \qquad (۳)$$

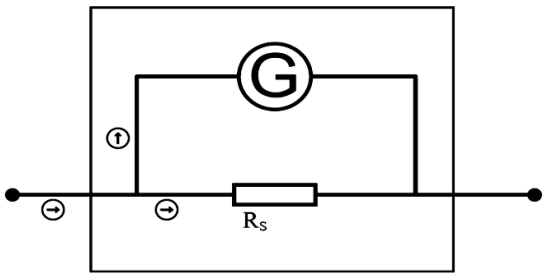
که θ زاویه بین خط عمود بر سطح قاب و میدان مغناطیسی خارجی است. در حالتی که ($\theta = ۹۰^\circ$) باشد گشتاور وارده بیشینه و نهایتاً حساسیت آن بیشتر خواهد بود. برای این منظور هسته قاب و همچنین فضایی که قاب در آن قرار می‌گیرد را نیز به شکل استوانه می‌سازند تا با تولید میدان شعاعی، $\vec{B}$ و $\vec{\mu}$ برهم عمود باشند ($\theta = ۰^\circ$). وجود دو فنر در دو انتهای میله‌ای که به قاب متصل است موجب برگرداندن عقربه به وضعیت اولیه می‌گردد. در حالیکه جریان از دستگاه عبور می‌کند گشتاور پیچشی این فنرها با گشتاور خارجی در تعادل است که گشتاور پیچشی فنر برابر است با $\tau = -K\theta$ که K ثابت پیچشی و θ زاویه پیچش است. با مساوی قراردادن این دو گشتاور به‌دست می‌آید:

$$K\theta = NIAB \Rightarrow I = \frac{K}{NAB}\theta \Rightarrow I \propto \theta \qquad (۴)$$

در نتیجه میزان انحراف قاب (θ) متناسب با جریان عبوری از آن است که می‌توان گالوانومتر را بر اساس آن درجه‌بندی کرد. مقاومت‌درونی گالوانومتر ایده‌آل صفر است اما در عمل، هر گالوانومتری به‌خاطر ساختار درونی‌اش (مقاومت سیم‌پیچ‌ها) دارای مقاومت داخلی (R_G) است.

ب) آمپرمتر

قسمت عمده ساختمان داخلی آمپرمتر شبیه گالوانومتر است و مانند آن به‌طور سری در مدار قرار می‌گیرد. تفاوت بین آمپرمتر و گالوانومتر در دو مورد است. یکی درجه‌بندی آن متفاوت است و دیگری انحراف عقربه در یک جهت صورت می‌گیرد. همچنین آمپرمتر برای اندازه‌گیری جریان‌های مختلف طراحی می‌شود. برای تبدیل گالوانومتر به آمپرمتر یک مقاومت کوچک R_S (در مقایسه با مقاومت داخلی گالوانومتر) با آن به‌طور موازی قرار می‌گیرد تا قسمت عمده جریان از R_S عبور کند.



شکل (۲): مدار داخلی آمپرمتر.

اگر گالوانومتر در حالت عادی جریان I_G را نشان دهد و بخواهیم با استفاده از آمپرمتر جریانی معادل N برابر I_G ($I' = NI_G$) را اندازه‌گیری کنیم باید مقاومت R_S را با گالوانومتر به‌صورت موازی قرار دهیم تا جریان I_G از گالوانومتر و بقیه‌ی آن از مقاومت R_S بگذرد. اگرجریان عبوری از R_S، I_S در نظر گرفته شود:

Physics 2 Laboratory University of Kashan

$$I_S = I' - I_G = NI_G - I_G = (N-1)I_G \qquad (۵)$$

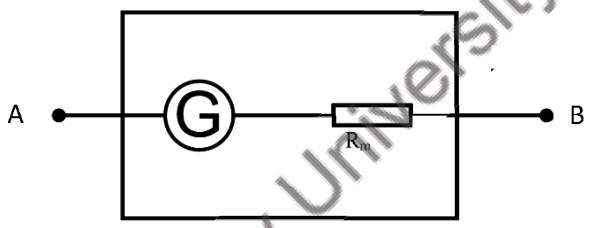
و از آنجا که ولتاژ دو مقاومت برابر است $I_S R_S = I_G R_G$ در نتیجه داریم:

$$R_S = \frac{I_G R_G}{I_S} \Rightarrow R_S = \frac{R_G}{N-1} \rightarrow N = \frac{R_G}{R_S} + 1 \qquad (۶)$$

با توجه به اینکه N عدد بزرگی است مقاومتی که موازی بسته می‌شود کوچک است. در نتیجه مقاومت‌درونی آمپرمتر کم است.

ج) ولت‌متر

با سری‌کردن یک مقاومت بزرگ R_m با سیم‌پیچ گالوانومتر یک ولت‌متر ساخته می‌شود (شکل ۳). سری‌کردن یک مقاومت بزرگ با گالوانومتر موجب می‌شود که جریان کمتری از دستگاه بگذرد و تأثیر آن روی مدار ناچیز باشد. ولت‌متر همواره به‌طور موازی با عنصر مداری در مدار قرار می‌گیرد.



شکل (۳): مدار داخلی ولت‌متر.

اگر مقاومت داخلی گالوانومتر R_G باشد و بتواند تا ولتاژ $V_G = R_G I_G$ را اندازه بگیرد برای تبدیل آن به یک ولت‌متر که بتواند تا ولتاژ $V' = NV_G$ را اندازه بگیرد باید مقاومت R_m را به‌صورت سری با گالوانومتر قرار داد تا جریان I_G از آن‌ها عبور کند. در این صورت با استفاده از قانون دوم کیرشهف به‌دست می‌آید:

$$V_{AB} = R_G I_G + R_m I_G$$

$$\Rightarrow R_m = (N-1)R_G \rightarrow N = \frac{R_m}{R_G} + 1 \qquad (۷)$$

$$V_{AP} = NV_G = NR_G I_G$$

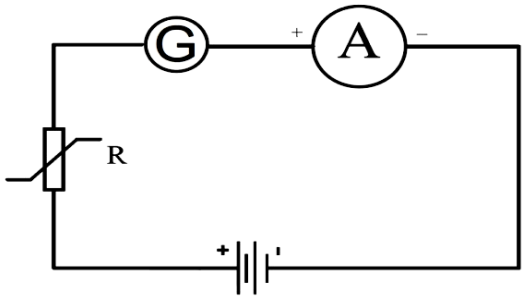
با توجه به اینکه N عدد بزرگی است مقاومتی که به‌صورت سری با گالوانومتر بسته می‌شود، بزرگ است. در نتیجه مقاومت‌درونی ولت‌متر زیاد است.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

نحوه انجام آزمایش

الف) تعیین مقاومت‌درونی گالوانومتر

۱) ابتدا گالوانومتر، جعبه مقاومت متغیر، منبع تغذیه و آمپرمتر را مطابق شکل زیر به‌صورت سری به یکدیگر متصل کنید.



شکل (۴): مدار اندازه‌گیری جریان بیشینه گالوانومتر.

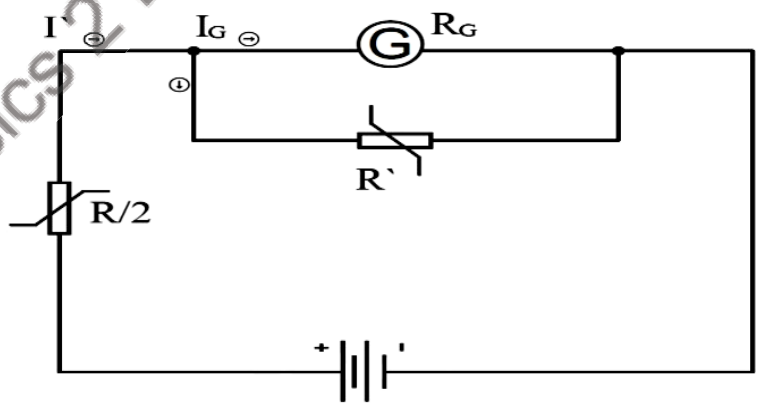
۲) مقدار اهمی جعبه مقاومت R را ۲۰ کیلواهم تنظیم کنید و ولتاژ منبع تغذیه را صفر کنید و آمپرمتر را روی رنج میکرو-آمپر قرار دهید.

۳) با روشن نمودن منبع تغذیه و افزایش ولتاژ، تغییرات عقربه گالوانومتر را مشاهده نمائید.

۴) ولتاژ را زیاد کنید تا عقربه در حالت بیشنه انحراف قرار بگیرد. سپس جریان آمپرمتر را یاداشت کنید.

$$I_G \pm \Delta I_G = \ldots\ldots\ldots \pm \ldots\ldots\ldots (\mu A)$$

۵) برای تعیین مقاومت‌درونی گالوانومتر، ابتدا جعبه مقاومت متغیر دیگری (R') را با گالوانومتر موازی کنید و مقدار مقاومت جعبه مقاومت اولی را نصف کنید. سپس مقاومت R' را آنقدر تغییر دهید تا جریانی که از گالوانومتر عبور می‌کند دقیقاً برابر حالت قبل شود. در این صورت $R_G \cong R'$ خواهد بود. چرا؟



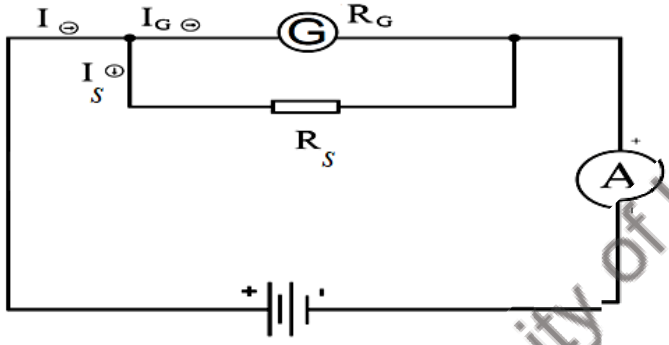
شکل (۵): مدار اندازه‌گیری مقاومت‌درونی گالوانومتر.

$$R_G \pm \Delta R_G = \ldots\ldots\ldots \pm \ldots\ldots\ldots (\Omega)$$

Physics 2 Laboratory University of Kashan

ب) تبدیل گالوانومتر به آمپرمتر

۱) برای ساخت آمپرمتر ابتدا باید مقدار N انتخاب و سپس R_S محاسبه شود. ولی از آنجا کـه هـر مقـدار اهمـی مقاومـت در آزمایشگاه موجود نیست محاسبات از آخر به اول انجام می‌شود. یعنی ابتدا R_S معلوم انتخاب می‌شود و سپس N به‌دسـت می‌آید و در نهایت I' محاسبه می‌گردد و آزمایش با آن مقاومت انجام می‌شود. با اسـتفاده از جعبـه مقاومـت، گـالوانومتر، آمپرمتر و منبع تغذیه ولتاژ مستقیم مدار شکل زیر را ببندید. مقاومت R_S را حدود چند اهـم تنظـیم کنیـد و محاسـبات جدول زیر را تکمیل کنید (P حداکثر تعداد تقسیمات گالوانومتر است).



شکل (۶): مدار اندازه‌گیری جریان آمپرمتر.

مقیاس جدید آمپرمتر $i' = N \times i = \frac{I'}{p}$	جریان بیشینه $I' = N \times I_G$	$N = \frac{R_G}{R_s} + 1$	مقیاس گالوانومتر $i = \frac{I_G}{p}$	$R_G(\Omega)$	$R_s(\Omega)$

۲) با تغییر ولتاژ منبع تغذیه عقربه‌ی گالوانومتر منحرف می‌شود به ازای انحراف‌های مختلف، جریان آمپرمتر را در جدول ذیل یادداشت کرده و با جریان محاسبه شده مقایسه کنید. در صورت اختلاف نتایج، علت آن را بیان کنید.

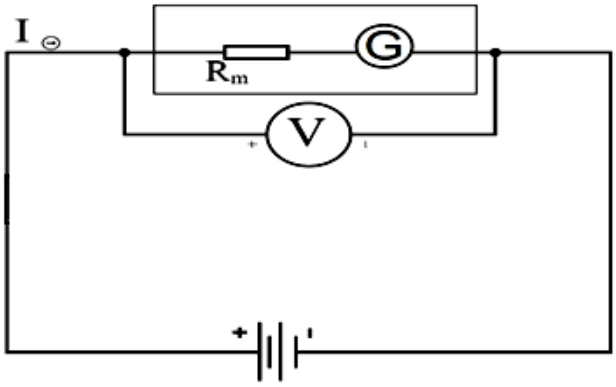
میزان انحراف عقربه گالوانومتر K	۴	۹	۱۳	۱۷	۲۳	۲۷	۳۰
$I_{Th}(A) = i' \times K$							
$I_{Exp}(A)$							
$\frac{\lvert I_{Th} - I_{Exp} \rvert}{I_{Th}} \times 100$							

ج) تبدیل گالوانومتر به ولت‌متر

همانند آزمایش قبل ابتدا مقاومت را انتخاب و پس از انجام محاسبات آزمایش را انجام دهید.

۱) ابتدا مدار شکل زیر را ببندید و مقاومت R_m را حدود ۲۰ کیلواهم تنظیم کنید و محاسبات جدول زیر را تکمیل کنید. (P حداکثر تعداد تقسیمات گالوانومتر است).

Physics 2 Laboratory University of Kashan



شکل (۷): مدار اندازه‌گیری جریان آمپرمتر.

مقیاس جدید ولت‌متر $v' = N \times v = \frac{V'}{p}$	ولتاژ بیشینه $V' = N \times V_G$	$N = \frac{R_m}{R_G} + 1$	مقیاس گالوانومتر $v = \frac{V_G}{p} = \frac{R_G I_G}{p}$	$R_G(\Omega)$	$R_m(\Omega)$

۲) با تغییر ولتاژ منبع تغذیه عقربه‌ی گالوانومتر منحرف می‌شود به ازای انحراف‌های مختلف، ولتاژ ولت‌متر را در جدول ذیل یادداشت کرده و با ولتاژ محاسبه شده مقایسه کنید. در صورت اختلاف نتایج، علت آن را بیان کنید.

میزان انحراف عقربه گالوانومتر K	۴	۹	۱۳	۱۷	۲۳	۲۷	۳۰
$V_{Th}(V) = v' \times K$							
$V_{Exp}(V)$							
$\frac{\lvert V_{Th} - V_{Exp} \rvert}{V_{Th}} \times 100$							

تکالیف

۱. اگر بخواهیم آزمایش را دقیق‌تر انجام دهیم باید ضریب تصحیح را برای آن به‌دست آوریم یعنی به ازای یک جریان کوچک‌تر از جریان بیشینه گالوانومتر، ضریب تصحیح با محاسبه نسبت جریان خوانده شده به جریان واقعی، به‌دست می‌آید. با محاسبه ضریب تصحیح آزمایش اول را تکرار نمائید.

۲. چگونه می‌توان با گالوانومتر اهممتر ساخت و مدرج نمود؟

۳. مفهوم حساسیت در گالوانومتر چیست؟

۴. مقدار مقاومت R_S را برای آمپرمتری که بتواند حداکثر ۵ آمپر را اندازه‌گیری کند، محاسبه کنید.

۵. مقدار مقاومت R_m را برای ولت‌متری که بتواند حداکثر ۲۲۰ ولت را اندازه‌گیری کند، محاسبه کنید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ٤

اندازه‌گیری مقاومت‌درونی باتری، منبع تغذیه و ولتسنج

اهداف

- اندازه‌گیری مقاومت‌درونی باتری و منبع تغذیه
- اندازه‌گیری مقاومت‌درونی ولتسنج

وسایل مورد نیاز

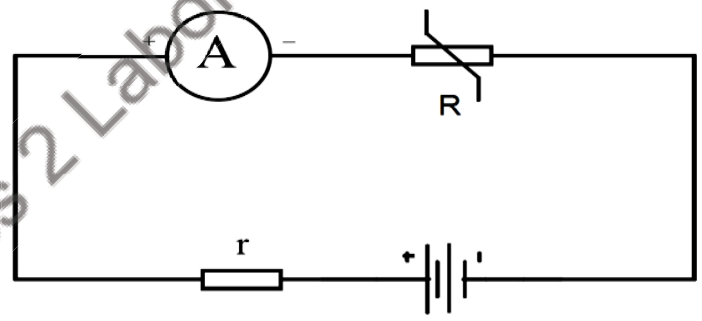
جعبه مقاومت متغیر، ولتسنج، آمپرسنج، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، باتری خشک و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

الف) مقاومت‌درونی باتری

باتری‌ها معمولاً دارای مقاومت درونی (داخلی) هستند و این مقاومتی است که الکترولیت باتری به هنگام عبور جریان الکتریسیته از خود نشان می‌دهد. مقاومت‌درونی باتری مقدار ثابتی نیست بلکه با زمان و با تغییر جریانی که از آن عبور داده می‌شود، تغییر می‌کند. همچنین هر منبع تغذیه دارای یک مقاومت‌درونی است که مقدار آن، به ویژگی‌های اجزاء تشکیل‌دهنده آن بستگی دارد. از این‌رو مقداری از انرژی تولید شده صرف غلبه بر مقاومت‌درونی آن می‌شود. اتلاف انرژی در داخل منبع تغذیه، باعث کاهش اختلاف‌پتانسیل دو سر منبع می‌شود. اگر مطابق شکل ۱، یک باتری با نیروی محرکه ε و مقاومت‌درونی r به یک مقاومت خارجی R متصل شود، آنگاه جریانی نه از مدار می‌گذرد برابر است با:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \rightarrow R = -r + \frac{\varepsilon}{I} \qquad (۱)$$



شکل(۱): مدار اندازه‌گیری مقاومت‌درونی باتری.

بنابراین اگر r ثابت فرض شود، آنگاه نمودار تغییرات R بر حسب $\frac{1}{I}$ خط راستی با عرض از مبدأ، r- خواهد بود.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

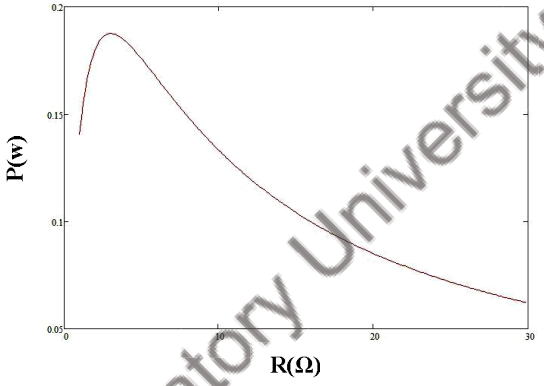
مقاومت‌درونی باتری با استفاده از توان

توان مقاومت برابر است با $P=RI^2$ که در آن جریان طبق رابطه‌ی (۱) برابر است با $I=\frac{\varepsilon}{r+R}$ و بنابراین توان مقاومت بر حسب R، r و ε برابر است با $P=R(\frac{\varepsilon}{r+R})^2$.

اگر از رابطه فوق نسبت به R مشتق گرفته شود، بیشینه توان به‌دست می‌آید.

$$\frac{dp}{dR}=\frac{(r+R)^2\varepsilon^2-2(r+R)\varepsilon^2R}{(r+R)^4}=0\rightarrow R=r$$

بنابراین حداکثر توان موقعی رخ خواهد داد که مقاومت خارجی با مقاومت‌درونی باتری برابر شود. اگر به ازای مقاومت‌های متفاوت، توان آن محاسبه گردد، با رسم نمودار P بر حسب R، جایی که توان بیشینه می‌شود، مقاومت خارجی برابر با مقاومت‌درونی باتری است.

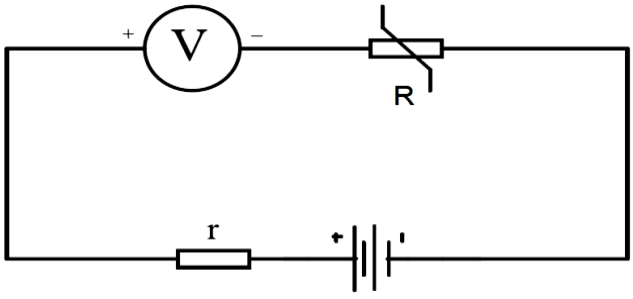


شکل(۲): نمودار توان برحسب مقاومت.

ب) مقاومت درونی ولت سنج

در مدار شکل ۳ اگر مقاومت‌درونی منبع تغذیه در مقابل مقاومت بقیه مدار صرف‌نظر شود، مشاهده می‌شود که افت ولتاژ در دو سر ولت‌متر (با مقاومت‌درونی R_V) و مقاومت متغیر R باید برابر نیرو محرکه منبع ε باشد، لذا می‌توان نوشت:

$$\varepsilon=(R+R_V)I \qquad (۲)$$



شکل(۳): مدار اندازه‌گیری مقاومت‌درونی ولت‌سنج.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

چون اختلاف پتانسیلی که به‌وسیله ولت‌متر اندازه‌گیری می‌شود برابر است با حاصلضرب مقاومت‌درونی ولتسنج در جریانی که از آن می‌گذرد $V=R_V I$ بنابراین به‌دست می‌آید:

$$\varepsilon = (R+R_V)(\frac{V}{R_V}) \quad (۳)$$

بنابراین می‌توان نوشت:

$$R = -R_V + \frac{\varepsilon R_V}{V} \quad (۴)$$

پس اگر نمودار تغییرات R نسبت به $\frac{1}{V}$ رسم شود، یک خط راست به‌دست خواهد آمد که عرض از مبدأ آن برابر $-R_V$ و شیب آن برابر $R_V\varepsilon$ است.

نحوه انجام آزمایش

الف) اندازه‌گیری مقاومت‌درونی باتری

۱) یک باتری شیمیایی ۱/۵ ولتی را انتخاب کنید و به‌وسیله ولت‌متر مقدار نیروی محرکه ε را اندازه بگیرید.

$$\varepsilon \pm \Delta\varepsilon = \ldots\ldots\pm\ldots\ldots(V)$$

۲) سپس باتری را با جعبه مقاومت متغیر و آمپرمتر به‌صورت سری همانند مدار شکل ۱ ببندید.

۳) با تغییر مقاومت خارجی، جریان را یادداشت و مقدار مقاومت‌درونی باتری را محاسبه نمائید و جدول زیر را کامل کنید. برای محاسبه خطا از رابطه زیر استفاده نمائید.

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta\varepsilon + \Delta R I + R\Delta I}{\varepsilon - RI} + \frac{\Delta I}{I}$$

$R\ (\Omega)$	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴
$I \pm \Delta I$ (A)							
$r(\Omega) = \frac{\varepsilon}{I} - R$							
$\frac{\Delta r}{r} \times 100$							
اثبات رابطه $\frac{\Delta r}{r}$							

۴) نمودار تغییرات R بر حسب $\frac{1}{I}$ را رسم کنید و با محاسبه عرض از مبدأ نمودار مقاومت‌درونی باتری را تعیین کنید. همچنین با اندازه‌گیری شیب نمودار، مقدار ε را با مقدار واقعی مقایسه کنید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

ب) اندازه‌گیری مقاومت درونی منبع تغذیه

۱) آزمایش قسمت قبل را تکرار کنید با این تفاوت که به جای باتری از منبع تغذیه ولتاژ مستقیم استفاده کنید و ولتاژ منبع تغذیه را روی $E = 1.500 \pm 0.001(V)$ تنظیم کنید. با رسم نمودار R بر حسب $\frac{1}{I}$ مقدار r و ε را به‌دست آورید.

$R\ (\Omega)$	۲	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۴
$I \pm \Delta I$ (A)							
$r(\Omega) = \frac{\varepsilon}{I} - R$							
$\frac{\Delta r}{r} \times 100$							

۲) جهت اندازه‌گیری مقاومت‌درونی باتری با استفاده از بیشینه کردن توان، از مقاومت درونی محاسبه شده (برای باتری یا منبع تغذیه) بهره جوئید. بدین صورت به ازای چند مقاومت کم‌تر و بیش‌تر آزمایش را تکرار کنید و جدول زیر را کامل کنید. با رسم نمودار P بر حسب R حداکثر مقدار توان و مقاومت‌درونی را به‌دست آورید.

$R\ (\Omega)$	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
$I \pm \Delta I$ (A)																				
$P(W) = RI^2$																				

با استفاده از نمودار $P_{Max}(W)$	
با استفاده از نمودار $r(\Omega)$	

ج) اندازه‌گیری مقاومت‌درونی ولت‌متر

۱) مدار شکل ۳ را ببندید و مقدار ولتاژ منبع تغذیه را روی (V) ۱۰ تنظیم کنید.

۲) با تغییر مقدار اهمی جعبه مقاومت (در حد مگااهم) ولتاژ ولت‌متر را اندازه‌گیری کنید. اگر تغییرات کم است تغییرات مقاومت را به چند صد کیلواهم افزایش دهید و برای محاسبه خطا از رابطه زیر استفاده نمائید.

$$\frac{\Delta R_V}{R_V} = \frac{\Delta R}{R} + \frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta\varepsilon + \Delta V}{\varepsilon - V}$$

Physics 2 Laboratory University of Kashan

$R\ (\mathrm{M\Omega})$	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
$V \pm \Delta V (V)$										
$R_V(M\Omega) = \frac{RV}{\varepsilon - V}$										
$\frac{\Delta R_V}{R_V} \times 100$										
$\frac{\Delta R_V}{R_V}$ اثبات رابطه										

۳) نمودار تغییرات R بر حسب $\frac{1}{V}$ را رسم کنید. سپس عرض از مبدأ و شیب نمودار را مشخص کرده و مقادیر R_V و ε را تعیین کنید.

تکالیف

۱. در اندازه‌گیری مقاومت‌درونی ولتمتر اگر از مقاومت‌درونی منبع تغذیه صرف‌نظر نشود، چه تأثیری در رابطه (۴) و سرانجام در نتیجه آزمایش خواهد داشت؟
۲. مقاومت‌درونی باتری به چه عواملی بستگی دارد؟
۳. خطاهای این آزمایش را نام ببرید و توضیح دهید که چگونه می‌توان آن‌ها را کم کرد؟
۴. روابط خطا در متن کتاب را به‌دست آورید؟

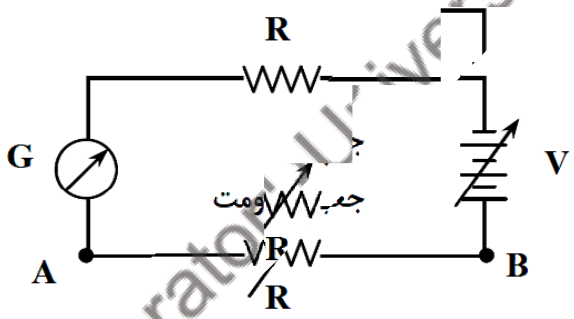
Physics 2 Laboratory University of Kashan

مطالعـه آزاد

کاربرد و ساختمان داخلی اهم‌متر

اهم‌متر برای اندازه‌گیری مقاومت به کار می‌رود. با قراردادن کلید انتخاب‌گر روی قسمت اهم آوومتر، می‌توان مقاومت یک سیم را اندازه‌گیری کرد. ساختمان داخلی اهم‌متر متشکل از گالوانومتر، باتری و مقاومت متغیر است. هنگامیکه دو سر مقاومت مجهول را به دو سر اهم‌متر وصل می‌کنید مدار داخلی اهم‌متر که شامل باتری است بسته می‌شود. باتری در مدار، جریانی را برقرار می‌کند که بر اساس جریان عبوری از مقاومت‌های مختلف، صفحه گالوانومتر را بر حسب مقادیر مختلف مقاومت مدرج می‌کند.

اگر مقاومت مجهول مقدارش صفر باشد جریان مدار بیش‌ترین مقدار را دارد و این حالتی است که در شکل، نقاط A و B به هم وصل باشند یا به‌عبارتی دو سر اهم‌متر اتصال کوتاه شود. در حالیکه بین دو نقطه A و B مقاومت زیادی قرار گرفته باشد جریان در مدار کم می‌شود و اگر بین دو نقطه A و B باز باشد به اصطلاح می‌گویند، مقاومت بی نهایت شده است پس جریان مدار صفر خواهد شد. در نتیجه درجه‌بندی اهم‌متر عکس جریان است.



شکل (۱): ساختمان داخلی اهم‌متر.

➤ تبدیل گالوانومتر به اهم‌متر

منبع تغذیه، جعبه مقاومت و گالوانومتر را به‌طور سری به یکدیگر وصل کنید. این مجموعه تشکیل اهم‌متر می‌دهد. حال برای این که درجه‌بندی گالوانومتر را بر حسب اهم مدرج کنید، ابتدا مقاومت‌های مختلف را باید بین دو نقطه A و B قرار دهید و جریان عبوری از آن‌ها را یادداشت کنید. قبل از قراردادن مقاومت‌ها در مدار، ابتدا بین نقاط A و B اتصال کوتاه برقرار کنید (در این حالت مقاومت متغیر صفر است)، منبع ولتاژ را آنقدر تغییر دهید تا جریان گالوانومتر حداکثر شود و دیگر مقدار ولتاژ منبع را تغییر ندهید، در این حالت نقطه صفر از درجه‌بندی اهم به‌دست می‌آید.

حال بین دو نقطه A و B را باز بگذارید در نتیجه جریان در مدار صفر است. در این حالت موقعیت بی‌نهایت از درجه‌بندی اهم به‌دست می‌آید. حال مقاومت‌های داده شده را توسط جعبه مقاومت وارد مدار نمائید و جریان گالوانومتر را یادداشت کنید. سپس مقاومت‌های مجهول را به اهم‌متر وصل کنید و با اندازه‌گیری جریان آن، مقدار مقاومت معین می‌شود.

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

آزمایش شماره ۵

شارژ و دشارژ خازن

اهداف

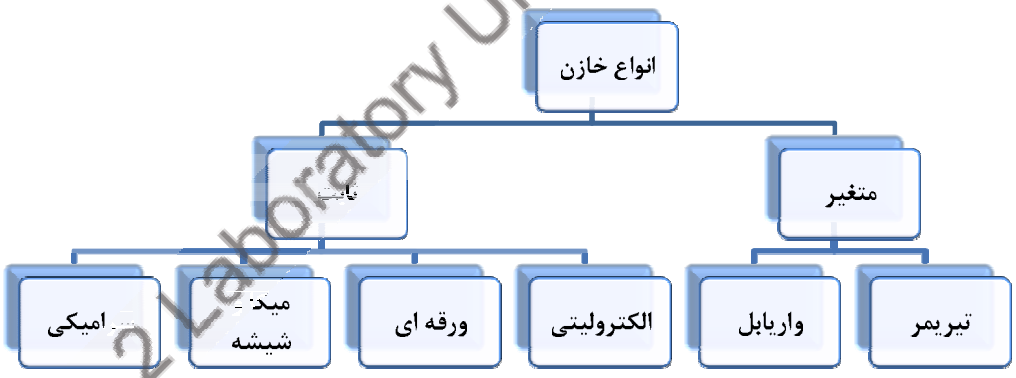
- مطالعه خازن‌ها و رسم منحنی شارژ و دشارژ خازن
- به‌دست‌آوردن ظرفیت خازن مجهول و خطای نسبی آن
- بررسی قوانین سری و موازی در خازن‌ها

وسایل مورد نیاز

خازن‌های الکترولیتی، کرنومتر، ولتمتر، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، جعبه مقاومت متغیر و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

اگر به صفحات یک خازن (نوع ساده آن از دو صفحه موازی که توسط عایقی از هم جدا شده‌اند تشکیل شده است) ولتاژ ثابت یک باتری وصل شود مقداری بار از این باتری به صفحات خازن منتقل شده و در آن ذخیره می‌شود و این بار ذخیره شده متناسب با ولتاژ اعمال شده بوده و از رابطه $q=CV$ تبعیت می‌کند. در این رابطه C ضریب تناسب است که ظرفیت خازن نامیده می‌شود و به‌صورت نسبت بار یکی از صفحات به اختلاف‌پتانسیل بین دو صفحه تعریف می‌شود. خازن‌ها همانند مقاومت‌ها، به دو دسته ثابت و متغیر به‌صورت زیر تقسیم می‌شوند.



شکل (۱): انواع خازن‌ها.

مشخصات خازن

یک خازن دارای مشخصات: ۱- ظرفیت ۲- جنس ۳- ولتاژ مجاز ۴- ضریب حرارتی ۵- خودالقایی ۶- درصد خطا و ... می‌باشد که ظرفیت و درصد خطای آن به اختصار توضیح داده می‌شود.

الف) درصد خطای خازن

اختلاف مجاز بین مقدار معین شده بر روی بدنه خازن با ظرفیت واقعی خازن با درصد خطای خازن، مشخص می‌شود. مقدار درصد خطا معمولاً توسط یک حرف مشخص می‌شود که معنای حروف مزبور به ترتیب زیر است:

Physics 2 Laboratory University of Kashan

جدول (۱): درصد خطای خازن

F= ± %1	G = ± %2	J= ± %5	K= ± %10
M= ± %20	Z= + %80- %20	P= + %100- %0	

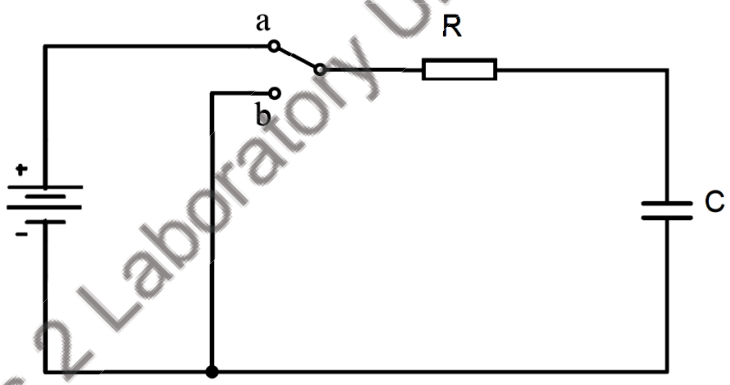
نوع P را اصطلاحاً GMV یا حداقل مقدار تضمین شده می‌نامند و به این معنی است که مقدار ظرفیت خازن از مقدار نوشته شده بر روی آن کم‌تر نیست اما می‌تواند تا ۱۰۰ درصد بیش‌تر باشد.

ب) ظرفیت خازن

ظرفیت خازن به جنس عایق بین صفحات، مساحت صفحه و فاصله آن‌ها بستگی دارد. واحد ظرفیت کولن بر ولت یا فاراد می‌باشد. از آن‌جا که فاراد واحد بزرگی است در عمل از پیشوندهای زیر برای مشخص‌کردن ظرفیت استفاده می‌شود .

$$1\mu F = 10^{-6} F \qquad 1\text{nF} = 1\times 10^{-9} F \qquad 1\text{pF} = 1\times 10^{-12} F$$

در مدار شکل ۲ با بستن کلید جریانی در مدار برقرار می‌گردد و بارهای الکتریکی از باتری به طرف خازن جریان می‌یابند. چون در مسیر باتری و خازن یک مقاومت قرار گرفته، پس از بستن کلید، خازن بلافاصله باردار نخواهد شد بلکه بارها، کم‌کم بر روی جوشن‌های خازن جمع می‌شوند این جریان تا وقتی که ولتاژ دو سر خازن (V_C) برابر ولتاژ باتری (ε) گردد، برقرار است. بنابراین با بستن کلید پس از مدتی اختلاف‌پتانسیل دو سر خازن از صفر به مقدار بیشینه (ε) می‌رسد. یعنی اگر ضمن باردار شدن ولتاژ دو سر خازن لحظه‌به‌لحظه اندازه‌گیری شود، مشاهده می‌گردد که ولتاژ به‌تدریج زیاد می‌شود، در صورتی‌که شدت جریان کاهش می‌یابد.



شکل(۲): مدار شارژ و دشارژ خازن.

بنابراین با بستن کلید در زمان صفر ثانیه در حالت a باری به اندازه q در لحظه t در خازن ذخیره شده و جریانی که از مدار می‌گذرد، $I = \frac{dq}{dt}$ است که با حل معادله دیفرانسیل، رابطه ولتاژ دو سر خازن به‌صورت زیر به‌دست می‌آید.

$$\varepsilon = V_C + V_R \Rightarrow \varepsilon = \frac{q}{C} + R\frac{dq}{dt}$$
$$q = C\varepsilon(1-e^{\frac{-t}{RC}}) \Rightarrow V_C = \varepsilon(1-e^{\frac{-t}{RC}}) \overset{t=RC}{\Rightarrow} Vc = 0.63\varepsilon \qquad (1)$$

Physics 2 Laboratory University of Kashan

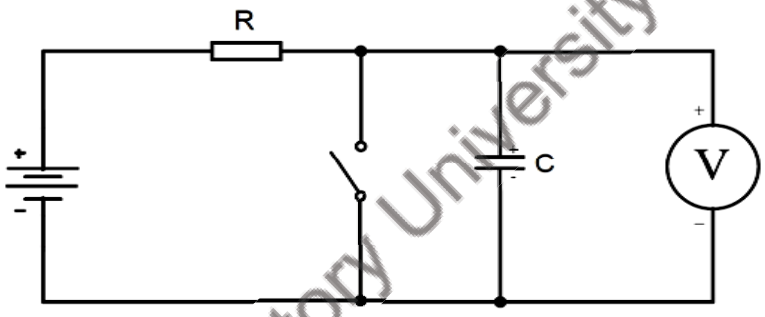
که RC را در رابطه (۱) ثابت زمانی گویند. حال اگر کلید در وضعیت b قرار داده شود (دشارژ)، در این حالت $\varepsilon = 0$ و در نتیجه داریم:

$$V_c + V_R = 0 \Rightarrow \frac{q}{c} = -R\frac{dq}{dt}$$
$$q = q_0 e^{\frac{-t}{RC}} \Rightarrow V_c = \varepsilon\, e^{\frac{-t}{Rc}\ t=RC} \Rightarrow V_c = 0.37\,\varepsilon \qquad (۲)$$

نحوه انجام آزمایش

الف) رسم نمودار شارژ خازن و محاسبه ظرفیت خازن

۱) ابتدا به‌وسیله ولت‌متر ولتاژ منبع تغذیه DC را (V) ۱۰ تنظیم کنید. با انتخاب مقاومت و خازن مناسب با رعایت قطب‌های خازن مدار شکل ۳ را ببندید (خازن و مقاومتی انتخاب کنید که ثابت زمانی آن بیش‌تر از ۵۰ ثانیه باشد). همچنین قطب‌های مثبت و منفی خازن را به‌طور صحیح متصل نمائید. سپس با یک سیم دو سر خازن را به هم وصل کنید تا خازن تخلیه و ولتاژ صفر شود.



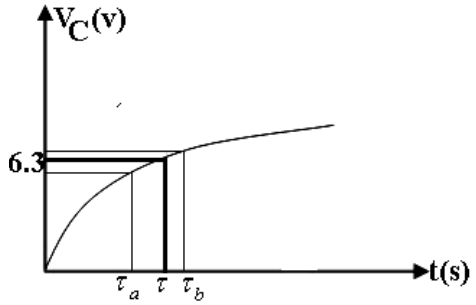
شکل(۳): مدار شارژ خازن.

۲) کرنومتر را روشن کنید و هر ۵ ثانیه ولتاژ دو سر خازن (V_C) را یادداشت کنید. این کار را ادامه دهید تا اختلاف پتانسیل به حدود (V) ۹/۷ برسد.

$t(s)$	۵	۱۰	۱۵																					
$V_C(V)$																								۹/۷

۳) نمودار ولتاژ دو سر خازن بر حسب زمان (نمودار اول) را رسم کنید و اکنون ولتاژ $0.63\varepsilon = 0.63\times 10 = 6.3$ را روی محور V_C مشخص کرده و از روی آن ثابت زمانی (τ) را به‌دست آورید و مقدار ظرفیت خازن را با استفاده از رابطه‌ی $\tau = RC$ محاسبه کنید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan



شکل (۴): نمودار ولتاژ دو سر خازن بر حسب زمان.

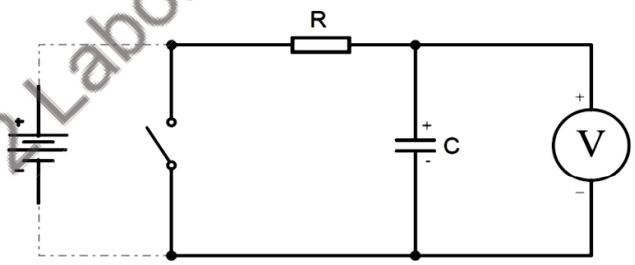
۴) برای تعیین مقدار دقیق ظرفیت خازن از شیب نمودار استفاده می‌شود. بدین منظور با مرتب نمودن رابطه (۱) و با اعمال لگاریتم از دو طرف رابطه، عبارت $-Ln\left(\frac{\varepsilon - V_C}{\varepsilon}\right) = \frac{t}{RC}$ به‌دست می‌آید. بنابراین با رسم نمودار $-Ln\left(\frac{\varepsilon - V_C}{\varepsilon}\right)$ بر حسب زمان، (نمودار دوم) ظرفیت خازن را محاسبه نمائید.

۵) با توجه به ظرفیت نوشته شده روی بدنه خازن C خطای نسبی اندازه‌گیری ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

C (ظرفیت نوشته شده روی بدنه خازن)	C_{Exp} (ظرفیت محاسبه شده از روی نمودار)		$\frac{\lvert C_{Exp} - C \rvert}{C} \times 100$	
	نمودار اول	نمودار دوم	نمودار اول	نمودار دوم

ب) رسم نمودار دشارژ خازن و محاسبه ظرفیت خازن

۱) مدار آزمایش قبل را ببندید و صبر کنید تا خازن شارژ کامل شود. به‌عبارت دیگر ولتاژ ولتمتر و منبع تغذیه یکسان شود (در صورتی که بخواهید سریع شارژ شود مقدار مقاومت R را کم کنید).



شکل(۵): مدار دشارژ خازن.

۲) بعد از شارژ شدن خازن، فیش دو سر منبع تغذیه را خارج کنید و پس از اتصال دو فیش به یکدیگر کرنومتر را روشن کنید و هر ۵ ثانیه یک بار، ولتاژ دو سر خازن را قرائت و در جدول زیر یادداشت کنید. این کار را تا زمانی ادامه دهید که اختلاف پتانسیل به حدود (V) ۰/۳ برسد.

$t(s)$	۵	۱۰	۱۵																					
$V_C(V)$																								۰/۳

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۳) نمودار ولتاژ دو سر خازن بر حسب زمان (نمودار اول) را رسم کنید. اکنون $0.37\varepsilon = 0.37\times10 = 3.7V$ را روی محور V_C مشخص کرده و از روی آن ثابت زمانی (τ) را به‌دست آورید و مقدار ظرفیت خازن را با استفاده از رابطه $\tau = RC$ محاسبه کنید.

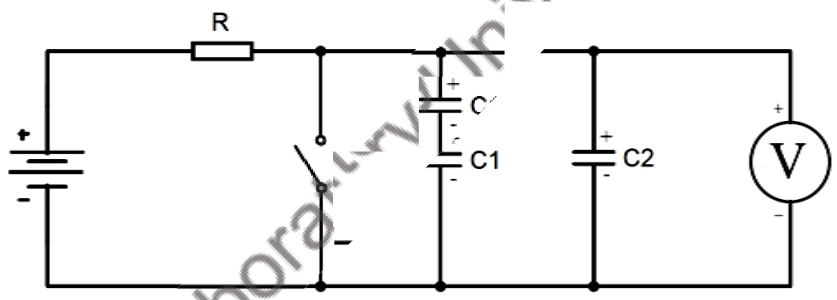
۴) با رسم نمودار $Ln\left(\frac{V_C}{\varepsilon}\right)$ بر حسب زمان، (نمودار دوم) ظرفیت خازن را محاسبه نمائید.

۵) با توجه به ظرفیت نوشته شده روی بدنه خازن، خطای نسبی اندازه‌گیری ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

C (ظرفیت نوشته شده روی بدنه خازن)	C_{Exp} (ظرفیت محاسبه شده از روی نمودار)		$\frac{\lvert C_{Exp}-C\rvert}{C}\times100$	
	نمودار اول	نمودار دوم	نمودار اول	نمودار دوم

ج) بررسی قوانین ترکیب موازی خازن‌ها

۱) اگر مطابق شکل ۶ خازن‌های C_1 و C_2 به هم بسته شوند، (قطب‌های مثبت به هم و قطب‌های منفی نیز به یکدیگر بسته می‌شوند) ظرفیت معادل برابر با $C_{Th} = C_1 + C_2$ است. مانند آزمایش اول ابتدا ولتاژ منبع تغذیه را (V) ۱۰ تنظیم کنید. سپس مقاومت، خازن‌ها و ولتمتر را مطابق شکل ببندید.



شکل(۶): مدار شارژ خازن‌های موازی.

۲) با اتصال دو سر یکی از خازن‌ها به یکدیگر هر دو خازن تخلیه شده و همزمان با قطع آن کرنومتر را روشن و به ازای دوازده زمان مختلف ولتاژ را در جدول زیر یادداشت کنید.

$t(s)$	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
$V_C(V)$												

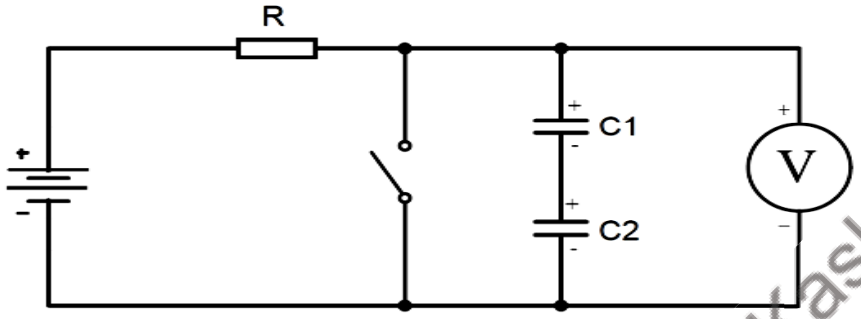
C_1	C_2	$C_{Th}=C_1+C_2$	C_{Exp}	$\frac{\lvert C_{Exp}-C_{Th}\rvert}{C_{Th}}\times100$

۳) با رسم نمودار $Ln\left(\frac{\varepsilon - V_C}{\varepsilon}\right)$ بر حسب زمان، ظرفیت معادل خازن‌ها را محاسبه نمائید و خطای آن را به‌دست آورید.

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

د) بررسی قوانین ترکیب سری خازن‌ها

۱) مطابق شکل ۷ خازن‌های C_1 و C_2 به‌صورت متوالی به هم ببندید (به جهت قطب‌ها توجه کنید) ظرفیت معادل برابر با $\frac{1}{C_{Th}}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}$ است. مانند آزمایش اول ابتدا ولتاژ منبع تغذیه را (V) ۱۰ تنظیم کنید.



شکل(۷): مدار شارژ خازن‌های متوالی.

۲) با اتصال دو سر ابتدایی و انتهایی دو خازن به یکدیگر هر دو خازن تخلیه شده و همزمان با قطع آن کرنومتر را روشن و به ازای دوازده زمان مختلف ولتاژ را در جدول زیر یادداشت کنید.

$t(s)$	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰
$V_C(V)$												

۳) با رسم نمودار $Ln\left(\frac{\varepsilon-V_C}{\varepsilon}\right)$ – بر حسب زمان، ظرفیت معادل خازن‌ها را محاسبه نمائید و خطای آن را به‌دست آورید.

C_1	C_2	$C_{Th}=\frac{C_1\times C_2}{C_1+C_2}$	C_{Exp}	$\frac{\lvert C_{Exp}-C_{Th}\rvert}{C_{Th}}\times 100$

تکالیف

۱. علت اختلاف ظرفیت خازن اندازه‌گیری شده با مقدار اسمی آن چیست؟
۲. اندازه‌گیری ظرفیت خازن از کدام روش دقیق‌تر است؟ چرا؟
۳. در آزمایش دشارژ خازن، چرا وقتی کلید S از a قطع می‌شود و هنوز به نقطه b وصل نشده است خازن شروع به تخلیه شدن می‌کند؟ (به مقدار خیلی کم)
۴. خطای نسبی را برای حالت سری و موازی خازن‌ها محاسبه کنید و مشخص کنید دقت کدام حالت در اندازه‌گیری ظرفیت خازن بیشتر است؟
۵. چرا با کم‌کردن مقاومت، خازن سریع‌تر شارژ می‌شود؟
۶. روابط شارژ، دشارژ، سری و موازی خازن‌ها را اثبات نمائید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ٦

قوانین القا و ترانسفورماتورها

اهداف

- بررسی قوانین فاراده و نیروی محرکه القایی
- بررسی قانون لنز
- بررسی مبدل‌های افزاینده و کاهنده

وسایل مورد نیاز

منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، منبع تغذیه ولتاژ متناوب، انواع سیم‌پیچ، هسته U شکل، گالوانومتر (یا آمپرسنج حساس)، آهنربا، ولتمتر متناوب، آمپرمتر متناوب و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

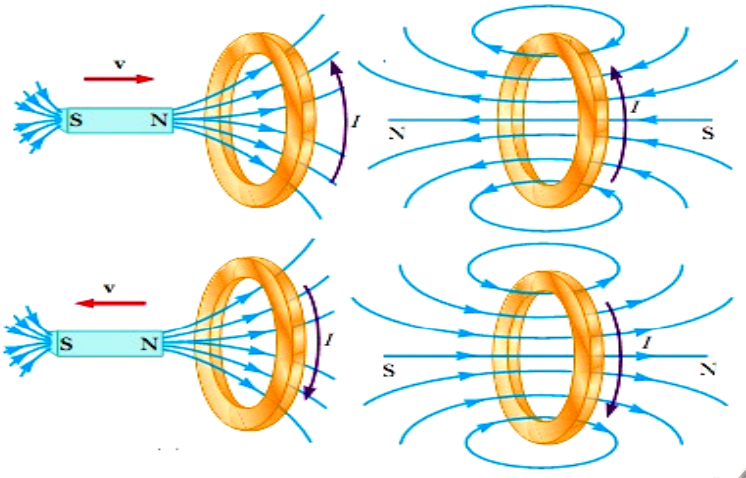
الف) قانون القای فارادی و لنز

در سال ۱۸۱۹م هانس‌کریستین اورستد فیزیکدان دانمارکی کشف کرد که وقتی عقربه قطب‌نما در مجاورت سیم حامل جریان قرار می‌گیرد منحرف می‌شود. تحقیقات مشابه توسط آندره آمپر در فرانسه صورت گرفت. چند سال بعد مایکل فاراد در انگلستان و جوزف هانری در آمریکا کشف کردند که حرکت‌دادن آهن‌ربا در مجاورت یک حلقه رسانا باعث پیدایش جریان الکتریکی در حلقه می‌شود و نیز عبور جریان الکتریکی متغیر از یک حلقه باعث پیدایش جریان الکتریکی در حلقه دیگر می‌شود که در مجاورت حلقه اول قرار دارد. این مشاهدات نخستین ارتباط میان جریان الکتریکی و میدان مغناطیسی را نشان داد که منجر به معادلات ماکسول شد که همچون معادلات نیوتن در مکانیک، اصول قوانین الکترومغناطیسی به شمار می‌آیند.

میدان مغناطیسی با خطوط فرضی بنام خطوط القا نمایش داده می‌شود. به‌طوری‌که در هر نقطه امتداد B بر خطوط القا مماس است و مقدار مطلق بردار B در هر نقطه با تعداد خطوط القایی که از واحد سطح عمود بر امتداد این خطوط عبور می‌کنند متناسب است. کل خطوط القا که از یک سطح دلخواه عبور می‌کند شار مغناطیسی نامیده و از رابطه $\Phi_B = \oint B.dS$ محاسبه می‌شوند. اگر میدان مغناطیسی یکنواخت باشد، داریم: $\Phi_B = B.S.\cos\theta$ که θ زاویه بین خط عمود بر سطح با امتداد میدان مغناطیسی است.

بنابر قانون فاراده، تغییر شار Φ_B باعث ایجاد جریان القایی می‌شود. این تغییر شار در یک مدار بسته جریان الکتریکی به‌وجود می‌آورد. بنابراین به همراه تغییر شار مغناطیسی در هر مدار نیروی محرکه القایی $\varepsilon = \frac{-d\Phi}{dt}$ ایجاد می‌شود. این نتیجه به قانون القا الکترومغناطیسی فاراده مرسوم است و شکل دیفرانسیلی آن $\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$ می‌باشد. علامت منفی در قانون فاراده به‌این‌خاطر است که القا در جهتی است که با تغییراتی که آن را تولید می‌کند مخالفت می‌کند. بنابراین اگر سعی شود شار مغناطیسی در مداری افزایش داده شود، ε القایی جریان‌هایی را در جهتی ایجاد می‌کند که سبب کاهش شار شود و این به قانون لنز معروف است.

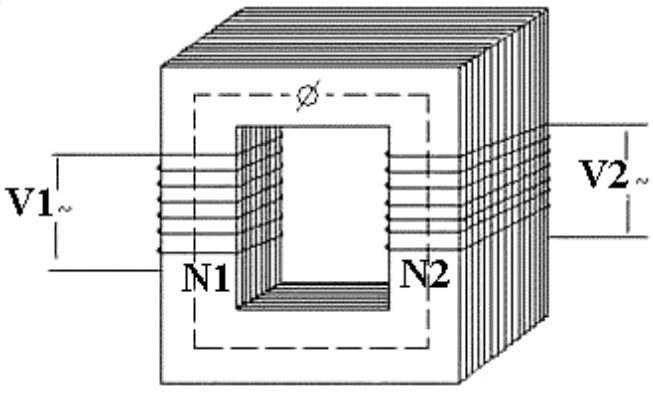
Physics Laboratory University of Kashan



شکل(۱): تعیین جهت جریان القایی در اثر حرکت آهنربا (تحقیق قانون فاراده و لنز).

ب) مبدل‌ها

مبدل (ترانسفورماتور) دستگاهی است که بر اساس علم الکترومغناطیس عمل می‌کند و به منظور ذخیره انرژی مغناطیسی و یا انتقال انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به منظور کاهش دادن اتلاف حرارتی در خطوط انتقال، باید توان الکتریکی ایجاد شده در نیروگاه‌ها با جریان کم (و ولتاژ زیاد) به محل مصرف منتقل شود. از طرف دیگر ملاحظات مربوط به ایمنی و عایق-سازی قسمت‌های متحرک، مستلزم به‌کاربردن ولتاژهای نسبتاً پایین در موتورها و لوازم خانگی است. به‌وسیله مبدل‌ها می‌توان مقدار ولتاژها و جریان‌های متناوب را تغییر داد. ساختمان اصلی ترانسفورماتورها از یک هسته مغناطیسی (این هسته می‌تواند از جنس مواد پارامغناطیسی یا فرومغناطیسی باشد) ساخته شده که به دور آن دو سری سیم‌پیچ پیچیده شده است (شکل۲). نقش هسته در مبدل‌ها حفظ میدان مغناطیسی ناشی از یک سیم‌پیچ و انتقال آن با حداقل تلفات به سیم‌پیچ دیگر است. هسته از ورقه‌هایی که به‌وسیله رنگ و عایق از هم جدا شده‌اند، تشکیل شده است تا اتلاف انرژی به مقدار کمینه خود برسد. شکل ۲ نماد یک مبدل با هسته آهنی می‌باشد. توان خروجی یک مبدل الزاماً از توان ورودی کم‌تر است (به‌خاطر اتلاف‌های حرارتی در سیم‌پیچ‌های مبدل، اتلاف انرژی ناشی از سختی پسماند مغناطیسی هسته و ...). یک مبدل آرمانی که در آن هیچ نوع اتلافی وجود ندارد در نظر می‌گیریم. یک چشمه ولتاژ متناوب V_1 به دو سر سیم‌پیچ اولیه وصل کرده و فرض می‌کنیم دو سر سیم‌پیچ ثانویه باز است و سیم‌پیچ اولیه مانند یک القاگر عمل می‌کند.



شکل(۲): نمای ساده مبدل با هسته آهنی.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

طبق قانون القای فارادی، تغییر شار مغناطیسی ناشی از سیم‌پیچ اولیه، یک اختلاف‌پتانسیل V_1 در دو سر سیم‌پیچ ثانویه ایجاد می‌کند. اگر تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه N_1 و ثانویه N_2 باشد، داریم:

$$V_1 = -N_1 \frac{d\Phi}{dt} \quad , \quad V_2 = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} \qquad (۱)$$

که V_1 و V_2 نیروی محرکه‌های القایی در دو سر سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه می‌باشند. چون مقاومت‌های اهمی سیم‌پیچ-های اولیه و ثانویه برابر صفر در نظر گرفته شده است، می‌توان نوشت:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} = K_{21} \qquad (۲)$$

که K_{21} ضریب تبدیل ترانسفورماتور نامیده می‌شود. اگر $N_2 \rangle N_1$ باشد، داریم $V_2 \rangle V_1$ و مبدل را افزاینده گوئیم ($K_{21} \rangle 1$). و در صورتی که $N_2 \langle N_1$ باشد داریم $V_2 \langle V_1$ و مبدل را کاهنده گوئیم ($K_{21} \langle 1$).

اگر مقاومت R به دو سر سیم‌پیچ ثانویه وصل شود، جریان مؤثری برابر i_2 از آن می‌گذرد، جریان مؤثر اولیه برابر i_1 است و می‌توان نوشت:

$$V_1 i_1 = V_2 i_2 = R i_2^2 \qquad (۳)$$

از معادله ۲ و ۳ داریم:

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1} \qquad (۴)$$

از رابطه اخیر نتیجه می‌شود که در مبدل افزاینده، افزایش ولتاژ با کاهش جریان همراه است و بالعکس. همچنین از روابط بالا داریم:

$$i_1 = K_{21} i_2 = \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^2 \frac{V_1}{R} \qquad (۵)$$

نتیجه می‌دهد که در مبدل‌های کاهنده، قرار دادن یک مقاومت کم در مدار ثانویه هم ارز با قرار دادن یک مقاومت بزرگ در مدار اولیه است و برعکس. از این رو برای مثال در گیرنده‌های رادیویی برای اتصال آخرین طبقه تقویت‌کننده (با مقاومت زیاد) به بلندگو (که مقاومت آن کم است) از یک مبدل کاهنده استفاده می‌شود و برای اتصال امواج دریافت شده از آنتن به اولین طبقه تقویت‌کننده گیرنده از مبدل افزاینده استفاده می‌شود.

➤بازده

نسبت توان خروجی به ورودی را بازده مبدل گویند. درصد بازده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 = \frac{V_2 I_2}{V_1 I_1} \times 100 \qquad (۶)$$

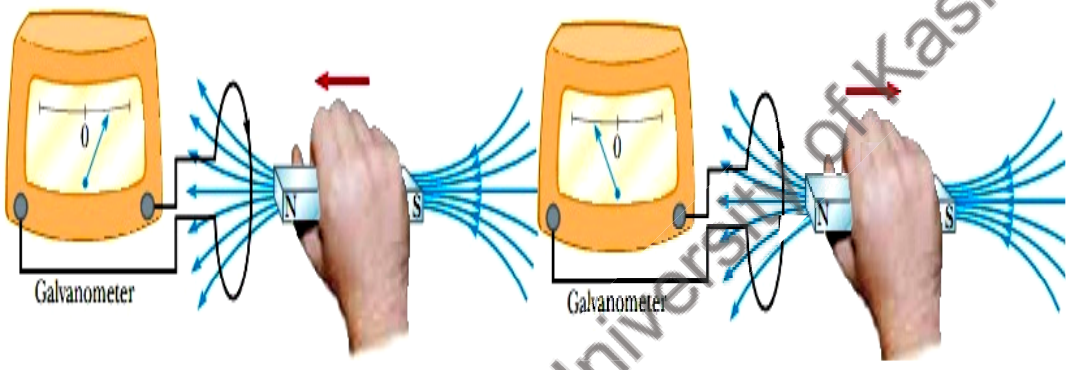
Physics Laboratory University of Kashan

در مبدل‌های تجاری، اتلاف انرژی وجود دارد و نمی‌توان این تلفات که شامل اتلاف پسماند، جریان فوکو، پراکندگی شار و مقاومت سیم‌پیچ‌ها می‌شود را به صفر رساند. از این‌رو بازده از ۱۰۰ در صد کم‌تر است.

نحوه انجام آزمایش

الف) تحقیق قانون فاراده و جریان القایی

۱) برای مشاهده چگونگی تشکیل جریان القایی، سیم‌پیچی را که در اختیار دارید به دو ترمینال ورودی گالوانومتر (یا آمپرسنج حساس) مطابق شکل ۳ متصل کنید. یکی از آهنرباهای تیغه‌ای شکل را که در اختیار دارید در داخل سیم‌پیچ حرکت دهید. مقدار تقریبی جریانی که در اثر حرکت ایجاد می‌شود، در جدول یادداشت کنید. آزمایش را با دورهای مختلف تکرار کنید.



شکل(۳): اندازه‌گیری جریان القایی در اثر حرکت آهنربا.

- سؤال ۱: این جریان چه نام دارد و چرا ایجاد می‌شود؟
- سؤال ۲: آهنربا را سمت خارج سیم‌پیچ بکشید جهت عبور جریان عکس می‌شود. چرا؟
- سؤال ۳: چه نتیجه‌ای در مورد رابطه جریان القایی با تعداد دور سیم‌پیچ می‌گیرید؟ این نتیجه مؤید کدام رابطه نظری است؟

N تعداد دور سیم‌پیچ		
I جریان القایی(برحسب درجه)		

۲) یکبار آهنربا را آهسته به داخل سیم‌پیچ ببرید و بار دیگر با سرعت بیش‌تر این کار را انجام دهید. با تکرار آزمایش، اثر کندی و تندی حرکت را بر مقدار جریان القا شده به‌دست آورید و یادداشت کنید.

- سؤال ۴: چرا تندی و کندی حرکت آهنربا در مقدار جریان القا شده مؤثر است؟

۳) قطب‌های همنام دو آهنربا را روی یکدیگر قرار داده و به سیم‌پیچ نزدیک کنید. مقدار جریان القایی را یادداشت کنید. اکنون به جای دو آهنربا یکی از آن‌ها را با همان سرعت به سیم‌پیچ نزدیک کنید و جریان را یادداشت کنید.

- سؤال ۵: چرا وقتی که دو آهنربا را بکار می‌برید، مقدار جریان القا شده با هنگامی که یک آهنربا را بکار می‌برید اختلاف دارد؟
- سؤال ۶: در مورد نسبت این دو جریان بحث کنید.

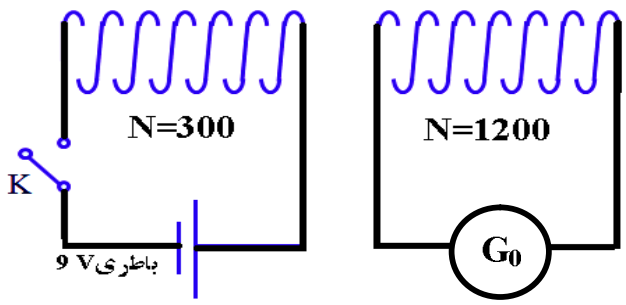
۴) قطب‌های ناهمنام دو آهنربا را روی یکدیگر قرار داده و به سیم‌پیچ نزدیک کنید. مقدار جریان القایی را یادداشت کنید و نتایج را با حالت قبل مقایسه و بحث کنید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۵) مطابق شکل ۴ باتری، کلید و سیم‌پیچ را به‌طور متوالی به یکدیگر متصل کنید و سیم‌پیچ دوم را در امتداد سیم‌پیچ اول قرار دهید و دو سر آن را به گالوانومتر (یا میکروآمپرمتر) متصل کنید (به‌این‌ترتیب دو مدار الکتریکی، مستقل از یکدیگر هستند). کلید را وصل کنید، خواهید دید که عقربه گالوانومتر عبور جریان لحظه‌ای را نشان می‌دهد و پس از آن عقربه به صفر بر می‌گردد. کلید را قطع کنید، خواهید دید دوباره عقربه عبور جریانی را نشان می‌دهد که عکس جریان قبل است و پس از آن عقربه به جای خود بر می‌گردد.

مقدار جریان را در هر دو حالت (قطع و وصل) یادداشت کنید.

- سؤال ۷: علت پیدایش جریان در سیم‌پیچ دوم چیست؟ چگونه به‌وجود می‌آید؟



شکل(۴): اندازه‌گیری جریان القا شده توسط سیم‌پیچ.

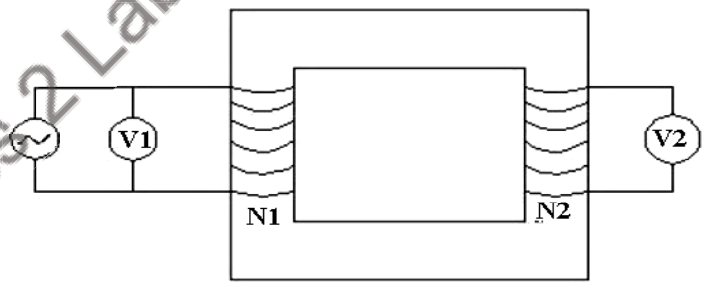
۶) دو سیم‌پیچ را به یکدیگر نزدیک کنید و آزمایش قبل را تکرار و جریان‌ها را یادداشت کنید مقدار و جهت جریان القایی چه تغییری می‌کند؟

۷) هسته آهنی را درون سیم‌پیچ دوم قرار دهید و آزمایش را تکرار کنید. چه تغییری در مقدار و جهت جریان رخ می‌دهد؟

۸) باتری را قطع نموده و سیم‌پیچ اول را به منبع تغذیه ولتاژ متناوب متصل و ولتاژ منبع را روی کم‌ترین درجه قرار دهید. جهت و مقدار جریان چگونه است؟ بحث کنید.

ب) مبدل کاهنده و افزاینده

۱) با استفاده از دو سیم‌پیچ، هسته U شکل، منبع تغذیه ولتاژ متناوب و ولت‌متر، مدار شکل ۵ را ببندید و هر دو ولت‌متر را روی حالت AC قرار دهید. به ازای هشت ولتاژ مختلفی که توسط منبع تغذیه ولتاژ متناوب اعمال می‌کنید هر دو ولتاژ اولیه و ثانویه را در جدول یادداشت کنید.



شکل(۵): اندازه‌گیری ولتاژ اولیه و ثانویه.

مبدل افزاینده	$N_1 =....$				$N_2 =....$			
$V_1(V)$								
$V_2(V)$								
$K_{21}=\frac{V_2}{V_1}$								

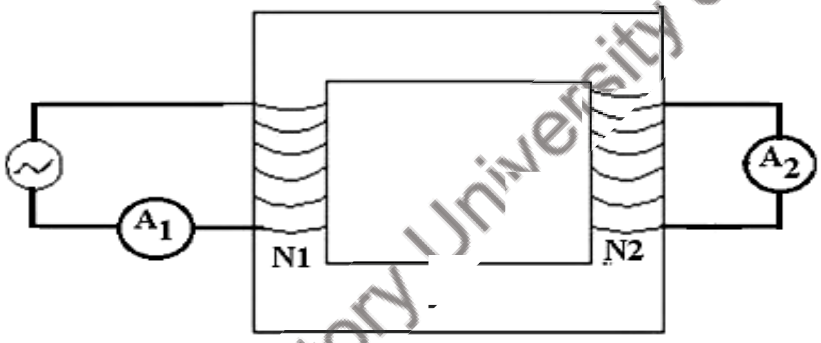
Physics 2 Laboratory University of Kashan

۲) با رسم نمودار ولتاژ ثانویه بر حسب ولتاژ اولیه و محاسبه شیب آن ضریب تبدیل را به‌دست آورید و با مقدار نظری مقایسه کنید. دلیل اختلاف چیست؟ همچنین نوع مبدل را مشخص کنید.

۳) جای دو سیم‌پیچ را عوض کنید و مراحل قبل را تکرار و نتایج را در جدول یادداشت کنید. با محاسبه شیب نمودار ضریب تبدیل و نوع مبدل را مشخص کنید.

مبدل کاهنده	$N_1 = \ldots.$			$N_2 = \ldots.$			
$V_1(V)$							
$V_2(V)$							
$K_{21} = \frac{V_2}{V_1}$							

۴) همانند شکل ۶ به‌جای ولتمترها دو آمپرمتر عقربه‌ای بصورت سری قرار دهید و به ازای هشت جریان مختلف جدول زیر را کامل کنید.



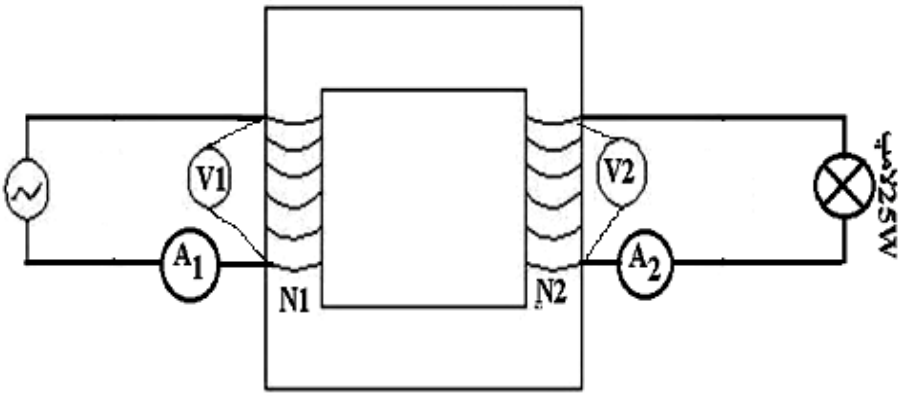
شکل(۶): اندازه‌گیری جریان اولیه و ثانویه.

مبدل افزاینده	$N_1 = \ldots.$			$N_2 = \ldots.$			
$I_1(A)$							
$I_2(A)$							
$\frac{I_2}{I_1}$							

۵) با رسم نمودار جریان ثانویه بر حسب اولیه رابطه مربوطه را تحقیق و دلیل اختلاف را بیان کنید.

۶) مصرف‌کننده (لامپ ۲۵ وات) را مطابق شکل ۷ به مدار مبدل افزاینده اضافه کنید. به ازای هشت ولتاژ مختلف جدول را کامل کنید و بازده مبدل را محاسبه نمائید. ولتمترها دیجیتالی و آمپرمترها عقربه‌ای استفاده شود.

Physics 2 Laboratory University of Kashan



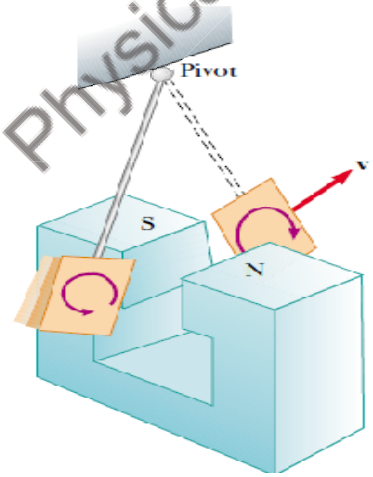
شکل(۷): اندازه‌گیری توان ورودی و خروجی

۷) با رسم نمودار توان خروجی بر حسب توان ورودی بازده مبدل را به‌دست آورید.

مبدل افزاینده	$N_1 =....$				$N_2 =....$		
$V_1(V)$							
$I_1(A)$							
$V_2(V)$							
$I_2(A)$							
$P_1 = I_1 V_1$							
$P_2 = I_2 V_2$							
$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100$							

تکالیف

۱. تلفات در مبدل‌ها به چه عواملی بستگی دارد؟
۲. چرا شیب اندازه‌گیری شده با مقدار نظری اختلاف دارد؟ این اختلاف را چگونه می‌توان توجیه کرد؟
۳. چرا هسته آهنی ترانسفورماتورها به‌صورت لایه‌لایه است؟
۴. دلیل صدای هسته‌های آهنی در هنگام انجام آزمایش چیست؟
۵. با محاسبه بیش‌ترین و کم‌ترین شیب خطای نسبی بازده را محاسبه نمائید؟
۶. جریان‌های فوکو چیست؟ کاربرد آن کدام است؟

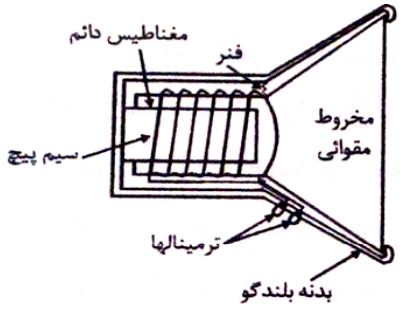


Physics 2 Laboratory University of Kashan

مطالعـه آزاد

بلندگو

یکی دیگر از کاربردهای سیم‌پیچ در بلندگو است. در شکل ۱ ساختمان داخلی یک بلندگوی دینامیک[1] مشاهده می‌شود. در این نوع با اعمال سیگنال صوتی، یک سیم‌پیچ حرکت کرده و به‌همین‌علت به آن بلندگوی دینامیک می‌گویند.



شکل (۱): ساختمان و سمبل مداری بلندگو

به سیم‌پیچ مزبور یک مخروط مقوایی متصل است که با حرکت سیم‌پیچ، مخروط مزبور حرکت کرده و صدا ایجاد می‌شود. سیم‌پیچ بلندگو بر روی یک استوانه‌ی مقوایی پیچیده شده و درون آن یک آهنربای دائم (PM)[2] استوانه‌ای شکل قرار دارد. آهنربای مزبور میدان یکنواختی در داخل سیم‌پیچ به‌وجود می‌آورد. وقتی جریان صوتی از سیم‌پیچ عبور کند میدان مغناطیسی ایجاد شده در سیم‌پیچ با میدان مغناطیسی آهنربا مخالفت رَ یا موافقت نموده و در اثر عمل موتوری سیم‌پیچ به جلو و یا عقب می‌رود. این حرکت سیم‌پیچ به مخروط مقوایی بلندگو اعمال شده و باعث فشرده‌شدن متناوب هوا می‌گردد و صدا ایجاد می‌شود.

از آنجایی که امواج شنوایی دارای محدوده‌ی فرکانسی بین ۲۰ Hz تا ۲۰ KHz هستند، بلندگوی ایده‌آل بلندگویی است که دارای پاسخ فرکانسی مزبور باشد. اما عملاً یک بلندگو نمی‌تواند پاسخ فرکانسی به این وسعت، داشته باشد به‌همین‌علت در دستگاه‌های صوتی گران‌قیمت برای بالابردن کیفیت صدا از دو یا سه بلندگو استفاده می‌شود که به‌ترتیب به ووفر[3]، میدرنج[4] و توییتر[5] مشهور می‌باشند. محدوده‌ی فرکانس‌ها تا حدود ۵۰۰Hz را ووفر از ۵۰۰ Hz تا ۸ KHz را میدرنج و ۸ KHz به بالا را توییتر پخش می‌نماید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

[1] Dynamic
[2] Permanent Magnet
[3] Woofer
[4] Midrange
[5] Tweeter

آزمایش شماره ۷

آشنایی با اسیلوسکوپ (نوسان‌نما)

اهداف

- آشنایی با طرز کار اسیلوسکوپ
- آشنایی با طرز کار مولد موج و کاربردهای آن
- اندازه‌گیری ولتاژ و فرکانس متناوب به‌وسیله اسیلوسکوپ
- اندازه‌گیری اختلاف فاز به‌وسیله اسیلوسکوپ

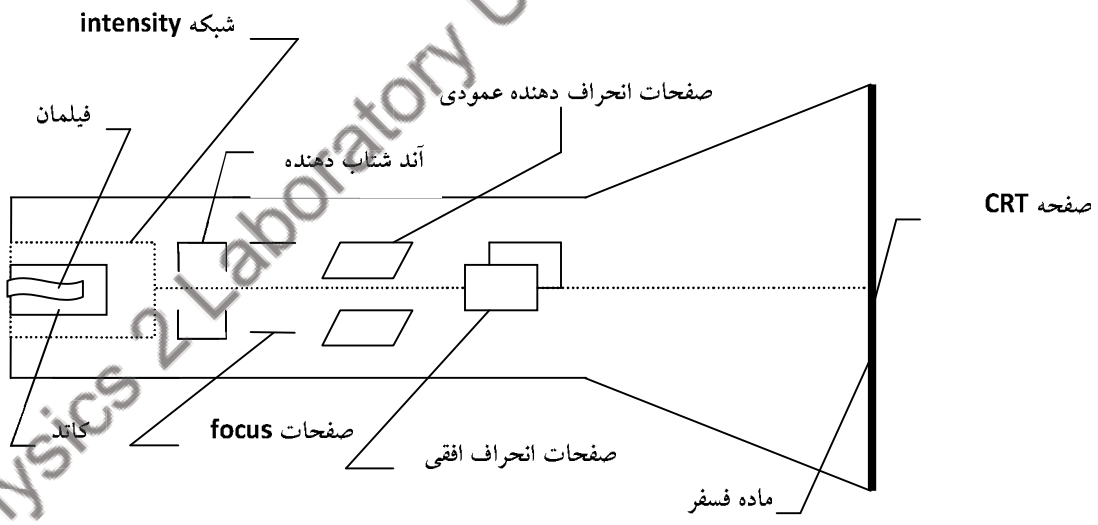
وسایل مورد نیاز

اسیلوسکوپ، مولد موج، آوومتر، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، منبع تغذیه ولتاژ متناوب، باتری و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

الف) اساس کار اسیلوسکوپ

برای به‌دست آوردن تصویر در اسیلوسکوپ از یک لامپ اشعه کاتدی یا CRT(Cathodic Ray Tube) استفاده می‌شود. شکل ۱ ساختمان داخلی یک CRT الکترواستاتیکی مخصوص اسیلوسکوپ را نشان می‌دهد.



شکل (۱): ساختمان داخلی یک اسیلوسکوپ.

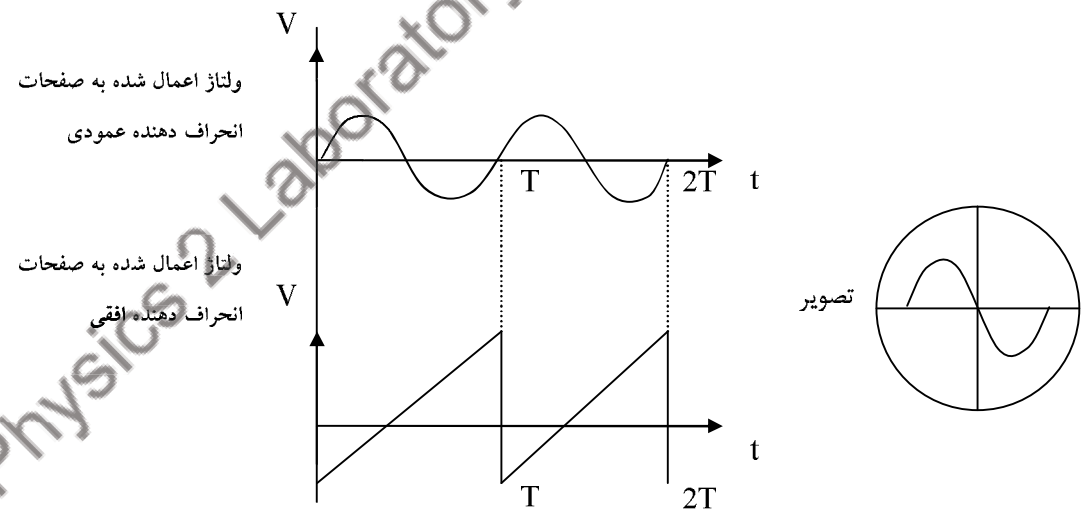
طرز کار این لامپ به‌این‌صورت است که کاتد توسط فیلامان گرم شده و الکترون‌ها از سطح آن صادر می‌شوند. الکترون‌ها توسط کاتد، شتاب داده شده و باعث رسیدن آن‌ها به صفحه CRT می‌شود. صفحه مزبور از یک ماده فسفر پوشیده شده که در اثر برخورد الکترون‌ها به آن نور تولید می‌شود. تعداد الکترون‌ها و در نتیجه شدت نور را می‌توان توسط شبکه شدت نور کنترل نمود. با منفی‌تر نمودن ولتاژ شبکه نسبت به کاتد تعداد الکترون‌های رسیده به صفحه و در نتیجه شدت نور کاهش می‌یابد. صفحات کانونی قطر شعاع الکترونی صادره از کاتد صفحه CRT را در مرکز قطع می‌نماید و در نتیجه یک لکه نورانی در مرکز صفحه ایجاد می‌شود. برای ایجاد یک منحنی متناسب با ولتاژ اعمال شده به‌وسیله اسیلوسکوپ و در نتیجه اندازه‌گیری آن، باید

Physics 2 Laboratory University of Kashan

بتوان لکه نورانی روی صفحه CRT را به‌طور مناسبی حرکت داد. برای تغییر مکان لکه نورانی، صفحات انحراف دهنده عمودی و افقی در داخل CRT تعبیه شده است. این صفحات می‌توانند لکه نورانی را در جهت افقی یا عمودی حرکت دهند. برای مثال اگر به صفحات انحراف دهنده عمودی ولتاژی داده شود که صفحات بالایی را مثبت‌تر از صفحات پائینی نماید، میدان الکتریکی ایجاد شده بین صفحات مزبور شعاع الکترونی را به سمت بالا منحرف می‌نماید و در نتیجه لکه نورانی روی صفحه نیز به بالا منحرف خواهد شد.

به‌همین‌ترتیب صفحات انحراف دهنده افقی در جهت افقی می‌توانند باعث تغییر مکان لکه نورانی شوند. برای ایجاد یک منحنی ثابت روی صفحه، شعاع الکترونی باید یک مسیر معین را روی صفحه سریعاً (بیشتر از ۱۶ بار در ثانیه) از ابتدا تا انتها طی نموده و دوباره به ابتدای مسیر برگردد و این عمل را تکرار کند. در این صورت حرکت لکه نورانی برای چشم انسان محسوس نبوده و به نظر ساکن خواهد آمد. به‌عنوان مثال فرض کنید می‌خواهیم یک ولتاژ سینوسی را روی صفحه CRT ببینیم، اگر انحراف لحظه‌ای لکه نورانی در جهت عمودی متناسب با مقدار لحظه‌ای موج سینوسی و انحراف لحظه‌ای آن در جهت افقی متناسب با زمان باشد، از ترکیب این دو انحراف واضح است که لکه نورانی یک منحنی پیوسته با موج سینوسی را روی صفحه طی خواهد نمود.

شکل ۲ چگونگی ایجاد تصویر موج سینوسی را روی CRT نشان می‌دهد. همانطور که از شکل زیر مشاهده می‌شود ولتاژ سینوسی مستقیماً به صفحات انحراف دهنده عمودی و افقی اعمال می‌شود همچنین عمل همزمان کردن در اسیلوسکوپ توسط شبکه تریگر انجام می‌شود که به‌همراه ژنراتور مبنای زمان، یک موج دندان اره‌ای همزمان با موج ورودی تولید می‌کنند. در شکل ۲ یک موج دندان اره‌ای نمایش داده شده است. اگر موج دندان اره‌ای با پریود خود موج برابر باشد یک سیکل کامل بر روی صفحه CRT دیده می‌شود، اما اگر پریود موج دندان اره‌ای بیش ازپریود موج باشد چند سیکل بر روی CRT دیده می‌شود. شکل موج موقعی بر روی صفحه ثابت خواهد بود که پریود موج دندان اره‌ای مضرب صحیحی از پریود موج باشد، در غیر این صورت تصویر ثابتی بر روی CRT ایجاد نخواهد شد و شکل موج بر روی صفحه حرکت خواهد نمود.



شکل (۲): نحوه اعمال ولتاژ به صفحات موازی.

بنابراین مسأله همزمان بودن موج دندان اره‌ای و موج ورودی برای ثابت بودن شکل موج دیده شده بر روی CRT ضروری است.

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

ب) طرز کار اسیلوسکوپ

حال که با اساس کار و ساختمان داخلی اسیلوسکوپ آشنا شدیم به چگونگی طرز کار اسیلوسکوپ می‌پردازیم:

اصولاً اسیلوسکوپ‌ها مستقل از اینکه ساخت چه کارخانه و کشوری باشند، دارای قسمت‌های مشترکی هستند. به‌این‌ترتیب که شمای ظاهری هر اسیلوسکوپی را می‌توان به هشت قسمت تقسیم نمود:

۱- پرده CRT که شکل موج خواسته شده بر روی آن نشان داده می‌شود. این صفحات دارای ده قسمت در جهت افق و هشت قسمت در جهت عمود است و هر قسمت برابر یک سانتی‌متر است.

۲- کلید روشن و خاموش و نمایانگر آن.

۳- کنترل‌های CRT که شامل دکمه‌های زیر است:

۳-۱- دکمه تغییر مکان عمودی (Vertical Position) که شکل موج را در جهت عمودی بالا و پائین می‌برد. این دکمه ممکن است به اختصار Ver.pos و یا با علامت ⇕ نشان داده شود.

۳-۲- دکمه تغییر مکان افقی (Horizontal Position) که شکل موج را در جهت افقی یا چپ و یا راست حرکت می‌دهد. این دکمه ممکن است به اختصار Hor.Pos و یا با علامت ⇔ نشان داده شود.

۳-۳- دکمه Intensity که شدت نور موج را کم و زیاد می‌کند، باید در حالتی قرار گیرد که شدت نور موج برای رؤیت کافی باشد. توجه داشته باشید که اگر این دکمه برای مدت طولانی در حالت حداکثر (منتهی الیه سمت راست در جهت عقربه‌های ساعت) قرار داده شود، به‌علت نور زیاد صفحه فسفرسانس آسیب می‌بیند. این دکمه ممکن است به اختصار با Int مشخص شود.

۳-۴- دکمه Focus به‌معنای کانونی یا تمرکز که ضخامت موج رسم شده بر روی صفحه CRT را کم و زیاد می‌کند. این دکمه باید در حالتی قرار داده شود که خطوط تصویر شده، حداقل ضخامت را داشته باشند.

۴-کنترل‌های تریگر (Trigger Contorol):

۴-۱- کلید Auto/Normal: این کلید اگر در حالت Auto باشد حتی اگر به ورودی اسیلوسکوپ موجی داده نشود، مدار داخلی اسیلوسکوپ یک موج دندان اره‌ای به صفحات انحراف افقی اعمال می‌کند و بنابراین خطی بر روی صفحه CRT که نشان دهنده‌ی آماده بودن اسیلوسکوپ است، دیده می‌شود. در حقیقت اگر فرکانس موج ورودی به اسیلوسکوپ از ۵۰Hz کمتر باشد، به‌طور اتوماتیک شبکه تریگر به‌کار افتاده و تولید موج دندان اره‌ای می‌کند. اما اگر دکمه مزبور در حالت Normal باشد فقط عمل تریگر باید به کمک موج ورودی انجام شود، این کلید باید در حالت Auto باشد. گاهی کلید مزبور (Auto/Normal) نامیده می‌شود.

۴-۲- کلید شیب (- و +) مشخص‌کننده این است که اولین نیم سیکل موج نشان داده شده مثبت و یا منفی باشد این کلید در حالت عادی باید در حالت (+) باشد. این کلید با کلمه (Slope) به‌معنی شیب مشخص می‌شود. در واقع علامت (+) به‌معنای شیب مثبت در نقطه شروع موج و علامت (-) به‌معنای شیب منفی درشروع موج است. در شکل ۳ طرز کار این کلید نشان داده شده است.

Physics 21 Laboratory University of Kashan

شکل (۳): طرز کار کلید slope

۴-۳- کلید (AC/DC/Line) یا Coupling: این کلید نحوه عمل تریگر را معین می‌کند. اگر این کلید در حالت AC باشد، عمل تریگر با مؤلفه AC و اگر در حالت DC باشد، عمل تریگر با خود موج به اضافه مؤلفه DC و اگر در حالت Line باشد، عمل تریگر با فرکانس برق شهر (۵۰ Hz) انجام می‌شود. این کلید در حالت عادی باید در حالت AC باشد. گاهی اوقات دکمه مزبور فقط حالت‌های (AC/TV) دارد که در حالت TV یک فیلتر پایین‌گذر، مؤلفه‌های فرکانس زیاد موج ورودی را حذف نموده و سپس عمل تریگر انجام می‌شود. این کلید در حالتی استفاده می‌شود که یک موج مزاحم بر روی موج اصلی مانع عمل تریگر شود.

۴-۴- کلید External/Internal و جک مربوطه: این کلید که به اختصار (Int,Ext) نامیده می‌شود، برای انتخاب عمل تریگر که می‌تواند داخلی (Int) و یا خارجی (Ext) باشد، استفاده می‌شود. در حالت تریگر خارجی باید موجی را که می‌خواهیم توسط آن تریگر انجام دهیم به جک (Ext.Trrig.Input) داده شود. در حالت عادی این کلید باید در حالت Int باشد.

۴-۵- دکمه Level: این پتانسیومتر که در حقیقت سطح برش تریگر را تغییر می‌دهد، نقطه شروع موج نشان داده شده بر روی صفحه اسیلوسکوپ را معین می‌کند و این دکمه باید در حالت وسط باشد. اگر شکل موج نشان داده شده بر روی صفحه اسیلوسکوپ حرکت کند و ثابت نباشد باید به کمک این دکمه شکل موج را ثابت نگه داشت.

۵- سلکتور Sweep Time/Div: این سلکتور، مقیاس زمان (محور افقی) را تغییر می‌دهد به‌این‌معنی‌که می‌توان توسط آن معین نمود که چند سیکل از موج بر روی صفحه اسیلوسکوپ نشان داده شود. در عین حال اطراف این سلکتور مدرج بوده و اعداد فوق، مقیاس هر تقسیم‌بندی در جهت افقی را معین می‌کنند، به‌این‌معنی‌که اگر سلکتور مثلاً در حالت ۰/۲ متر بر ثانیه باشد، هر تقسیم‌بندی در جهت افقی برابر ۰/۲ میلی ثانیه خواهد بود. گاهی این سلکتور Time/Div و یا Time/cm هم نامیده می‌شود. همچنین در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها این سلکتور دارای حالت (X-Y) می‌باشد.

اغلب اسیلوسکوپ‌ها در بخش کلیدهای وابسته به سلکتور Time/Div دارای کلید بزرگ‌نمایی در جهت افقی می‌باشند که توسط آن می‌توان مقیاس افقی را به میزان ۵ و یا ۱۰ برابر بزرگ نمود. به‌این‌ترتیب‌که در حالت عادی مقیاس افقی همان است که سلکتور Time/Div نشان می‌دهد. اما مثلاً اگر کلید مزبور در حالت بزرگ‌نمایی ۵ برابر قرار گیرد موج در جهت افقی ۵ برابر کشیده می‌شود. در واقع حساسیت افقی ۵ برابر بیشتر شده است و معادل این است که عدد نشان داده شده توسط سلکتور Time/Div به ۵ تقسیم شده است. در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها کلید بزرگ‌نمایی افقی جزئی، همان دکمه تغییر مکان افقی بوده، به‌این‌صورت‌که وقتی کلید در حالت داخل است حالت عادی بوده وقتی آن را بیرون می‌کشیم در حالت بزرگ‌نمایی قرار می‌گیرد. از کلید بزرگ‌نمایی افقی در نمایش امواج با فرکانس زیاد استفاده می‌شود.

۶-بخش عمودی:

قسمت عمودی اسیلوسکوپ شامل بخش‌های زیر است:

۶-۱- سلکتور Volt/Div: این سلکتور مقیاس ولتاژ (محور عمودی) را تغییر می‌دهد. به‌این‌معنی‌که توسط آن می‌توان ارتفاع موج را تغییر داد. در ضمن اطراف این سلکتور مدرج بوده و اعداد فوق، مقیاس هر تقسیم‌بندی را در جهت عمود معین می-

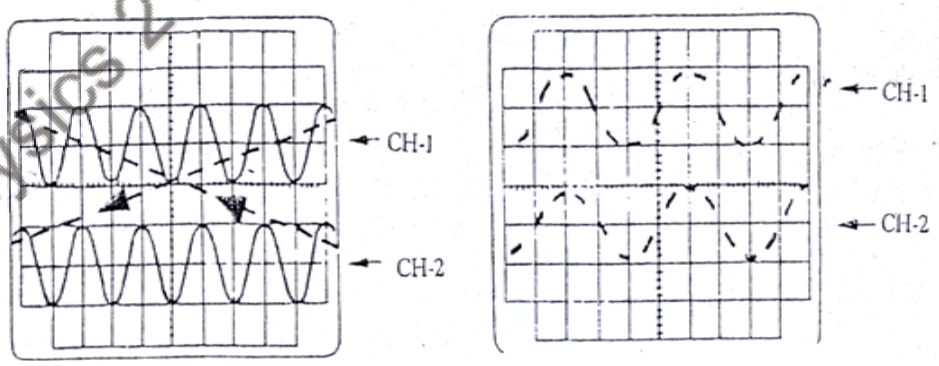
Physics 2 Laboratory, University of Kashan

کنند. مثلاً اگر سلکتور مزبور در حالت ۰/۱ v باشد، هر تقسیم‌بندی در جهت عمودی برابر ۰/۱ v خواهد بود. در رابطه با سلکتور Volt/Div مشابه آنچه در رابطه با سلکتور Time/Div گفته شد، در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها کلید بزرگ‌نمایی عمودی هم وجود دارد. به‌این‌ترتیب‌که با عمل نمودن کلید مزبور حساسیت تقویت‌کننده عمودی به میزان مثلاً ۵ برابر افزایش می‌یابد و در نتیجه نوک به نوک موج نمایش داده شده ۵ برابر بیشتر می‌شود.کلیدهای بزرگ‌نمایی عمودی برای هر کانال، مستقل بوده که معمولاً جزئی از همان کلید تغییر مکان عمودی است. از کلید بزرگ‌نمایی عمودی در نمایش امواج ضعیف استفاده می‌شود.

۶-۲- جک ورودی: جک ورودی در حقیقت ورودی عمودی اسیلوسکوپ است. برای مشاهده شکل موج، آن را به این جک می‌دهیم.

۶-۳- کلید (AC/DC/GND): این کلید اگر در حالت AC باشد، فقط مؤلفه AC نمایش داده می‌شود و مؤلفه DC حذف می‌شود. اما اگر کلید مزبور در حالت DC باشد، مؤلفه DC موج هم نمایش داده می‌شود. مواقعی که هدف، بررسی قسمت AC است کلید مزبور را در حالت AC گذارده ولی اگر بخواهیم مقدار DC موج را هم اندازه بگیریم کلید را در حالت DC می‌گذاریم. وقتی کلید را از حالت AC به حالت DC می‌بریم، مقدار ارتفاعی که شکل، بالا یا پایین می‌رود مقدار DC موج را معین می‌کند. اگر با تغییر حالت کلید، شکل موج هیچ حرکتی در جهت عمود نداشته باشد، این حالت نشان‌دهنده‌ی این است که موج دارای مؤلفه DC نیست. در حالت (GND) ورودی اسیلوسکوپ از تقویت‌کننده عمودی قطع شده و ورودی تقویت کننده مزبور هم زمین می‌شود. این حالت اغلب برای تعیین خط مبنا عمود مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً بر روی صفحه اسیلوسکوپ‌ها جک ورودی عمودی و کلید (AC/DC/GND) و دکمه (Ver.Pos) در نزدیکی هم قرار دارند. در اسیلوسکوپ‌های دو کاناله که توسط آن‌ها دو شکل موج به‌طور همزمان مشاهده می‌شود دو جک ورودی عمودی و بالطبع دو کلید (AC/DC/GND) و دو دکمه (Ver.Pos) وجود دارد. هر یک از ورودی‌های عمودی اسیلوسکوپ را یک کانال و یا به اختصار (CH) می‌نامند. بنابراین در مقابل یک جک (CH1) و در مقابل دیگری (CH2) نوشته می‌شود. در ضمن این اسیلوسکوپ‌ها دارای کلیدی به‌نام (Ver.Mode) و یا به اختصار (Mode) هستند که توسط آن می‌توان معین نمود که کدامیک از کانال‌ها (یا هر دو کانال) استفاده می‌شوند. مثلاً در مقابل کلید مزبور علامت (CH1.CH2.Dual) وجود دارد.

در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها نمایش دو موج به‌طور همزمان (حالت Dual) می‌تواند به‌صورت Alt و Chop انجام شود. در حالت Alt شعاع الکترونی، موج یک کانال را به‌طور کامل جاروب کرده و سپس قسمتی از موج، کانال دیگر را جاروب می‌کند و به موج اول بر می‌گردد و این عمل تکرار می‌شود. در شکل ۴ دو نوع جاروب chop و Alt نشان داده شده است.



شکل (۴): نمایش دو نوع جاروب

Physics 2 Laboratory University of Kashan

برای موج با فرکانس کم از حالت Chop و برای موج با فرکانس زیاد از حالت Alt استفاده می‌شود. همچنین در هر یک از حالت‌های مزبور می‌توان انتخاب نمود که عامل تریگر با موج کانال ۱ و یا با کانال ۲ انجام شود. به‌همین‌دلیل حالت‌های Chop و Alt هر یک به حالت‌های CH1 و CH2 نیز تقسیم می‌شوند.

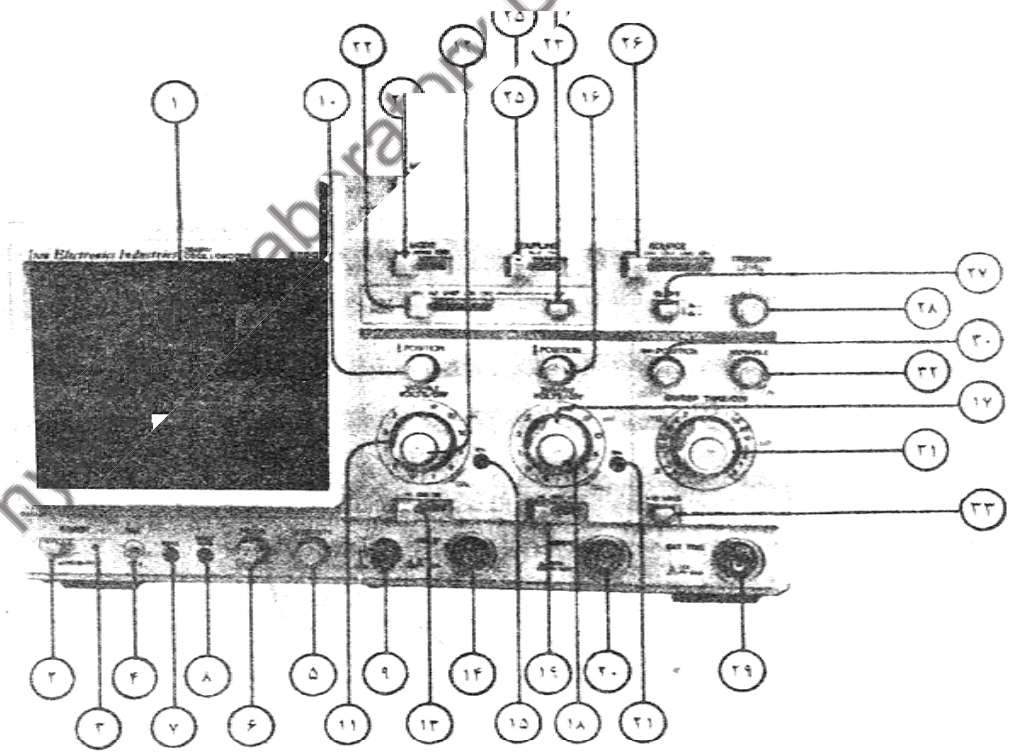
۷- بخش X-Y:

این بخش در اسیلوسکوپ‌ها شامل جک ورودی افقی اسیلوسکوپ است. البته همان‌طور که می‌دانید موقعی از جک استفاده می‌شود که اسیلوسکوپ در حالت (X-Y) باشد. به‌همین‌دلیل در اغلب اسیلوسکوپ‌ها دو کاناله دیگر جک مستقلی برای ورودی افقی در نظر گرفته نشده است، بلکه در حالت (X-Y) جک ورودی عمودی یکی از کانال‌ها به‌طور افقی (X) و جک دیگر بر روی ورودی عمودی (Y) اختصاص یافته است.

۸- بخش تنظیمات یا کالیبراسیون (Calibration):

این قسمت برای تنظیم سلکتورهای Time/Div وVolt/Div استفاده می‌شود. به‌این‌ترتیب‌که اسیلوسکوپ یک سیگنال مرجع با دامنه و فرکانس معین، برای تنظیم خود ایجاد می‌کند. اگر سیگنال مزبور به ورودی عمودی اسیلوسکوپ داده شود، می‌توان شکل آن را مشاهده نمود. در عین حال چون دامنه و فرکانس سیگنال مزبور معین است، می‌توان صحت تنظیمات سلکتورهای مزبور را تحقیق نمود. اگر مقادیر خوانده شده صحیح نبودند، نشان می‌دهد که اسیلوسکوپ از تنظیمات خارج شده است. برای تنظیم کردن سلکتورهای مزبور باید دکمه‌هایی که به رنگ قرمز بوده و معمولاً با علامت CAL و یا Variable مشخص می‌شوند را تغییر داد. جک تولیدکننده سیگنال نیز با علامت CAL مشخص می‌شود.

به‌عنوان مثال شمای ظاهری اسیلوسکوپ دو کاناله ۲۰ MHz در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل(۵): نمای ظاهری اسیلوسکوپ صاایران

Physics Laboratory, University of Kashan

۱- صفحه CRT با شماره ۱

۲- کلید روشن و خاموش (Power) با شماره ۲ و لامپ مربوطه ۳

۳- کنترل‌های CRT

-دکمه‌های تغییر مکان عمودی Position مربوط به کانال یک با شماره ۱۰

-دکمه‌های تغییر مکان عمودی Position مربوط به کانال دو با شماره ۱۶

-دکمه تغییر مکان افقی Position با شماره ۳۰

-دکمه شدت نور Intesnsity با شماره ۵

-دکمه تنظیم دانوئی Focus با شماره ۶

-پیچ آستیگمات (ASTIG) با شماره ۷. این پیچ به‌همراه دکمه تنظیم کانون، برای ایجاد واضح‌ترین نقطه گرد استفاده می‌شود.

۴- کنترل‌های تریگر

-کلید Mode (Auto/Norm/X-Y) با شماره ۲۴

-کلید شیب (- و +) Slope با شماره ۲۷

-کلید Coupling (AC/TV_F/TV_L) با شماره ۲۵

-کلید Source (VERT/CH1/CH2/Line/Ext) با شماره ۲۶

-دکمه Trigger Level، با شماره ۲۸

-جک ورودی تریگر خارجی (EXT.TRIG.Input) با شماره ۲۹

۵- سلکتور Sweep time/Div با شماره ۳۱

-کلید مستقل بزرگ‌نمایی افقی ۱۰ برابر (10 MAG×) با شماره ۳۳

۶- بخش عمودی

-سلکتور Volt/Div مربوط به کانال یک با شماره ۱۱

-سلکتور Volt/Div مربوط به کانال دو با شماره ۱۷

-جک ورودی کانال یک با شماره ۱۴

-جک ورودی کانال دو با شماره ۲۰

-کلید (AC/DC/GND) مربوط به کانال یک با شماره ۱۳

Physics 2 Laboratory University of Kashan

-کلید (AC/DC/GND) مربوط به کانال دو با شماره ۱۹

-کلید حالت عمودی Vertical mode(CH1/ALT/Chop/ADD/CH2) با شماره ۲۲

-کلید معکوس‌کننده (INV) مربوط به کانال ۲ با شماره ۲۳. این کلید در حالت بیرون سیگنال کانال۲ را عادی نمایش می‌دهد. ولی اگر دکمه را به داخل فشار دهیم، سیگنال کانال ۲ وارونه خواهد شد.

۷- بخش X-Y

در حالتی که کلید (Auto/NORMAL/XY) Mode در حالت X-Y باشد جک ورودی کانال (CH1) ورودی عمودی (محور Y) و جک ورودی کانال ۲ (CH2) ورودی افقی (محور X) خواهد بود. طبعاً سلکتورهای Volt/Div مربوط به‌ترتیب جهت تنظیمات عمودی و افقی مؤثر خواهند بود.

۸- بخش تنظیمات (کالیبراسیون CAL)

-جک مولد موج مربعی مرجع CAL با شماره ۴ که موجی با نوک به نوک ۱ ولت و فرکانس دو برابر فرکانس برق شهر (۲×۵۰Hz=۱۰۰Hz) ایجاد می‌کند.

-ترمینال زمین GND (I) با شماره ۹

-پتانسیومترهای Variable برای تنظیم سلکتورهای Dolt/Div مربوط به کانال‌های یک و دو با شماره‌های ۱۲ و ۱۸

-پتانسیومتر Variable برای تنظیم سلکتور Time/Div با شماره ۳۲

-پیچ چرخش محور افقی (Trace Rotation) با شماره ۸. توسط این پیچ، کجی محور افقی کاملاً در وضعیت افقی (خط مبنا) تصحیح می‌گردد. کجی محور افقی ممکن است در اثر میدان مغناطیسی کره زمین باشد.

-پیچ‌های کنترل بالانس (Bal-Control) مربوط به کانال‌های یک و دو با شماره‌های ۱۵ و ۲۱. به‌دلیل استفاده از دستگاه در مناطق و حرارت‌های متفاوت می‌بایستی سلکتورهای Volt/Div هر یک از دو کانال از نظر Dc بالانس شوند. با تنظیم این پیچ‌ها، می‌باید حالتی را انتخاب کرد که تغییر سلکتور Volt/Div در حالت مختلف خط افقی (Trace) هیچ تغییر مکانی در جهت عمودی نداشته باشد.

ج) ولتاژ مؤثر

یکی از تفاوت‌های اسیلوسکوپ و ولتسنج در این است که اسیلوسکوپ قادر است بستگی ولتاژ به زمان را به نمایش بگذارد، در صورتی که ولتسنج متناوب فقط مقدار مؤثر ولتاژ V_{ef} که معمولاً V_{rms} نیز نوشته می‌شود را اندازه‌گیری می‌کند. زیرنوشت V_{rms} مخفف Root Mean Square و به‌معنی ریشه دوم میانگین مربعی کمیت مورد نظر در یک چرخه کامل است.

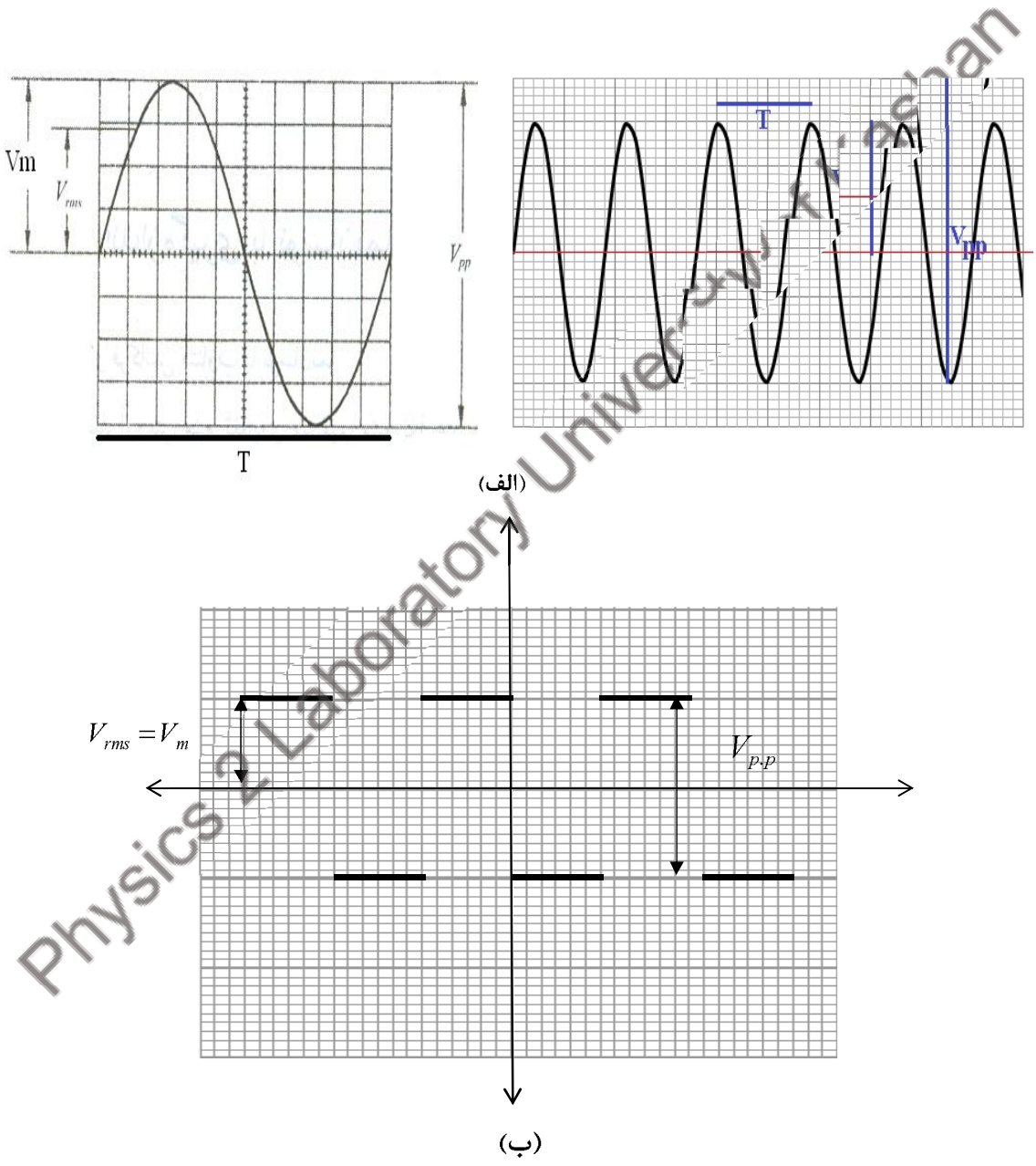
$$V_{rms} = \leq V^2 \geq^{\frac{1}{2}} = \left[\frac{1}{T}\int_0^T V^2(t)dt\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۱)$$

برای مثال اگر موج سینوسی باشد یعنی $V(t)=V_m Sin\omega t$ آنگاه ولتاژ مؤثر چنین خواهد بود:

Physics 2 Laboratory University of Kashan

$$V_{rms}=\left[\frac{1}{T}\int_0^T V_m^2\sin^2\omega t.dt\right]^{\frac{1}{2}}=V_m\left[\frac{1}{2\pi}\int_0^{2\pi}\sin^2\theta.d\theta\right]^{\frac{1}{2}}=\frac{V_m}{\sqrt{2}} \qquad (۲)$$

که در آن از $\theta=\omega t,\omega=\frac{2\pi}{T}$ استفاده شده است. اگر به اسیلوسکوپ ولتاژ سینوسی اعمال کنیم شکل موج بصورت شکل ۶ به‌دست خواهد آمد. در این شکل $V_{P.P}=2V_m$ ولتاژ نوک به نوک (پیک تو پیک) خوانده می‌شود.



Physics 2 Laboratory/ University of Tehran

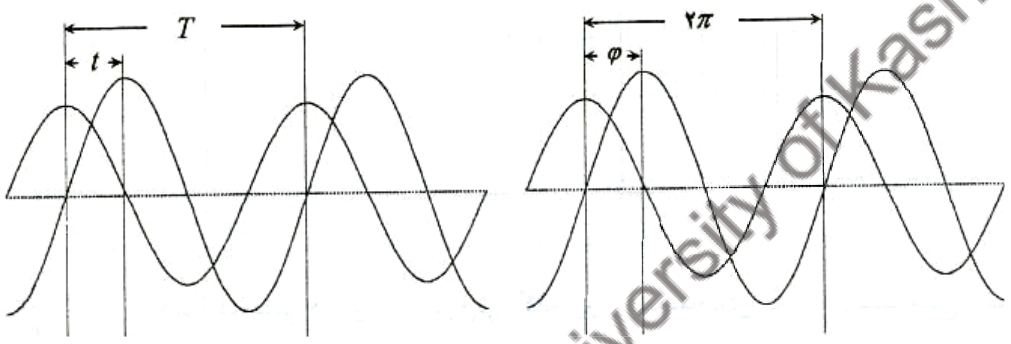
شکل(۶): الف) ولتاژ متناوب موج سینوسی در یک دوره تناوب، ب) ولتاژ متناوب موج مربعی در یک دوره تناوب.

د) اختلاف فاز دو موج سینوسی

در صورتی که دو موج سینوسی هم‌فرکانس دارای اختلاف فاز معینی باشند، برای اندازه‌گیری اختلاف فاز بین آن دو از اسیلوسکوپ استفاده می‌شود. دو روش برای تعیین اختلاف فاز وجود دارد.

۱- نمایش دوتایی امواج روی صفحه نمایش

شکل زیر نمایش دوتایی دو موج را روی صفحه اسیلوسکوپ نشان می‌دهد. از آن‌جا که یک دوره تناوب، معادل اختلاف فاز 2π است، یعنی اگر موج را به‌اندازه یک دوره تناوب جابه‌جا کنیم تغییری در شکل موج حاصل نمی‌شود.



شکل(۷): نمایش همزمان دو موج بر روی صفحه اسیلوسکوپ.

بدین ترتیب، می‌توان با استفاده از تناسب بین 2π و دوره تناوب، اختلاف فاز دو موج را به‌صورت $\phi = 2\pi \frac{t}{T}$ نوشت که در آن t فاصله زمانی دو نقطه مشابه متوالی (مانند دو بیشینه متوالی) از دو موج است.

۲- برهم نهی امواج در دو راستای عمود بر هم

معادله دو موج هم‌فرکانس با اختلاف فاز ϕ در دو راستای عمود بر هم برابر است با.

$$X = A\sin\omega t \rightarrow \frac{X}{A} = \sin\omega t$$

$$y = B\sin(\omega t + \phi) \rightarrow \frac{Y}{B} = \sin(\omega t + \phi)$$

با جمع زدن مجذور روابط بالا و پس از ساده‌سازی، معادله مسیر حرکت به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\left(\frac{X}{A}\right)^2 + \left(\frac{Y}{B}\right)^2 - \frac{2XY}{AB}\cos\phi = \sin^2\phi$$

در حالت کلی، معادله بالا معادله یک بیضی مایل است. جهت بررسی بیش‌تر، حالات زیر را در نظر می‌گیریم.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

❖ اختلاف فاز صفر: برای دو موج با $\phi = 0$ داریم:

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

$$\left(\frac{X}{A}\right)^2 + \left(\frac{Y}{B}\right)^2 - \frac{2XY}{AB} = 0 \rightarrow Y = \frac{B}{A}X$$

❖ اختلاف فاز ۹۰ درجه ($\phi = 90$):

از این‌رو در این حالت معادله مسیر، یک بیضی (افقی یا عمودی بسته به مقادیر A, B) است.

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

❖ اختلاف فاز ۱۸۰ درجه ($\phi = 180$):

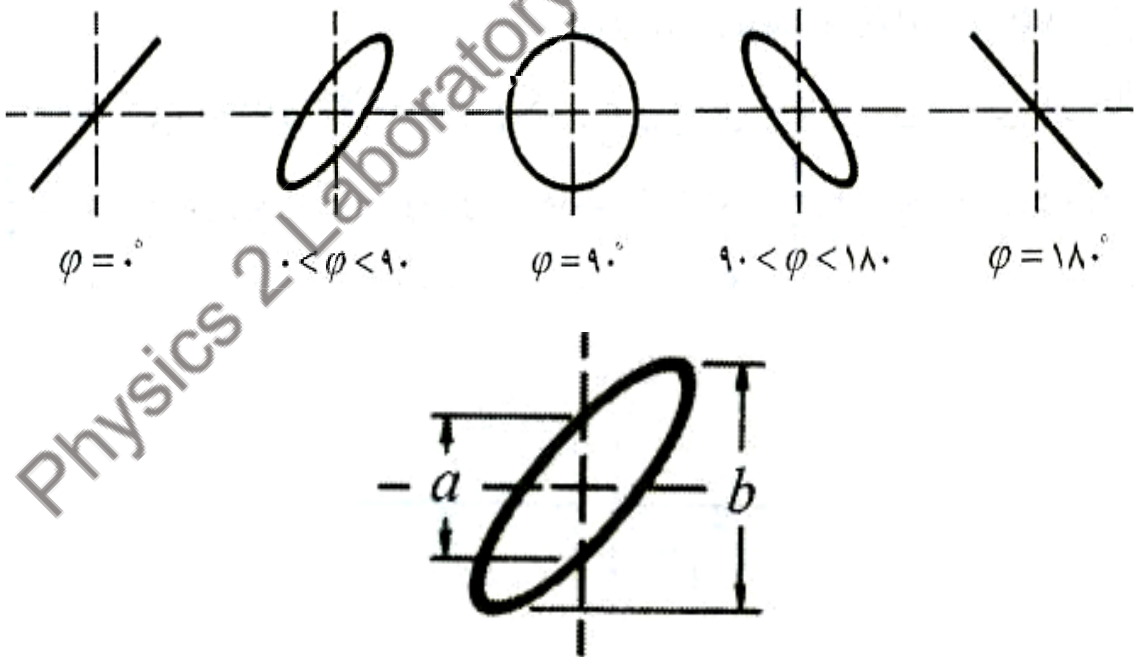
بنابراین در این حالت معادله مسیر، معادله خط با شیب منفی است.

$$\left(\frac{X}{A}\right)^2 + \left(\frac{Y}{B}\right)^2 + \frac{2XY}{AB} = 0 \rightarrow Y = -\frac{B}{A}X$$

در عمل، جهت تعیین اختلاف فاز برای حالات دیگر از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\phi = \sin^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$$

که a و b مقادیر اندازه‌گیری شده از شکل ۸ هستند.



شکل(۸): بیضی مایل با اختلاف فاز ϕ

Physics 2 Laboratory University of Kashan

نحوه انجام آزمایش

الف) اندازه‌گیری ولتاژ و فرکانس موج متناوب

۱) اسیلوسکوپ (نوسان‌نما) را روشن کنید. پس از چند لحظه لکه‌ای روی صفحه دیده می‌شود. اگر اسیلوسکوپ تنظیم شده باشد این لکه از چپ به راست حرکت می‌کند با دکمه‌های Intens و Focus شدت و کانونی بودن لکه را تنظیم کنید. شدت لکه نباید آن‌قدر زیاد باشد که روی صفحه، هاله داشته باشد. با چرخاندن کلید (جابه‌جایی در راستای قائم) لکه در راستای قائم جابه‌جا می‌شود، به‌وسیله این کلید لکه را روی خط وسط بیاورید. با چرخاندن کلید زمان بر قسمت(TIME/DIV) سرعت حرکت لکه تغییر می‌کند. وقتی سرعت حرکت لکه از حد معینی تجاوز کند، چشم قادر به دنبال کردن لکه نخواهد بود و یک خط پیوسته دیده خواهد شد.

۲) به کمک پیچ‌های تنظیم شدت (Intens) و کانونی کننده (Focus)، شدت و پهنای خط نورانی را تنظیم کنید. سلکتور زمان بر قسمت را روی ۰/۵ ms قرار دهید با این کار، پرتو کاتدی هر ۱ Cm از صفحه اسیلوسکوپ را در ۰/۵ ms می‌پیماید و به شکل یک خط مستقیم دیده خواهد شود.

۳) حال اسیلوسکوپ را روی Ac بگذارید. با این کار مؤلفه متناوب ورودی کانال ۱ به اسیلوسکوپ اعمال می‌شود. احتمال موج نامشخص را روی صفحه مشاهده خواهید کرد.

۴) حال دکمه (AC-GND-DC) را رویGND قرار دهید و خط را روی مبدأ (خط وسط) تنظیم کنید. سپس بر روی حالت AC قرار دهید و دو سر سیم رابط کانال ۱ را به دو سر یک باتری وصل کنید، چه مشاهده می‌کنید؟

۵) حال دکمه (AC-GND-DC) را روی DC قرار دهید، با این کار تمامی ورودی کانال ۱ (مؤلفه مستقیم + مؤلفه متناوب) به اسیلوسکوپ اعمال می‌شود حال چه مشاهده می‌کنید؟

۶) حال دکمه VOLT/DIV مربوط به کانال ۱ را بچرخانید چه تغییری در مکان خط پرتو کاتدی می‌بینید؟

۷) میزان تغییر فاصله یا جابه‌جایی خط نورانی را بر حسب تعداد درجات صفحه‌ی نمایش تعیین کنید(دقت کنید هر خط ریز ۰/۲ cm می‌باشد)، سپس با استفاده از رابطه زیر ولتاژ مستقیم را تعیین کنید.

مقدار ولتاژ اسمی	اندازه‌گیری ولتاژ با ولت‌متر	اندازه‌گیری ولتاژ با اسیلوسکوپ

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۸) حال مولد موج را روشن کنید و روی فرکانس ۵ KHz تنظیم کنید و دامنه آن را با ولوم ولتاژ تغییر دهید و دو سر خروجی آن را به کانال ۱ وصل کنید و V_{pp} و V_{rms} را اندازه‌گیری کنید و سپس دو سر خروجی مولد را به ولتمتر Ac وصل کنید و ولتاژ مؤثر را بخوانید و دو ولتاژ را با هم مقایسه کنید (عدد ولت بر قسمت را طوری انتخاب کنید که اندازه‌گیری با بیش‌ترین دقت انجام شود).

۰/۲×عدد ولت بر قسمت×فاصله عمودی $= V_{P.P}$

	شکل موج	تعداد خانه‌های عمودی	$V_{P.P}(V)$	$V_m(V)=\frac{V_{P.P}}{2}$	$V_{rms}(V)=\frac{V_m}{\sqrt{2}}$	$V_0(V)$ ولتمتر	$\frac{\lvert V_{rms}-V_0\rvert}{V_0}\times 100$
۱	سینوسی						
۲	سینوسی						
۳	سینوسی						
	شکل موج	تعداد خانه‌های عمودی	$V_{P.P}(V)$	$V_m(V)=\frac{V_{P.P}}{2}$	$V_{rms}(V)=V_m$	$V_0(V)$ ولتمتر	$\frac{\lvert V_{rms}-V_0\rvert}{V_0}\times 100$
۱	مربعی						
۲	مربعی						
۳	مربعی						

۹) جهت اندازه‌گیری دوره تناوب و فرکانس موج، مراحل بالا را تکرار کنید، با این تفاوت که ولتاژ را ثابت و فرکانس را تغییر دهید. در این حالت باید فاصله افقی بین دو نقطه یکسان از موج را اندازه‌گیری کنید و در ضریب زمان بر قسمت ضرب کنید تا دوره نوسان به‌دست آید و با معکوس کردن دوره نوسان، فرکانس را محاسبه کنید.

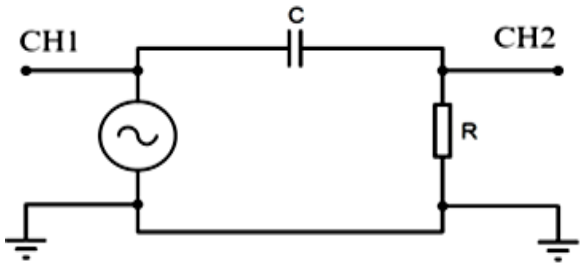
۰/۲×عدد زمان بر قسمت×فاصله افقی دو نقطه هم‌فاز $=T$

	شکل موج	$f\pm\Delta f(Hz)$ مولد موج	تعداد خانه‌های افقی	$T(s)$	$f_{Exp}=\frac{1}{T}$	$\frac{\lvert f_{Exp}-f\rvert}{f}\times 100$
۱	سینوسی	۵۰۰				
۲	سینوسی	۱۰۰۰				
۳	سینوسی	۱۵۰۰				
۴	مربعی	۳۰۰				
۵	مربعی	۸۰۰				
۶	مربعی	۱۲۰۰				

Physics 2 Laboratory University of Kashan

ب) اندازه‌گیری اختلاف فاز دو موج

۱) برای تولید دو موج غیر هم‌فاز از مدار RC استفاده می‌کنیم. بدین منظور با استفاده از یک مقاومت، خازن و مولد موج مداری مطابق شکل ۹ ببندید $C = 1(\mu F)$ و $R = 1000(\Omega)$.



شکل(۹): مدار R-C.

۲) دو سر مولد موج (اسیلاتور یا نوسان‌ساز) را به دو سر کانال ۱ و دو سر مقاومت را دو سر کانال ۲ اسیلوسکوپ متصل کنید. دقت کنید که سیم‌های مشکی هر دو کانال بدون واسطه به یکدیگر متصل شده و در نهایت به زمین مولد موج وصل شوند.

۳) اسیلوسکوپ را روشن کنید و با نمایش هر دو موج با هم اختلاف فاز را اندازه بگیرید. همچنین با انتخاب حالت X-Y اختلاف فاز را تعیین کنید و در جدول یادداشت کنید. جهت اندازه‌گیری مقادیر a و b، ابتدا باید صفر اسیلوسکوپ را تنظیم نمائید. به دو روش می‌توانید این کار را انجام دهید. یکی اینکه ولتاژ منبع مولد موج را صفر کنید و با ولوم مکانی اسیلوسکوپ، نقطه نورانی را روی مبدأ تنظیم نمائید. روش دوم اینکه هر دو کانال اسیلوسکوپ را درحالت GND قرار دهید و سپس با تغییر ولوم مکانی اسیلوسکوپ، نقطه نورانی را روی مبدأ قرار دهید.

۴) اختلاف فاز اندازه‌گیری شده را با مقدار نظری مقایسه کنید.

$R = 1000(\Omega)$, $C = 1(\mu F)$							
$f(Hz)$	t	T	$\phi_{Exp1} = 2\pi\frac{t}{T}$	a	b	$\phi_{Exp2} = \sin^{-1}(\frac{a}{b})$	$\phi_{Th} = \tan^{-1}\left(\frac{1}{2\pi fRC}\right)$
۲۵۰							
۴۰۰							
درصد خطای نسبی فرکانس			$\frac{\lvert\phi_{Exp1} - \phi_{Th}\rvert}{\phi_{Th}} \times 100$			$\frac{\lvert\phi_{Exp2} - \phi_{Th}\rvert}{\phi_{Th}} \times 100$	
۲۵۰							
۴۰۰							

تکالیف

۱. اگر موج مربعی باشد با توجه به رابطه (۱) نشان دهید ولتاژ مؤثر با دامنه موج برابر است.
۲. منظور از اسیلوسکوپ ۱۰۰MHz چیست؟
۳. فرق حالت DC و AC در کلید انتخاب چیست؟
۴. ضرایب کلید Volt /Div ، بیان کننده چیست؟
۵. نقش ولوم Level روی پانل اسیلوسکوپ چیست؟
۶. ضرایب کلید سلکتور Time /Div بیان کننده چیست؟
۷. اختلاف فاز بین ورودی و خروجی مدار RC ناشی از چیست؟
۸. کدام روش برای تعیین اختلاف فاز دقیق‌تر است؟ چرا؟
۹. آیا با استفاده از دو مولد موج می‌توان اختلاف فاز را نشان داد؟ توضیح دهید.

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

آزمایش شماره ۸

بررسی مدار R-R و R-C در جریان متناوب

اهداف

- بررسی اثر خازن و مقاومت در مدارهای جریان متناوب
- تحقیق قوانین کیرشهف در مدارهای غیر اهمی R-R و R-C
- اندازه‌گیری مقاومت ظاهری مدار
- اندازه‌گیری اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ مدار

وسایل مورد نیاز

منبع تغذیه ولتاژ متناوب، اسیلوسکوپ، مقاومت، خازن، ولت‌متر و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

الف) مقاومت در جریان متناوب:

اگر به دو سر یک مقاومت، مانند شکل ۱ اختلاف‌پتانسیل $V = V_m \sin \omega t$ اعمال شود، با استفاده از قانون دوم کیرشهف اختلاف‌پتانسیل دو سر مقاومت V_R برابر است با:

$$V_R = V_m \sin \omega t \qquad (۱)$$

شکل(۱): مدار تک حلقه R

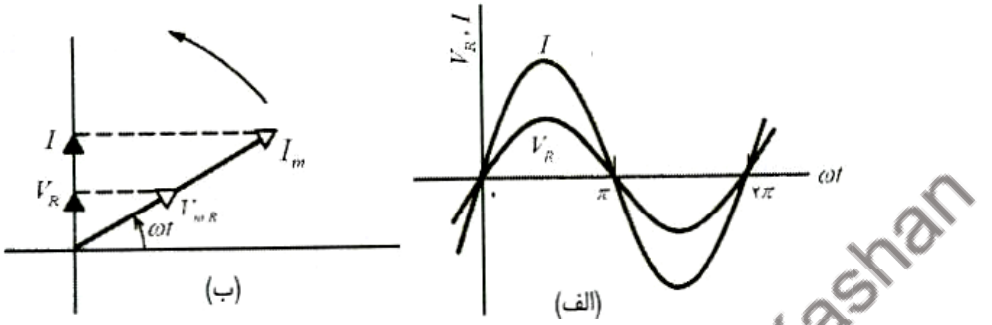
همچنین شدت جریان برابر است با:

$$I = I_m \sin \omega t = \frac{V_m}{R} \sin \omega t \qquad (۲)$$

مقایسه دو رابطه (۱) و (۲) نشان می‌دهد که اختلاف‌پتانسیل دو سر مقاومت و جریان مدار هم‌فاز هستند. به‌عبارت‌دیگر، اختلاف‌پتانسیل دو سر مقاومت و شدت جریان مدار با هم صفر می‌شوند، با هم به بیشینه مقدار خود می‌رسند و با هم تغییر جهت می‌دهند. در شکل ۲ نمودار تغییرات اختلاف‌پتانسیل دو سر مقاومت و شدت جریان مدار در یک دوره تناوب نشان داده شده است. هر چند که اختلاف‌پتانسیل کمیتی نرده‌ای است، اما در مدارهای متناوب تابع زمان و با یکدیگر اختلاف فاز دارند. لذا بطور خطی با یکدیگر جمع نمی‌شوند و از جمع برداری تبعیت می‌کنند. بنابراین از بردار فازنما (Phasor) استفاده می‌شود. مشخصات این بردار عبارتست از:

Physics 2 Laboratory University of Kashan

- طول بردار متناسب با اندازه بردار است.
- زاویه بردار با محور x فاز بردار را مشخص می‌کند.
- تصویر بردار بر محور y، اندازه بردار در آن لحظه را نشان می‌دهد.



شکل(۲): الف) نمودار ولتاژ و جریان متناوب ب) نمودار فازنما.

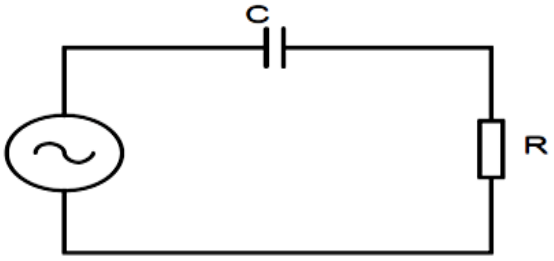
برای مدار تک حلقه R-R، اگر ولتاژ ورودی به‌صورت $V_{in} = V_m \sin \omega t$ باشد، ولتاژ خروجی برابر است با:

$$V_{in} = V_m \sin \omega t = I(R_1 + R_2) \rightarrow V_{out} = R_2 I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_m \sin \omega t \rightarrow \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \qquad (۳)$$

ب) خازن در جریان متناوب:

هنگامی که به دو سر مدار تک حلقه‌ای شامل یک مقاومت و یک خازن، ولتاژ متناوب اعمال می‌شود، خازن مقاومتی از خود نشان می‌دهد. اما در جریان مستقیم (آزمایش ۵) مشاهده شد که خازن در حالت شارژ کامل دارای مقاومت بی‌نهایت است. به‌عبارت‌دیگر جریان‌های AC بر خلاف جریان‌های DC می‌توانند از خازن عبور کنند. مقاومتی را که خازن در این حالت از خود نشان می‌دهد مقاومت ظاهری گفته و به فرکانس، جریان متناوب و ظرفیت خازن بستگی دارد. مدار شکل ۳ که شامل مقاومت R، خازن C و یک نوسان‌ساز سینوسی است را در نظر بگیرید. جریان در حال عبور از مدار برابر با آهنگ شارش بار الکتریکی ($i = \frac{dq}{dt}$) است. در نتیجه اگر جریان الکتریکی مدار را به‌صورت $I = I_m \sin \omega t$ فرض کنیم بار ذخیره شده q در لحظه t بر روی خازن چنین خواهد بود:

$$q = \int I dt = I_m \int \sin \omega t dt = -\frac{I_m}{\omega} \cos \omega t = \frac{I_m}{\omega} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \qquad (۴)$$



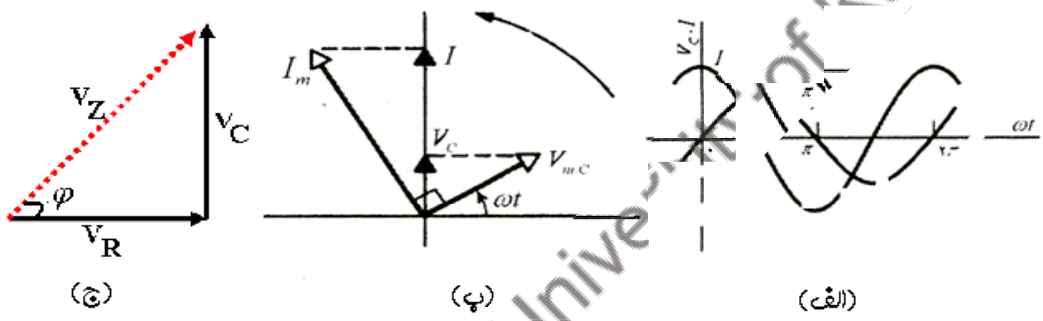
شکل(۳): مدار تک حلقه R-C

Physics 2 Laboratory University of Kashan

بدین سان ولتاژ دو سر مقاومت، V_R و ولتاژ دو سر خازن V_C چنین خواهد شد.

$$\begin{cases} V_R = IR = RI_m \sin\omega t \\ V_C = \dfrac{q}{C} = \dfrac{I_m}{\omega C}\sin(\omega t - \dfrac{\pi}{2}) = I_m X_c \sin(\omega t - \dfrac{\pi}{2}) \end{cases} \quad (۵)$$

یعنی ولتاژ دو سر مقاومت، با جریان مدار هم‌فاز است، در صورتی که ولتاژ دو سر خازن برابر است با $V_C = I_m X_C$ و به‌اندازه $\frac{\pi}{2}$ رادیان از فاز شدت جریان عقب‌تر است. همچنین رابطه (۵) نشان می‌دهد که کمیت $X_C = \dfrac{1}{C\omega}$ دارای بعد مقاومت است و آن را مقاومت ظاهری خازن (Capacitive Reactance) می‌نامند. لذا وجود اختلاف فاز سبب می‌شود که نتوان جمع عددی را بین ولتاژهای خازن و مقاومت برقرار کرد و بایستی جمع برداری را برای آن‌ها به‌کار ببریم.



شکل(۴): الف) نمودار ولتاژ-جریان با اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$، ب) نمودار فازنما، ج) جمع برداری

در شکل ۴ نمودار تغییرات شدت جریان و اختلاف‌پتانسیل دو سر خازن و بردارهای فازنما در لحظه t نشان داده شده است.

$$V_Z = \sqrt{V_C^2 + V_R^2}$$
$$\tan\varphi = \frac{V_C}{V_R} = \frac{IX_C}{IR} = \frac{1}{RC\omega} \quad (۶)$$

و مقاومت مدار (مقاومت ظاهری مدار یا امپدانس مدار) برابر خواهد بود:

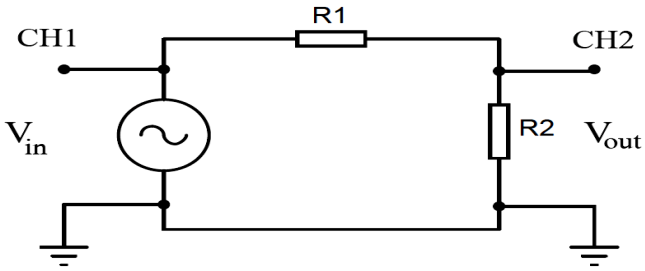
$$Z = \frac{V_Z}{I} = \frac{\sqrt{V_C^2 + V_R^2}}{I} = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{C\omega})^2} \quad (۷)$$

نحوه انجام آزمایش

الف) تحقیق و بررسی مدار R-R

۱) با استفاده از دو مقاومت، مولد موج و اسیلوسکوپ، مداری مطابق شکل ۵ ببندید $R_1 = 20(\Omega)$ و $R_2 = 10(\Omega)$ کانال یک اسیلوسکوپ را به دو سر مولد موج و کانال دو را به دو سر مقاومت وصل کنید. دقت کنید که سیم‌های مشکی هر دو کانال بدون واسطه به یکدیگر متصل شده و در نهایت به زمین مولد موج وصل شوند.

Physics 2 Laboratory University of Kashan



شکل(۵): مدار R-R

۲) مولد را روی فرکانس دلخواهی (۵۰۰ Hz) تنظیم نموده و دامنه و فرکانس هر دو کانال را اندازه گرفته و در جدول یادداشت کنید.

۳) اسیلوسکوپ را در حالت Dual قرار دهید و اختلاف فاز را اندازه بگیرید.

۴) اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار دهید، چه شکلی مشاهده می‌کنید؟ توضیح دهید.

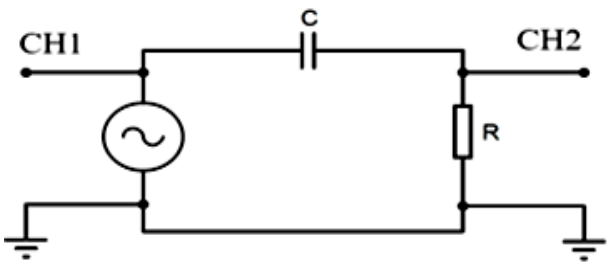
۵) با تغییر دامنه موج (پیچ Fine روی مولد موج)، ولتاژهای ورودی و خروجی را یادداشت کرده و سپس جدول زیر را کامل کنید.

R-R	$V_{in}(v)$	$V_{out}(v)$	$\frac{V_{out}}{V_{in}}$
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			
۶			

۶) با رسم نمودار $V_{out}-V_{in}$ و محاسبه شیب با توجه به رابطه $\frac{V_{out}}{V_{in}}=\frac{R_2}{R_1+R_2}$ مقدار مقاومت R_2 را محاسبه کنید و با مقدار واقعی مقایسه کنید.

ب) تحقیق و بررسی مدار R-C

۱) با استفاده از مقاومت، خازن، مولد موج و اسیلوسکوپ مداری مطابق شکل ۶ ببندید $R=500(\Omega)$ و $C=1(\mu F)$. کانال یک اسیلوسکوپ را به دو سر مولد موج و کانال دو را به دو سر مقاومت وصل کنید. دقت کنید که سیم‌های مشکی هر دو کانال بدون واسطه به یکدیگر متصل شده و در نهایت به زمین مولد موج وصل شوند.



شکل(۶): مدار R-C

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۲) مولد را روی فرکانس ۳۰۰ تنظیم نموده و دامنه هر دو کانال را اندازه گرفته و در جدول یادداشت کنید.

۳) اسیلوسکوپ را در حالت Dual قرار دهید و اختلاف فاز(ϕ_{Exp1}) را اندازه بگیرید.

۴) سپس اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار دهید و دوباره اختلاف فاز(ϕ_{Exp2}) را اندازه بگیرید. همچنین با مقدار نظری $\phi_{Th} = \tan^{-1}\left(\frac{1}{2\pi fRC}\right)$ مقایسه کنید.

۵) فرکانس مولد را تغییر دهید و با تکرار مراحل قبل جدول را کامل کنید.

R-C	$f\ (Hz)$	$V_{in}(V)$	$V_{out}(V)$	$\frac{V_{out}}{V_{in}}$	t	T	$\phi_{Exp1} = 2\pi\frac{t}{T}$	a	b	$\phi_{Exp2} = \sin^{-1}(\frac{a}{b})$	ϕ_{Th}
۱	۳۰۰										
۲	۵۰۰										
۳	۷۰۰										
۴	۱۰۰۰										
۵	۲۰۰۰										
۶	۴۰۰۰										

۶) با رسم نمودار $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ بر حسب فرکانس رابطه $\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{C^2\omega^2}}}$ را تفسیر کنید.

تکالیف

۱. مقاومت ظاهری مدار چه معنایی دارد ؟

۲. چرا در مدار R-R ، مقدار $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ به فرکانس بستگی ندارد؟

۳. چگونه می توان در مدار R-C اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را افزایش داد؟

۴. در چه فرکانسی اثر مقاومت ظرفیتی و مقاومت اهمی مدار تقریباً برابر است؟

۵. چرا اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان در مدار R-C به ۹۰ درجه نمی‌رسد؟

۶. چرا اختلاف فازهای اندازه‌گیری شده با مقدار نظری تفاوت دارند؟ چگونه می‌توان این اختلاف را کم نمود؟

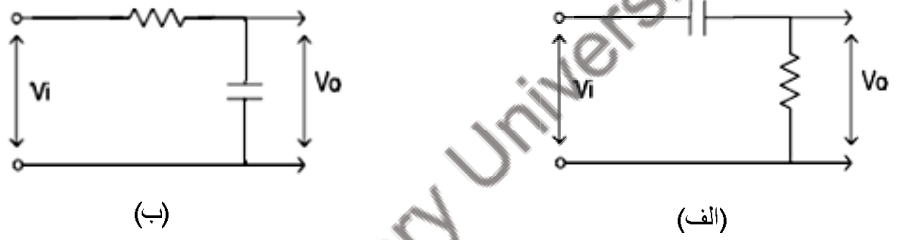
Physics 2 Laboratory University of Kashan

مطالعـه آزاد

فیلتـرها

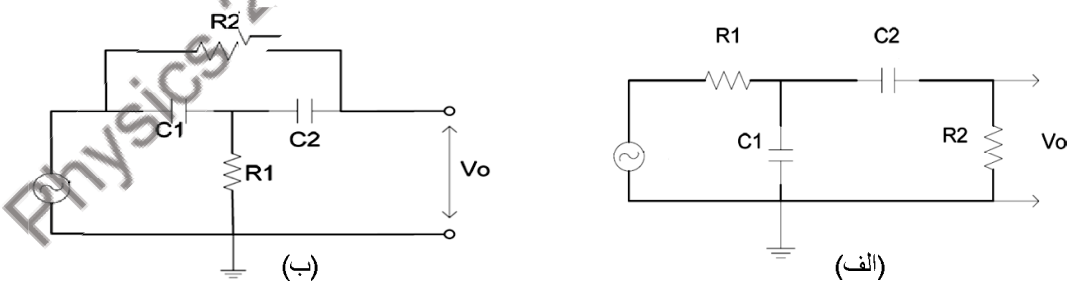
در بسیاری از مدارهای الکتریکی جریان مدار مجموعه‌ای از امواج با فرکانس‌های مختلف است. مثلاً موج صـوتی محـدوده‌ی فرکانس‌های ۲۰ Hz تا ۲۰ KHz را شامل می‌شود. به‌عبارت‌دیگر یک تقویت‌کننده‌ی صوتی مجموعـه‌ای از امـواج سینوسـی بـا فرکانس‌های ۲۰ Hz تا ۲۰ KHz را باید تقویت نماید و یا یک تقویت‌کننده‌ی رادیویی (RF) مـی‌توانـد محـدوده‌ی وسـیعی از فرکانس‌ها را تقویت نماید. در اینگونه مدارها اغلب احتیاج به مداری است که مانع عبور یک فرکانس خاص و یـا مجموعـه‌ای از فرکانس‌ها شود و در عوض فرکانس و یا فرکانس‌های خاصی را عبور دهد که اصطلاحاً به‌چنین مداری در الکترونیک فیلتر گفته می‌شود. فیلترها بر حسب عملکرد به چهار دسته‌ی اصلی تقسیم می‌شوند: فیلتر پایین‌گـذر (LPF)[1]، فیلتـر بـالاگـذر (HPF)[2]، فیلتر میان‌گذر (BPF)[3] و فیلتر میان‌نگذر(BSF)[4].

در مدار RC در صورتی که خروجی از دو سر مقاومت گرفته شود، فیلتر، بالاگذر و در صورتی که خروجی از دو سـر خـازن گرفته شود، فیلتر، پایین‌گذر است.



شکل (۱): الف) فیلتر بالاگذر، ب) فیلتر پایین‌گذر.

از ترکیب سریِ دو فیلتر بالاگذر و پایین‌گذر، یک فیلتر میان‌گذر درست می‌شود. این فیلتر بازه‌ی محدودی از فرکانس‌هـا را از خود عبور می‌دهد ولی فیلتر میان‌نگذر فیلتری است که بتواند یک محدوده فرکانسی را عبور ندهد ولـی پـایین و بـالای ایـن محدوده را عبور دهد.



شکل (۲): الف) فیلتر میان‌گذر، ب) فیلتر میان‌نگذر.

[1] Low Pass Filter
[2] High Pass Filter
[3] Band Pass Filter
[4] Band Stop Filter

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ۹
بررسی مدار R-L و R-L-C در جریان متناوب

اهداف

- بررسی اثر سلف در مدارهای جریان متناوب
- تحقیق قانون اهم در مدار سری R-L-C
- اندازه‌گیری مقاومت ظاهری مدار
- تعیین بسامد تشدید از روی منحنی پاسخ مدار R-L-C

وسایل مورد نیاز

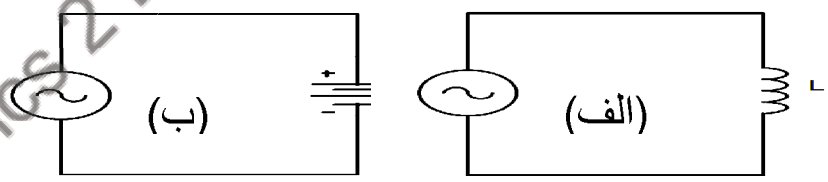
منبع تغذیه ولتاژ متناوب، اسیلوسکوپ، مقاومت، سلف، خازن، ولتمتر و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

الف) سلف در جریان متناوب و مدار R-L:

هنگامی‌که از یک سیم‌پیچ جریان الکتریکی می‌گذرد در اطراف سیم‌پیچ میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. اگر جریان الکتریکی ثابت باشد، شار مغناطیسی که از داخل سیم‌پیچ می‌گذرد ثابت بوده و سیم‌پیچ مانند یک مقاومت معمولی عمل می‌کند. اما اگر جریان الکتریکی نسبت به زمان تغییر کند شار مغناطیسی متغیری به‌وجود آمده که در سیم‌پیچ نیروی محرکه الکتریکی القا می‌کند. این نیروی محرکه طبق قانون لنز با عامل مولدش مخالفت می‌کند، در نتیجه از مقدار جریان می‌کاهد و می‌توان گفت سیم‌پیچ در مقابل جریان متغیر مقاومت بیش‌تری از خود نشان می‌دهد.

اگر به دو سر یک القاگر، مانند شکل ۱ اختلاف‌پتانسیل $V = V_m \sin \omega t$ اعمال شود و جریان در یک لحظه در حال افزایش باشد، جهت نیروی محرکه القایی با افزایش جریان مخالفت می‌کند در نتیجه القاگر همانند منبع تغذیه رفتار می‌کند که اندازه آن $\varepsilon = \left| -L \frac{dI}{dt} \right|$ می‌باشد.



شکل(۱): الف) مدار تک حلقه L، ب) مدار معادل آن.

با استفاده از قانون دوم کیرشهف اختلاف‌پتانسیل دو سر مقاومت V_R برابر است با:

$$\varepsilon = L \frac{dI}{dt} \qquad (۱)$$

Physics 2 Laboratory University of Kashan

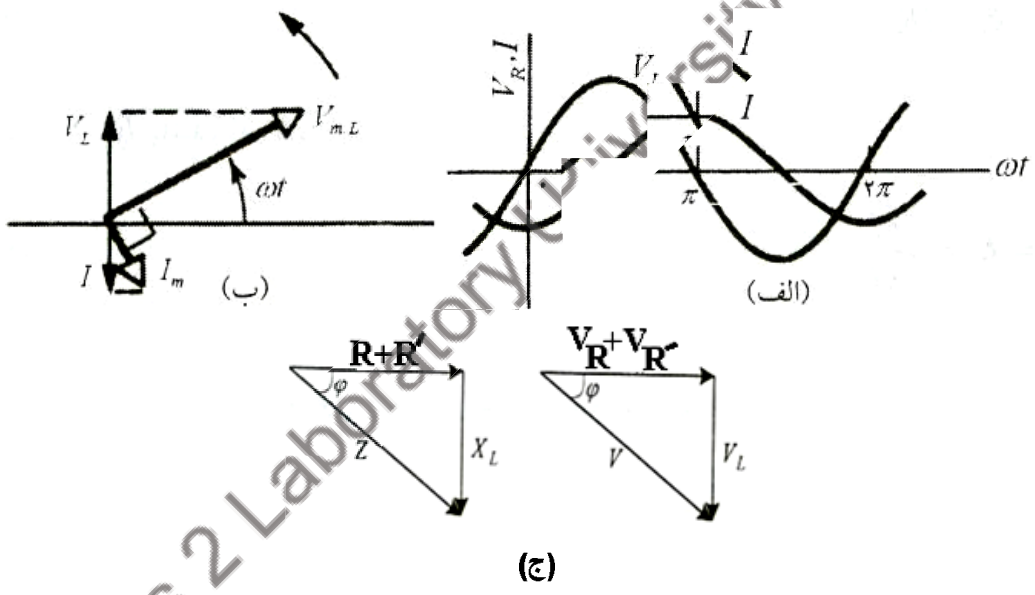
با جایگذاری داریم:

$$L\frac{dI}{dt}=V_m\sin\omega t \rightarrow dI=\frac{V_m}{L}\sin\omega t\,dt \qquad (۲)$$

با انتگرال‌گیری از معادله‌ی (۲)، شدت جریان در القاگر L به‌دست می‌آید:

$$I=-\frac{V_m}{L\omega}\cos\omega t=\frac{V_m}{X_L}\sin(\omega t-\frac{\pi}{2}) \qquad (۳)$$

این رابطه نشان می‌دهد که $X_L=L\omega$ دارای بعد مقاومت است و این کمیت را مقاومت القایی (Inductive Reactance) می‌نامند. همچنین رابطه (۳) نشان می‌دهد که فاز شدت جریان در القاگر خالص(بدون مقاومت) نسبت به اختلاف‌پتانسیل دو سر القاگر به‌اندازه $\frac{\pi}{2}$ رادیان عقب‌تر است. شکل ۲ نمودار تغییرات زمانی اختلاف‌پتانسیل دو سر القاگر و شدت جریان و نمودار فازنمای آن‌ها را نشان می‌دهد.



شکل(۲): الف) نمودار ولتاژ و جریان متناوب با اختلاف فاز $\frac{\pi}{2}$، ب) نمودار فاز نمای متناظر، ج) جمع برداری ولتاژ.

در عمل، القاگر دارای مقاومت داخلی R' است. بنابراین ولتاژ دو سر سلف دارای مقاومت داخلی را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$V_L'=R'I_m\sin(\omega t-\frac{\pi}{2})+X_LI_m\sin\omega t \Rightarrow V_L'=\sqrt{{V_{R'}}^2+{V_L}^2} \qquad (۴)$$

با در نظر گرفتن مقاومت خارجی R، ولتاژ کل به‌صورت زیر خواهد بود:

$$V_Z=\sqrt{(V_{R'}+V_R)^2+{V_L}^2} \qquad (۵)$$

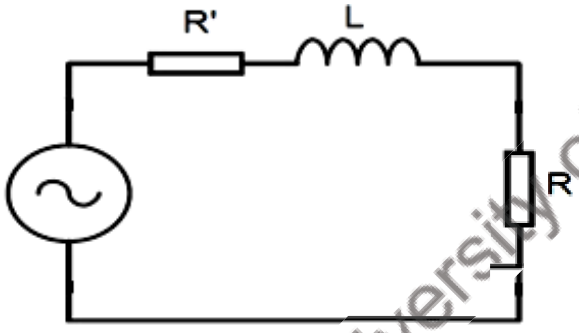
Physics 2 Laboratory (University of Kashan)

در شکل ۲ نمودار فازی القاگر به‌همراه مقاومت داخلی و خارجی ترسیم شده است. لازم به یادآوری است که جریان و ولتاژ دو سر مقاومت هم‌فاز هستند. بنابراین با توجه به شکل ۲ اختلاف فاز از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\tan\phi = \frac{V_L}{V_R + V_{R'}} = \frac{X_L}{R+R'} = \frac{L\omega}{R+R'} \qquad (۶)$$

و مقاومت ظاهری مدار برابر است با:

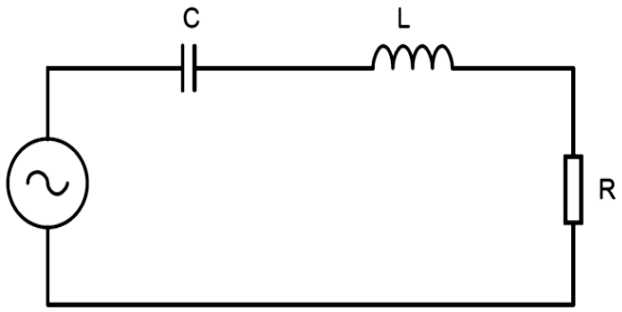
$$Z = \frac{V_Z}{I} = \sqrt{(R+R')^2 + (L\omega)^2} \qquad (۷)$$



شکل(۳): مدار تک حلقه R-L.

ب) مدار R-L-C:

هنگامی که به دو سر مدار تک حلقه شامل خازن، سیم‌پیچ و مقاومت، ولتاژ متناوب $V = V_m \sin\omega t$ اعمال شود، خازن و سیم‌پیچ مقاومتی از خود نشان می‌دهند که باعث به‌وجود آمدن جریان متناوبی می‌شود که با ولتاژ اعمال شده اختلاف فاز دارد. همانطور که در دو آزمایش قبل دیده شد، ولتاژ لحظه‌ای دو سر خودالقاگر V_L، به‌اندازه $\frac{\pi}{2}$ از جریان جلوتر و ولتاژ لحظه‌ای دو سر خازن V_C، به‌اندازه $\frac{\pi}{2}$ از جریان عقب‌تر است.



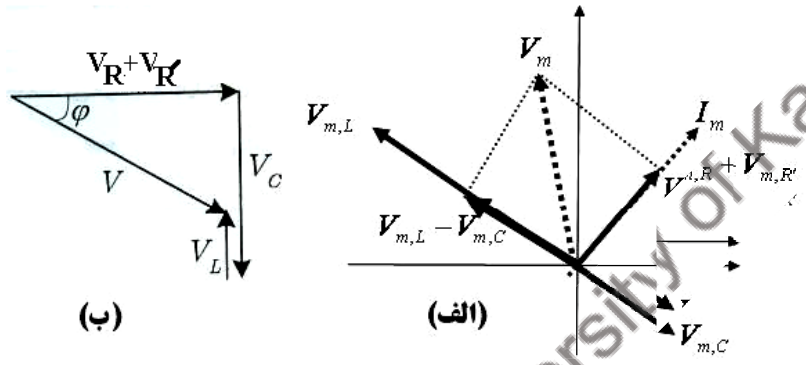
شکل(۴): مدار تک حلقه R-L-C.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

جهت محاسبه جریان و اختلاف فاز مدار از نمودار فازنما استفاده می‌کنیم. شدت جریان در مقاومت با اختلاف‌پتانسیل دو سر آن هم‌فاز است و در نتیجه، بردار فازنمای جریان منطبق بر بردار فازنمای اختلاف‌پتانسیل دو سر مقاومت است. با در نظر گرفتن دامنه ولتاژها داریم:

$$V_{m,C} = X_C I_m \quad , \quad V_{m,L} = X_L I_m \quad , V_{m,R} = R I_m \tag{۸}$$

با توجه به شکل ۵ اختلاف‌پتانسیل دامنه کل برابر است با:



شکل(۵): الف) نمودار فازنمای مدار R-L-C، ب) ترسیم نمودار فرنل مدار متناظر.

$$V_m{}^2 = (V_{m,R} + V_{m,R'})^2 + (V_{m,L} - V_{m,C})^2 \tag{۹}$$

با جایگذاری اندازه اختلاف‌پتانسیل بر حسب اندازه شدت جریان، داریم:

$$V_m = I_m \sqrt{(R+R')^2 + (X_L - X_C)^2} \tag{۱۰}$$

با مقایسه رابطه (۱۰) با قانون اهم مقاومت ظاهری مدار (Impedance) به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Z = \sqrt{(R+R')^2 + (X_L - X_C)^2} \tag{۱۱}$$

همچنین با استفاده از ترسیم فرنل، اختلاف فاز ولتاژ نسبت به شدت جریان دو سر مدار به‌صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\tan\phi = \frac{V_{m,L} - V_{m,C}}{V_{m,R} + V_{m,R'}} = \frac{X_L - X_C}{R+R'} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R+R'} \tag{۱۲}$$

در رابطه (۱۱) اگر ولتاژ دو سر خازن و سیم‌پیچ با یکدیگر برابر شوند (یا $X_L = X_C$)، مقاومت ظاهری مدار کمینه می‌شود و به‌عبارت‌دیگر جریان مدار بیشینه می‌شود و مدار در حالت تشدید قرار می‌گیرد. فرکانس تشدید از رابطه زیر قابل محاسبه خواهد بود.

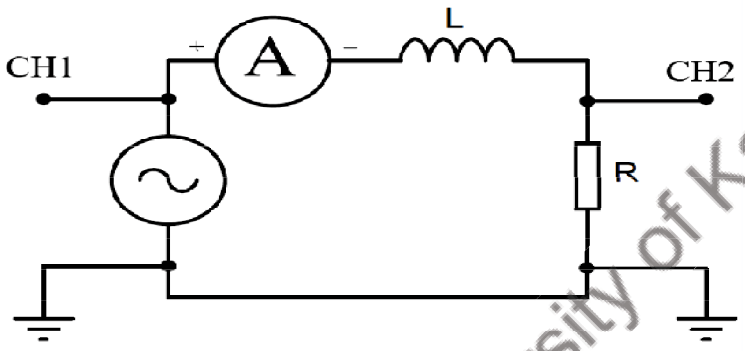
$$X_L = X_C \rightarrow L\omega = \frac{1}{C\omega} \rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{۱۳}$$

Physics 2 Laboratory University of Kashan

نحوه انجام آزمایش

الف) تحقیق و بررسی مدار R-L

۱) با استفاده از مقاومت، سیم‌پیچ، آمپرمتر عقربه‌ای، مولد موج و اسیلوسکوپ مداری مطابق شکل ۶ ببندید(مقادیر مقاومت و سیم‌پیچ در جدول مشخص شده است).کانال یک اسیلوسکوپ را به دو سر مولد موج و کانال دو را به دو سر مقاومت وصل کنید. دقت کنید که زمین هر دو دستگاه به یکدیگر متصل شوند.



شکل(۶):مدار R-L.

۲) مولد را روی فرکانس ۸۰۰Hz تنظیم نموده و شدت جریان مدار را اندازه گرفته (توجه کنید رنج آمپرمتر عقربه‌ای روی ۰/۰۰۶ قرار گیرد) و در جدول یادداشت کنید.

۳) با استفاده از ولتمتر متناوب ولتاژ دو سر مقاومت (V_R)، دو سر سیم‌پیچ ($V'_{L,Exp}$) و مولد موج (V_Z) را اندازه بگیرید و در جدول یاداشت کنید.

۴) ولتاژ نظری دو سر سلف ($V'_{L,Th}$) را از رابطه (۴) محاسبه و با مقدار تجربی مقایسه کنید.

۵) اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار دهید و اختلاف فاز(ϕ_{Exp}) را اندازه بگیرید و با استفاده از رابطه (۶) با اختلاف فاز نظری (ϕ_{Th}) مقایسه کنید.

۶) با استفاده از رابطه $\tan\varphi_{Exp}=\frac{X_{L,Exp}}{R+R'}$، مقدار تجربی مقاومت القایی مدار را به‌دست آورید.

۷) فرکانس مولد را تغییر دهید و با تکرار مراحل قبل، جدول را کامل کنید.

۸) نمودار شدت جریان بر حسب فرکانس را رسم نموده و با استفاده از روابط مربوطه، تفسیر نمائید.

۹) با رسم نمودار $X_{L,Exp}$بر حسب فرکانس و محاسبه بهترین شیب، مقدار تجربی ضریب خودالقایی را به‌دست آورید و با مقدار واقعی (اسمی) آن مقایسه کنید.

۱۰) به ازای فرکانس‌های مختلف جریان مدار را با آمپرمتر دیجیتالی اندازه بگیرید و در جدول یادداشت کنید. سپس نمودار شدت جریان بر حسب فرکانس را ترسیم و آن را تفسیر نمائید.

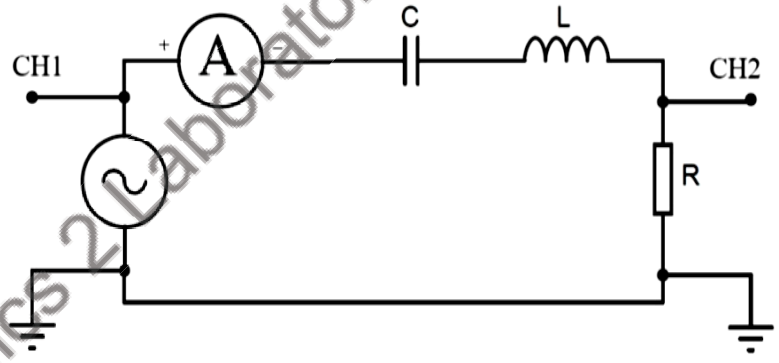
Physics 2 Laboratory University of Kashan

$R=300\Omega,\quad R'=45\Omega,\quad L=50mH$										
اندازه‌گیری						محاسبه				
	آمپرمتر	ولت‌متر			اسیلوسکوپ	$R'I$	$\sqrt{V_{R'}^2+V_L^2}$	$\tan^{-1}\left(\frac{Lw}{R+R'}\right)$	$\tan\phi_{Exp}(R+R')$	$\frac{X_{L,Exp}}{w}$
$f\ (Hz)$	$I(A)$	$V'_{L,Exp}(V)$	$V_R(V)$	$V_Z(V)$	ϕ_{Exp}	$V_{R'}(V)$	$V'_{L,Th}(V)$	ϕ_{Th}	$X_{L,Exp}$	L_{Exp}
۸۰۰										
۱۵۰۰										
$\frac{\lvert L_{Exp}-L\rvert}{L}\times 100=$										

$f\ (Hz)$	۳۰۰	۵۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۳۰۰۰	۵۰۰۰	۷۰۰۰	۱۰ K	۱۲K
$I(\mu A)$									

ب) تحقیق و بررسی مدار R-L-C

۱) با استفاده از مقاومت، خازن، سیم‌پیچ، آمپرمتر عقربه‌ای، مولد موج و اسیلوسکوپ مداری مطابق شکل ۷ ببندید و کانال یک اسیلوسکوپ را به دو سر مولد موج و کانال دو را به دو سر مقاومت وصل کنید.



شکل(۷):مدار R-L-C.

۲) مولد را روی فرکانس ۵۰۰ Hz تنظیم نموده و شدت جریان را اندازه بگیرید. همچنین با استفاده از ولت‌متر متناوب ولتاژ دو سر مقاومت (V_R)، دو سر سیم‌پیچ ($V'_{L,Exp}$)، دو سر خازن (V_C) و مولد موج (V_Z) را اندازه بگیرید و در جدول یادداشت کنید.

۳) مقدار تجربی مقاومت ظاهری مدار را از رابطه $Z=\frac{V_Z}{I}$ محاسبه کنید.

۴) اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار دهید و اختلاف فاز (ϕ_{Exp}) را اندازه بگیرید و با استفاده از رابطه (۱۲) با اختلاف فاز نظری (ϕ_{Th}) مقایسه کنید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۵) فرکانس مولد را تغییر دهید و با تکرار مراحل قبل جدول را کامل کنید.

۶) به ازای فرکانس‌های مختلف جریان مدار را با آمپرمتر دیجیتالی اندازه بگیرید و در جدول زیر یادداشت کنید. سپس با رسم نمودار شدت جریان بر حسب فرکانس، فرکانس تشدید را به‌دست آورید و با مقدار نظری آن مقایسه کنید.

$R=300\Omega,\quad R'=45\Omega,\quad L=50mH,\quad C=1\mu F$										
اندازه‌گیری							محاسبه			
	آمپرمتر	ولتمتر				اسیلوسکوپ	$\frac{V_Z}{I}$	$R'I$	$\tan^{-1}\left(\frac{Lw-\frac{1}{Cw}}{R+R'}\right)$	$\sqrt{(R+R')^2+(X_L-X_C)^2}$
$f\ (Hz)$	$I(A)$	$V'_{L,Exp}(V)$	$V_R(V)$	$V_C(V)$	$V_Z(V)$	ϕ_{Exp}	Z_{Exp}	$V_{R'}(V)$	ϕ_{Th}	Z_{Th}
۵۰۰										
۱۰۰۰										
$\frac{\lvert Z_{Exp}-Z_{Th}\rvert}{Z_{Th}}\times 100=$										

$f\ (Hz)$	۴۰۰	۴۴۰	۴۸۰	۵۰۰	۵۵۰	۶۰۰	۶۵۰	۷۰۰	۷۵۰	۸۰۰	۸۵۰	۹۰۰	۹۵۰	۱۰۰۰
$I(\mu A)$														

تکالیف

۱. در چه فرکانسی اثر مقاومت القایی و مقاومت اهمی مدار تقریباً هم اندازه است؟

۲. چرا اختلاف فاز در مدار R-L به ۹۰ درجه نمی‌رسد؟

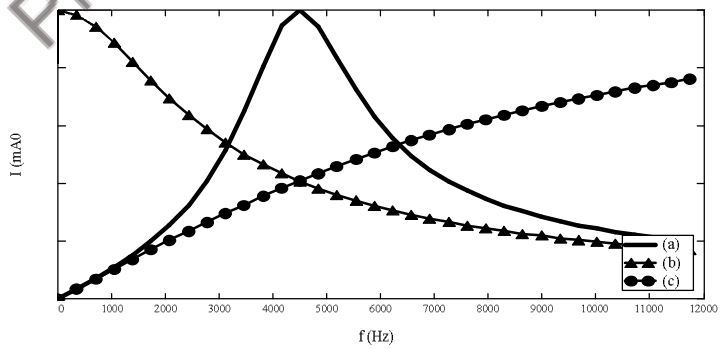
۳. چرا در هر دو آزمایش اختلاف فاز تجربی و نظری با یکدیگر تفاوت دارند؟ چگونه می‌توان این اختلاف را کم نمود؟

۴. اثر خازن و القاگر را در فرکانس‌های بیش‌تر و کم‌تر از تشدید، تفسیر نمائید.

۵. مقدار اهمی مقاومت در نمودار جریان بر حسب فرکانس چه دخالتی دارد؟

۶. دانستن فرکانس تشدید مدارها چه کاربردی دارند؟ تحقیق کنید.

۷. در شکل زیر تغییرات جریان بر حسب فرکانس برای مدارهای R-L، R-C و R-L-C در یک نمودار رسم شده است. نوع مدار را بر روی شکل مشخص نمائید.



Physics 2 Laboratory University of Kashan

مطالعـه آزاد

مدار R-L-C موازی

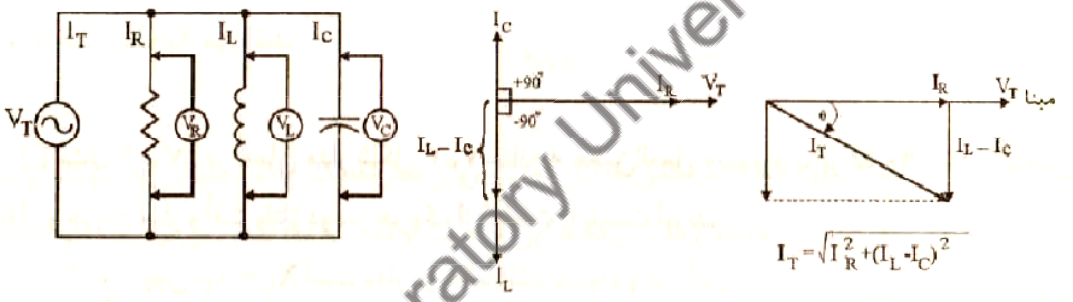
در شکل ۱ مدار R-L-C موازی به‌همراه دیاگرام‌های برداری مربوطه نشان داده شده است. در مدار موازی ولتاژ شاخه‌ها با هم مساوی و برابر ولتاژ ورودی است.

$$V_T = V_R = V_C = V_L$$

از انجا که مدار موازی است، ولتاژ ورودی به‌عنوان محور مبنا نشان داده شده است و جریان سیم‌پیچ ۹۰ درجه عقب‌تر و جریان خازن ۹۰ درجه جلوتر از ولتاژ ورودی می‌باشد. مقدار جریان هر شاخه طبق قانون اهم به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

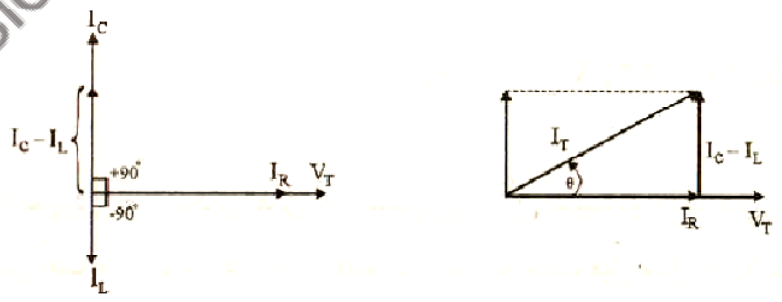
$$I_R = \frac{V_T}{R}, I_L = \frac{V_T}{X_L}, I_C = \frac{V_T}{X_C}$$

و جریان کل از جمع برداری سه جریان مزبور به‌دست می‌آید:



شکل (۱): مدار R-L-C موازی و دیاگرام برداری

در مدار مزبور فرض بر این است که I_L بزرگتر از I_C است. بنابراین چنانکه مشاهده می‌شود جریان کل I_T از ولتاژ ورودی عقب‌تر بوده و بنابراین مدار سلفی است. چنانچه جریان I_C بزرگتر از I_L باشد، دیاگرام برداری به‌صورت شکل زیر خواهد بود. در این حالت جریان کل I_T از ولتاژ ورودی جلوتر بوده و بنابراین مدار خازنی است.



شکل (۲): دیاگرام برداری R-L-C موازی در حالت I_C بزرگتر از I_L.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ۱۰

تعیین ضریب خودالقایی سیم‌پیچ استوانه‌ای

هدف

- تعیین ضریب خودالقایی سیم‌پیچ استوانه‌ای

وسایل مورد نیاز

انواع سیم‌پیچ‌های القایی، مولد موج، اسیلوسکوپ، خازن‌های $C = 1nF$ و $C = 470\,pF$ و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

هنگامی‌که یک جریان قوی I از یک سیم‌پیچ استوانه‌ای با طول l و سطح مقطع $A = \pi r^2$ و تعداد دور N عبور کند، یک میدان مغناطیسی در سیم‌پیچ ایجاد می‌شود. برای سیم‌پیچ ایده‌آل ($r \langle\langle l$) میدان مغناطیسی یکنواخت است و اندازه آن با استفاده از قانون آمپر به‌صورت زیر است:

$$B = \mu\, nI = \mu\, \frac{N}{l} I \qquad (۱)$$

که در این رابطه، μ ثابت تراوایی مغناطیسی محیط است. با توجه به اینکه میدان موازی با محور سیم‌پیچ است شار مغناطیسی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\phi = BA\cos(0) \qquad (۲)$$

هنگامی‌که شار مغناطیسی تغییر کند، یک ولتاژ بین دو سر سیم‌پیچ اعمال می‌شود که بر اساس قانون القای فارادی به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$V = -N\frac{d\phi}{dt} = -N\frac{d\phi}{dI}\frac{dI}{dt} = -N\frac{\phi}{I}\frac{dI}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \qquad (۳)$$

در نتیجه ضریب خودالقایی به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$L = \mu A\frac{N^2}{l} = \mu\pi\frac{N^2 r^2}{l} \qquad (۴)$$

بنابراین ضریب خودالقایی رابطه (۴) فقط برای سیم‌پیچ‌های ایده‌آل برقرار است. در عمل ضریب خودالقایی سیم‌پیچ‌ها ($r \langle l$) به‌وسیله رابطه تجربی زیر محاسبه می‌شود:

$$L = 2.1\times10^{-6} N^2 r\left(\frac{r}{l}\right)^{\frac{3}{4}} \qquad (۵)$$

اگر سیم‌پیچ با یک خازن و مولد موج به‌صورت موازی بسته شوند، با در نظر گرفتن ظرفیت خازن داخلی اسیلوسکوپ فرکانس تشدید از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

Physics 2 Laboratory University of Kashan

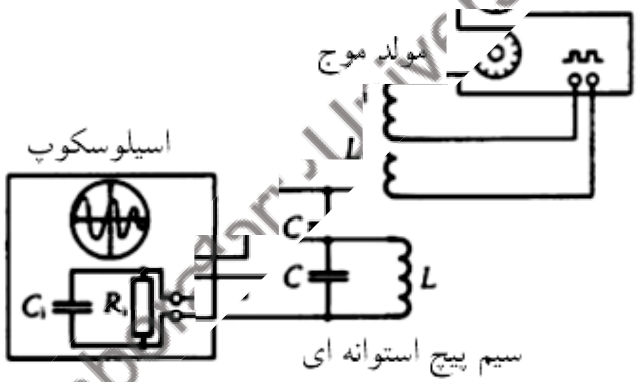
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{tot}}} \quad ,C_{tot} = C + C_{Osc} \tag{۶}$$

که C_{Osc} ،Cبه‌ترتیب ظرفیت خازن معلوم و ظرفیت خازن ورودی اسیلوسکوپ می‌باشند. مقاومت‌درونی اسیلوسکوپ یک اثر میرایی و افت بر روی نوسان می‌گذارد و موجب یک تغییر ناچیز در فرکانس تشدید می‌شود. بنابراین ضریب خودالقایی از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$L = \frac{1}{4\pi^2 f_0^{\,2} C_{tot}} \tag{۷}$$

نحوه انجام آزمایش

۱) جعبه خازن را روی $C = 1nF$ تنظیم نمائید و آن را به‌صورت موازی به سیم‌پیچ متصل کنید، سپس همانند شکل ۱ دو سر آن‌ها را به اسیلوسکوپ متصل کنید. سپس سیم‌پیچ مربعی($N = 300, 2r = 40mm, l = 170mm$) را به مولد موج متصل کنید و رنج فرکانس را کیلوهرتز و ولتاژ آن را بیشینه انتخاب نمائید. هر دو دستگاه را روشن کنید و شکل موج القایی در سیم‌پیچ استوانه‌ای را مشاهده کنید.



شکل(۱): مدار تعیین ضریب خودالقایی سیم‌پیچ استوانه‌ای.

۲) با تغییر فرکانس مولد موج و مشاهده ولتاژ القایی بر روی اسیلوسکوپ، زمانی که ولتاژ بیشینه می‌شود، فرکانس تشدید را از روی مولد موج یادداشت کنید. همچنین می‌توان با محاسبه دوره تناوب از روی اسیلوسکوپ فرکانس تشدید را اندازه‌گیری کرد و سپس با استفاده از رابطه (۷) ضریب خودالقایی سیم‌پیچ را محاسبه کنید.

۳) مراحل قبل را برای هفت سیم‌پیچ تکرار و نتایج را در جدول یادداشت کنید.

۴) مراحل قبل را با خازن $C = 470\,pF$ تکرار و نتایج را در جدول یادداشت کنید.

۵) با رسم نمودار $L - N^2$ به ازای شعاع و طول ثابت و محاسبه بهترین شیب، رابطه (۵) را تحقیق کنید.

۶) همچنین با محاسبه بهترین شیب از نمودارهای $L - r^{\frac{7}{4}}$ به ازای N و l ثابت و $\frac{L}{N^2} - l^{\frac{-3}{4}}$ به ازای r ثابت، رابطه (۵) را تحقیق کنید.

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

جدول عملی				
شماره سیم‌پیچ	$C=1nF$		$C=470pF$	
	$f_0(Hz)$	$L_{Exp}(H)$	$f_0(Hz)$	$L_{Exp}(H)$
۱				
۲				
۳				
۴				
۵				
۶				
۷				

جدول تئوری				
شماره سیم‌پیچ	N	$2r(mm)$	$l(mm)$	$L_{Th}=(2.1\times10^{-6})N^2r(\frac{r}{l})^{\frac{3}{4}}$
۱	۳۰۰	۴۰	۱۷۰	
۲	۳۰۰	۳۲	۱۷۰	
۳	۳۰۰	۲۵	۱۷۰	
۴	۲۰۰	۴۰	۱۱۵	
۵	۱۰۰	۴۰	۶۰	
۶	۱۵۰	۲۵	۱۷۰	
۷	۷۵	۲۵	۱۷۰	

Physics 2 Laboratory University of Kashan

تکالیف

۱. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۲. چرا ضریب خودالقایی با تغییر خازن کمی تغییر می‌کند؟

۳. چگونه می‌توان دقت آزمایش را بالا برد؟

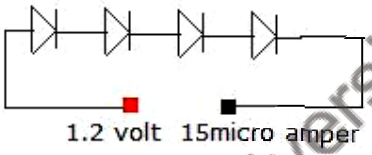
۴. چه روش‌های دیگری برای تعیین ضریب خودالقایی سیم‌پیچ وجود دارد؟ توضیح دهید.

مطالعـه آزاد

ساختن سلول خورشیدی با استفاده از دیود یکسوساز n4001

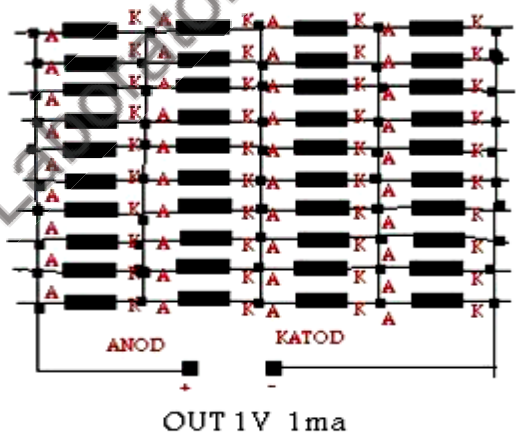
دیود تشکیل شده است از دو لایه از جنس سلیسیم با نیمرساناهای نوع n و p که دقیقاً همان ساختمان سلول‌خورشـیدی را داراست. با تابش نور خورشید، فوتون به اکسایتون تبدیل می‌شود و باعث تولید الکتـرون‌هـای آزاد مـی‌شـود و پـس از ترابـرد و انتقال بار، جریان الکتریکی به‌وجود می‌آید.

دیودها را با دقت به‌صورت افقی از وسط با انبردست یا سیم‌چین دو نیم کنید به‌طوری‌که هسته‌ی آن آسـیب نبینـد، حـال با قراردادن طرف باز دیود رو به آفتاب مستقیم و وصل‌کردن ولتمتر به دو سر دیود شاهد ولتاژی درحدود ۳۰۰ میلی‌ولت (سـه دهم ولت) و جریانی در حدود ۲۵ میکروآمپر خواهید بود. برای به‌دست‌آوردن ولتاژ بیش‌تر باید چند دیود با رعایت قطـب‌هـا بـا هم سری شوند.



شکل(۱): سری کردن دیودها.

همچنین برای به دست‌آوردن جریان بیش‌تر باید دیودها را مانند شکل ۲ از ترکیب سری و موازی استفاده نمود.



شکل(۲): ترکیب سری و موازی دیودها.

ازاین نوع باتری خورشیدی مواقعی استفاده می‌شود که به جریان زیادی نیاز نباشد مثل یک ماشین حساب که با ۱ میلی-آمپر کار می‌کند. لذا برای دستیابی به این جریان دست، حداقل به ۴۰ الی ۷۰ دیود کوچک نیاز است (ولتاژ ۱/۵ ولت و جریان ۱ میلی‌آمپر).

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ۱۱

تعیین ضریب گذردهی خلأ

هدف

- اندازه‌گیری ضریب گذردهی خلأ

وسایل مورد نیاز

مولد موج، اسیلوسکوپ، جعبه مقاومت، خازن $C = 15\,nF$، سیم‌پیچ(القاگر)، خازن تخت (دو صفحه موازی) و سیم‌های رابط.

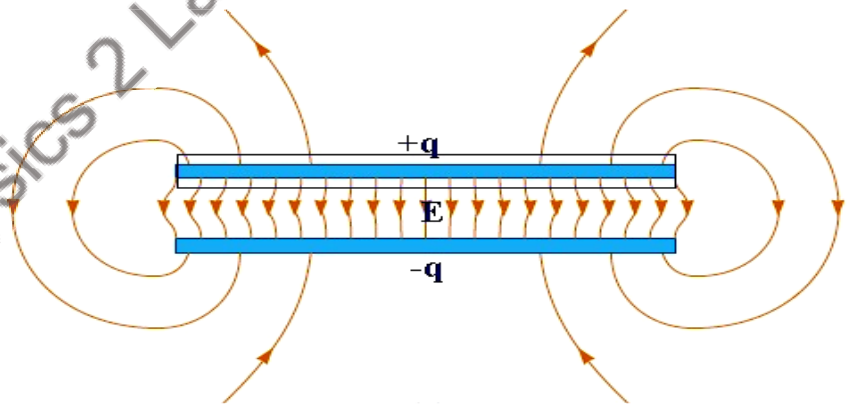
زمینه نظری آزمایش

اگر دو صفحه خازن تخت به‌اندازه‌ی کافی بزرگ و نزدیک به یکدیگر باشند، می‌توان از اثرات لبه‌ای میدان الکتریکی صرف‌نظر نمود و میدان الکتریکی در سراسر حجم بین دو صفحه را ثابت در نظر گرفت. برای محاسبه ظرفیت خازن از رابطه $q = CV$، ابتدا با استفاده از میدان الکتریکی، اختلاف‌پتانسیل بین دو صفحه تعیین و سپس ظرفیت محاسبه می‌شود. بنابراین اگر مطابق شکل ۱، یک سطح گاوسی به مساحت A در نظر بگیرید که فقط بار q روی صفحه مثبت وجود داشته باشد با استفاده از قانون گاوس داریم:

$$\oint_S \vec{E}.d\vec{s} = \frac{q_{in}}{\varepsilon} \rightarrow q = \varepsilon E A \qquad (۱)$$

همچنین با استفاده از تعریف اختلاف‌پتانسیل بین صفحات داریم

$$\Delta V = V = -\int_{-}^{+} \vec{E}.d\vec{l} = E\int_0^d dl = Ed \qquad (۲)$$



شکل(۱): میدان الکتریکی و سطح گاوسی در خازن تخت.

در نهایت با استفاده از رابطه $q = CV$، مقدار ظرفیت خازن قابل محاسبه است:

Physics 2 Laboratory University of Kashan

$$C = \frac{q}{V} = \varepsilon \frac{A}{d} = K\varepsilon_0 \frac{A}{d} \quad (۳)$$

در این رابطه، ε_0 ثابت گذردهی خلأ، A مساحت هر صفحه، d فاصله بین دو صفحه و K ثابت دی‌الکتریک عایق بین دو صفحه می‌باشد. بنابراین ظرفیت خازن فقط به شکل هندسی و جنس دی‌الکتریک (عایق) بین دو صفحه بستگی دارد. همچنین ثابت دی‌الکتریک خلأ برابر با یک است و برای هوا اندکی از یک بیش‌تر است (مثلاً۱/۰۰۰۱). در معادله (۳) مقدار ثابت گذردهی خلأ برابر با مقدار زیر است:

$$\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}\frac{C^2}{N.m^2} = 8.85\times10^{-12}\frac{F}{m} \quad (۴)$$

جهت محاسبه این ثابت (ε_0) از رابطه تشدید مدار RLC بهره می‌جوئیم. همانطور که در آزمایش ۱۱ مشاهده کردید، اگر یک خازن با ظرفیت معلوم C_0 با القاگری با ضریب خودالقایی L در یک مدار تک حلقه‌ای RLC قرار بگیرند، فرکانس تشدید از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_0}} \quad (۵)$$

حال اگر خازن تخت دیگری با ظرفیت C را به خازن C_0 موازی کنیم، ظرفیت معادل برابر با $C_t = C_0 + C$ و همچنین فرکانس تشدید برابر است با:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_t}} \quad (۶)$$

با استفاده از روابط (۵) و (۶) و حذف L و ارتباط فرکانس و دوره تناوب ($f = \frac{1}{T}$) داریم:

$$\frac{f_0}{f} = \frac{T}{T_0} = \sqrt{\frac{C_t}{C_0}} = \sqrt{1+\frac{C}{C_0}} \quad (۷)$$

بنابراین ظرفیت خازن تخت C بر حسب دوره نوسان قبل و بعد از اتصال به خازن C_0 به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C = C_0\left[\left(\frac{T}{T_0}\right)^2 - 1\right] \quad (۸)$$

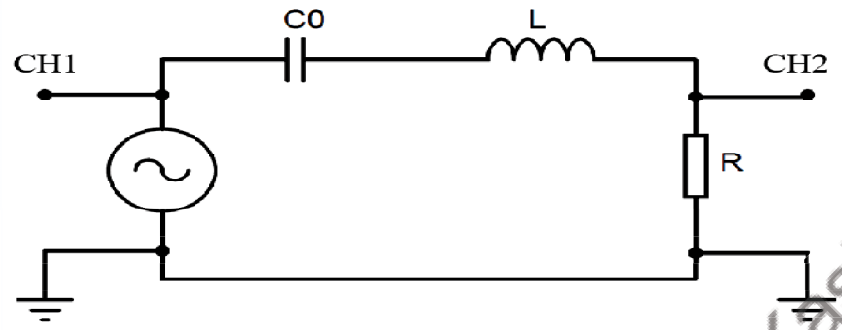
با جایگذاری رابطه (۳) در رابطه (۸)، مقدار ثابت گذردهی خلأ قابل محاسبه است.

$$\varepsilon_0 = \frac{d}{KA}C_0\left[\left(\frac{T}{T_0}\right)^2 - 1\right] \quad (۹)$$

Physics 2 Laboratory University of Kashan

نحوه انجام آزمایش

۱) جعبه مقاومت را بر روی مقاومت ۳۰۰ اهمی تنظیم کنید و با استفاده از یک سیم‌پیچ ($L = 50mH$) و خازن ($C = 15nF$) مدار RLC را مطابق شکل ۲ ببندید.



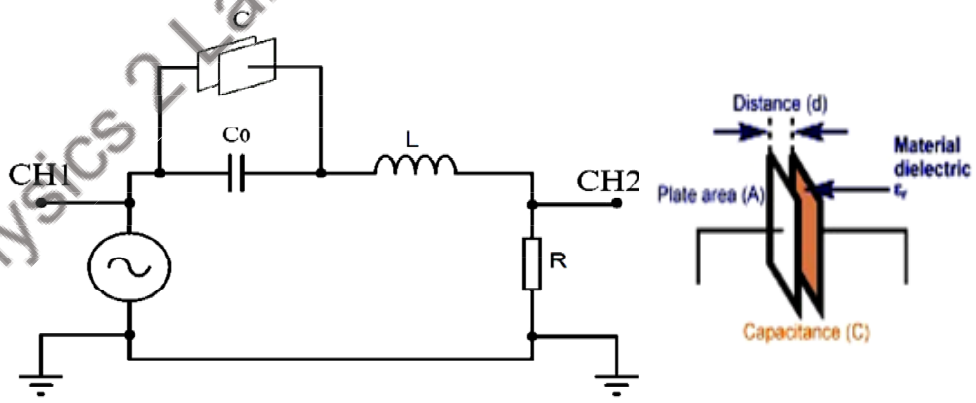
شکل(۲): مدار تعیین ضریب گذردهی خلأ.

۲) مطابق شکل، دو سر مولد موج را به کانال ۱ و دو سر مقاومت را به کانال ۲ اسیلوسکوپ متصل کنید. دقت نمائید تا زمین هر دو کانال به یکدیگر متصل باشند. سپس اسیلوسکوپ را در حالت XY قرار دهید.

۳) با تغییر فرکانس مولد موج، بیضی تشکیل شده را به خط تبدیل نمائید و سپس دوره تناوب موج (T_0) حاصل را با تغییر حالت اسیلوسکوپ به حالت CH1 اندازه بگیرید. جهت کاهش خطای اندازه‌گیری فاصله بین چند قله (مثلا 3T یا 4T) را اندازه گرفته و سپس دوره نوسان را محاسبه نمائید.

۴) یک صفحه شیشه به ضخامت ۲ میلی‌متر را بین دو صفحه فلزی خازن قرار دهید و با فشار دادن اهرم آن شیشه را ثابت کنید.

۵) خازن تخت با دی‌الکتریک شیشه را مطابق شکل ۳ با خازن C_0 به‌صورت موازی ببندید. سپس با تغییر فرکانس مولد موج دوباره مدار را در حالت تشدید قرار دهید. همانند قبل دوره تناوب مرج (T) را اندازه بگیرید.



شکل(۳): موازی کردن خازن تخت با خازن C_0.

۶) با استفاده از رابطه (۹) ثابت دی‌الکتریک شیشه را به‌دست آورید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۷) با استفاده از دو صفحه شیشه‌ای دیگر، آزمایش را تکرار کنید و جدول زیر را با دقت کامل کنید.

$d\ (mm)$	$A\ (m^2)$	$C_0\ (nF)$	$T_0\ (s)$	$T\ (s)$	K
۲					
۴					
۶					

۸) با رسم نمودار $T_0^2 - T^2$ و محاسبه شیب نمودار، ثابت دی‌الکتریک شیشه را به‌دست آورید.

۹) اکنون به‌جای شیشه یک صفحه کاغذ قرار دهید و با فشار دادن اهرم خازن تخت آن را ثابت و ضخامت آن را اندازه بگیرید و با تغییر فرکانس مولد موج، مدار را در حالت تشدید قرار دهید.

۱۰) با اندازه‌گیری دوره تناوب موج و داشتن ثابت دی‌الکتریک کاغذ (K=۳/۵)، مقدار ε_0 را به‌دست آورید.

۱۱) آزمایش را به ازای تعداد صفحات بیش‌تر تکرار و جدول زیر را با دقت تکمیل کنید.

تعداد صفحات	$d\ (mm)$	$A\ (m^2)$	$C_0\ (nF)$	$T_0\ (s)$	$T\ (s)$	ε_0
۱						
۳						
۶						
۹						

۱۲) با رسم نمودار و محاسبه شیب آن مقدار دقیق ثابت گردهی خلأ را به‌دست آورید.

۱۳) با میانگین گرفتن از مقادیر به‌دست‌آمده برای ε_0، جدول زیر را کامل کنید.

$\overline{\varepsilon_0}$	$\varepsilon_0 = 8.85\times10^{-12}\ \frac{F}{m}$	$\overline{\varepsilon_0}$ نمودار	$\frac{\Delta\varepsilon_0}{\varepsilon_0}$

تکالیف

۱. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
۲. چرا خازن اولیه را $C_0 = 15nF$ انتخاب نمودید؟
۳. اگر بین صفحات کاغذ ورق آلومینیومی قرار دهیم نتایج آزمایش چه تفاوتی می‌کند؟
۴. عوامل خطا در محاسبه ε_0 را بیان کنید و توضیح دهید کدام عامل تأثیر زیادتری دارد؟
۵. چگونه می‌توان بار القا شده بر روی صفحات خازن را اندازه گرفت؟

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ۱۲

اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین

هدف

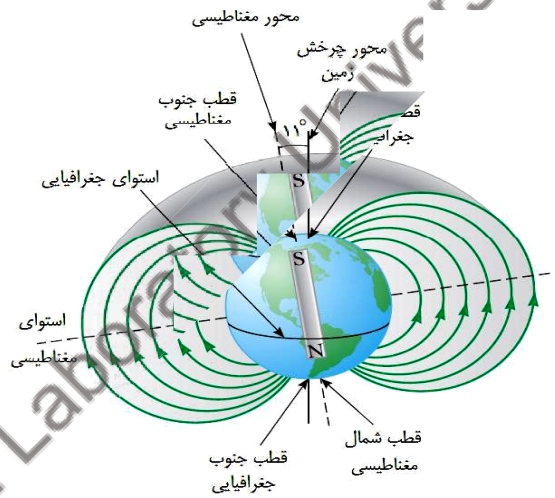
- اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین با استفاده از میدان حاصل از یک سیم‌پیچ دایره‌ای حامل جریان الکتریکی

وسایل مورد نیاز

دستگاه گالوانومتر تانژانت، منبع تغذیه DC، رئوستا، آمپرمتر، قطب‌نما و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

پیشنهاد اینکه زمین آهنربای بزرگی است که قطب و استوای مغناطیسی دارد، نخستین بار از طرف سرویلیام گیلبرت عنوان شد. شکل ۱ طرح ایده آلی از خطوط B وابسته به میدان مغناطیسی زمین را نشان می‌دهد در تقریب اول، می‌توان این میدان را با فرض وجود یک آهنربای میله‌ای قوی در مرکز زمین نمایش داد. توجه کنید که محور مغناطیس زمین و محور دوران آن بر هم منطبق نیستند و با هم زاویه‌ای در حدود ۱۵ درجه می‌سازند.



شکل (۱): نمایش محور دو قطبی مغناطیسی زمین با محور چرخشی.

قطب مغناطیسی در نیمکره شمالی در کانادای شمالگان قرار دارد. توجه کنید که آن نقطه قطب مغناطیسی جنوب است زیرا خطوط B در این نقطه همدیگر را قطع می‌کنند. قطب مغناطیسی شمال در نیمکره جنوبی در جنوبگان قرار دارد و خطوط B از آن خارج می‌شود. واضح است که هیچ آهنربای میله‌ای در مرکز زمین دفن نشده است. خاصیت مغناطیسی زمین باید به این واقعیت‌ها مربوط باشد که هسته مرکزی زمین به شعاع ٪۵۵ شعاع کل زمین از آهن مذاب با حرکت دورانی تشکیل شده است.

شدت میدان اصلی زمین در سطح آن در حدود ۰/۵ گاوس است. این مقدار در مقایسه با میدان‌های مغناطیسی ناشی از منابع مصنوعی در صنایع چندان بزرگ نیست. به هر حال برای برخی مقاصد (مثلاً ژئوفیزیکی) لازم است که مقدار آن را با دقتی در مکان خاصی بدانیم.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

یکی از روش‌های اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین، اندازه‌گیری برآیند میدان زمین با میدان حاصل از یک سیم‌پیچ حامل جریان می‌باشد. هرگاه از حلقه دایره‌ای شکل شامل n دور سیم، شدت جریان I عبور کند، میدان مغناطسی در مرکز حلقه، مطابق رابطه (۱) به‌وجود خواهد آمد.

$$B=\frac{\mu_0 N I}{2R} \qquad (۱)$$

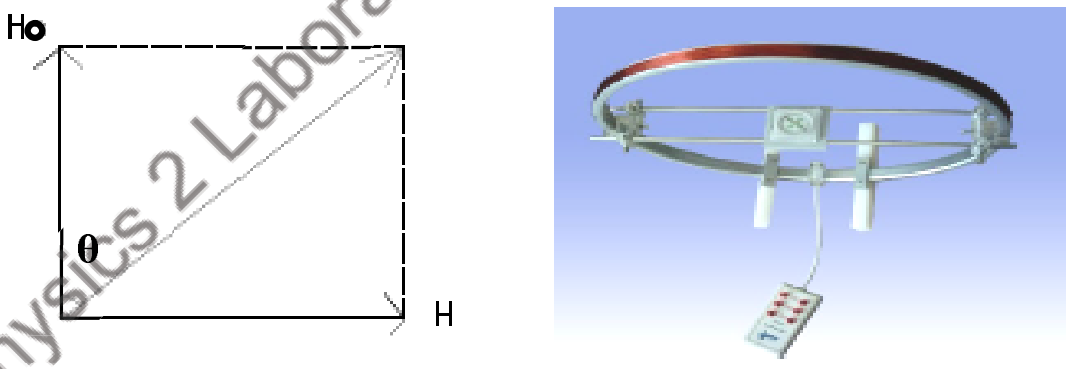
در سیستم M.K.S شعاع متوسط حلقه R بر حسب متر و $\mu_0=4\pi\times10^{-7}$ بر حسب وبر بر متر مربع به‌کار می‌رود. معمولاً شدت میدان مغناطیسی در سیستم C.G.S به‌صورت رابطه (۲) به‌کار می‌رود.

$$H=\frac{2\pi N I}{10R} \qquad (۲)$$

در این سیستم R بر حسب سانتی‌متر و H بر حسب گوس می‌باشد. جهت H نیز طبق قاعده دست راست تعیین می‌شود بدین ترتیب که اگر جریان در جهت چهار انگشت خم شده دست راست باشد، جهت میدان در امتداد انگشت باز شصت خواهد بود.

یکی از راه‌هایی که می‌توان اندازه و امتداد میدان یک حلقه را تعیین کرد، به‌کاربردن گالوانومتر تانژانت است. این وسیله حلقه دایره‌ای شکلی است که تعدادی سیم‌پیچ دایره‌ای با دورهای مختلف روی آن تعبیه شده است و در مرکز این حلقه که هنگام آزمایش سطح آن‌ها کاملاً به‌طور قائم قرار می‌گیرد یک میزچه همراه با عقربه مغناطیسی به‌طور افقی مطابق شکل ۲ قرار گرفته است.

از آنجا که میدان مغناطیسی زمین در هر نقطه قابل تجزیه به دو مؤلفه افقی و قائم می‌باشد عقربه مغناطیسی تحت تأثیر میدان افقی قرار می‌گیرد. در مورد گالوانومتر تانژانت در صورتی که از سیم‌پیچ جریانی عبور کند عقربه مغناطیسی تحت تأثیر دو میدان قرار گرفته و بدیهی است که در امتداد برآیند آن دو میدان می‌ایستد.



شکل(۲): دستگاه گالوانومتر تانژانت و نحوه عمود نمودن میدان مغناطیسی حلقه بر میدان زمین.

با اندازه‌گیری θ و معلوم بودن مقدار H می‌توان H_0 را با توجه به رابطه (۳) به‌دست آورد.

$$\tan\theta=\frac{H}{H_0} \qquad (۳)$$

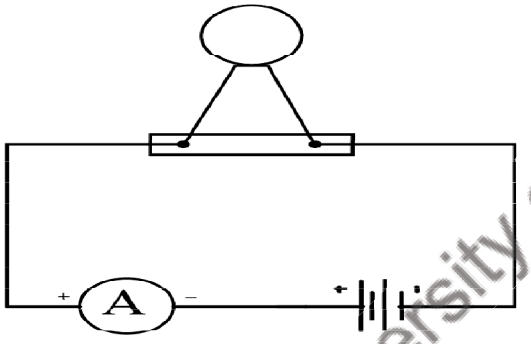
Physics 2 Laboratory University of Kashan

نحوه انجام آزمایش

۱) ابتدا پایه‌های گالوانومتر را کاملاً افقی کنید و سپس قطب‌نما را در محل مربوطه (وسط حلقه) قرار دهید.

۲) قطب‌نما را آن‌قدر بچرخانید تا شاخص قطب‌نما روی صفر درجه بایستد. بدین ترتیب گالوانومتر طوری قرار گرفته است که سطح سیم‌پیچ و عقربه مغناطیسی در راستای شمال و جنوب مغناطیسی زمین باشد و میدان حاصل از سیم‌پیچ عمود بر این راستا خواهد بود.

۳) مدار را مطابق شکل ۳ ببندید و سعی کنید اشیاء فلزی و به‌خصوص آمپرمتر را حتی المقدور در فاصله دوری از گالوانومتر قرار دهید. بهتر است بر روی زمین یا یک میز چوبی این کار را انجام دهید. همچنین تعداد دور سیم‌پیچ حلقه را ۳۰ دور انتخاب کنید.



شکل(۳): مدار اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین.

۴) ولتاژ منبع تغذیه را طوری تغییر دهید که عقربه قطب‌نما روی زاویه‌های مشخص شده قرار گیرد. جریان‌های مربوطه به هر زاویه را در جدول زیر یادداشت و شدت میدان مغناطیسی زمین را محاسبه کنید.

	$N = 30 \pm 1$			$R = \ldots\ldots \pm \ldots\ldots (cm)$		
$\theta°$						
$\tan\theta$						
$I \pm \Delta I\ (A)$						
$H(G) = \frac{2\pi NI}{10R}$						
$H_0(G) = \frac{H}{\tan\theta}$						
$\frac{\Delta H_0}{H_0}$						

۵) با استفاده از روش دیفرانسیل‌گیری از رابطه (۲) و (۳) خطای نسبی شدت میدان مغناطیسی زمین را محاسبه کنید.

$\Delta\theta = \theta_0 \times \frac{\pi}{180}$ بر حسب رادیان در فرمول درج شود (θ_0 دقت اندازه‌گیری قطب‌نما است).

$$\frac{\Delta H_0}{H_0} = \frac{\Delta N}{N} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta R}{R} + \frac{(1+\tan^2\theta)}{\tan\theta}\Delta\theta$$

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۶) با رسم نمودار جریان بر حسب $\tan\theta$ از روی شیب نمودار یعنی $\left(\frac{10RH_0}{2\pi N}\right)$ مقدار دقیق میدان مغناطیسی زمین را محاسبه کنید.

۷) آزمایش را برای تعداد دورهای ۴۰ و ۵۰ دور تکرار کنید و در جدول یادداشت کنید. سپس با رسم نمودار مربوطه و محاسبه شیب نمودارها، نتایج هر سه دور مختلف سیم‌پیچ را با یکدیگر مقایسه کنید.

$N=40\pm1$				$R=.....\pm.....(cm)$		
$\theta°$						
$\tan\theta$						
$I\pm\Delta I\ (A)$						
$H(G)=\frac{2\pi NI}{10R}$						
$H_0(G)=\frac{H}{\tan\theta}$						
$\frac{\Delta H_0}{H_0}$						

$N=50\pm1$				$R=.....\pm.....(cm)$		
$\theta°$						
$\tan\theta$						
$I\pm\Delta I\ (A)$						
$H(G)=\frac{2\pi NI}{10R}$						
$H_0(G)=\frac{H}{\tan\theta}$						
$\frac{\Delta H_0}{H_0}$						

تکالیف

۱. فرمول خطا و مقدار خطای نسبی میدان مغناطیسی زمین $\frac{\Delta H_0}{H_0}$ را محاسبه نمائید.

۲. چرا قطب‌نما روی میز در جهت شمال و جنوب قرار نمی‌گیرد؟

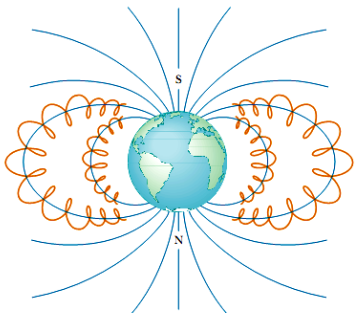
۳. میدان مغناطیسی در مرکز یک حلقه را به‌دست آورید (از روش قانون بیو-ساوار).

۴. چگونه می‌توان خطای آزمایش را کاهش داد؟ توضیح دهید.

۵. روش‌های دیگر اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین را تحقیق کنید.

۶. منشأ میدان مغناطیسی زمین را تحقیق کنید.

۷. در مورد کمربندهای تابشی وان الن تحقیق کنید.



Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ۱۳

تحقیق قوانین کیرشهف در مدارهای الکتریکی

اهداف

- بررسی قانون اول کیرشهف (K.C. L) در مدارهای الکتریکی
- بررسی قانون دوم کیرشهف (K.V. L) در مدارهای الکتریکی

وسایل مورد نیاز

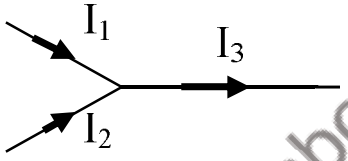
منبع تغذیه DC، باتری، آمپرمتر، ولتمتر، بلوک‌های مقاومت و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

در تحلیل مدارهای الکتریکی که شامل چند حلقه و گره هستند با استفاده از قوانین پایستگی انرژی و بار، ولتاژ و جریان هر قطعه قابل محاسبه می‌باشد. مشهورترین این قوانین، قانون‌های کیرشهف هستند که به شرح زیر می‌باشند:

قانون اول کیرشهف (K.C. L):

مجموع جبری شدت جریان‌های هر گره برابر با صفر است. به‌عبارت‌دیگر اگر جریان‌های ورودی به هر گره را مثبت و جریان-های خروجی را منفی در نظر بگیریم، جمع جبری جریان‌ها صفر است ($\sum I = 0$). این قضیه بیان کننده پایستگی بار است، زیرا در هر گره نه باری تولید و نه باری نابود می‌شود، بلکه تمام باری که در واحد زمان به گره می‌رسد آن را ترک می‌کند.



$$\sum I = 0 \quad \rightarrow \quad I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

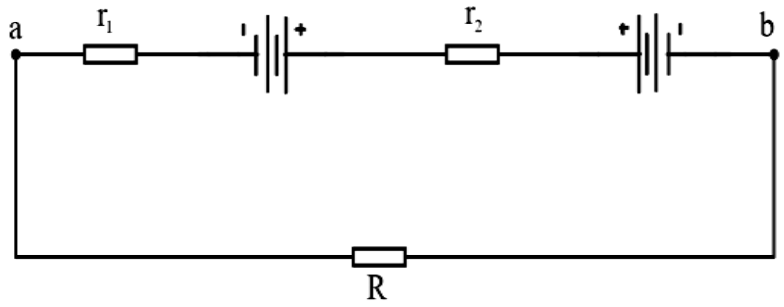
قانون دوم کیرشهف (K.V. L):

در هر مسیر بسته یا حلقه، جمع جبری اختلاف‌پتانسیل‌ها برابر با صفر است ($\sum V = 0$). این قضیه بیان کننده پایستگی انرژی است، زیرا مفهوم اختلاف‌پتانسیل بر اساس کار انجام شده برای جابه‌جایی واحد بار بین دو نقطه است و با ضرب اختلاف-پتانسیل در واحد بار انرژی به‌دست می‌آید که مجموع انرژی تولیدی و مصرف‌کننده با هم برابر است. برای به‌کار بردن این قانون از دو دستور زیر استفاده می‌شود:

- ❖ با عبور از مقاومت در جهت جریان اختلاف‌پتانسیل به‌اندازه $-RI$ کاهش و در خلاف جهت آن اختلاف‌پتانسیل به‌اندازه $+RI$ افزایش می‌یابد.
- ❖ با عبور از باتری در جهت نیروی محرکه اختلاف‌پتانسیل به‌اندازه $+\varepsilon$ افزایش می‌یابد و برعکس آن به‌اندازه $-\varepsilon$ کاهش می‌یابد.

به‌عنوان مثال در مدار زیر، با در نظر گرفتن جهت شدت جریان از نقطهٔ a در جهت پادساعتگرد، جریان مدار به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

Physics 2 Laboratory, University of Kashan

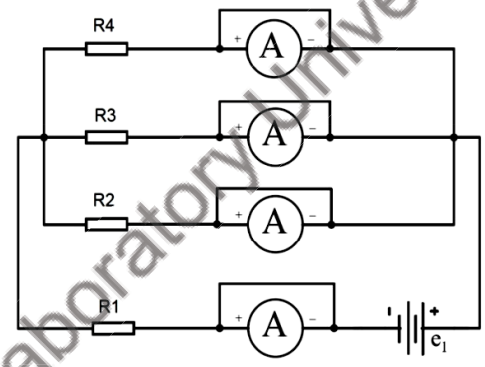


$$r_1 I + \varepsilon_1 + r_2 I - \varepsilon_2 + RI = 0 \Rightarrow I + 2 + 2I - 4 + 5I = 0 \Rightarrow I = 0.25A$$

نحوه انجام آزمایش

۱) با استفاده از بلوک‌های مقاومت چهار مقدار مختلف مقاومت را انتخاب کنید و با استفاده از اهممتر دیجیتالی مقدار دقیق آن‌ها را اندازه‌گیری و در جدول یادداشت کنید.

۲) با استفاده از برد آزمایش مدار شکل ۱ را ببندید و سپس به‌وسیله ولتمتر ولتاژ دو سر منبع تغذیه متصل به مدار را اندازه بگیرید و در جدول یادداشت کنید (جهت اتصال دو طرف فیش آمپرمترها و نیرو محرکه‌های موجود بر روی برد از سیم-های رابط کوچک استفاده نمائید).



شکل (۱): اولین مدار الکتریکی تحقیق قوانین کیرشهف.

$R_1 \pm \Delta R_1$	$R_2 \pm \Delta R_2$	$R_2 \pm \Delta R_3$	$R_4 \pm \Delta R_4$	$V_1 \pm \Delta V_1$

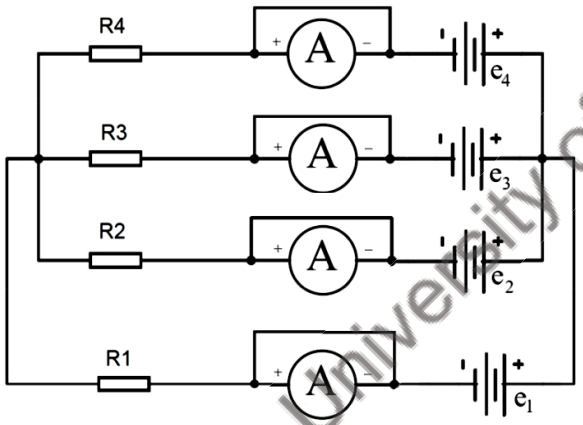
۳) با خارج نمودن تک تک سیم‌های رابط کوچک محل آمپرمتر، شدت جریان هر مقاومت را اندازه بگیرید و در جدول زیر یادداشت کنید.

۴) با استفاده از قوانین کیرشهف شدت جریان عبوری از هر مقاومت را به‌صورت نظری محاسبه کنید و نتایج آن را در جدول یادداشت و درصد خطای آن را محاسبه نمائید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

	$I_1 \pm \Delta I_1$	$I_2 \pm \Delta I_2$	$I_3 \pm \Delta I_3$	$I_4 \pm \Delta I_4$
I_{Th}				
I_{Exp}				
$\frac{\lvert I_{Th} - I_{Exp} \rvert}{I_{Th}} \times 100$				

۵) منبع تغذیه ولتاژ مستقیم دیگری (یا باتری) را به محل $\mathcal{E}_2$ همانند شکل ۲ متصل کنید و با ولتمتر اختلاف‌پتانسیل دو سر آن را اندازه بگیرید و در جدول یادداشت کنید.



شکل (۲): دومین مدار الکتریکی تحقیق قوانین کیرشهف.

$R_1 \pm \Delta R_1$	$R_2 \pm \Delta R_2$	$R_3 \pm \Delta R_3$	$R_4 \pm \Delta R_4$	$V_1 \pm \Delta V_1$	$V_2 \pm \Delta V_2$

۶) همانند قبل با خارج نمودن تک تک سیم‌های رابط کوچک محل آمپرمترها، شدت جریان هر مقاومت را اندازه بگیرید و در جدول زیر یادداشت کنید. همچنین با استفاده از قوانین کیرشهف شدت جریان عبوری از هر مقاومت را به‌صورت نظری محاسبه و نتایج آن را با مقدار تجربی مقایسه کنید.

	$I_1 \pm \Delta I_1$	$I_2 \pm \Delta I_2$	$I_3 \pm \Delta I_3$	$I_4 \pm \Delta I_4$
I_{Th}				
I_{Exp}				
$\frac{\lvert I_{Th} - I_{Exp} \rvert}{I_{Th}} \times 100$				

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۷) منبع تغذیه ولتاژ مستقیم را از محل ε_2 به ε_3 منتقل کنید و آزمایش را مانند قبل تکرار کنید.

$R_1 \pm \Delta R_1$	$R_2 \pm \Delta R_2$	$R_2 \pm \Delta R_3$	$R_4 \pm \Delta R_4$	$V_1 \pm \Delta V_1$	$V_3 \pm \Delta V_3$

	$I_1 \pm \Delta I_1$	$I_2 \pm \Delta I_2$	$I_3 \pm \Delta I_3$	$I_4 \pm \Delta I_4$
I_{Th}				
I_{Exp}				
$\frac{\lvert I_{Th} - I_{Exp} \rvert}{I_{Th}} \times 100$				

تکالیف

۱. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
۲. با به‌کاربردن قوانین کیرشهف روابط جریان هر مقاومت را به‌صورت پارامتری به‌دست آورید؟
۳. اگر قبل از اتصال منبع تغذیه به مدار، ولتاژ اندازه‌گیری شود جواب آزمایش چه تغییری می‌کند؟
۴. چگونه می‌توان خطای آزمایش را کمینه نمود؟

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ۱۴

رسم منحنی پسماند هسته آهنی با استفاده از اسیلوسکوپ

اهداف

- مطالعه و بررسی پسماند مغناطیسی و رسم منحنی پسماند هسته آهنی
- اندازه‌گیری پارامترهای اساسی یک هسته فرومغناطیس

وسایل مورد نیاز

مولد موج، اسیلوسکوپ، جعبه خازن متغیر، جعبه مقاومت متغیر، هسته آهنی، سیم‌پیچ و سیم‌های رابط.

زمینه نظری آزمایش

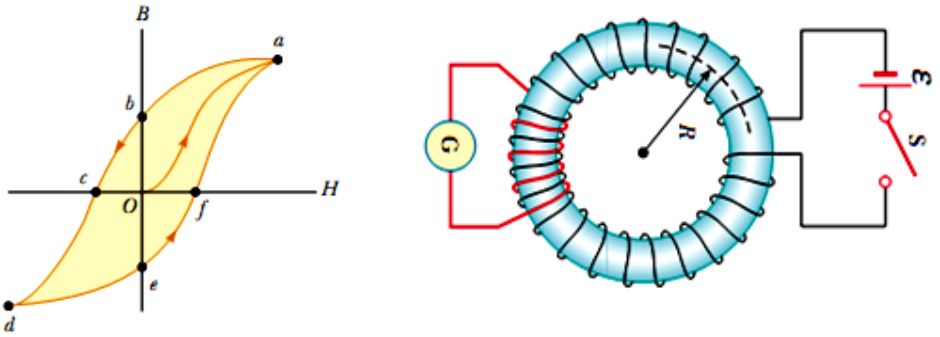
مواد بر حسب خاصیت مغناطیسی به سه دسته پارامغناطیس، دیامغناطیس و فرومغناطیس تقسیم می‌شوند. در مواد دیامغناطیس، هنگامی که در یک میدان مغناطیسی خارجی قرار می‌گیرد گشتاورهای دوقطبی مغناطیسی ضعیفی در اتم‌های آن پدید می‌آیند که در مجموع جسم میدان مغناطیسی کمی از خود بروز می‌دهد. همچنین پس از حذف میدان خارجی این گشتاورهای دوقطبی مغناطیسی و به‌دنبال آن میدان القایی سریعاً ناپدید می‌شوند. اما در مواد پارامغناطیس هر اتم دارای گشتاور دوقطبی مغناطیسی است، اما سمت‌گیری این گشتاورها به‌صورت کاتوره‌ای می‌باشد. بنابراین ماده دارای میدان مغناطیسی برآیند صفر است. اما با اعمال میدان مغناطیسی خارجی گشتاورهای دوقطبی اتم‌ها تا حدی همسو می‌شوند به‌طوری‌که در ماده یک میدان مغناطیسی القا می‌شود که با حذف میدان، این همسویی و میدان القایی از بین می‌رود. اما در مواد فرومغناطیس حوزه‌های ریزی از اتم‌ها وجود دارد که در آن‌ها دو قطبی مغناطیسی اتم‌ها در یک جهت قرار دارد که با قرار گرفتن یک ماده فرومغناطیس در میدان مغناطیسی خارجی حوزه‌های مغناطیسی داخلی مرتب شده و تقریباً همگی در جهت میدان قرار می‌گیرند. این امر باعث می‌شود تا القا مغناطیسی $\vec{B}$ به‌شدت افزایش یابد. افزایش شدت القا مغناطیسی تا جایی ادامه می‌یابد که تقریباً همه حوزه‌ها در یک جهت قرار گرفته باشند. در چنین حالتی فرومغناطیس را اشباع شده می‌گویند.

اما پس از این اگر میدان مغناطیسی خارجی اعمال شده کاهش یابد شدت القا مغناطیسی دیگر به‌نسبت خطی با آن کم نمی‌شود چرا که برخی حوزه‌ها تمایل دارند در همان حالت قبلی خود بمانند. حتی اگر میدان خارجی صفر هم شود، بازهم تا زمان کمی خاصیت مغناطیسی در فرومغناطیس ناشی از همان پایداری تغییر جهت دوقطبی‌های حوزه‌ها باقی می‌ماند که به آن پسماند مغناطیسی می‌گویند. آهن، کبالت نیکل، گادولینیوم، دیسپروزیوم و آلیاژهایی که از این عناصر تشکیل شده‌اند خاصیت فرومغناطیسی از خود نشان می‌دهند.

برای ترسیم منحنی پسماند باید میدان مغناطیسی خارجی و القایی اندازه‌گیری شوند. در ساده‌ترین روش جسم را به‌صورت هسته‌ای نازک و چنبره‌ای، مانند شکل ۱ در می‌آورند و n دور سیم در واحد طول بر روی آن می‌پیچند. در غیاب هسته اندازه میدان مغناطیسی داخل پیچه برابر است با:

$$B_0 = \mu_0 ni \qquad (۱)$$

Physics 2 Laboratory University of Kashan



شکل(۱): پیچه و منحنی پسماند.

اما با حضور هسته (فرومغناطیس)، میدان مغناطیسی B داخل پیچه بیش‌تر از B_0 می‌باشد که به‌صورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$B=\mu_0(B_0+M) \qquad (۲)$$

که μ_0 تراوایی مغناطیسی در خلأ و M مغناطش است. برای تعیین M از پیچه ثانویه استفاده می‌شود. حال اگر با هسته نامغناطیده (نقطه o) جریان را از صفر زیاد کنیم، به‌طوری‌که شدت میدان مغناطیسی از صفر به‌طور یکنواخت افزایش یابد، میدان به یک مقدار حدی به‌نام B_S می‌رسد که حاصل از مغناطش اشباع است (نقطه a). همچنین اگر H به صفر برگردد M دیگر صفر نمی‌شود و لذا پس از حذف میدان H ، M و به‌دنبال آن B دیگر صفر نخواهد بود که به اندوکسیون پسماند معروف است (نقطه b) و آن را با B_r نشان می‌دهند. با معکوس کردن جریان و افزایش آن و دوباره کاهش تا صفر و سپس با معکوس نمودن جریان، حلقه پسماند کامل می‌گردد. که به منحنی bcdef حلقه پسماند می‌گویند. همچنین فاصله‌ی مبدأ تا محل تقاطع حلقه پسماند با محور H را نیروی پسماند نامیده و با H_c نشان می‌دهند.

رابطه (۲) را بر حسب تراوایی مغناطیسی نسبی به‌صورت زیر نشان می‌دهند.

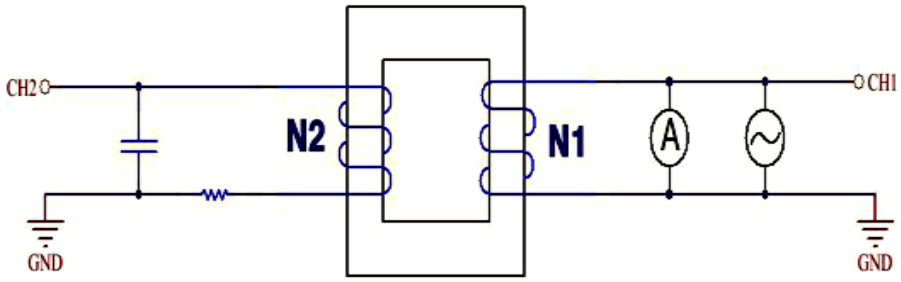
$$B=\mu H=\mu_0\mu_r H \qquad (۳)$$

که در آن μ تروایی مغناطیسی و μ_r تراوایی مغناطیسی نسبی ($\mu_r=\frac{\mu}{\mu_0}$)است. تراوایی مغناطیسی به خصوصیات ماده‌ای که درون سیم‌پیچ قرار دارد بستگی دارد.

نحوه انجام آزمایش

۱) جعبه خازن را روی $C=100nF$ و جعبه مقاومت را روی $R=6K\Omega$ تنظیم نمائید و به‌صورت سری به سیم‌پیچ ۱۲۰۰ دور مانند شکل ۲ ببندید.

Physics 2 Laboratory University of Kashan



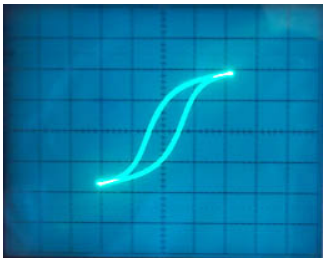
شکل(۲): مدار رسم منحنی پسماند هسته آهنی با استفاده از اسیلوسکوپ.

۲) دو سر سیم‌پیچ ۳۰۰ دور را به مولد موج متصل کنید و شکل موج را در حالت مثلثی و فرکانس آن را بر روی $100\,Hz$ تنظیم کنید. سپس پروب کانال ۱ اسیلوسکوپ را به دو سر مولد و پروب کانال ۲ را به دو سر خازن متصل نمائید.

۳) اسیلوسکوپ را در حالت XY قرار داده و با اتصال زمین هر دو کانال صفر صفحه اسیلوسکوپ را تنظیم نمائید.

۴) هر دو کانال را درحالت AC قرار داده و با تغییر کلیدهای ولت بر قسمت شکل پسماند مناسب را مشاهده کنید (به‌طوری‌که تقریباً کل صفحه را اشغال نماید).

۵) موقعیت مکانی نقاط زیر را اندازه‌گیری نمائید و در جدول یادداشت نمائید.



B_s	B_{max}	H_{max}	H_r

$a\,(cm)$	$b\,(cm)$	$c\,(cm)$	$d\,(cm)$	$L=\frac{(a+b+c+d)\times 2}{2}\,(m)$

۶) برای به‌دست آوردن مقیاس محور H، از قانون آمپر ($H=\frac{nI}{L}$) استفاده می‌کنیم. بدین منظور ابتدا ابعاد داخلی و خارجی هسته را با خط‌کش اندازه بگیرید و طول میانگین را محاسبه کنید.

۷) آمپرمتر را در حالت AC قرار دهید و با مولد موج سری کنید و جریان آن را یاداشت کنید. سپس با استفاده از قانون آمپر شدت میدان مغناطیسی نظری را محاسبه نمائید.

N	$L\,(m)$	$I\,(A)$	$H_{Th}\,(\frac{A}{m})$

۸) جهت محاسبه مقیاس محور B، تراوایی مغناطیسی نسبی هسته آهنی را ۱۰۰ در نظر بگیرید و جدول زیر را کامل نمائید.

$\mu_0\quad(\frac{Tm}{A})$	μ_r	$B_{Th}=\mu_0\mu_r H_{Th}\,(T)$	$M_{Th}=\frac{B_{Th}}{\mu_0}-H_{Th}\quad(\frac{A}{m})$
1.256×10^{-6}	۱۰۰		

۹) با تقسیم نمودن کمیت‌های نظری بر مقادیر اندازه‌گیری شده از اسیلوسکوپ مقیاس هر دو محور قابل محاسبه است.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

	محور افقی (B)		محور افقی (H)	
مقدار تجربی (اسیلوسکوپ)	$H_{\max}$		$B_{\max}$	
مقدار نظری	$H_{Th}(\frac{A}{m})$		$B_{Th}(T)$	
مقیاس هر واحد اسیلوسکوپ	$\frac{H_{Th}}{H_{\max}}(\frac{A}{m})$		$\frac{B_{Th}}{B_{\max}}(\frac{A}{m})$	

۱۰) با استفاده از مقیاس‌های به‌دست آمده مقادیر واقعی اعداد اندازه‌گیری شده را محاسبه نمائید.

$B_s(T)$	$B_{\max}(T)$	$H_{\max}(\frac{A}{m})$	$H_r(\frac{A}{m})$

۱۱) منحنی پسماند هسته آهنی را بر روی کاغذ میلی‌متری با استفاده از مقیاس‌های به‌دست آمده به‌طور کیفی ترسیم نمائید.

۱۲) محل اتصال دو سیم‌پیچ ۳۰۰ و ۱۲۰۰ دور را برعکس کنید و آزمایش را دوباره تکرار نمائید.

N	$L(m)$	$I(A)$	$H_{Th}(\frac{A}{m})$	$B_{Th}=\mu_0\mu_r H_{Th}(T)$

	محور افقی (B)		محور افقی (H)	
مقدار تجربی (اسیلوسکوپ)	$H_{\max}$		$B_{\max}$	
مقدار نظری	$H_{Th}(\frac{A}{m})$		$B_{Th}(T)$	
مقیاس هر واحد اسیلوسکوپ	$\frac{H_{Th}}{H_{\max}}(\frac{A}{m})$		$\frac{B_{Th}}{B_{\max}}(\frac{A}{m})$	

$B_s(T)$	$B_{\max}(T)$	$H_{\max}(\frac{A}{m})$	$H_r(\frac{A}{m})$

تکالیف

۱. از این آزمایش چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟
۲. عوامل خطا در این آزمایش را نام ببرید؟ و توضیح دهید چگونه می‌توان آن‌ها را کاهش داد؟
۳. کدام کمیت نشان دهنده‌ی آهنربای قوی می‌باشد؟
۴. چگونه می‌توان به‌صورت دستی (بدون استفاده از اسیلوسکوپ) منحنی پسماند را ترسیم نمود؟
۵. چرا در این آزمایش از شکل موج مثلثی استفاده نمودید؟

Physics 2 Laboratory University of Kashan

آزمایش شماره ۱۵

قانون القای فارادی

هدف

- اثبات قانون القای فارادی با اندازه‌گیری ولتاژ القایی به‌صورت تابعی از چگالی شار، مساحت حلقه و سرعت حرکت حلقه القا

وسایل مورد نیاز

وسایل القا با حلقه رسانا، هشت جفت آهنربا، منبع تغذیه ولتاژ مستقیم، میکروولت‌متر، متر و زمان‌سنج.

زمینه نظری آزمایش

اگر سطحی را در نظر بگیریم که تخت یا غیر تخت است و به‌وسیله حلقه بسته‌ای احاطه شده است، تعداد خطوط مغناطیسی گذرنده از این سطح را با شار مغناطیسی ϕ_B نشان می‌دهیم که ϕ_B به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\phi_B = \oint B.dA \qquad (۱)$$

در اینجا dA عنصر دیفرانسیلی سطح است و انتگرال‌گیری روی تمام سطح انجام می‌شود. اگر میدان مغناطیسی دارای بزرگی ثابت B و در همه جا بر سطح تخت به مساحت A عمود باشد، رابطه (۱) به‌صورت ساده زیر در می‌آید.

$$\phi_B = BA \qquad (۲)$$

با توجه به معادلات (۱) و (۲) معلوم می‌شود که یکای شار مغناطیسی در SI، تسلامتر مربع است که وبر (wb) نامیده می‌شود. یعنی $1wb = 1T.m^2$ است.

اکنون با توجه به‌تعریف شار مغناطیسی، می‌توانیم قانون القای فارادی را از نظر کمی به‌صورت زیر بیان کنیم. در یک مدار نیروی محرکه الکتریکی القایی برابر (و از نظر علامت مخالف) با آهنگی است که شار مغناطیسی گذرنده از مدار بر حسب زمان تغییر می‌کند. این قانون را می‌توان طبق معادله‌ی زیر نمایش داد:

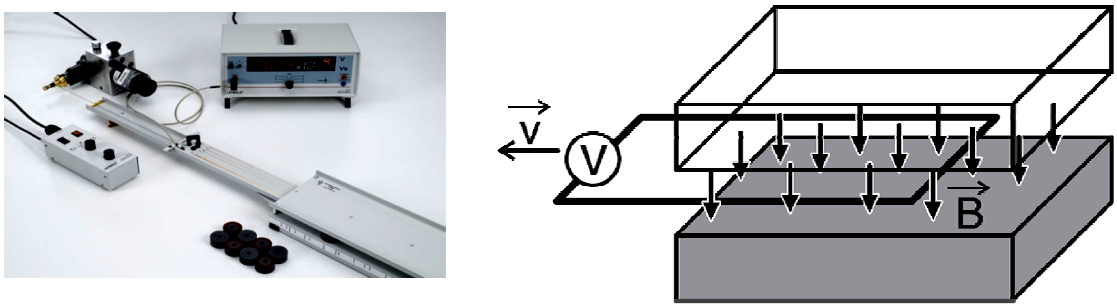
$$e = -\frac{d\phi_B}{dt} \qquad (۳)$$

اگر آهنگ تغییر شار بر حسب وبر بر ثانیه باشد، نیروی محرکه الکتریکی القایی بر حسب ولت خواهد بود که علامت منها جهت نیروی محرکه الکتریکی القایی را نشان می‌دهد. برای سیم‌پیچ N دوری، نیروی محرکه القایی برابر است با:

$$e = -N\frac{d\phi_B}{dt} \qquad (۴)$$

در این آزمایش یک حلقه رسانا مستطیل شکل با عرض L از یک میدان مغناطیسی همگن B با سرعت ثابت $v = \frac{dx}{dt}$ بیرون کشیده می‌شود.

Physics 2 Laboratory University of Kashan



شکل(۱): حلقه رسانا در یک میدان مغناطیسی همگن.

سطحی که در حین حرکت در میدان مغناطیسی واقع شده در فواصل زمانی کوتاه به‌صورت v.dx تغییر می‌کند بنابراین تغییرات شار با توجه به رابطه (۲) به‌صورت زیر است:

$$\phi_B = B.A = BLdx \qquad (۵)$$

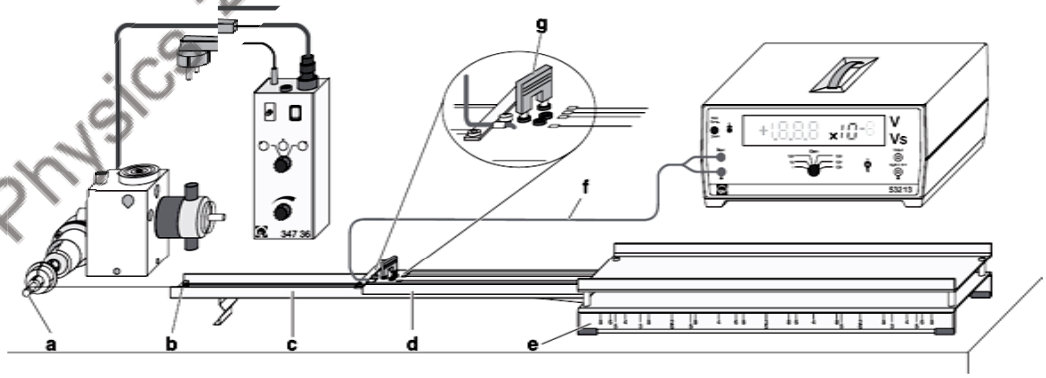
و با توجه به رابطه (۳) نیروی محرکه القایی برابر است با:

$$U = -\frac{d\phi_B}{dt} = -BL\frac{dx}{dt} = -BLv \qquad (۶)$$

می‌توان با تغییر میدان مغناطیسی به‌طور مشخص رابطه تناسبی بین U و L را تحقیق کرد همچنین تناسب بین U و v را می‌توان با بیرون کشیدن حلقه با سرعت‌های مختلف از میدان مغناطیسی نشان داد. بالاخره می‌توان با ثابت نگه داشتن v و B و تغییر L (عرض حلقه رسانا)، ولتاژ القایی را اندازه‌گیری کرد.

نحوه انجام آزمایش

۱) وسایل را مانند شکل ۲ سوار کرده و اتصالات لازم را برقرار کنید.



شکل(۲): شماتیک وسایل آزمایش قانون القای فارادی.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

موتور الکتریکی را به منبع تغذیه ولتاژ مستقیم (با توجه به قطب‌های آن) متصل کنید. با اعمال ولتاژ، حلقه با سرعت ثابت در میدان مغناطیسی داخل و خارج می‌شود. سپس فیش‌های مربوط به حلقه را به ورودی میکروولتمتر (input) وصل کنید و رنج آن را 10^{-4} انتخاب کنید. حلقه رسانا دارای سه عرض ۴cm، ۲/۸cm و ۲cm می‌باشد که توسط یک حلقه U شکل می‌توان یکی از عرض‌ها را انتخاب کرد (مساحتی که در میدان حرکت می‌کند). سپس ۸ جفت آهنربا را داخل وسیله القا قرار دهید. برای اینکه میدان یکنواختی در وسط داشته باشیم، باید همه قطب‌های همنام یک طرف باشد. برای این کار یکی از آهنرباها را به‌عنوان آزمون انتخاب کنید و به‌وسیله آن آهنرباهای دیگر را طوری جایگذاری کنیم که طرف بالای آن‌ها جذب (یا دفع) شود. به‌این‌ترتیب همه‌ی قطب‌های همنام در یک جهت قرار می‌گیرند. همچنین با اندازه‌گیری طول و زمان حرکت می‌توان سرعت متوسط حلقه را محاسبه نمود.

الف) اندازه‌گیری نیروی محرکه القایی برحسب سرعت حلقه رسانا

ابتدا حلقه رسانا را روی عرض L=۴cm قرار دهید و آزمایش را با ۸ جفت آهنربا انجام دهید سپس میکروولتمتر و منبع تغذیه واحد کنترل موتور را روشن کنید. توسط واحد کنترل حلقه را به داخل میدان ببرید و با تغییر ولتاژ حلقه را با سرعت های مختلفی به بیرون بکشید و اعداد به‌دست‌آمده را در جدول زیر یادداشت کنید. توجه داشته باشید که اگر تغییرات ولتاژ دارید متوسط آن را در جدول درج کنید. همچنین با اندازه‌گیری طول حلقه (x) و زمان آن سرعت متوسط حلقه را حساب کنید.

$x(cm)$							
$t(s)$							
$v(m/s)$							
$U\times10^{-4}(V)$							

سپس نمودار U برحسب v را رسم کنید و از روی شیب نمودار B را محاسبه کنید. سپس با استفاده از برنامه LR ماشین‌حساب خطی بودن آن را تحقیق کنید.

ب) اندازه‌گیری نیروی محرکه القایی به‌صورت تابعی از عرض حلقه رسانا

این قسمت از آزمایش را با ۸ جفت آهنربا انجام دهید. سرعت موتور را طوری تنظیم کنید که ولتاژ القایی حدود $۴۰\mu V$ شود. پس از تنظیم ولوم، سرعت را دیگر تغییر ندهید و مقدار آن را محاسبه کنید (با اندازه‌گیری t و x). سپس به ازای عرض‌های مختلف ولتاژ را خوانده و در جدول یادداشت کنید. برای بالابردن دقت، هر قسمت را چند بار انجام دهید و متوسط ولتاژ را در جدول درج کنید.

$L(cm)$	۲	۲/۸	۴
$t(s)$			
$v(m/s)$			
$U\times10^{-4}(V)$			

حال نمودار U برحسب L را رسم کنید و از روی شیب نمودار B را محاسبه کنید و توسط ماشین‌حساب خطی بودن آن را تحقیق کنید (مانند حالت قبل).

ج) اندازه‌گیری نیروی محرکه القایی به‌صورت تابعی از چگالی شار میدان مغناطیسی

در این قسمت آزمایش، سرعت موتور را همانند قسمت قبل انتخاب کنید به‌طوری‌که تا آخر آزمایش ثابت باشد و عرض حلقه رسانا را L=۴cm انتخاب کنید. در اینجا چون تغییرات میدان مغناطیسی در نظر است با کم و زیاد کردن تعداد آهنرباها

Physics 2 Laboratory University of Kashan

می‌توان میدان مغناطیسی را تغییر داد که با هر تعداد جفت، یک میدان مغناطیسی همگنی خواهید داشت. دقت کنید در جایگذاری آهنرباها تعداد جفتی که انتخاب می‌کنید وسط هر آهنربا روی شماره مربوطه قرار گیرد. مثلاً اگر می‌خواهید میدان مغناطیسی ناشی از ۶ جفت را بررسی کنید باید وسط هر جفت روی عدد ۶ که به بدنه دستگاه نوشته شده است قرار گیرد حال با جفت‌های مختلف جدول زیر را پر کنید.

N	۸	۶	۵	۴	۳	۲
$U\times10^{-4}(V)$						
$t(s)$						
$v(m/s)$						

با رسم نمودار U بر حسب v میدان مغناطیسی را حساب نمائید.

تذکرات:

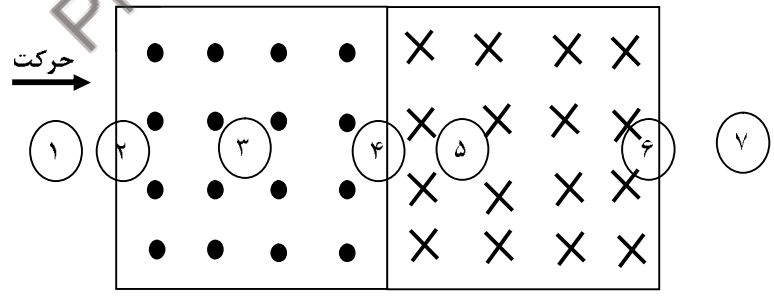
- همگنی میدان مغناطیسی:

نوسانات مقداری که دستگاه اندازه‌گیری نشان می‌دهد با در نظر گرفتن عدم یکنواختی حرکت کشوی لغزنده به‌علت ناهمگنی میدان مغناطیسی است. علت واقعی این است که قسمت‌های فولادی اسباب القا به‌طور یکسان و یکنواختی، مغناطیس نشده اند. حتی بدون وجود جفت‌های آهنربا در آزمایش، ماند مغناطیسی موجود در فولاد، میدان ناهمگنی ایجاد می‌کند. آهنربا شدن یک ماده و ایجاد خاصیت مغناطیسی در آن بستگی به سابقه مغناطیسی آن دارد. درنتیجه اگر نتایج دقیقی مورد نظر باشد باید جفت‌های آهنربا در ابتدای آزمایش بخش (۱) در مرکز یوک آهنربا گذاشته شود و سپس به دو انتها کشیده شوند. به‌هنگام جابه‌جا کردن آهنرباها در آزمایش بخش (۳)، بایستی از بی قاعدگی و بی نظمی در سوار کردن آن‌ها اجتناب کرد.

- در قسمت‌های (۲) و (۳) برای محاسبه سرعت از متوسط زمان استفاده کنید تا دقت آزمایش بالا رود.
- در قسمت (۳) برای ۳ و ۲ =N به‌علت ناهمگنی مقدار حداقل و حداکثر ولتاژ یادداشت شود.

تکالیف:

۱. علت به‌وجودآمدن ولتاژ القایی چیست؟ توضیح دهید.
۲. در قانون القای فارادی آیا نیروی محرکه الکتریکی القایی به مقاومت مدار بستگی دارد؟ اگر بلی چطور؟
۳. حلقه‌ای دایره‌ای با سرعت ثابت از نواحی شامل میدان‌های مغناطیسی یکنواخت و یکسان که مطابق شکل جهت‌شان به‌طرف داخل یا خارج صفحه شکل است، عبور می‌کند در کدام یک از هفت موضع نشان داده شده، نیروی محرکه الکتریکی الف) ساعتگرد ب) پادساعتگرد ج) صفر خواهد بود.



Physics 2 Laboratory University of Kashan

پیوست

مروری بر اصول خطاگیری و رسم نمودار

در تدوین این بخش سعی شده است مطالبی ذکر شود که دانشجویان در انجام آزمایش و همچنین نوشتن گزارش‌کار با آن مواجه می‌شوند. لذا مطالب گفته شده کاملاً کاربردی است. در ذکر مثال‌ها سعی شده اعداد ارائه شده با نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های ذکر شده نزدیک باشد و بتواند روش مناسب را به‌خوبی نشان بدهد.

۱. اهمیت خطاگیری

وقتی یک کمیت فیزیکی را اندازه می‌گیریم انتظار نداریم که مقدار به‌دست‌آمده دقیقاً با مقدار حقیقی برابر باشد. اما به‌دقت یا اعتبار این اندازه‌گیری‌ها باید اشاره‌ای کنیم. برای این کار همراه با هر نتیجه خطای تخمینی آن را نیز می‌آوریم. مثلاً ممکن است مقدار مقاومت یک جسم را اندازه بگیریم و نتیجه نهایی را به‌صورت $R = (1005 \pm 10)\Omega$ بنویسیم. این رابطه نشان می‌دهد که مقاومت این جسم، مقداری بین ۹۹۵ و ۱۰۱۵ اهم است. لذا این معادله در واقع یک گزاره احتمال است. یعنی ما یقین نداریم که این مقدار بین حدود ذکر شده قرار دارد ولی اندازه‌گیری‌های ما نشان می‌دهد که احتمال معینی برای آن وجود دارد.

تخمین خطاها مهم است. زیرا بدون آن نمی‌توانیم اعتبار نتایج به‌دست‌آمده را مشخص کنیم. فرض کنید می‌خواهیم اثر دما روی مقاومت یک سیم را بررسی کنیم. مقادیر اندازه‌گیری شده برابر است با:

$$T_1 = 10^\circ C \rightarrow R_1 = 200.02\Omega$$
$$T_2 = 20^\circ C \rightarrow R_2 = 200.03\Omega$$

که بدون آگاهی از خطاها چیزی در مورد این دو مقدار نمی‌توانیم بگوییم. مثلاً اگر این خطا در هر مقدار مقاومت ۰/۰۱ اهم باشد این تفاوت مهم است ولی اگر این خطا برابر با ۰/۱ اهم باشد اهمیتی ندارد (چرا؟).

از طرف دیگر وقتی آزمایش‌ها به‌نتیجه رسید در اختیار همگان قرار می‌گیرد و از آن پس دیگر متعلق به شخص خاصی نیست و هر کسی به‌طریقی از آن نتایج استفاده می‌کند. بعضاً ممکن است آن را در محاسبات خود به‌عنوان یک نتیجه عملی و برخی دیگر آن را برای مقایسه با یک پیش‌بینی نظری به‌کار ببرند. در استفاده از نتایج تجربی به هر منظوری که باشد شخص می‌خواهد بداند که آیا این نتیجه دقت کافی برای مقصودش را دارد یا خیر. همچنین می‌خواهد بداند استفاده از آن‌ها تا چه اندازه اطمینان بخش است. برای پاسخ به این سؤالات باید خطای نتیجه را تخمین زد و این از وظایف آزمایش‌گر است.

۲. خطاهای (ابراهی‌ها) اندازه‌گیری

برای اندازه‌گیری هر کمیتی باید آن را با مقداری از همان کمیت که به‌عنوان واحد انتخاب شده بسنجیم. نسبت مقدار کمیت به واحد آن را اندازه یا مقدار عددی آن کمیت می‌نامند. با توجه به اینکه همواره در اندازه‌گیری کمیت‌ها به‌دلایل گوناگون دچار خطا می‌شویم، بین مقدار حقیقی آن کمیت X و مقداری که از اندازه‌گیری حاصل شده X' اختلاف $\delta X = X' - X$ موجود است که آن را خطا می‌نامند. مثلاً در اندازه‌گیری ولتاژ به کمک ولت‌متر عقربه‌ای در برخی موارد عقربه دقیقاً بر روی یک عدد از کمان قرار نمی‌گیرد. اگر مقدار هر مقیاس ۰/۱ ولت باشد اختلاف‌پتانسیل با دقت کم‌تر از ۰/۱ ولت اندازه‌گیری شده است. به‌عبارت‌دیگر برای تعیین ولتاژ با دقت کم‌تر از ۰/۱ ولت یک برآورد تقریبی انجام داده ایم. بنابراین دقت اندازه‌گیری به وسایلی که برای این منظور به‌کار می‌روند بستگی دارد. علاوه بر خطایی که ذکر شد خطای دیگری در عمل وارد می‌شود که بزرگی آن به آزمودگی و مهارت شخص آزمایش‌گر بستگی دارد مانند: تشخیص انطباق عقربه ولت‌متر با درجه‌بندی آن در مثالی که از نظرتان گذشت.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۳. تعاریف خطاهای مطلق، نسبی و درصد خطا

۱.۳. خطای مطلق

قبلاً گفته شد که هرگز نمی‌توان به مقدار واقعی کمیت دست یافت زیرا محدودیت‌هایی در دقت وسایل و نیز آزمودگی شخص آزمایش‌گر وجود دارد. اگر X مقدار واقعی و X' مقدار اندازه‌گیری شده کمیت باشند در این صورت اختلاف بین این دو را خطای مطلق می‌گوییم یعنی:

$$\delta X = |X' - X|$$

هرگز نمی‌توان مقدار خطای δX و نیز علامت آن را مشخص نمود (در غیر این صورت خطا مفهومی نخواهد داشت) لذا همواره قدرمطلق حداکثر خطایی را که ممکن است در سنجش یک کمیت رخ دهد به حساب می‌آورند و آن را با ΔX نمایش می‌دهند. بنابراین غالباً خطایی که در اندازه‌گیری X مرتکب می‌شویم از ΔX کوچکتر است یعنی اینکه :

$$X' - \Delta X < X < X' + \Delta X$$

توجه داشته باشید که اندازه‌گیری کمیت در صورتی دارای معنی فیزیکی خواهد بود که خطای مطلق آن کوچکتر از مقدار خود کمیت باشد یعنی:

$$X' > \delta X$$

۲.۳. خطای نسبی

مقدار خطای مطلق، میزان دقت آزمایش را نشان نمی‌دهد. لذا برای تأمین این منظور خطای نسبی را تعریف می‌کنیم. چنانچه در اندازه‌گیری ولتاژ ۵۰ ولتی، ۱ ولت خطا داشته باشیم، مانند این است که در هر ولت ۲۰ میلی‌ولت خطا رخ داده است. اما اگر این خطا در اندازه‌گیری ولتاژ ۵ ولتی رخ دهد مثل این است که در هر ولت ۲۰۰ میلی‌ولت خطا مرتکب شده‌ایم. بنابراین دقت اندازه‌گیری در آزمایش اول، ۱۰ برابر دقت اندازه‌گیری آزمایش دوم است. پس آنچه را که عملاً باید به‌کار ببریم نسبت حداکثر خطای مطلق (ΔX) به مقدار اندازه گرفته شده (X') می‌باشد که آن را خطای نسبی می‌نامند. ($\frac{\Delta X}{X'}$) بر اساس آنچه در بالا متذکر شده‌ایم، دقت اندازه‌گیری را تعیین می‌کند. اندازه‌گیری یک کمیت در صورتی قابل قبول است که خطای نسبی، مقدار کوچکی باشد یعنی دقت آزمایش زیاد باشد.

۳.۳. درصد خطای نسبی

طبق تعریف، درصد خطای نسبی به‌صورت زیر می‌باشد:

درصد خطای نسبی = خطای نسبی ×۱۰۰

٤. انواع خطاها

۱.٤. خطای دستگاه اندازه‌گیری

کوچک‌ترین درجه دستگاه اندازه‌گیری، دقت آن نامیده می‌شود. مقدار خطای دستگاه از لحاظ عددی برابر دقت دستگاه است.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۲.٤. خطای آزمایش‌گر

برای به‌دست‌آوردن این خطا لازم است کمیت مورد نیاز را n بار اندازه‌گیری کرده و از نتایج حاصله میانگین بگیریم. فرض کنیم مقادیر حاصله از اندازه‌گیری $X_1,X_2.....X_n$ باشند. بنابراین $X_m=\frac{X_1+X_2+....X_n}{n}$ که با تفاضل هر یک از مقادیر $X_1,X_2,....X_n$ از X_m داریم:

$$\delta X_1=|X_1-X_m| \qquad \delta X_2=|X_2-X_m|.....\delta X_n=|X_n-X_m|$$

خطای آزمایش‌گر برابر با بزرگترین تفاضل به‌دست آمده است.

$$\max\{\delta X_1,\delta X_2,.....,\delta X_n\} \qquad (۱)$$

پس هر چه تعداد اندازه‌گیری زیاد شود خطای شخص کمتر خواهد شد (چرا؟).

۳.٤. خطای عدم حساسیت

برای تعیین خطا لازم است کمیت مورد آزمایش را آنقدر تغییر دهیم تا وضعیت مطلوب به هم بخورد. دامنه جابه‌جایی کمیت مذکور خطای عدم حساسیت است. مثلاً در آزمایش عدسی و جسم نورانی بایستی صفحه تصویر را آنقدر به عدسی نزدیک کرد تا تصویر واضح محو گردد. سپس صفحه تصویر را به‌تدریج از عدسی دور نموده تا آنجا که دوباره تصویر محو گردد. نصف فاصله بین این دو وضعیت را خطای عدم حساسیت می‌نامند.

٤.٤. خطای تئوری آزمایش

در برخی آزمایش‌ها هر چند خطای شخص و وسیله را کاهش دهید ولی خطای آزمایش زیاد خواهد بود که مربوط به خطا در به‌دست‌آوردن رابطه تئوری آزمایش می‌باشد و باید در صورت امکان، تئوری را اصلاح کرد.

مثلاً در آزمایش بررسی مقاومت سیم با طول و سطح‌مقطع که متشکل از یک سیم، آمپرمتر، ولتمتر و منبع تغذیه است، اگر زمان اندازه‌گیری شدت جریان و ولتاژ طولانی شود سیم گرم می‌شود و دیگر مقاومت در رابطه $R=\rho\frac{L}{A}$ صدق نمی‌کند. اما اگر رابطه دما در تغییر مقاومت ویژه را در نظر بگیریم نتایج تجربی با رابطه نظری یکسان خواهد شد.

۵. روش‌های اندازه‌گیری کمیت مجهول

۱.۵. روش مستقیم

اگر بتوان X را مستقیماً اندازه گرفت، این اندازه‌گیری را n بار (مثلاً ۱۰ بار) انجام می‌دهیم. اگر نتیجه i امین اندازه‌گیری را با X_i نمایش دهیم و تمام اندازه‌گیری‌ها در شرایط نسبتاً یکسان انجام شده باشد، داریم:

$$<X>=\overline{X}=\frac{1}{n}\sum_{I=1}^{n}X_1 \qquad VAR\quad X=\sigma^2=<X^2>-<X>^2 \qquad (۲)$$

$\overline{X}$ و σ^2 به‌ترتیب میانگین و پراکندگی X خوانده می‌شوند. $\overline{X}$ محتمل‌ترین مقدار X و σ^2 گستره‌ی پراکندگی Xiها حول X را نتیجه می‌دهند. (از علامت .<...>. برای میانگین‌گیری استفاده شده است) و σ انحراف معیار خوانده

Physics 21 Laboratory University of Kashan

می‌شود. برای nهای به‌قدر کافی بزرگ حدود ۷۰ درصد انـدازه گیـری‌هـا در بـازه‌ی $\pm\delta$ حـول $\overline{X}$ قـرار خواهنـد داشـت و می‌توان نوشت:

$$X = \overline{X} + \Delta X \qquad (۳)$$

که در آن $\Delta X = \delta$ می‌باشد. اگر بخواهیم بیش از ۹۵ درصد اندازه‌گیری‌ها در گستره‌ی دقـت انـدازه‌گیـری قـرار گیرنـد کافی است قرار دهیم $\Delta X = 2\delta$ این روش بنام روش آماری خوانده می‌شود.

بدیهی است با بزرگ شدن n دقت اندازه‌گیری نیز بهبود می‌یابد. برای nهای کوچک، بنا بر ملاحظـات آمـاری بهتـر اسـت واریانس چنین محاسبه شود:

$$Var\ \ X \approx \frac{1}{n-1}\left\{\sum_{I=1}^{x} X_1 - nx^{-2}\right\} = \frac{n}{n+I}\left[< x^2 > - < x >^2\right] \qquad (۴)$$

که برای nهای بزرگ $N-1 \cong N$ این رابطه به رابطه (۲) تبدیل خواهد شد. در ماشین‌حساب‌های علمی حالتی به‌نام SD وجود دارد که به کمک آن می‌توان میانگین و واریانس را محاسبه کرد. معمولاً انحراف استاندارد طبق رابطه (۲) به δn و طبق رابطه (۴) به $\delta n - 1$ نمایش داده می‌شود.

۲.۵. با استفاده از روابط ریاضی

بـه نـدرت اتفـاق مـی‌افتـد کـه یـک کمیـت فیزیکـی X مسـتقیماً انـدازه‌گیـری شـود، بلکـه اغلـب مقـدار آن از رابطـه $X = f(a,b,c,....)$ به‌دست می‌آید بنابراین بین کمیت X و کمیت‌های a, b, c, ... که مستقیماً اندازه‌گیری می‌شوند رابطـه‌ای برقرار است. منظور از محاسبه خطا این است که با استفاده از خطاهایی که روی اندازه‌گیری کمیت‌های بالا مرتکب می‌شویم یعنی $\Delta a, \Delta b, \Delta c.....$ خطای Δx را محاسبه کنیم. قبل از ایـن کـه بـه دسـتور کلـی محاسـبه بپـردازیم چنـد نمونـه از محاسبات خطا در حالت ساده را شرح می‌دهیم.

۶. روش‌های خطاگیری

۱.۶. روش دیفرانسیلی

هرگاه مجهول‌مان تابعی از پارامترهای $a, b, c, ...$ باشد یعنی $X = f(a,b,....)$ برای محاسبه حداکثر خطای مطلـق (ΔX) بـر حسـب خطـای $\Delta a, \Delta b, \Delta c...$ بایـد از طـرفین رابطـه بـالا دیفرانسـیل گرفـت و بـه‌جـای دیفرانسـیل‌هـای $\Delta a, \Delta b, \Delta c.....$ خطاهای بیشینه $\Delta a, \Delta b, \Delta c, ...$ را قرارداد یعنی:

$$\Delta X = f_a \Delta a + f_b .\Delta b + f_c .\Delta c + ... \qquad (۵)$$

که در آن مثلاً f_a مشتق جزئی تابع $f(a.b.c)$ نسبت به a می‌باشد.

۲.۶. روش دیفرانسیل لگاریتمی

در ریاضیات دیفرانسیل تابع $X = Lna$ به‌صورت $dX = \frac{da}{a}$ می‌باشد، که طرف راست رابطه بالا خود نظیر خطـای نسـبی کمیت a می‌باشد. پس با این آگاهی در می‌یابیم که چنانچه خطای نسبی کمیتی را بخـواهیم محاسـبه کنـیم، بهتـر اسـت آن کمیت را به‌صورت لگاریتمی بیان کرده سپس دیفرانسیل‌گیری نماییم. مثلاً اگر داشته باشیم تـابع $X = \frac{a}{b}$ ابتـدا از طـرفین آن لگاریتم گرفته و سپس دیفرانسیل می‌گیریم.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

$$LnX = \ln(\frac{a}{b}) = Lna - Lnb \Rightarrow$$
$$d(LnX) = d[Lna - Lnb] \rightarrow \frac{dX}{X} = \frac{da}{a} - \frac{db}{b} \Rightarrow \frac{\Delta X}{X} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \quad (۶)$$

۷. رسم منحنی و کاربردهای آن

در برخی از آزمایش‌ها لازم است که منحنی تغییرات یک کمیت را بر حسب دیگری رسم نموده که در بسیاری از موارد با کمک این منحنی‌ها مقادیر مجهول دیگری تعیین می‌شوند. مثلاً در آزمایش اندازه‌گیری مقاومت مجهول به روش قانون اهم اگر نمودار ولتاژ بر حسب جریان رسم شود، شیب نمودار برابر با مقاومت خواهد بود. یا در آزمایش اندازه‌گیری مقاومت‌درونی باتری، شیب نمودار R بر حسب $\frac{1}{I}$ برابر ε و عرض از مبدأ آن برابر با مقاومت‌درونی خواهد بود ($R = \frac{\varepsilon}{I} - r$). پس می‌توان اهمیت رسم نمودار را این چنین بیان کرد:

۱. تعیین مقدار کمیت مجهول: که معمولاً شیب خط یا فاصله عرض از مبدآ و طول از مبدأ به روش کم ترین مربعات یا از روی نمودار محاسبه می‌شود
۲. مقایسه نتایج تجربی با منحنی نظری
۳. به‌دست‌آوردن رابطه کیفی بین دو کمیت، مثلاً در آزمایش $R = \rho\frac{L}{A}$ نمودار R بر حسب A رسم شود متوجه می‌شویم که R و A رابطه معکوس دارند.

۸. تعیین خطای کمیت مجهول

خطاگیری‌های قسمت قبل زمانی استفاده می‌شوند که برای پارامترهای ثابت، N بار آزمایش انجام شود. یعنی مجهول X که توسط رابطه $X = f(a,b,....)$ مشخص می‌شود، پارامترهای $a, b, c, ...$ ثابت باشند. ولی هر کدام را N بار اندازه‌گیری کنیم. حال اگر پارامترهای $a, b, c, ...$ متغیر باشند از روش‌های قبلی نمی‌توان استفاده کرد مگر اینکه برای حالت iام خطاگیری کنیم.

برای این کار نموداری را که از شیب آن می‌توان کمیت مجهول را به‌دست آورد، در نظر می‌گیریم و روی کاغذ میلی متری رسم می‌کنیم که برای رسم باید به نکات زیر توجه کرد:

۱. انتخاب واحد باید طوری باشد که تمام اعداد به‌دست‌آمده از آزمایش بر روی محورها بگنجد.
۲. واحد را روی محورها به گونه‌ای باید اتخاذ نمود که حتی الامکان از تمام صفحه کاغذ میلی متری استفاده شود.
۳. بهتر است واحدها شامل تعداد صحیحی از خانه‌های کاغذ میلی متری باشد.
۴. سعی کنید انتخاب واحدها به گونه‌ای باشد که کوچک‌ترین خطای مطلق یک کمیت با طولی بیشتر از یک میلی متر نمایش داده شود.

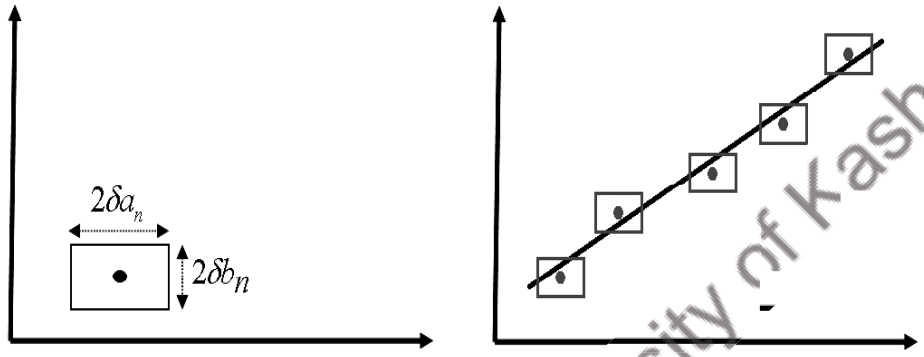
از آنجا که در اندازه‌گیری هر یک از کمیت‌هایی که می‌خواهیم منحنی‌اش را بر حسب دیگری رسم کنیم، خطایی رخ داده است، پس در مورد هر اندازه‌گیری فقط یک نقطه نیست که می‌تواند متعلق به منحنی باشد بلکه مکان هندسی نقاطی که در روابط زیر صدق کنند، می‌توانند یکی از نقاط منحنی باشند.

$$a = a_n \pm \delta a_n, b = b_n \pm \delta b_n \quad (۷)$$

Physics 2 Laboratory University of Kashan

زیرنویس n نشان‌دهنده‌ی مرتبه‌ی آزمایش است. چنانچه ملاحظه می‌شود، δa_n و δb_n نیز غالباً تابع مرتبه آزمایش هستند و به‌همین‌دلیل برای آن نیز اندیس n منظور شده است. مثلاً a_3 و b_3 دو مقدار نظیر مربوط به اندازه‌گیری سومین آزمایش است.

مکان هندسی نقاط، مستطیلی به طول $2\delta a_n$ و به عرض $2\delta b_n$ است. در شکل ۱ هر یک از این نقاط درون مستطیل می‌تواند یکی از نقاط منحنی باشد. پس چنانچه ملاحظه می‌شود، به‌جای تعدادی نقطه یک سری مستطیل به‌دست می‌آید که به‌منظور رسم دقیق خط یا منحنی باید آن را چنان ترسیم نمود که اولاً تمام مستطیل‌ها توسط آن قطع شوند و ثانیاً منحنی مذکور حتی الامکان به مراکز مستطیل‌ها نزدیک باشد.



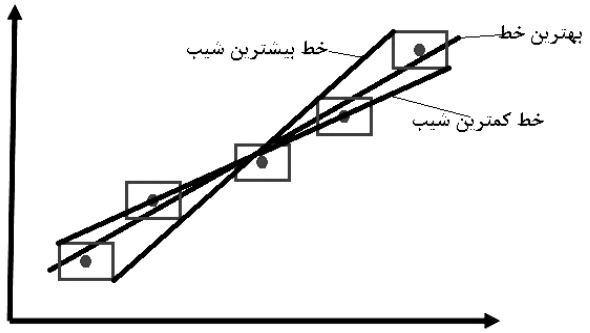
شکل(۱): نحوه رسم بهترین خط به‌همراه خطای نقاط تجربی.

۱.۸. روش رسم خط کم‌ترین شیب

چنانچه خط واصل بین رأس پایین سمت راست بالاترین مستطیل و رأس فوقانی سمت چپ پایین‌ترین مستطیل، تمام مستطیل‌های دیگر را قطع کند می‌توان به‌عنوان خط کوچک‌ترین شیب منظور شود. در غیر این صورت در حالی که خط‌کش را روی یکی از دو رأس قرار داده‌ایم، یک سر دیگر را آنقدر جابه‌جا می‌کنیم که شرط قطع کردن تمام مستطیل‌ها محقق گردد.

۲.۸. روش رسم خط بزرگترین شیب

یک سر خط‌کش را روی رأس فوقانی سمت چپ بالاترین مستطیل و سر دیگر ان را روی رأس تحتانی سمت راست پایین‌ترین مستطیل قرار دهید. اگر شرط قطع کردن تمام مستطیل‌ها تحقق پذیرفت که این خط، خط بزرگترین شیب خواهد بود و در غیر این صورت نیز با جابه‌جا کردن یک سر خط‌کش، تا تحقق شرط فوق می‌توان این خط را پیدا نمود (شکل ۲).



شکل (۲): نحوه رسم کم‌ترین، بیش‌ترین شیب و بهترین خط.

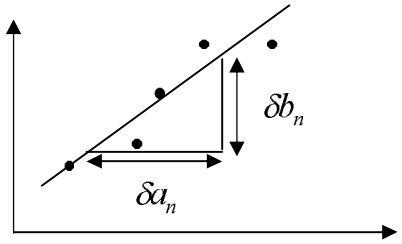
۹. طریقه به‌دست‌آوردن شیب یک خط

Physics 2 Laboratory University of Kashan

۱.۹. با استفاده از نمودار

برای پیدا کردن شیب یک خط، کافی است که از دو نقطه دلخواه A و B روی خط، دو خط بـه مـوازات محورهـای افقـی و عمودی رسم نمود تا به کمک آن‌ها یک مثلث قائم الزاویه ساخته شود. نسبت طول ضلع عمودی به ضلع افقی ضریب زاویـه یـا شیب خط است.

❖ تذکر: برای دقت بیشتر در محاسبه شیب، بهتر است که اضلاع مثلث حتی الامکان بزرگتر انتخاب شوند.



$$m = \tan\alpha = \frac{\delta b_n}{\delta a_n}$$

شکل(۳): طریقه به‌دست‌آوردن شیب یک خط.

۲.۹. با استفاده از ماشین‌حساب علمی

اگر مجموعه‌ای از n زوج نقطه (Xi,Yi) معادله خطی $Y = a + bX$ را به گونه‌ای بیابیم که مجموع مربع فاصله نقاط تـا خط، یعنی $\varepsilon = \sum_{i-1}^{n}(Y_i - y_i)^2$ کمینه شود. بهترین خط را در تقریب حداقل مربعات به‌دست آورده‌ایم.

$Y = a + bX$ عرض خط در طول $X = X_i$ است. کمینه بودن ε نسبت به a و b یعنی $\frac{\Delta\varepsilon}{\Delta a} = 0 . \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta b} = 0$ به دستگاه معادلات زیر منجر می‌شود.

$$\left\{\begin{array}{l} a + b < X > = < Y > \\ a < X > + b < X^2 > = < XY > \end{array}\right\} \qquad (۸)$$

که می‌توان آن را به سادگی حل کرد:

$$b = \frac{< XY > - < X >}{< X^2 > - < X >^2} \quad , a = < Y > - b < X > \qquad (۹)$$

ماشین‌حساب‌های علمی پیشرفته دارای حالتی هستند که قـادر اسـت a و b را بـر طبـق رابطـه (۷) بـرای n زوج نقطـه (X_1,Y_1) محاسبه کند. این حالت معمولاً با علامـت LR مشـخص شـده اسـت. در ماشـین‌حسـاب‌هـای $casio(fx-3600)$ مختصـات X_1 بـه دکمـه (X_0,Y_0) و مختصـات Y_1 متنـاظر بـه دکمـه DATA داده مـی‌شـود. در ماشـین‌حسـاب $casio(fx-4500P)$ مختصات X_1,Y_1 با یک کاما به‌صورت X_1,Y_1 به DT داده می‌شـوند و ضـرایب B (شـیب خـط)، A (عرض از مبدا خط)، و r (ضریب همبستگی خط) توسط ماشین حساب محاسبه می‌شوند. دانشجویان مجازند ضـرایب a و b را به کمک رابطه بالا یا به‌وسیله ماشین‌حساب به‌دست آورند. ولی در هر حال رسـم بهتـرین خـط بـر روی کاغـذ میلـی متـری ضروری است.

۱۰. طریقه محاسبه خطای شیب

Physics 2 Laboratory University of Kashan

برای پارامترهای متغیر برای به‌دست‌آوردن خطای کمیت مجهول، اول باید خطای شیب را محاسبه کنیم. برای این کار مانند آنچه گفته شد بر روی کاغذ میلی متری نقاط را مشخص کنید و با توجه به خطای مطلق هر محور، مستطیل‌ها را رسم کنید و بهترین شیب و همچنین کمترین شیب را رسم و مقدار آن را محاسبه نمایید. سپس خطای شیب را از رابطه زیر به‌دست آورید:

شیب خط کمترین شیب m_1

شیب خط بهترین شیب m_0 خطای شیب $\Delta m = \max\{|m_1 - m_0|, |m_2 - m_o|\}$

شیب خط بیشترین شیب m_2

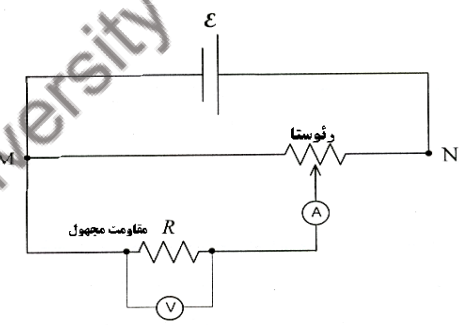
➤مثال: در آزمایش قانون اهم، اعداد زیر به‌دست‌آمده است. مطلوبست:

(۱) مقدار مقاومت را از روی شیب نمودار محاسبه نمائید.

(۲) خطای نسبی مقاومت از رهش روابط ریاضی به‌دست آورید.

(۳) خطای نسبی ممامت را از روی خطای شیب به‌دست آورید.

	۱	۲	۳	۴
$V \pm 0.01(V)$	۱/۰۱	۲/۱۱	۳/۲۱	۴/۳۳
$I \pm 0.001(A)$	۰/۰۱۱	۰/۰۲۲	۰/۰۳۱	۰/۰۴۲
$R(\Omega)$	۹۰/۸۲	۹۵/۹۱	۱۰۳/۵۵	۱۰۳/۱۰



❖ پاسخ (۱): برای رسم نمودار بهتر است هر واحد محور افقی را برابر ۰/۰۰۱ A (دقت شدت جریان) و هر واحد محور قائم را ۰/۰۱ V بگیریم که شیب برابر است با $m_0 = 108.2$ و در نتیجه $R = 108.2(\Omega)$ می‌باشد.

❖ پاسخ (۲): برای محاسبه خطای نسبی (با روابط ریاضی) از رابطه $R = \frac{V}{1}$ لگاریتم و دیفرانسیل می‌گیریم که در نتیجه داریم:

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

که برای یک ولتاژ و جریان، خطا را محاسبه می‌کنیم. همچنین داریم: $\Delta V = 0.1V, \Delta I = 0.001A$

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{0.1}{1.0} + \frac{0.001}{0.011} = 0.101$$

10.1% = درصد خطا

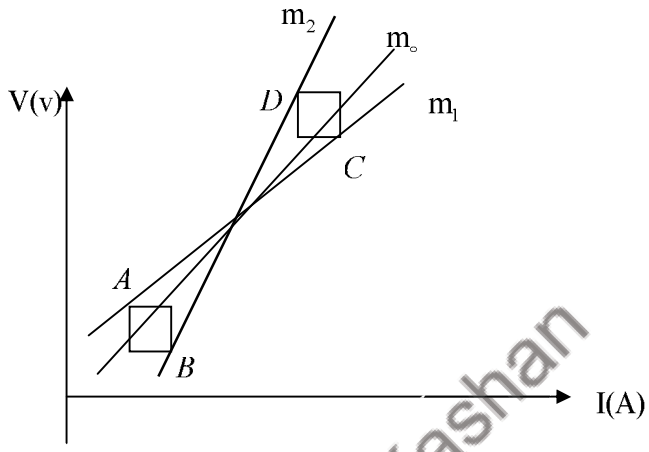
❖ پاسخ (۳): برای محاسبه خطای شیب ابتدا مستطیل‌هایی به عرض $2\Delta V = 0.02$ و طول $2\Delta I = 0.002A$ برای نقاط اول و چهارم به مرکز نقاط رسم می‌کنیم. سپس مختصات‌های A, B, C, D را به‌دست می‌آوریم.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

$$A=(I_1-\Delta I,V_1+\Delta V)=(0.01,1.02)$$
$$B=(I_1+\Delta I,V_1-\Delta V)=(0.012,1.00)$$
$$C=(I_4+\Delta I,V_4-\Delta V)=(0.043,4.32)$$
$$D=(I_4-\Delta I,V_4+\Delta V)=(0.042,4.34)$$

$$m_1=\frac{4.32-1.02}{0.043-0.01}=100$$ کمترین شیب

$$m_2=\frac{4.34-1.00}{0.042-0.012}=111.3$$ بیشترین شیب



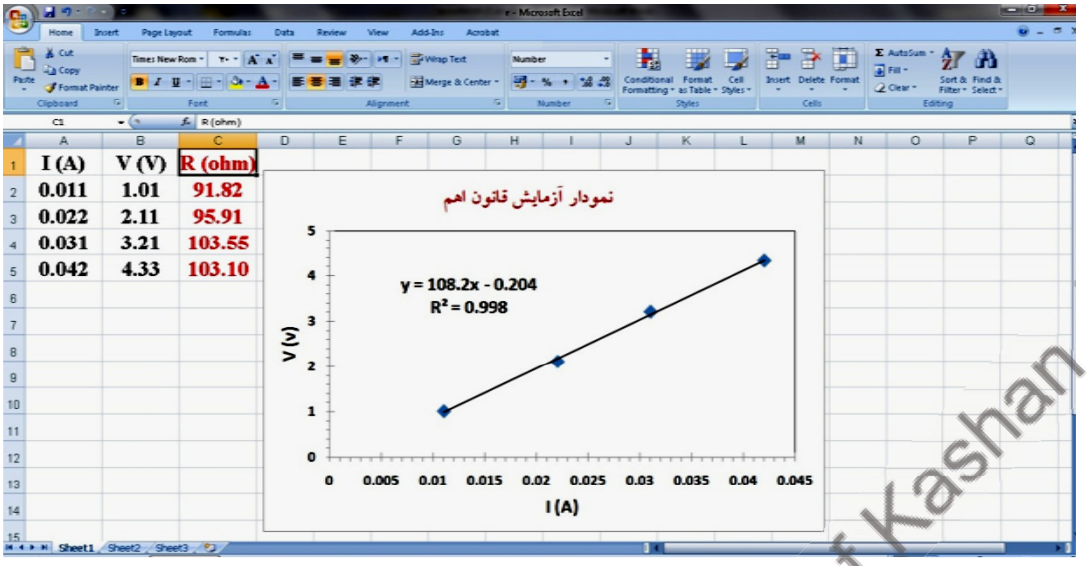
$$\frac{\Delta m}{m}=\frac{\max\{|m_1-m_0|,|m_2-m_0|\}}{m}=\frac{8.2}{108.2}=0.076$$

7.6% = درصد خطا

۱۱. توضیح مختصری در مورد نحوه رسم نمودار به‌وسیله نرم افزار Excel 2007

ابتدا داده‌های آزمایش مثال قبل را در دو ستون (A و B) وارد کنید. جهت محاسبه مقدار مقاومت در خانه C2 عبارت B2/A2= را تایپ کنید و کلید Enter را بزنید با این کار مقدار خانه B2 بر مقدار A2 تقسیم می‌شود، سپس با دوبار کلیک کردن روی گوشه راست خانه این محاسبات برای تمام خانه‌ها اتفاق می‌افتد. سپس با انتخابگر دو ستون داده‌های وارد شده را انتخاب کنید و از منوی Insert در قسمت Chart، گزینه XY(Scatter) را انتخاب کنید. پس از رسم نمودار، بر روی یکی از نقاط نمودار راست کلیک کنید و گزینه Add Trend line را انتخاب کنید. با این کار پنجره‌ای باز می‌شود که با انتخاب Linear نوع خطی بودن داده‌ها مشخص می‌شود و با انتخاب گزینه Display equation on chart معادله بهترین خط و با انتخاب گزینه Display R-Squared value on chart معیار خطی بودن داده‌ها (هر چه به یک نزدیک‌تر باشد داده‌ها به خط انطباق داده شده منطبق‌تر هستند) مشخص می‌شود. جهت تنظیمات نمودار بر روی محور x راست کلیک کنید با انتخاب گزینه Format Axes، مقدار کمینه، بیشینه، گام محور افقی و راست و چپ بودن مبدا قابل تنظیم است. سپس در منوی Design با انتخاب گزینه Chart Layout می‌توانید عنوان نمودار و نام هر کدام از محورها را وارد نمائید. در شکل ۴ داده‌های مربوط به مثال قبل رسم شده است. همچنین با این نرم افزار می‌توان خطوط خطا (Error Bar) را نیز بر روی نمودار مشخص نمود. جهت استفاده‌های بیش‌تر و کامل‌تر به کتاب‌هایی که در این زمینه نوشته شده است مراجعه نمائید.

Physics Laboratory University of Kashan



I (A)	V (V)	R (ohm)
0.011	1.01	91.82
0.022	2.11	95.91
0.031	3.21	103.55
0.042	4.33	103.10

شکل(۴): رسم نمودار و محاسبه معادله بهترین خط از داده‌های تجربی.

Physics 2 Laboratory University of Kashan

فهرست منابع و مآخذ

۱. هالیدی، دیوید، رزنیک، رابرت. و واکر، جرج، مبانی فیزیک، جلد دوم: الکتریسیته و مغناطیس، ویرایش هشتم، نوپردازان، ۲۰۰۸.

۲. خرازی زاده، سعید، اصول الکترونیک۱، دیباگران تهران، ۱۳۷۹.

۳. کشاورز، علیرضا، سلطانی، زهرا، آزمایشگاه فیزیک۲، آوند اندیشه، ۱۳۸۸.

۴. دستورکار آزمایشگاه فیزیک، شرکت شرق آزما، ۱۳۸۶.

۵. دستورکار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲، هیئت مولفان، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۸۸.

۶. دستورکار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲، هیئت مولفان، دانشگاه اصفهان،۱۳۸۲.

۷. دستورکار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲، پرتوی‌فر، خسروی، دانشگاه کاشان، ۱۳۸۵.

Physics 2 Laboratory University of Kashan