دانشگاه الزهرا

آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

دانشکده فیزیک

ویرایش: اسفند۱۴۰۲ - صفری

فهرست مطالب:

مقدمات ۲
آشنایی با قانون اهم ۱۳
مقاومت و مقاومت ویژه ۱۷
پل وتستون و پل تار ۲۵
مقاومت متغیر ۲۹
اندازه‌گیری مقاومت داخلی یک باطری ۳۳
قوانین کیرشهف ۳۵
شارژ و دشارژ خازن ٤۰
الکتریسیته ساکن ٤٦
القای الکترومغناطیس ٥۳
ترانسفورماتور ٦۳
نیروی محرکه‌ی القایی ۷۲
اسیلوسکوپ ۷۷
جریانهای متناوب۱ ..... ۸٥

مقدمات

کار آزمایشگاهی، یک فرآیند دامنه‌دار است که زمان انجام عملی آزمایش صرفا قسمتی از این فرآیند را تشکیل می‌دهد. این فرآیند از مطالعه‌ی قبل از آزمایش شروع شده، با تهیه‌ی وسایل و انجام عملی آزمایش ادامه می‌یابد و با تهیه و تنظیم گزارش‌کار پایان می‌پذیرد.

آزمایشگاه فیزیک پایه ۲ با توجه به آزمایش‌هایی که در آن انجام می‌شود و وسایلی که مورد استفاده قرار می‌گیرند، نیازمند یک سری ملاحظاتی است که آزمایشگر در تمام مراحل باید به آن‌ها دقت خاص نماید. از آن جمله می‌توان به مسائل ایمنی و نحوه‌ی بکارگیری صحیح وسایل اشاره کرد. ذکر این نکته ضروری است که در دروس عملی (آزمایشگاهی) علاوه بر آشنایی با وسایل آزمایشگاهی و انجام آزمایش، رعایت نظم و پیروی از یک ترتیبِ کاریِ صحیح در اولویت اولیه قرار داشته و بخشی از ارزشیابی کار آزمایشگر به رعایت این نظم و ترتیب اختصاص می‌یابد.

از آزمایشگر انتظار می‌رود که:

۱) به موقع در آزمایشگاه حاضر شود و از تمام مدت زمانی که در اختیار دارد به نحو مطلوب استفاده کند. نتایج کار آزمایشگاهی صرفا در آزمایشگاه بدست می‌آیند و آزمایشگر امکان انجام آزمایش را در مکانی غیر از آزمایشگاه ندارد، بنابراین استفاده بهینه از زمان از ضروریات به‌شمار می‌رود.

۲) در رعایت نظم ظاهریِ شخص آزمایشگر و فضای آزمایشگاه کوشا باشد. لذا دانشجویان در آزمایشگاه حتما روپوش سفید آزمایشگاهی پوشیده و وسایل همراه خود را از جمله کیف و پالتو و ... را در فضایی که در زیر میزهای آزمایشگاهی مخصوص این‌کار تعبیه شده، قرار دهند و از قرار دادن وسایل روی میز آزمایشگاهی جدا خودداری نمایند. چرا که این کار علاوه بر برهم زدن نظم ظاهر آزمایشگاه، گاهی باعث رسیدن آسیب‌های جدی به وسایل آزمایشگاهی می‌شود.

۳) مطالعه دستور کار آزمایش قبل از شروع هر آزمایش هرچند اندک و جامع فراموش نشود. مطالعه قبل از شروع کار آزمایشگاهی و گردآوری اطلاعات مورد نیاز، زمینه‌ای روشن از کار را برای آزمایشگر بوجود می‌آورد و فرد می‌تواند ترتیب مراحل مختلف کار، برخی مشکلات پیش‌رو و طریقه‌ی رفع آن‌ها را از قبل تشخیص داده و آمادگی لازم جهت برخورد با شرایط را در خود ایجاد نماید.

۴) زمان‌بندی و تقسیم وظایف با دیگر همکاران (هم‌گروهی‌ها) انجام شود. با توجه به اینکه کار آزمایشگاهی یک کار جمعی است و توسط گروه انجام می‌شود، مشارکت تک تک افراد گروه و هماهنگی بین وظایف آن‌ها در رسیدن به نتیجه‌ی صحیح نقش اساسی دارد.

۵) جدیت و حوصله حین انجام آزمایش‌ها، مدنظر باشد. مسلما انجام هرکاری، به‌ویژه کار آزمایشگاهی، با بی‌حوصلگی و بدون انگیزه‌ی کافی نتیجه‌ی مطلوب در پی نخواهد داشت. باید تلاش کرد که با جدیت و بدون هراس از کسب نتیجه‌ی غلط کار انجام پذیرد.

۶) رعایت نظم و ترتیب در آزمایشگاه از ضروریات است. هیچ آزمایشی در شلوغی و عدم تمرکز به نتیجه‌ی مطلوب نمی‌رسد. بی‌نظمی نه تنها کار آزمایشگر را بدون نتیجه می‌گذارد، بلکه کار گروه‌های دیگرِ فعال در آزمایشگاه هم تأثیر منفی داشته و تجاوز به حقوق دیگران محسوب می‌شود.

۷) نتایج در انتهای هر مرحله باید ثبت شوند و در انتها به وسیله‌ی مدرس آزمایشگاه بررسی و تأیید شود. این کار، آزمایشگر را از صحت انجام مراحل مختلف آزمایش مطمئن می‌سازد.

۸) دانشجویان محترم باید به این نکته توجه نمایند که استاد درس و همچنین کارشناس آزمایشگاه باید از سالم بودن و خراب بودن وسایل آزمایشگاه خصوصا مولتی‌مترهای موجود در آزمایشگاه اطلاع داشته باشند. لذا مطلقا وسیله‌ای را بی‌اجازه از کمد وسایل بیرون نیاورید و منبعی که مدار خود را با آن بسته اید بعد از مشاهده استاد روشن کنید. و بعد از تمام شدن آزمایش روی میز را مرتب کرده و وسایلی که در شروع کار از استاد تحویل گرفته‌اید را به ایشان بازگردانید. در ضمن چنانچه وسیله‌ای طی آزمایش خراب شد حتما به استاد اطلاع دهید تا آن را کنار گذاشته و برای تعمیر تحویل کارشناس آزمایشگاه بدهند.

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

نحوه‌ی تنظیم گزارش‌کار:

در اینجا به‌طور مختصر نحوه‌ی تنظیم یک گزارش‌کارِ درخور و کامل را مطرح می‌نماییم.

۱- شناسنامه‌ی گزارش‌کار:

در صفحه‌ی اول گزارش‌کار فقط اطلاعاتی که در شکل (۱) می‌بینید نوشته می‌شود. این صفحه مانند جلد یا شناسنامه برای گزارش‌کار شماست.

توجه: برای شروع به‌کار، ذکر نام خداوند در دل باشد و از آوردن آن به روی کاغذ خودداری کنید.

گزارشکار آزمایشگاه فیزیک پایه 2

عنوان آزمایش:
نام اعضای گروه:
تاریخ انجام آزمایش:
تاریخ تحویل گزارشکار:
روز و ساعت تشکیل کلاس:

شکل (۱): صفحه اول گزارشکار

۲- هدف از انجام آزمایش:

به‌طور خلاصه بگویید هدف از انجام آزمایش چیست و چه نتیجه ای انتظار دارید..

۳- تئوری و اثبات روابط:

در این بخش با کمک منابع معتبر در دسترس (مانند کتاب، مقاله‌ی چاپ شده، مجلات علمی و ...) مفاهیم و پدیده‌هایی که در آزمایش بررسی می‌کنید را شرح می‌دهید. روابط مورد استفاده با توضیحات مورد نیاز در این بخش آورده شود.

۴- شرح آزمایش:

در این قسمت مراحل و جزئیات روش انجام آزمایش را با دقت و رعایت ترتیب انجام مراحل آزمایش، می‌نویسید. چنانچه شکل یا تصویری لازم باشد گزارش شود، (مانند شکل مدار یا دستگاه مورد استفاده) در این قسمت آورده می‌شود.

۵- نتایج اندازه‌گیری، جدول‌ها و نمودارها، محاسبات:

در این بخش نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده حتما در قالب جدول تعریف شده، با ذکر واحد کمیات، ارائه می‌گردد. چنانچه برای بدست آوردن کمیت مجهول نیاز به رسم نمودار بود، نمودار مذکور در این بخش ارائه می‌شود. مراحل انجام محاسبات بطور کامل باید نوشته شود. نتیجهو فواید و کاربرد هر آزمایش را بنویسید.

۶- محاسبه‌ی خطا و ذکر منابع خطا:

در این بخش با استفاده از نتایج آزمایش، دقت دستگاه‌های مورد استفاده و در صورت دسترسی با مقادیر واقعیِ کمیات مورد نظر، محاسبه‌ی خطا انجام می‌گیرد و گزارش می‌شود. شخص آزمایشگر در این قسمت از گزارش‌کار عوامل ایجاد خطا، که می‌تواند عوامل شخصی، محیطی یا مربوط به دقت دستگاه‌های اندازه‌گیری و ... باشد، را ذکر می‌کند. این قسمت برای بررسی‌های بعدی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد و به بهبود نتایج آزمایش‌های بعدی کمک کند.

۷- پاسخ به پرسش‌ها:

در این بخش پرسش‌های مطرح شده در پایان گزارش‌کارِ هر آزمایش، پاسخ داده می‌شود.

۸- نتیجه‌گیری:
در این بخش باید دستیابی یا عدم دستیابی به نتایج مطلوب و عوامل مؤثر در این نتایج مورد بحث قرار می‌گیرد.

آشنایی با وسایل:

در این بخش با تعدادی از وسایل الکتریکی مانند منبع تغذیه، وسایل اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی و ... که تقریبا در تمام آزمایش‌ها از آن‌ها استفاده خواهید کرد، آشنا می‌شوید. تذکر این نکته ضروری است که اندازه‌گیری یعنی تعیین تعداد یک کمیت فیزیکی برحسب واحدی معین. بنابراین تعیین واحدی برای اندازه‌گیری و ذکر آن در گزارش‌کار ضروری است.

منبع تغذیه:

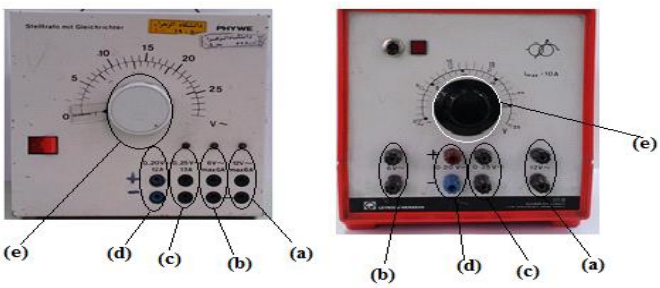
همانطور که از نام این وسیله برمی‌آید، از آن به عنوان منبع انرژی الکتریکی AC/DC استفاده می‌شود که خروجی آن برای تغذیه و راه‌اندازی مدارهای الکتریکی (از هرنوع آن) مورد استفاده قرار می‌گیرد. منابع تغذیه بر اساس ویژگی‌هایی از قبیل ولتاژ خروجی، جریان خروجی، مقاومت داخلی و شکل موج خروجی، دقت و در عین حال پایداری مشخصات خروجی و ... دسته بندی می‌شوند.
در واقع طیف وسیعی از لوازم و ادوات الکتریکی هستند که می‌توانند انرژی الکتریکی مورد نیاز لوازم الکتریکی را فراهم کنند. از جمله این لوازم می‌توان به باتری‌های سربی- اسیدی یا نیکل- کادمیوم و ... اشاره کرد که باتری‌های قابل شارژ هستند. دسته‌ی دیگر، باتری‌های غیرقابل شارژ مثل باتری‌های روی- کربن و ... می‌باشند. سلول‌های خورشیدی نیز دسته‌ای از منابع انرژی الکتریکی هستند که با تبدیل طیف نورانی انرژی الکترومغناطیس به انرژی الکتریکی، به عنوان منبع انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.
در آزمایشگاه ما نیز از چند نوع منبع تغذیه‌ی متفاوت استفاده می‌کنیم که در زیر شرح هر منبع و نحوه‌ی استفاده از آن‌ها را می‌بینید:

۱- باتری قابل شارژ الکترولیتی:

شکل(۲): باتری قابل شارژ الکترولیتی

این باطری با ولتاژ ۱۲ ولت مستقیم، دارای ۲ زبانه‌ی کوچک فلزی است که قطب‌های مثبت و منفی باتری می‌باشند و برای وصل کردن این باتری به مدار باید از سیم‌های یک سر سوسماری استفاده کنید. قطب مثبت باتری با رنگ قرمز و قطب منفی آن با رنگ مشکی مشخص شده‌اند.
در هنگام استفاده از این باتری توجه کنید که مطلقا دو قطب مثبت و منفی باتری را با سیم به هم وصل نکنید. در غیر اینصورت باتری تخلیه می‌شود. همواره قبل از قرار دادن باتری در مدار حتما از استاد بخواهید مدارتان را چک کند تا از درستی مدار مطمئن شوید. در ضمن قبل از قرار دادن باتری در مدار، با کمک یک ولت‌متر DC ولتاژ خروجی باتری را اندازه بگیرید که باید بزرگتر یا مساوی ولتاژ اسمی باتری (۱۲ ولت) باشد. در غیر اینصورت باتری را برای شارژ به مسئول آزمایشگاه تحویل دهید.

۲- منبع تغذیه ی AC-DC:



شکل (۳): منابع تغذیه ی AC - DC

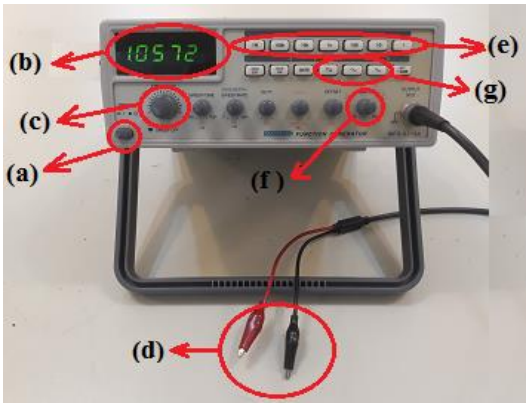
این نوع منبع تغذیه جهت تأمین ولتاژ DC (مستقیم) و AC (متناوب) با ولتاژ متغیر بین ۰ تا ۲۵ ولت مورد استفاده قرار می گیرد. همانطور که در شکل (۳) دیده می شود، ۴ جفت خروجی مختلف روی منبع وجود دارد. یک جفت فیش (a) مربوط ولتاژ ۱۲ ولتِ متناوب است. چنانچه از این جفت خروجی استفاده کنید، یک منبع تغذیه‌ی متناوب با ولتاژ ثابت ۱۲ ولت و جریان ماکزیمم ۵ آمپر خواهیم داشت و نمی‌توان ولتاژ را تغییر داد. یک جفت فیش (b) نیز وجود دارد که مربوط به ولتاژ ۶ ولت متناوب است. جفت فیش دیگری که با

حرف (c) روی شکل مشخص شده مربوط به ولتاژ AC متغیر بین ۰ تا ۲۵ ولت است. آخرین جفت فیش‌ها (d) مربوط به ولتاژ DC متغیر بین ۰ تا ۲۰ ولت است که قطب‌های مثبت و منفی آن روی دستگاه مشخص شده است. در حالت ولتاژ متغیر (AC یا DC) مقدار ولتاژ توسط پیچ بزرگ (e) تغییر می‌کند.

رعایت چند نکته هنگام استفاده از این منابع ضروری است:

- در هنگام بستن مدار حتما دقت کنید که منبع خاموش باشد و پیچ تنظیم ولتاژ روی صفر باشد. و قبل از روشن کردن منبع، مدار توسط استاد کنترل شود و از درستی مدار اطمینان حاصل شود تا اشتباها اتصال کوتاه رخ ندهد.
- برای تنظیم منبع در یک ولتاژ خاص حتما از ولت متر استفاده کنید و به درجات درج شده روی منبع اعتماد نکنید.
- پس از پایان کارتان حتما منبع را خاموش کرده و پیچ تنظیم ولتاژ را حتما روی صفر برگردانید.

۳- نوسان‌ساز (Function Generator):



شکل (۴): نوسان ساز

این دستگاه قادر است که ولتاژهای متناوب با شکل موج‌های مختلف (مربعی، دندان اره‌ای و سینوسی) و همچنین پالس، با دامنه و فرکانس‌های مختلف ایجاد کند. نوسان سازها به دو گروه دیجیتال و آنالوگ تقسیم می‌شوند. در نوع دیجیتال آن که بسیار دقیق‌تر است، از یک نوسان ساز با کریستال کوارتز و یک سینتیسایزر دیجیتال که قلب آن مداری به نام Phase Lock Loop یا PLL است استفاده می‌شود. ولی در نوع آنالوگ آن، مدار داخلی از یک نوسان‌ساز سلف و خازن یا مقاومت و خازن تشکیل شده است که مقدار فرکانس نوسان به ویژگی‌های مقاومت، سلف و خازن موجود در مدار بستگی دارد.

نوسان‌سازها علاوه بر دو دسته‌ی آنالوگ و دیجیتال از نظر میدان فرکانس موج تولید شده به دو دسته‌ی فرکانس پایین و فرکانس رادیویی تقسیم می‌شوند. نوع فرکانس پایین آن‌ها معمولا قادرند تا فرکانسی کمتر از ۱۰ مگا هرتز تولید کنند؛ در حالیکه نوع رادیویی آنها فرکانس‌هایی تا چند صد گیگا هرتز را نیز می‌توانند تولید کنند. در شکل (۴) نوسان‌ساز مورد استفاده در آزمایشگاه ما دیده می‌شود. این نوسان‌ساز امواجی تا ۲ مگا هرتز را تولید می‌کند.

در شکل (۴) قسمت‌هایی از این نوسان‌ساز نامگذاری شده که کاربرد آن قسمت‌ها به شرح زیر می‌باشد.

(a)- کلید روشن و خاموش

(b)- صفحه ی نمایشگر (DISPLAY) که میزان فرکانس خروجی و واحد فرکانس را نشان می‌دهد.

(c)- پیچ‌های تنظیم فرکانس که بوسیله‌ی آن فرکانس خروجی را کم یا زیاد می‌کنیم.

(d)- کابل خروجی که دو سر سوسماری قرمز و مشکی دارد و به ابتدا و انتهای مدار متصل خواهد شد.

(e)- دکمه‌های تعیین‌کننده‌ی ظرفیت دستگاه؛ برای مثال چنانچه دکمه ی 10K را بزنید، بیشترین فرکانس تولید شده ۱۰ کیلو هرتز خواهد بود.

(f)- پیچ تنظیم ولتاژ؛ با این پیچ دامنه‌ی موج خروجی کم و زیاد خواهد شد.

(g)- دکمه‌های تعیین‌کننده‌ی شکل موج که سه حالت سینوسی، مثلثی و مربعی دارد.

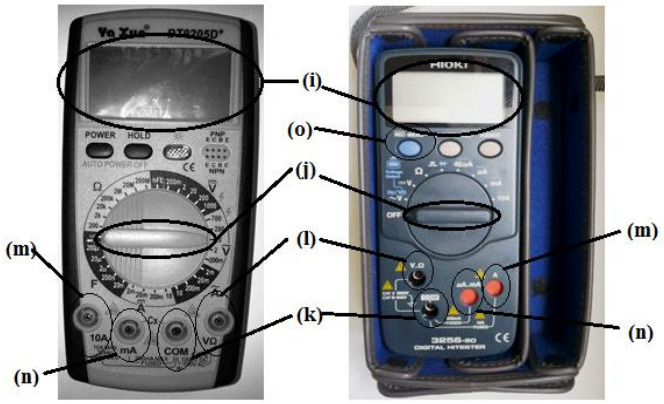
مولتی متر:

در آزمایش‌های مربوط به پدیده‌های الکتریسیته و مغناطیس در این آزمایشگاه از دستگاه‌های مختلفی برای اندازه‌گیری کمیت‌های فیزیکی استفاده می‌کنیم که در این قسمت به معرفی و نحوه‌ی استفاده از تعدادی از پرکاربردترین آنها می‌پردازیم.

مولتی‌متر دیجیتالی:

دستگاه‌های اندازه‌گیری دیجیتال مقادیر اندازه‌گیری شده را بصورت رقم روی صفحه‌ی نمایش (DISPLAY) نشان می‌دهند و معمولا واحد کمیت اندازه‌گیری شده به طریق مناسبی کنار مقدار کمیت نشان داده می‌شود.

یک مولتی‌متر دیجیتال حداقل سه کمیت ولتاژ، جریان و مقاومت الکتریکی را اندازه‌گیری می‌کند. با چرخش یک انتخابگر (SELECTOR) که پایین صفحه‌ی نمایش قراردارد، می‌توانیم انتخاب کنیم که مولتی‌متر یک ولتمتر (برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل)، یک آمپرمتر (برای اندازه‌گیری شدت جریان) و یا یک اهم‌متر (برای اندازه‌گیری مقاوت) باشد(شکل ۵).



(۵-b) (۵-a)

شکل (۵): دو نوع مولتی مترِ دیجیتالیِ موجود در آزمایشگاه

در بعضی از مولتی‌مترها علاوه بر اینکه توسط انتخابگر، مُدِ دستگاه را تعیین می‌کنیم، رنج دستگاه را نیز باید مشخص کنیم (شکل (۵-b)). رنج (RANGE) حداکثر محدوده‌ی اندازه‌گیری دستگاه در هر مُدِ انتخابی است. برای تنظیم رنج دستگاه باید ولتاژ منبع تغذیه و مدارها را حدودی بدانیم. در غیر این‌صورت جهت اندازه‌گیری هر کمیتی با مولتی‌متر دیجیتال یا آنالوگ کلید انتخابگر را در مُدِ مربوطه روی بیشترین رنج گذاشته و در صورتیکه دستگاه عددی را نشان نداد، انتخابگر را به ترتیب روی رنج‌های کمتر می‌گذاریم. ولی بعضی از مولتی‌مترها قادر به اندازه‌گیری بصورت خودکار هستند و نیازی نیست حدود کمیت را بدانیم و تنظیم کنیم. به این مولتی‌مترها Auto Range گویند.

مولتی‌مترهای دیجیتال اغلب دارای ۴ ترمینال خروجی هستند. یکی از این ترمینال‌ها به نام COM و با علامت (⏚) مشخص می‌شود که مولتی‌متر در هر مُدی قرار بگیرد (آمپرمتر، ولت‌متر یا اهم‌متر) این خروجی سر منفی مولتی‌متر محسوب می‌شود(k). خروجی که با علامت VΩ مشخص شده، خروجی دومِ مُدهای ولت‌متر و اهم‌متر (l) و خروجی ۱۰A مربوط به مُد ۱۰ آمپر (جریان های بالای ۱ آمپر) می‌باشد (m) و در نهایت خروجی mA و μA مربوط به جریان‌های کوچک (زیر ۱ آمپر) است(n). هنگام تنظیم مولتی‌متر در هریک از مُدهای مورد نظرتان، به ترمینال‌های خروجی که سیم رابط را به آن می‌زنید، دقت کنید. البته بهتر است اول روی میلی آمپر تنظیم کنیم اگر اعداد خیلی کوچک بود از رنج میکرو استفاده کنیم.

الف- ولت‌متر:

برای قراردادن مولتی‌متر در مُدِ ولت‌متر، پیچ انتخابگر را می‌چرخانیم تا نشانگر روی علامت ولت (V) قرار گیرد. اما همانطور که در شکل (۵) می بینید، دو مُدِ مختلف برای ولت‌سنجی وجود دارد که یکی از آنها با علامت مشخص (V⎓) شده است که مربوط به ولت‌متر (DC) می‌باشد. چنانچه منبع در حالت مستقیم باشد و جریان و ولتاژ موجود در مدار، مستقیم (DC) باشد، باید نشانگر را روی علامت (V⎓) قرار دهیم.

دومین مُد، مربوط به ولت متر AC می‌باشد که با علامت (V~) نشان داده می‌شود. چنانچه منبع در حالت متناوب (AC) بوده و ولتاژ وجریان جاری در مدار متناوب باشند، باید مولتی‌متر را در مُدِ ولت‌متر متناوب (V~) قرار دهیم.

اساس کار یک ولت‌متر DC دیجیتالی بر مبنای مقایسه است. یعنی ولتاژ اعمال شده به ولت‌متر، با یک ولتاژ مرجع (معمولا ۱۰۰ میلی‌ولت) مقایسه می‌شود و نتیجه‌ی مقایسه توسط مدارهای الکترونیکی و دیجیتالی بصورت ارقام که مبین مقدار ولتاژ DC اعمالی به ولت‌متر است، روی صفحه‌ی نمایش آن ظاهر می‌گردد.

ب- آمپرمتر:

برای اندازه‌گیری جریان باید ابتدا مولتی‌متر را در مُدِ ۱۰ آمپر قرار دهید و چنانچه آمپرمتر عددی نشان نداد، رنج آن را کمتر کرده و در مُدِ mA قرار دهید. به این ترتیب دستگاه آسیب نمی‌بیند.

در بعضی از مولتی‌مترها پیچ انتخابگر فقط مولتی‌متر را درحالت آمپرمتر قرار می‌دهد و AC یا DC بودن آن را مشخص نمی‌کند (شکل (a-۵)). در این حالت پایین صفحه‌ی نمایش یک دکمه قرار دارد که اغلب با shift نامگذاری شده است(o). یکبار که این دکمه را بفشارید دستگاه از آمپرمتر DC به آمپرمتر AC تبدیل خواهد شد.

به این نکته دقت کنید که در اغلب مولتی‌مترهای دیجیتالی، ترمینال خروجی جریان‌های بزرگ (۱۰ یا ۲۰ آمپری) با ترمینال خروجی جریان‌های میلی‌آمپری و میکروآمپری (جریان‌های کمتر از ۱ آمپر) متفاوت است. پس هنگامی که رنج آمپرمتر را تغییر می‌دهید، باید خروجی آن را نیز تغییر دهید.

ج- اهم‌متر:

برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول، پیچ انتخابگر مولتی‌متر را در مُدِ اهم‌متر قرار می‌دهیم. چنانچه مولتی‌متر مورد نظر چند رنج مختلف برای اندازه‌گیری مقاومت داشت، باید پیچ انتخابگر را روی رنج مناسب قرار دهیم تا دستگاه آسیب نبیند. برای این منظور چنانچه حدود مقاومت را می‌دانستیم رنجی منطبق با آن را انتخاب می‌کنیم ولی اگر حدود مقاومت را نمی‌دانستیم اهم‌متر را در بیشترین رنج قرار می‌دهیم. اگر اهم‌متر عددی را نشان نداد، رنج را کمتر کرده و اهم‌متر را حساس‌تر می‌کنیم.

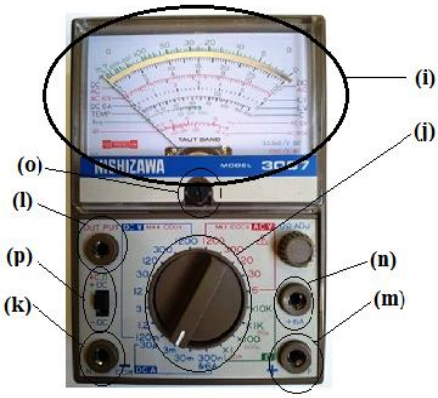
دو سیم رابط را به ترمینال های COM و Ω,V (k و l در شکل۵) وصل می‌کنیم و قبل از اینکه این دو رابط را به دو سر مقاومت متصل کنیم، ابتدا دو سر سیم رابط را به هم وصل می‌کنیم و عددی را که دستگاه نشان می‌دهد می‌خوانیم. سپس دو سیم را از هم جدا کرده و به دو سر مقاومت می‌زنیم و عدد قبلی را از عدد فعلی کم می‌کنیم.

توجه به این نکته ضروری است که اگر مقاومت مورد نظر در مداری قرار دارد، هنگام اندازه‌گیری آن توسط اهم‌متر مقاومت را از مدار جدا کنید تا جریانی از آن عبور نکند.

مولتی‌متر آنالوگ (عقربه‌ای):

همانطور که در شکل (۶) دیده می‌شود، این نوع مولتی‌مترها به جای صفحه‌ی نمایش (DISPLAY) یک صفحه‌ی مدرج دارند که عقربه‌ای در این صفحه جابجا می‌شود(i-۶). در صفحه‌ی مدرج ۲ یا ۳ خط با علامت AC (جریان یا ولتاژ متناوب مثل برق شهر) و DC (جریان و ولتاژ مستقیم مثل باتری) وجود دارد که صفر این خط ها سمت چپ قرار دارند و مقادیر ولتاژ و جریان از روی آن ها خوانده می‌شود. بالاترین خط مربوط به اهم‌متر است که صفر آن سمت راست بوده و منتهی علیه سمت چپ با علامت ∞ نشان داده شده است و در ضمن تقسیم‌بندی این خط برخلاف خطوط دیگر غیرخطی است.

زیر صفحه‌ی مدرج یک پیچ انتخابگر (SELECTOR) وجود دارد که مُدِ دستگاه و رنج آن را تعیین می‌کند(j-۶). یکی از ترمینال‌های خروجی به نام COM (اتصال به زمین) است(k-۶). پایین صفحه‌ی نمایش چند ترمینال خروجی وجود دارد که کاربردشان به این شرح است:



شکل (۶): یکی از مولتی مترهای آنالوگ موجود در آزمایشگاه

(k): ترمینال COM که در تمام مُدها یکی از خروجی هاست.

(l): ترمینال OUT PUT فقط در حالتی که دستگاه را روی مُدِ AC V (ولت‌متر متناوب) قرار می‌دهیم به عنوان ترمینال دوم بکار می‌رود.

(m): ترمینال + که به عنوان ترمینال دوم برای DC V (ولت‌متر مستقیم)، DC A (آمپرمتر مستقیم البته برای جریان‌های کوچک) و Ω (اهم متر) بکار می‌رود.

(n): ترمینال 6A+ که ترمینال دوم در حالت جریان‌های بزرگ ولی کوچکتر از ۶ آمپر می‌باشد.

(o): پیچ کالیبراسیون است که توسط آن عقربه را در حالت صفر قرار می‌دهیم. البته به جز مُدِ اهم‌متر.

(p): این دکمه وقتی بالا باشد، مولتی‌متر در تمام مُدهای تعریف شده برای دستگاه، چه AC و چه DC، کار می‌کند. ولی وقتی پایین است، مولتی‌متر فقط در مُدهای DC کار می‌کند.

در داخل دستگاه یک باتری (معمولا ۱/۵ ولتی) قرار دارد که در موقع اندازه‌گیری مقاومت، جریان حاصل از این باتری وارد مدار خواهد شد. بنابراین اگر این باتری دشارژ شده یا خارج شود، نمی‌توان از اهم‌متر آن استفاده کرد. پس هنگام استفاده از مولتی‌متر توجه به دو نکته ضروری است: اولا برای جلوگیری از دشارژ شدن باتری مولتی‌متر را در حالت اهم‌متر رها نکنید و حتما پیچ انتخابگر را روی حالت off قرار دهید. دوما برای اندازه‌گیری ولتاژ پیچ انتخابگر در مُدِ اهم نباشد که باعث سوختن دستگاه خواهد شد.

الف- ولت‌متر:

برای اندازه‌گیری ولتاژ دو نقطه از مدار، توسط مولتی‌متر دیجیتال، ابتدا با توجه به نوع ولتاژ (AC یا DC بودن آن) پیچ انتخابگر را روی محدوده‌ی مناسب قرارداده و قبل از اینکه دو سیم خارج شده از ترمینال‌های صحیح (یک سیم از ترمینال COM و سیم دیگر از ترمینال مربوط به ولت‌متر) را به دو نقطه‌ی مورد نظر وصل کنیم، مطمئن می‌شویم که عقربه روی صفر باشد. در غیر این صورت توسط پیچ تنظیم صفر عقربه را روی صفر برده و دستگاه را تنظیم می‌کنیم.

حالا دستگاه آماده اندازه‌گیری است. دو سیم را به دو نقطه‌ای که ولتاژ آن را می‌خواهیم بدست آوریم وصل می‌کنیم. توجه کنید که ولت‌متر همواره موازی در مدار قرار می‌گیرد. عقربه روی صفحه‌ی مدرج حرکت خواهد کرد. البته در این حالت برای اندازه‌گیری ولتاژ DC بهتر است مثبت و منفی را رعایت کنیم تا عقربه در خلاف جهت و در جهتی که درجه‌بندی کمتری دارد، نچرخد و به دستگاه آسیب نرسد که ملاک مثبت و منفی منبع مدار است. و همچنین $R_V \gg R_G$

تذکر: برای تنظیم کلید انتخابگر، حدود ولتاژ را درنظر می‌گیریم. اگر حدود ولتاژ را نمی‌دانستیم، کلید انتخابگر را روی بیشترین مقدار قرار می‌دهیم چنانچه عقربه حرکت نکرد، پیچ انتخابگر را روی حساسیت‌های بیشتر قرار می‌دهیم تا جاییکه عقربه روی صفحه‌ی مدرج حرکت کند و به روش زیر ولتاژ را می‌خوانیم.

$$\text{ولتاژ} = \text{عدد خوانده شده روی صفحه مدرج} \times \text{ضریب قرائت}$$

$$\text{ضریب قرائت} = \frac{\text{عدد کلید انتخابگر (رنج انتخاب شده)}}{\text{ماکزیمم عدد بر روی صفحه مدرج}}$$

ب- آمپرمتر:

برای اندازه گیری جریان کلید انتخابگر را با توجه به نوع جریان (DC یا AC بودن آن) در بیشترین رنج قرار می دهیم و آمپرمتر را بطور سری در شاخه ای از مدار که می خواهیم جریان آن را اندازه بگیریم قرار می دهیم. چنانچه عقربه حرکت نکرد، رنج را کمتر کرده و حساسیت را بیشتر می کنیم تا جاییکه عقربه حرکت کند. مجددا با توجه به رنج انتخاب شده به روش زیر جریان را اندازه می گیریم. باید توجه کرد که آمپرمتر حتما بصورت سری در شاخه ای که می خواهیم جریانش را محاسبه کنیم قرار گیرد.

$$\text{شدت جریان} = \text{عدد خوانده شده روی صفحه مدرج} \times \text{ضریب قرائت}$$

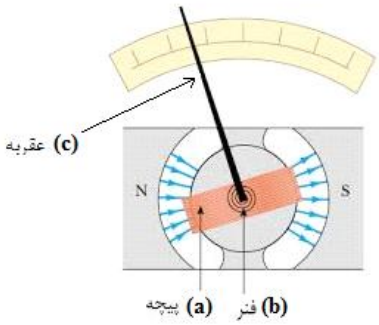
$$\text{ضریب قرائت} = \frac{\text{عدد کلید انتخابگر (رنج انتخاب شده)}}{\text{ماکزیمم عدد بر روی صفحه مدرج}}$$

ج- اهم‌متر:

با توجه به حدود مقاومت، کلید انتخابگر را روی رنج مناسبِ اهم متر قرار دهید. دو سیم رابط به ترمینال خروجی COM و ترمینال خروجی اهم‌متر وصل کنید. ابتدا دو سیم رابط را به هم وصل کنید و در اینحالت توسط پیچ تنظیم صفر، عقربه را روی صفرِ درجه‌بندیِ اهم‌متر قرار دهید. الآن دستگاه آماده‌ی اندازه‌گیری است. حالا دو سیم رابط را به دو سر مقاومت وصل کنید. عدد خوانده شده از روی صفحه نمایش را در عدد نوشته شده در کنار رنج انتخاب شده توسط پیچ انتخابگر ضرب کنید تا میزان مقاومت بدست آید. در هنگام قرائت مقاومت توجه کنید که سر سیم‌های رابط یا انتهای مقاومت با دستتان در تماس نباشد.

گالوانومتر:

گالوانومتر وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری جریان‌های الکتریکی ضعیف در یک مدار بکار می‌رود. اساس کار دستگاه، این کشف فارادی است که اگر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی قرار بگیرد، به آن نیرویی وارد می‌شود. جریانی که باید اندازه‌گیری شود، از درون سیم‌پیچ ظریفی (۷-a) عبور می‌کند که بین قطب‌های یک آهن‌ربا قرار گرفته است. به قاب این سیم‌پیچ فنری متصل است (۷-b) که گشتاور بازدارنده‌ای متناسب با زاویه‌ی چرخش قاب به آن وارد می‌کند. هنگامی‌که جریانی از سیم‌پیچ می‌گذرد، میدان مغناطیسی اطراف سیم‌پیچ ایجاد می‌شود. گشتاور مغناطیسی سبب چرخش قاب می‌شود. این چرخش تا آنجا ادامه می‌یابد که گشتاور مغناطیسی بازدارنده فنر برابر شود.



شکل (۷): مدار داخلی گالوانومتر

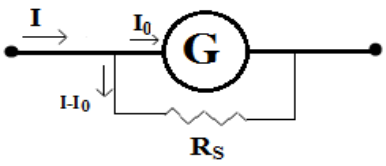
عقربه‌ای به سیم‌پیچ متصل است (۷-c) که امکان خواندن مقدار جریان از روی درجه بندی را فراهم می‌آورد. مسیر جریان از سیم‌پیچ، جهت گردش عقربه را مشخص می‌کند. معمولا جهت جریان سیم‌پیچ را طوری انتخاب می‌کنند که عقربه به سمت راست منحرف شود. جهت ورود جریان به دستگاه را با علامت + یا رنگ قرمز مشخص می‌کنند(شکل۸).

شکل (۸): گالوانومتر

این دستگاه به احترام دانشمند بزرگ لوئیچی گالوانی، گالوانومتر نامیده شده است. گالوانومتر دارای حساسیت زیاد و برای اندازه‌گیری جریان‌های کوچک ساخته شده است. اما به روشی که در زیر توضیح داده می‌شود، می‌توان گالوانومتر را به آمپرمتری که جریان‌های بزرگتر را نیز بتواند اندازه بگیرد و همچنین به ولتمتر تبدیل کرد.

تبدیل گالوانومتر به آمپرمتر:

برای اندازه‌گیری جریان‌های بیشتر توسط گالوانومتر، یک مقاومت (شنت) را مطابق شکل (۹) با گالوانومتر موازی می‌کنیم. مقاومت شنت طوری انتخاب می‌شود که تنها کسری از جریان که کمتر از حد تحمل گالوانومتر است از آن عبور کند و مابقی جریان از شنت بگذرد. به این ترتیب بدون اینکه آسیبی به گالوانومتر برسد جریان های بزرگتر را اندازه می‌گیریم.



شکل (۹): تبدیل گالوانومتر به آمپرمتر

برای مثال گالوانومتری را درنظر بگیرید با جریان ماکزیمم $I_0 = 100\mu A$ که مقاومت سیم‌پیچ و شنت داخلی آن $R_0 = 2K\Omega$ باشد. چنانچه بخواهیم گالوانومتر را به آمپرمتری تبدیل کنیم که جریان ماکزیمم $I = 10mA$ را بخواند، به این ترتیب می‌توانیم محاسبه کنیم که مقاومت شنت (Rs) چقدر باشد.

اگر در انحراف کامل عقربه جریان $100\mu A$ از گالوانومتر عبور کند، باید مابقی جریان یعنی ($10mA - 100\ \mu A$) از Rs (مقاومت شنت) بگذرد. طبق شکل (۹) اختلاف پتانسیل دو سر گالوانومتر و مقاومت شنت برابر است.

$$V_G = V_s$$

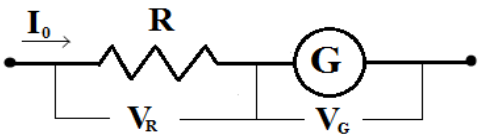
$$R_0 I_0 = R_s(I - I_0) \quad \rightarrow \quad R_s = 20.2\ \Omega$$

توجه به این نکته ضروری است که مقاومت معادل Rs و R_0 را مقاومت داخلی آمپرمتر می‌نامیم. به دلیل وجود این مقاومت همواره دو سر آمپرمتر در مدار اختلاف پتانسیلی ایجاد می‌شود. از آنجائیکه آمپرمتر به شکل سری در مدار قرار می‌گیرد، برای اینکه آمپرمتر در اندازه‌گیری صحیح جریان اثر نگذارد، باید مقاومت داخلی آمپرمتر نسبت به مقاومت‌های دیگر موجود در مدار ناچیز باشد.(یعنی حتی الامکان باید خطای بارگذاری کم باشد)

تبدیل گالوانومتر به ولت‌متر:

چنانچه مقاومتی را با گالوانومتر سری کنیم، می‌توانیم از آن به عنوان ولت‌متر استفاده کنیم(شکل۱۰). میزان مقاومت خارجی سری شده با گالوانومتر را با توجه به بیشترین ولتاژی که می‌خواهیم اندازه بگیریم تعیین می‌کنیم. برای مثال اگر بخواهیم ولت‌متر ۳ ولت داشته باشیم، مقاومت R را طوری انتخاب می‌کنیم که ولتاژ ۳ ولت، ماکزیمم جریان عبوری از مجموعه‌ی گالوانومتر و مقاومت خارجی، ۳ ولت باشد.

طبق شکل (۱۰):



شکل (۱۰): تبدیل گالوانومتر به ولت متر

$$V_R + V_G = 3(v)$$

$$RI_0 + R_0 I_0 = 3 \quad \rightarrow \quad R = 28\ K\Omega$$

پس با سری کردن یک مقاومت $28\ K\Omega$ با گالوانومتر مذکور، ولت‌متری بدست می‌آید که ماکزیمم انحراف کامل G تا ۳ ولت را می‌توان توسط آن اندازه گرفت. با توجه به اینکه ولت‌متر بصورت موازی با دو نقطه‌ای که می‌خواهیم اختلاف پتانسیل آن را بخوانیم، قرار می‌گیرد برای اینکه تأثیری بر شکل مدار نداشته باشد باید مقاومت داخلی ولت‌متر نسبت به مقاومت‌های دیگر مدار بزرگ باشد.

سیمهای رابط:

در اغلب آزمایش‌ها لازم است که اجزای مورد آزمایش در یک مدار توسط سیم‌های رابط مخصوصی به هم متصل شوند. در آزمایشگاه ما سه نوع مختلف سیم رابط موجود است که بسته به شکل اجزای بکار رفته در آزمایش از سیم رابط مناسب استفاده می‌کنیم. این سه نوع سیم عبارتند از:

۱- سیم دوسر فیش (شکلa-۱۱)
۲- سیم یکسر فیش- یکسر سوسماری (شکل b-۱۱)
۳- سیم دوسر سوسماری (شکل c-۱۱)

(۱۱-a)

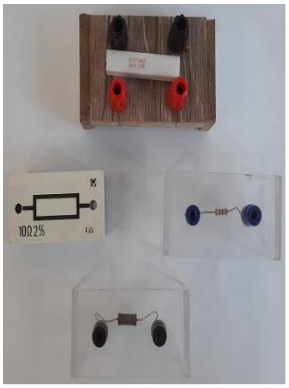
(۱۱-b)

(۱۱-c)

جعبه مقاومت و تخته مقاومت:

در برخی از مدارها نیاز داریم که یک مقاومت با مقدار مشخص در مدار قرار دهیم. ممکن است در طول آزمایش لازم نباشد مقدار مقاومت تغییر کند. در این شرایط از مقاومت‌های ثابتی که روی تخته مقاومت یا پایه‌ی مخصوص جانمایی شده است، استفاده می‌کنیم (شکل a-۱۲). ولی در بعضی از مواقع لازم است که مقدار مقاومت در طول آزمایش تغییر کند. در این شرایط از یکی از جعبه مقاومت‌هایی که در آزمایشگاه موجود است استفاده می‌کنیم(شکل b-۱۲).

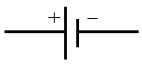
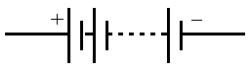
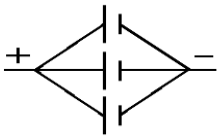
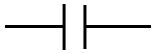
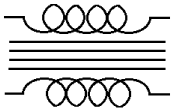
(۱۲-a)

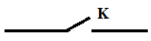


(۱۲-b)

علائم الکتریکی بکار رفته در رسم شکل مدار:

در رسم مدار الکتریکی هر یک از قطعات الکتریکی با نمادی نشان داده می‌شوند. در این قسمت بعضی از این نمادها که در رسم شکل مدار استفاده خواهید کرد، نشان داده شده است.

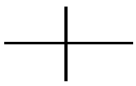
		
منبع مستقیم - پیل	به هم بستن سری مولده	به هم بستن موازی مولدها
منبع متناوب	منبع متناوب با فرکانس متغیر	ترمینال اتصال زمین
مقاومت ثابت	مقاومت متغیر	رئوستا
		
خازن	سلف با هسته هوا	ترانسفورماتور



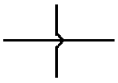
کلید قطع و وصل

ولت متر

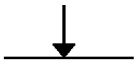
آمپر متر



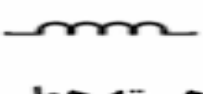
دو سیم که به همدیگر متصل هستند.



عبور یک سیم از روی سیم دیگر بدون اتصال الکتریکی



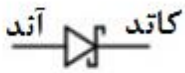
اتصال لغزان



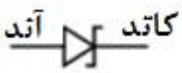
انواع شماتیک سلف ها در مدارهای الکتریکی

دیود نوری

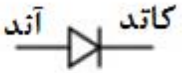
فتودیود



دیود شاتکی



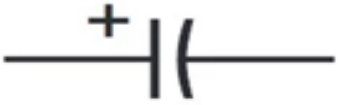
دیود زنر



دیود معمولی

خازن عدسی یا پلی استر

خازن متغیر



خازن شیمیایی

آزمایش اول:

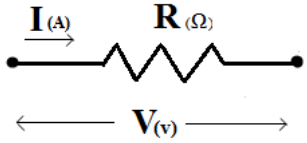
آشنایی با قانون اهم

اهداف آزمایش:

تحقیق قانون اهم، آشنایی با انواع ترکیب مقاومت‌ها

تئوری آزمایش:

قانون اهم:



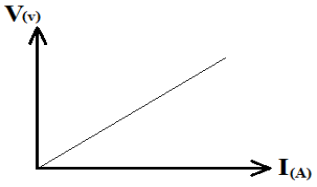
شکل (۱)

اگر دو سر یک قطعه رسانا به مقاومت R اهم را به اختلاف پتانسیل V ولت اتصال دهیم (مثلا به دو قطب یک باطری وصل شود.)، جریانی به شدت I آمپر از آن عبور می‌کند (شکل ۱). رابطه‌ای که بین ولتاژ، جریان و مقاومت این قطعه رسانا برقرار است به کمک قانون اهم بیان می‌شود.

بنابر قانون اهم، اگر دما و سایر شرایط فیزیکی در یک رسانا ثابت نگه داشته شود، نسبت اختلاف پتانسیل به جریان، مقداری ثابت است و این مقدار ثابت برابر است با مقاومت رسانا (R). یعنی:

$$\frac{V}{I} = R \qquad (۱)$$

این رابطه نشان می‌دهد که نمودار تغییرات V برحسب I در دمای ثابت خطی و مطابق شکل (۲) است، و شیب این خط همان مقدار (R) می‌باشد.



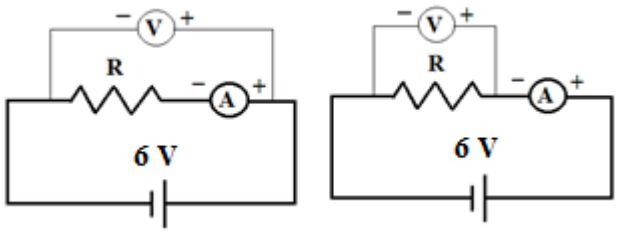
شکل (۲): نمودار V-I برای مقاومت R

اندازه‌گیری اندازه‌ی مقاومت با استفاده از قانون اهم:

برای اندازه‌گیری مقاومت یک عنصر، روش مستقیم آن است که به دو سر مقاومت اختلاف پتانسیل V ولت اعمال کنیم. میزان جریان عبوری از مقاومت را توسط آمپرمتر اندازه بگیریم و با استفاده از قانون اهم ($\frac{V}{I} = R$) مقدار مقاومت را تعیین کنیم. البته توجه به این نکته ضروری است که محل قرار دادن ولت‌متر و آمپرمتر در مدار ساده‌ای که برای اندازه‌گیری جریان و ولتاژ بسته می‌شود به اندازه‌ی مقاومت مورد نظر وابسته است. به شکل (۳) توجه کنید.

چنانچه مقاومت مورد نظر بسیار بزرگ (نسبت به مقاومت داخلی ولت‌متر) باشد، مدار را بصورت شکل (a-۳) می‌بندیم. اما اگر اندازه‌ی مقاومت بسیار کوچک باشد، مدار مناسب مدار شکل (b-۳) می‌باشد. اما برای مقادیر معمولی مقاومت هر دو مدار a و b معادلند.

چرا برای مقاومت های بزرگتر مدار a و برای مقاومت های کوچکتر مدار b مناسب است؟



(a) (b)

شکل (۳): مدار قانون اهم

چنانچه مقاومت داخلی ولت‌متر واقعا بی‌نهایت و مقاومت داخلی آمپرمتر واقعا صفر بود تفاوتی در دو مدار فوق وجود نداشت. اما از آنجاییکه مقاومت داخلی آمپرمتر صفر نیست و مقاومت داخلی کوچکی دارد و همچنین مقاومت داخلی ولت‌متر بی‌نهایت نیست و دارای مقاومت بزرگ اما محدود است، لذا بسته به اندازه‌ی مقاومت مجهول نوع مداری که برای آن می‌بندیم فرق می‌کند.

باید بدانیم که رابطه ی $\frac{V}{I} = R$ اندازه‌ی دقیق مقاومت را بدست می‌دهد که V دقیقا اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت و I شدت جریان گذرنده از درون مقاومت باشد.

به هم بستن مقاومت‌ها:

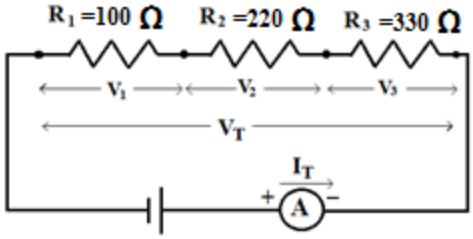
مقاومت‌ها در مدارهای الکتریکی به روش‌های مختلفی به یکدیگر بسته می‌شوند. در برخی موارد می‌توان مجموعه‌ای از مقاومت‌ها را با یک مقاومت جایگزین کرد بطوری که اختلاف پتانسیل و نیز شدت جریان کل در مدار تغییر نکند، که به این مقاومت، مقاومت معادل می‌گویند. در زیر انواع ترکیب‌های مقاومت در مدار را شرح داده و روش محاسبه‌ی مقاومت معادل را برای هر ترکیب ذکر می‌کنیم.

الف-ترکیب سری یا متوالی:

اگر چند مقاومت را پشت سرهم به یکدیگر ببندیم، طوری که دو مقاومت پشت هم فقط یک سرشان به یکدیگر متصل باشد، می‌گوییم مقاومت‌ها را بطور سری (متوالی) به هم بسته‌ایم (شکل ۴).

در این نوع اتصال، بین ابتدا و انتهای مدار فقط یک مسیر وجود دارد و شدت جریان در تمام اجزای این مدار یکسان است.

به شکل (۴) توجه کنید، اگر بخواهیم این سه مقاومت را با یک مقاومت معادل جایگزین کنیم، مقاومت معادل با جمع ۳ مقاومت برابر است.



شکل (۴): اتصال سری مقاومت ها

$$I_{\text{کل}} = I_T = I_1 = I_2 = I_3 \quad \Big] \rightarrow \quad R_{\text{معادل}} = R_{eq} = \frac{V_T}{I_T}$$

$$V_{\text{کل}} = V_T = V_1 + V_2 + V_3 \quad \Big]$$

$$R_{eq} = \frac{V_T}{I_T} = \frac{V_1 + V_2 + V_3}{I_T} = \frac{V_1}{I_1} + \frac{V_2}{I_2} + \frac{V_3}{I_3} \rightarrow$$

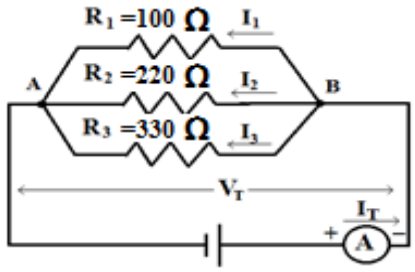
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

پس در حالت کلی: $R_{eq} = \sum_{j=1}^{n} R_j$ (۲)

در رابطه (۲) R_{eq} مقاومت معادلِ مقاومت‌های سری R_1 تا R_3 است.

ب- ترکیب موازی:

اگر چند مقاومت را طوری به هم متصل کنیم که هردو سرشان به هم وصل شوند (مانند شکل ۵) می‌گوییم این مقاومت‌ها موازی بسته شده‌اند. در اینحالت هر مقاومت یک مسیر مجزا برای عبور جریان در شاخه‌ی اصلی با جمع جریان در تک تک شاخه‌ها برابر است.



شکل (۵): اتصال موازی مقاومت ها

$$I_{\text{کل}} = I_T = I_1 + I_2 + I_3 \quad \rightarrow \quad R_{\text{معادل}} = R_{eq} = \frac{V_T}{I_T}$$

$$V_{\text{کل}} = V_T = V_1 = V_2 = V_3 \quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{I_T}{V_T} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{V_T} = \frac{I_1}{V_1} + \frac{I_2}{V_2} + \frac{I_3}{V_3} \quad \rightarrow$$

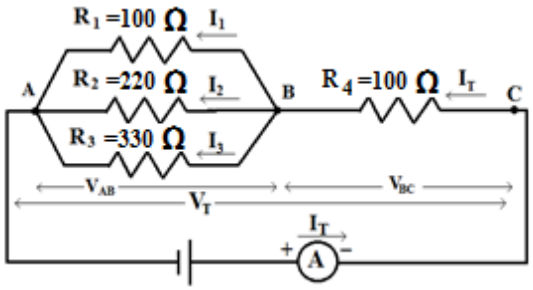
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

پس در حالت کلی: $\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{R_j}$ (۳)

در رابطه (۳) R_{eq} مقاومت معادلِ مقاومت های موازی R_1 تا R_3 است.

ج- ترکیب مختلط:

در این نوع ترکیب که در اغلب مدارهای الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد، دو ترکیب قبلی را در یک مدار می‌گنجانند تا یک مقاومت معادل، ولتاژ و جریان مطلوب به دست آید. (مطابق شکل ۶)



شکل (۶): ترکیب مختلط مقاومت ها

روش انجام آزمایش:

الف- قانون اهم:

مقاومت مجهولی را که در اختیارتان گذاشته شده را مطابق شکل ۳ در مدار مناسب قرار داده و مدار را به منبع مستقیم (DC) متصل کنید. با پیچاندن پیچ تنظیم ولتاژِ منبع، ولتاژ دو سر مقاومت را در مقادیر خواسته شده در جدول (۱) قرار داده و جریان را توسط آمپرمتر بخوانید و جدول (۱) را کامل کنید. پیچ تنظیم منبع را روی صفر برگردانده و منبع را خاموش کنید. (بهتر است در این قسمت از مقاومت ۱۰۰ اهم آجری استفاده کنید.)

بدون اینکه تغییری در مدار بدهید، مدار را به خروجی‌های متناوب منبع متصل کنید. منبع را روشن کرده و دوباره ولتاژ دو سر مقاومت را در مقادیر خواسته شده در جدول (۲) تنظیم کرده و جریان را در هرحالت بخوانید و جدول (۲) را کامل کنید.

جدول (۱): جریان DC

V(v)	۱	۲	۳	۴	۵	۶
I(A)						

جدول (۲): جریان AC

V(v)	۱	۲	۳	۴	۵	۶
I(A)						

۱- با توجه به جدول (۱)، منحنی (V-I) را در کاغذ میلی‌متری رسم کنید.

۲- شکل نمودار ۱ چگونه است؟ آیا شکل نمودار ۱ قانون اهم را نتیجه می‌دهد؟

۳- شیب نمودار ۱ را محاسبه کنید. مقاومت مجهول چند اهم است؟

۴- با توجه به جدول (۲)، منحنی (V-I) را برای جدول (۲) نیز در کاغذ میلی‌متری رسم کنید.

۵- شکل نمودار ۲ چگونه است؟ آیا شکل نمودار ۲ نیز قانون اهم را نتیجه می‌دهد؟

۶- شیب نمودار ۲ را محاسبه کنید. مقاومت مجهول با توجه به نمودار ۲ چند اهم است؟

۷- اندازه‌ی مقاومت بدست آمده از دو نمودار را با هم مقایسه کنید. چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

۸- موارد استفاده مقاومت های سری و موازی را بیان کنید.

ب- ترکیب سری مقاومت ها:

سه مقاومت R_1 و R_2 و R_3 که اندازه‌های آن در جدول (۳) داده شده را در اختیار دارید. مدار شکل (۷) را ببندید. دقت کنید در هنگام بستن مدار منبع حتما خاموش بوده و پیچ تنظیم ولتاژ روی صفر باشد و قبل از روشن کردن منبع حتما استاد مدارتان را چک کنند، در صورت صحیح بودن مدار، منبع را روشن کنید. پیچ تنظیم ولتاژ را آرام بچرخانید تا ولت‌متر عدد خواسته شده در جدول (۳) را نشان دهد. جریان را توسط آمپرمتر اندازه‌گیری کنید و در جدول (۳) وارد کنید.

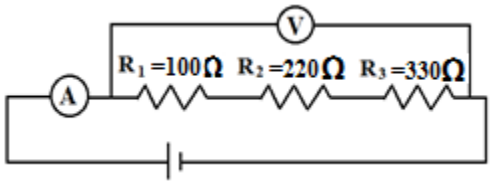
جدول (۳): ترکیب سری مقاومت‌ها

درصد خطای نسبی	$\acute{R}_{eq}(\Omega)$ مقاومت معادل تئوری	$R_{eq}(\Omega)$ مقاومت معادل تجربی	I_T (A)	V_T (v)	R_3 (Ω)	R_2 (Ω)	R_1 (Ω)

۸- با توجه به V_T و I_T اندازه گرفته شده مقاومت معادل (R_{eq}) مدار شکل (۷) را به روش تجربی (با استفاده از قانون اهم) محاسبه کنید.

۹- به روش تئوری که قبلا توضیح داده شده (معادله ۲)، مقاومت معادل تئوری ($\acute{R}_{eq}$) را محاسبه کنید.

۱۰- مقاومت معادل تئوری و تجربی را مقایسه کنید و درصد خطا را در جدول (۳) وارد کنید.



شکل (۷): ترکیب سری مقاومت ها

ج - ترکیب موازی مقاومت ها:

سه مقاومت R_1 و R_2 و R_3 که اندازه‌های آن‌ها در جدول (۴) داده شده را در اختیار دارید. مدار شکل (۸) را ببندید. دقت کنید در هنگام بستن مدار منبع حتما خاموش بوده و پیچ تنظیم ولتاژ روی صفر باشد. قبل از روشن کردن منبع، مدارتان حتما توسط استاد بررسی شود و در صورت صحیح بودن مدار، منبع را روشن کنید. پیچ تنظیم ولتاژ را آرام بچرخانید تا ولت‌متر عدد خواسته شده در جدول (۴) را نشان دهد. جریان در شاخه‌ی اصلی (I_T) را توسط آمپرمتر اندازه‌گیری کنید و در جدول (۴) وارد نمائید.

جدول (۴): ترکیب موازی مقاومت ها

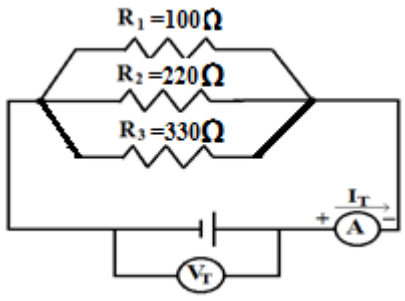
درصد خطای نسبی	$\acute{R}_{eq}(\Omega)$ مقاومت معادل تئوری	$R_{eq}(\Omega)$ مقاومت معادل تجربی	I_T (A)	V_T (v)	R_3 (Ω)	R_2 (Ω)	R_1 (Ω)

۱۱- با توجه به V_T و I_T اندازه گرفته شده، مقاومت معادل (R_{eq}) مدار شکل (۸) را به روش تجربی (با استفاده از قانون اهم) محاسبه کنید.

۱۲- به روش تئوری که قبلا توضیح داده شده (معادله ۳)، مقاومت معادل تئوری ($\acute{R}_{eq}$) را محاسبه کنید.

۱۳- مقاومت معادل تئوری و تجربی را مقایسه کنید و درصد خطا را در جدول (۴) وارد کنید.

۱۴- موارد استفاده مقاومتهای سری و موازی را بیان کنید؟



شکل (۸): ترکیب موازی مقاومت ها

آزمایش دوم:

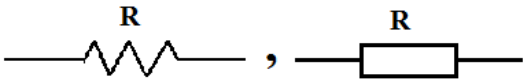
مقاومت و مقاومت ویژه

اهداف آزمایش:

اندازه‌گیری مقاومت با استفاده از کدهای رنگی و اهم‌متر، بررسی بستگی مقاومت یک سیم رسانا به طول و سطح مقطع و جنس، اندازه‌گیری مقاومت ویژه دو آلیاژ و مقایسه با مقدار واقعی

تئوری آزمایش:

به هر قطعه یا عنصری که در مقابل عبور جریان الکتریکی (عبور الکترون‌ها) از خود مخالفت نشان می‌دهد، مقاومت الکتریکی گفته می‌شود. مقاومت الکتریکی را با حرف R که از کلمه Resistor گرفته شده است، نشان می‌دهند. واحد اندازه‌گیری مقاومت اهم است که با علامت Ω نشان می‌دهند. مقاومت‌ها در صنایع برق و الکترونیک از اهمیت بالایی برخوردارند و بیشتر به منظور محدود کردن جریان، تقسیم کردن جریان و نیز ایجاد ولتاژهای مختلف در مدارهای الکتریکی به کار گرفته می‌شود. علائم اختصاری مقاومت الکتریکی در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): علائم اختصاری مقاومت

مقاومت‌ها دارای ویژگی‌هایی هستند که این ویژگی‌ها برای طراحان مدارهای الکتریکی و الکترونیکی از اهمیت بالایی برخوردارند.

مقدار اهمی مقاومت:

مهمترین این ویژگی‌ها، مقدار اهمی مقاومت یا همان مقدار مقاومت است. این ویژگی مقدار مقاومت را برحسب واحد آن یعنی اهم بیان می‌کند. هرچه مقدار اهمی بیشتر باشد، نشان دهنده‌ی این است که آن مقاومت در برابر عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت بیشتری نشان می‌دهد وسبب افت جریان بیشتری در مدار می‌شود.

توان مجاز مقاومت:

منظور بیشترین توانی است که یک مقاومت بطور دائم می‌تواند تحمل کند. زمانی‌که از یک مقاومت جریان عبور می‌کند، در اثر برخورد الکترون‌ها با اتم‌های تشکیل دهنده‌ی مقاومت، الکترون‌ها مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهند و این انرژی بصورت گرما ظاهر می‌شود. این گرمای ظاهر شده باید از مقاومت خارج شود وگرنه گرمای زیاد در داخل مقاومت باعث سوختن مقاومت می‌شود. این توان مجاز با حجم مقاومت ارتباط دارد. هرچه حجم مقاومت بزرگتر باشد خروج گرمای درون مقاومت به بیرون بیشتر بوده و مقاومت کمتر داغ می‌شود.

تولرانس (Tolerance):

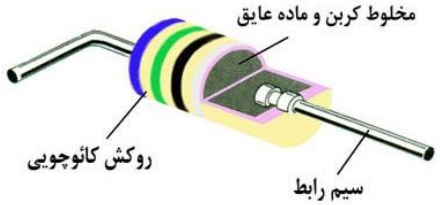
سومین ویژگی یک مقاومت تولرانس آن است. منظور از تولرانس یک مقاومت، حداکثر خطای مجاز یک مقاومت نسبت به مقدار نامی آن مقاومت می‌باشد که معمولا برحسب درصد بیان می‌شود. به عبارتی تولرانس یک مقاومت، مقدار واقعی آن مقاومت را بیان می‌کند. به عنوان مثال؛ مقدار واقعی مقاومتی با مقدار اسمی ۱ کیلواهم و تولرانس ۱۰٪ بین (۱۰۰۰×۰/۱)+۱۰۰۰ و (۱۰۰۰×۰/۱)-۱۰۰۰ واقع شده است. نحوه مشخص کردن تولرانس روی مقاومت‌ها جلوتر شرح داده خواهد شد.

انواع مقاومت‌های اهمی و غیر اهمی:

مقاومت‌ها به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ مقاومت‌های اهمی و غیر اهمی. در مقاومت‌های اهمی اندازه‌ی آن‌ها (در صورت ثابت ماندن دما، فشار و ...) مقدار ثابتی است، یعنی این مقاومت‌ها از قانون اهم پیروی می‌کنند در حالیکه در مقاومت‌های غیر اهمی میزان مقاومت می‌تواند به اندازه‌ی ولتاژ، جریان و حتی جهت جریان وابسته باشد.

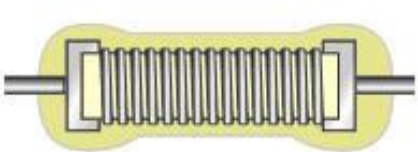
انواع مقاومت به لحاظ ساختمان تشکیل دهنده‌ی آن‌ها:

۱- مقاومت‌های کربنی (ترکیبی): برای ساخت این نوع از مقاومت‌ها معمولا پودر کربن را با مواد عایق مخلوط می‌کنند که نسبت مخلوط کردن این مواد، مقدار اهمی مقاومت را تعیین می‌کند. سپس مخلوط حاصل را در یک استوانه‌ی کاچویی قرار می‌دهند و دو سیم نیز برای اتصال مقاومت به مدار به دو سر مقاومت وصل می‌کنند (شکل۲). این نوع مقاومت به علت قیمت پایین و کوچک بودن، در اکثر مدارات الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۲: ساختمان مقاومت کربنی

۲- مقاومت‌های سیمی (سیم‌پیچی شده): این دسته از مقاومت‌ها با پیچاندن سیم‌های مقاومت‌دارِ طویل به دور یک هسته، ساخته می‌شوند. معمولا یک روپوش سرامیکی یا پلاستیکی برروی سیم‌های پیچیده شده بر روی هسته می کشند تا سیم‌ها آسیب نبینند (شکل۳). مقاومت‌های سیمی در دو نوع دقیق و قدرتی ساخته می‌شوند. نوع دقیق آن‌ها تولرانس پایینی دارد ولی توان آن نیز پایین بوده و بین ۰/۲۵ وات تا ۲ وات ساخته می‌شود و نمی‌تواند جریان بالایی را از خود عبور دهد. نوع قدرتی در محدوده‌ی ۲ تا ۲۵۰ وات ساخته می‌شود و می‌تواند جریان‌های زیاد را از خود عبور دهد ولی تولرانس بالاتری دارند. این نوع مقاومت‌ها حجم بزرگتری دارند و به شکل یک محفظه‌ی سیمانی با سطح مقطع مربع یا مستطیل هستند و به مقاومت‌های آجری معروفند (شکل۴). مقاومتهای سیمی هنگام عبور جریان متناوب به علت داشتن سیم پیچ، مقاومت سلفی نیز دارند ولی چون $R \gg L\omega$ پس از مقاومت سلفی در مقابل مقاومت اهمی چشم پوشی می شود.



شکل ۳: ساختمان مقاومت سیمی

شکل ۴: مقاومت آجری

یکی از ویژگی‌های مقاومت سیمی این است که به هنگام سوختن شعله‌ور شده و کاملا قطع می‌شود. به همین دلیل در بسیاری از مدارها به عنوان مقاومت فیوزی (Fusible Resistor) استفاده می‌شود و به آن مقاومت حفاظتی (Safety Resistor) نیز می‌گویند.

۳- مقاومت‌های لایه‌ای: این نوع مقاومت‌ها را معمولا با رسوب دادن نوار نازکی از ماده مقاومت بر روی یک لوله‌ی عایق از جنس سرامیک یا شیشه درست می‌کنند. برای اتصال این مقاومت به مدار، به دو انتهای لوله دو سیم رابط وصل می‌کنند و برای محافظت از مقاومت نیز تمام آن را با ماده عایق روکش می‌کنند (شکل۵).

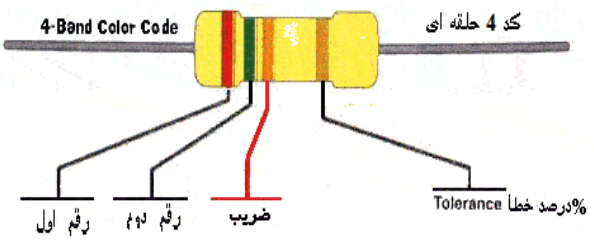
این مقاومت‌ها، دقت مقاومت‌های سیمی را دارند ولی از نظر اندازه و قیمیت به مقاومت‌های کربنی نزدیک‌ترند.

شکل(۵): مراحل ساخت مقاومت کربنی

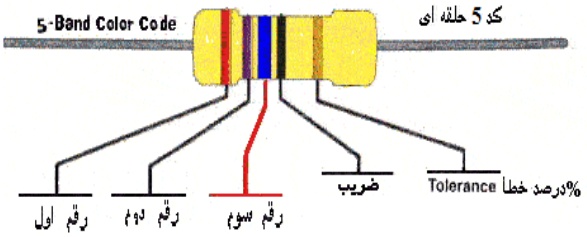
تعیین مقدار مقاومت‌های کربنی از روی حلقه‌های رنگی:

همانطور که قبلا ذکر شد، مقاومت‌های کربنی که دارای ابعاد کوچکی هستند، می‌توانند مقادیری از صدم اهم تا چندین مگا اهم را دارا باشند. معمولا مقدار اهمی مقاومت و تولرانس را با رسم خطوط رنگی به دور آن مشخص می‌کنند، که هر رنگ نماینده یک عدد است (جدول (۲)). برای این منظور دو روش وجود دارد:

روش ۴ نواری که برای مقاومت‌های با تولرانس بالاتر از ۲٪ استفاده می‌شود. روش ۵ نواری که برای مقاومت‌های خیلی دقیق با تولرانس کمتر از ۲٪ استفاده می‌شود. توجه کنید که این خطوط رنگی فاصله‌ی یکسانی از دو سر مقاومت ندارند و به طور محسوسی تعدادی از خطوط به هم نزدیکتر و به یک سرِ مقاومت نزدیکترند. برای تعیین مقدار مقاومت، آن را طوری در دست می‌گیریم که سری که فاصله کمتری تا مجموعه‌ی خطوط رنگی دارد طرف چپ قرار گیرد و خط رنگی که فاصله‌اش از مابقی خطوط رنگی بیشتر است، در سمت راست قرار بگیرد. این خطِ تنها که معمولا به رنگ طلایی یا نقره‌ای می‌باشد، نشان دهنده‌ی تولرانس مقاومت است.



(۶-a)



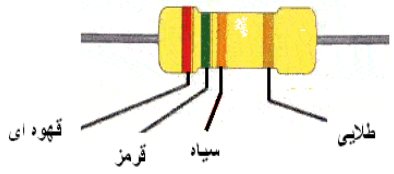
(۶-b)

روش ۴ نواری: به شکل (۶-a) توجه کنید. از سمت چپ اعداد متناظر با دو رنگ اول، یک عدد دو رقمی می‌سازد و عدد متناظر با رنگ سوم ضریبی است که در این عدد دو رقمی ضرب می‌شود. خط چهارم نیز تولرانس خطای مقدار مقاومت را مشخص می‌کند. اگر خط چهارم طلایی بود تولرانس ۵٪ و اگر نقره‌ای بود نشان دهنده‌ی خطای ۱۰٪ می‌باشد و اگر این خط وجود نداشت، درصد خطا ۲۰٪ است. رنگ‌هایی که بصورت قراردادی در نوار تولرانس می‌آید و درصد مربوط به هر رنگ در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): رنگ‌های مربوط به نوار تولرانس و عدد منسوب به هر رنگ

بی رنگ	نقره ای	طلایی	قرمز	قهوه ای	رنگ در نوار تولرانس
٪۲۰	٪۱۰	٪۵	٪۲	٪۱	درصد

مثال: به شکل (۷) توجه کنید. رنگ مربوط به هر نوار نوشته شده است. مقدار مقاومت به شکل زیر محاسبه می شود:



شکل(۷): مقاومت با ۴ نوار رنگی

طلایی سیاه قرمز قهوه‌ای

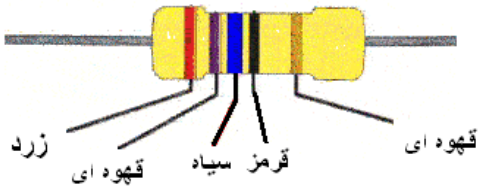
$$\Delta R = R \times \frac{5}{100} \qquad ۱ \quad ۰ \quad ۲ \quad ۱$$

$$\rightarrow \quad R = 12 \pm 0.6 \quad (\Omega)$$

چگونه می توان یک مقاومت ۱ اهمی دقیق ساخت؟

روش ۵ نواری: همان‌طور که گفته شد گاهی تعداد نوارهای روی مقاومت کربنی ۵ نوار است که ۴ نوارِ به هم نزدیکتر، در سمت چپ و یک نوار (نوار تولرانس) با فاصله بیشتر از بقیه در سمت راست قرار دارد (شکل b-۶).
در این‌حالت هم به همان روش قبلی مقاومت تعیین می‌شود با این تفاوت که اعداد متناظر با ۳ نوار اول از سمت چپ، یک عدد ۳ رقمی می‌سازند و نوار چهارم تعیین کننده‌ی ضریبی است که در آن عدد ۳ رقمی ضرب می‌شود.

مثال: به شکل ۸ توجه کنید. مقدار مقاومتی که در شکل می بینید بدین صورت محاسبه می شود:



شکل (۸): مقاومت با ۵ نوار رنگی

قهوه ای قرمز سیاه قهوه‌ای زرد

$$\Delta R = R \times \frac{1}{100} \qquad ۱۰۰ \times \quad ۱۰ \quad ۱ \quad ۴$$

$$\rightarrow \quad R = 41000 \pm 4.1 \quad (\Omega)$$

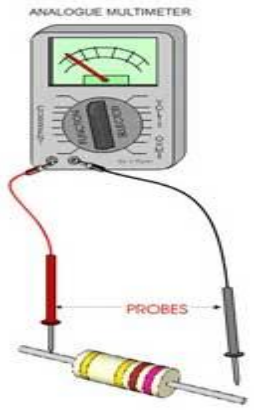
جدول (۲): اعداد ضرایب متناظر با هر رنگ (این جدول فقط مربوط به نوار ضریب یعنی نوار سوم در مقاومت‌های ۴ نواری و نوار چهارم در مقاومت‌های ۵ نواری است.)

رنگ	عدد متناظر	ضریب متناظر
سیاه	۰	$\times ۱۰^{۰}$
قهوه ای	۱	$\times ۱۰^{۱}$
قرمز	۲	$\times ۱۰^{۲}$
نارنجی	۳	$\times ۱۰^{۳}$
زرد	۴	$\times ۱۰^{۴}$
سبز	۵	$\times ۱۰^{۵}$
آبی	۶	$\times ۱۰^{۶}$
بنفش	۷	$\times ۱۰^{۷}$
خاکستری	۸	$\times ۱۰^{۸}$
سفید	۹	$\times ۱۰^{۹}$
طلایی	---	$\times ۱۰^{-۱}$
نقره ای	---	$\times ۱۰^{-۲}$

روش تعیین خطا در مقاومت‌های آجری:
در مقاومت‌های آجری (شکل۴) ۳ ویژگیِ توان مقاومت، مقدار اهمی مقاومت و درصد خطا به ترتیب از چپ به راست روی بدنه‌ی مقاومت چاپ می‌شود. درصد خطا در این نوع مقاومت‌ها با دو حرف انگلیسیِ J و K نشان داده می‌شوند که به ترتیب معادل ۵٪ و ۱۰٪ خطا می‌باشند.

تعیین مقدار مقاومت با استفاده از اهم‌متر:

یک روش ساده برای اندازه‌گیری مقاومت‌ها استفاده از اهم‌متر است. به این ترتیب که پیچ تنظیم مولتی‌متر را در مدِ اهم‌متر قرار می‌دهیم و دو سیم رابطِ اهم‌متر را مستقیما به دو سر مقاومت وصل می‌کنیم. (اهم‌متر و مقاومت را موازی می‌کنیم.) البته توجه به دو نکته ضروری است: اولا وقتی توسط اهم‌متر اندازه‌ی مقاومت را می‌خوانیم باید مطمئن باشیم مقاومت به هیچ منبع تغذیه‌ی روشنی متصل نیست و جریانی از آن نمی‌گذرد. به شکل (۹) توجه کنید. ثانیا قبل از وصل کردن سیم‌های رابط به دو سر مقاومت، دو سیم را به هم وصل کنید تا مطمئن شوید که سیم‌ها خودشان مقاومتی نداشته باشند.



شکل (۹): اندازه گیری مقاومت توسط اهم متر

بستگی مقاومت یک رسانا به طول، سطح مقطع و جنس:

اگر درجه حرارت و مشخصات دیگر یک سیم رسانا بدون تغییر بماند، مقاومت آن مقدار ثابتی است که به طول، سطح مقطع و جنس آن وابسته است. اندازه‌ی مقاومت یک سیم بستگی مستقیم به طول سیم و بستگی معکوس با سطح مقطع سیم دارد. این بستگی را می‌توان بصورت رابطه‌ی (۱) نشان داد.

$$R_{(\Omega)} = \rho \frac{l_{(m)}}{A_{(m^2)}} \qquad (۱)$$

که در آن l طول سیم برحسب متر و A سطح مقطع بر حسب متر مربع است.

در این رابطه ضریب تناسب که با ρ نمایش داده شده است، مقاومت ویژه‌ی ماده‌ی تشکیل دهنده‌ی سیم رساناست. مقاومت ویژه‌ی یک ماده برابر است با مقاومت قطعه‌ای از آن ماده به طول ۱ متر و سطح مقطع ۱ مترمربع. پس همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقاومت خاصیتی از جسم است ولی مقاومت ویژه خاصیتی از ماده است. واحد مقاومت ویژه اهم‌متر ($\Omega.m$) می‌باشد.

در بین عناصر فلزات کمترین مقاومت ویژه را دارا هستند. عایق‌ها نیز مقاومت ویژه‌ی بالایی دارند. مقاومت ویژه‌ی نیمه هادی‌ها از فلزات بیشتر و از عایق‌ها کمتر است. در جدول (۳) مقاومت ویژه‌ی تعدادی از عناصر و بعضی از آلیاژها را در دمای معمولی ملاحظه می‌کنید.

جدول (۳): مقاومت ویژه‌ی چند عنصر و آلیاژ

نام عنصر یا آلیاژ	نوع عنصر یا آلیاژ	مقاومت ویژه در دمای معمولی ($\Omega.m$)	نام عنصر یا آلیاژ	نوع عنصر یا آلیاژ	مقاومت ویژه در دمای معمولی ($\Omega.m$)
مس	فلز	$۱/۶۸\times۱۰^{-۸}$	شیشه معمولی	عایق	$۱۰^{+۱۰}-۱۰^{+۱۴}$
طلا	فلز	$۲/۲۱\times۱۰^{-۸}$	برنج	آلیاژ (۶۰٪ تا ۷۰٪ مس ۴۰٪ تا ۳۰٪ روی)	$(۵-۱۰)\times۱۰^{-۸}$
آلومینیوم	فلز	$۲/۸\times۱۰^{-۸}$	فولاد	آلیاژ (آهن با ۲٪ کربن)	۱۸×۱۰^{-۸}
آهن	فلز	$۱۰/۰۷\times۱۰^{-۸}$	کنستانتان	آلیاژ (۵۵٪ مس و ۴۵٪ نیکل)	۵۰×۱۰^{-۸}
ژرمانیوم	نیمه هادی	$۶/۸۹۶\times۱۰^{-۱}$	نیکروم (نیکل کروم)	آلیاژ (۸۰٪ نیکل و ۲۰٪ کروم)	۱۱۰×۱۰^{-۸}

* ترکیبات شیشه معمولی: ۷۳٪ سیلیس(SiO_2)، ۱۳٪ اکسید کلسیوم(CaO)، ۱۴٪ اکسی سدیم(Na_2O) و دصد بسیار کوچکی آلومین و اکسید آهن

وسایل مورد نیاز:

منبع تغذیه، مقاومت‌های کربنی، سیمهایی با جنس و طول و سطح مقطع مختلف، سیم رابط و مولتی‌متر

روش انجام آزمایش:

الف- تعیین مقاومت با استفاده از کدهای رنگی

تعدادی مقاومت کربنی که مقدار اهمی آن ها توسط خطوط رنگی روی آن‌ها نقش بسته در اختیار دارید. با توجه به خطوط رنگی روی مقاومت، مقدار اهمی آن‌ها را محاسبه کنید و ستون‌های ۱ تا ۵ جدول ۴ را کامل کنید.

ب- تعیین مقاوت با استفاده از اهم‌متر

مولتی‌متری را که در اختیار دارید توسط پیچ تنظیم روی مدِ اهم-متر قرار دهید و با استفاده از آن اندازه‌ی تمام مقاومت‌های قسمت الف را اندازه بگیرید و ستون ۶ از جدول (۴) را کامل کنید.

جدول (۴): اندازه‌گیری مقاومت به دو روش

ردیف	رنگ مربوط به نوار اول	رنگ مربوط به نوار دوم	رنگ مربوط به نوار سوم	رنگ مربوط به نوار چهارم	مقدار اندازه‌گیری شده توسط کدهای رنگی (Ω)	مقدار اندازه‌گیری شده توسط اهم‌متر (Ω)
۱					.....$\pm$.....	
۲					.....$\pm$.....	
۳					.....$\pm$.....	
۴					.....$\pm$.....	

۱- محاسبات مربوط به یکی از مقاومت‌ها را بطور کامل بنویسید.

۲- مقادیر اندازه گیری شده با اهم متر و مقدار مقاومت خوانده شده توسط کدهای رنگی را با هم مقایسه کنید.

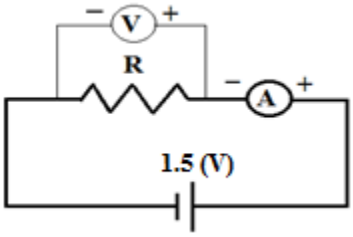
ج-۱- بررسی بستگی R به طول l:

شکل (۱۰): سیم‌ها با جنس، طول و سطح مقطع مختلف

روی تخته‌ای که در اختیار دارید(شکل۱۰)، چهار سیم از دو جنس مختلف نصب شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید در دو انتها و وسط سیم فیش‌هایی جهت اتصال سیم رابط تعبیه شده است که به شما این اجازه را می‌دهد که از هر سیم طول ۱ متر یا نیم متر داشته باشید. جنس و قطر هر سیم در کنار آن نوشته شده است.

از آنجایی که مقاومت سیم‌ها کوچک است لذا باید توجه کنید که ولتاژ زیادی به دو سر آن اعمال نکنید که باعث سوختن سیم‌ها خواهد شد. پس قبل از بستن مدار، ابتدا منبع را توسط یک ولت‌متر روی ولتاژ حدود ۱/۵ ولت تنظیم کنید و بدون آن‌که به پیچ تنظیم ولتاژ منبع دست بزنید منبع را خاموش کنید.

دو سیم از جنس و قطر یکسان با طول متفاوت را در نظر بگیرید و با توجه به این که این سیم‌ها مقاومت کوچکی دارند، بعد از اطمینان از خاموش بودن منبع، مدار قانون اهم برای مقاومت کوچک (شکل ۱۱) را برای یکی از سیم‌ها به طول l_1 ببندید. حتما قبل از روشن کردن منبع ابتدا مدار را به استاد نشان دهید و از درستی مدار اطمینان حاصل کنید. چنانچه مدار صحیح بود، منبع را روشن کنید و با استفاده از قانون اهم مقاومت سیم به طول l_1 را اندازه بگیرید (R_1) و در جدول (۵) وارد کنید. دوباره منبع را خاموش کنید و به همین ترتیب مقاومت سیم به طول l_2 را اندازه بگیرید (R_2) و جدول ۵ را کامل کنید.



شکل (۱۱): مدار قانون اهم برای مقاومت کوچک

جدول (۵): بستگی مقاومت به طول سیم

شماره سیم	طول سیم l(m)	ولتاژ V(v)	جریان I(A)	مقاومت R(Ω)
۱				
۲				

۳- با توجه به داده های جدول (۵) بستگی مستقیم R و l را بررسی کنید. ($\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2}$)

ج-۲- بررسی بستگی R به سطح مقطع A:

منبع را در حالیکه پیچ تنظیم روی ۱/۵ ولت قرار دارد خاموش کنید. دو سیم را طوری انتخاب کنید که طول و جنس یکسان داشته باشند ولی قطرهای متفاوتی داشته باشند. بعد از اطمینان از خاموش بودن منبع، مدار قانون اهم برای مقاومت کوچک (شکل ۱۰) را برای یکی از سیم‌ها به سطح مقطع A_1 ببندید. چنانچه مدار صحیح بود، منبع را روشن کنید و با استفاده از قانون اهم مقاومت سیم به سطح مقطع A_1 را اندازه بگیرید (R_1) و در جدول (۶) وارد کنید. دوباره منبع را خاموش کنید و به همین ترتیب مقاومت سیم به سطح مقطع A_2 را اندازه بگیرید (R_2) و جدول ۶ را کامل کنید.

جدول (۶): بستگی مقاومت به سطح مقطع سیم

شماره سیم	قطر سیم (m)	سطح مقطع سیم A(m^2)	ولتاژ V(v)	جریان I(A)	مقاومت R(Ω)
۱					
۲					

۴- با توجه به داده های جدول (۶) بستگی معکوس R و A را بررسی کنید. ($\frac{R_1}{R_2} = \frac{A_2}{A_1}$)

ج-۳- محاسبه‌ی مقاومت ویژه (ρ):

دو سیم از جنس مختلف و طول و سطح مقطع یکسان را انتخاب کنید. با اطمینان از خاموش بودن منبع، مدار قانون اهم را برای هر دو سیم ببندید و با استفاده از قانون اهم مقاومت هر دو سیم را بیابید و در جدول (۷) وارد کنید. جدول (۷) را کامل کنید.

جدول (۷): بستگی مقاومت به جنس (محاسبه‌ی مقاومت ویژه)

شماره سیم	جنس سیم	طول سیم $\boldsymbol{l}$(m)	سطح مقطع سیم A(m^2)	ولتاژ V(v)	جریان I(A)	مقاومت R(Ω)	مقاومت ویژه $\boldsymbol{\rho}$(Ω.m)
۱							
۲							

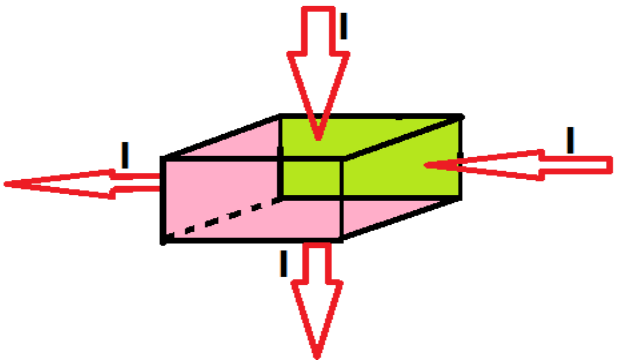
۵- بوسیله‌ی مقادیر اندازه‌گیری شده مقاومت ویژه‌ی هر سیم (هرجنس) را محاسبه کنید.

۶- مقاومت ویژه‌های بدست آمده را با مقادیر واقعی آنها در جدول(۳) مقایسه کنید.

۷- با توجه به داده‌های جدول (۷) بستگی مستقیم R و ρ را بررسی کنید. ($\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2}$)

۸- چگونه می توان یک مقاومت اهمی برابر یک اهم را ساخت؟

۹- فرض کنید یک عنصر مقاومتی به شکل مکعب مستطیل داریم که توزیع مقاومت در تمام حجم آن یکسان است. آیا مقاومت این عنصر در جهات محورهای عمود بر دو جه مقابل یکسان است(شکل ۱۲) و چرا؟



شکل (۱۲): مقاومت مکعب مستطیل با توزیع مقاومت

آزمایش سوم:

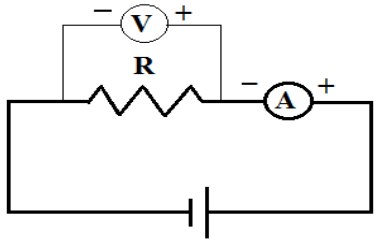
پل وتستون و پل تار

اهداف آزمایش:

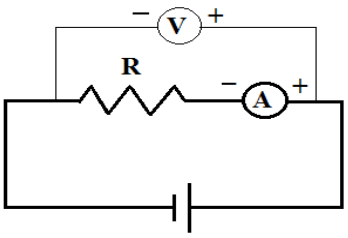
بررسی مدار پل وتستون و پل تار، استفاده از پل وتستون و پل تار برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول

تئوری آزمایش:

در آزمایش‌های گذشته روش‌هایی را برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول، مانند استفاده از قانون اهم، استفاده از اهم‌متر و یا خوانش مقاومت از خطوط رنگی، مورد مطالعه قرار دادیم. اما این روش‌ها اندازه‌ی مقاومت مجهول را هنگامی که مقدار دقیق آن مورد نیاز باشد، بدست نمی‌دهد. برای مثال در روش قانون اهم با توجه به اینکه مقاومت داخلی ولت‌متر بی‌نهایت نیست، جریان نشان‌داده شده در آمپرمتر مجموع جریان گذرنده از مقاومت و ولت‌متر است (شکل a-۱) است؛ یا مقدار نشان داده شده توسط ولت‌متر، مجموع افت ولتاژهای دو سر مقاومت و دو سر آمپرمتر می‌باشد (شکل b-۱) که در هر دو حالت در تعیین دقیق R دچار خطا هستیم.



شکل (a-۱): مدار قانون اهم برای مقاومت‌های کوچک



شکل (b-۱): مدار قانون اهم برای مقاومت‌های بزرگ

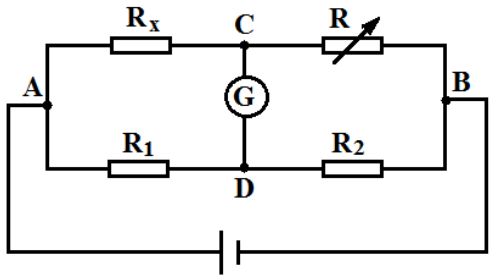
همچنین اندازه‌گیری بوسیله‌ی اهم‌متر نیز فقط حدود تقریبی مقاومت را نشان می‌دهد، زیرا درجه‌بندی روی اهم‌متر باید از مقدار صفر که برای جریان ماکزیمم است تا مقدار بی‌نهایت که برای جریان صفر است را نشان دهد. در این‌صورت تقسیم‌های صفحه بسیار فشره و اجزای ریز آن قابل تفکیک نیست.

یکی از روش‌هایی که اندازه مقاومت را دقیق‌تر از روش‌های یاد شده بدست می‌دهد، روش استفاده از مدار پل وتستون یا پل تار می‌باشد.

پل وتستون:

این مدار توسط سرچارلز وتستون در سال ۱۸۴۳ بهینه و برای اندازه‌گیری مقاومت‌های مجهول مورد استفاده قرار گرفت. به همین دلیل این مدار به نام وی نامگذاری شده و به پل وتستون شهرت یافت.

در مدار پل وتستون علاوه بر مقاومت مجهول که مقدارش را می‌خواهیم اندازه‌گیری کنیم، دو مقاومت معلوم، یک مقاومت متغیر، یک گالوانومتر و یک منبع تغذیه نیز وجود دارد. این اجزا مطابق شکل (۲) در مدار قرار می‌گیرند.

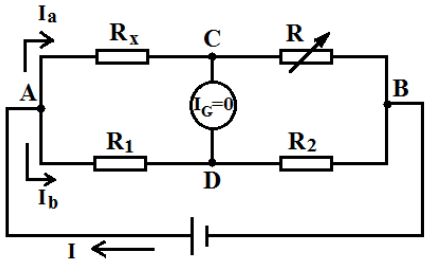


شکل (۲): مدار پل وتسون

R_x مقاومت مجهول، R_1 و R_2 مقاومت‌های معلوم و R مقاومت متغییر

همانطور که در شکل (۲) دیده می‌شود، مقاومت‌های معلوم R_1 و R_2 ، مقاومت مجهول R_x و مقاومت متغیر R (معمولا برای این کار جعبه مقاومت بکار می‌رود.) بطور متوالی به هم متصل می‌شوند. دو اتصال C و D به دو سر یک گالوانومتر (آمپرمتر حساس) متصل شده که وجود یا عدم وجود جریان را نشان می‌دهد. دو اتصال B و A نیز به منبع تغذیه‌ی DC متصل می‌شوند.

وقتی منبع تغذیه روشن است، گالوانومتر مقدار جریان گذرنده بین دو نقطه‌ی C و D را نشان می‌دهد. مقدار مقاومت متغیر را آن‌قدر تغییر می‌دهیم تا جریان عبوری بین دو نقطه‌ی C و D صفر شود و گالوانومتر عدد صفر را نشان دهد. وقتی بین دو نقطه‌ی C و D با وجود اتصال الکتریکی که بین آن‌ها برقرار است، جریان جاری نمی‌شود، به این معنی است که بین این دو نقطه اختلاف پتانسیلی وجود ندارد و این دو نقطه هم‌پتانسیل هستند. به این ترتیب جریان‌های عبوری از مدار به ترتیبی است که در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۳): جریان در مدار پل وتسون در حالتی که گالوانومتر عدد صفر را نشان می‌دهد.

با توجه به هم‌پتانسیل بودن دو نقطه‌ی C و D رابطه‌ی بین ولتاژهای دو سر مقاومت‌های موجود در مدار به شکل روابط (۱) خواهد بود.

$$\left.\begin{aligned} V_x &= V_1 \\ V &= V_2 \end{aligned}\right\} \qquad (۱)$$

چنانچه مقادیر ولتاژها در روابط (۱) را توسط قانون اهم جایگزین کنیم، این روابط به شکل زیر خواهند شد:

$$I_x R_x = I_1 R_1 \qquad (۲)$$

$$IR = I_2 R_2 \qquad (۳)$$

از تقسیم روابط (۲) و (۳) خواهیم داشت:

$$\frac{I_x R_x}{IR} = \frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} \qquad (۴)$$

به شکل (۳) توجه کنید. وقتی جریانی در گالوانومتر وجود نداشته باشد، جریان‌های گذرنده از مقاومت به این ترتیب خواهند بود:

$$\left.\begin{aligned} I_x &= I = I_a \\ I_1 &= I_2 = I_b \end{aligned}\right\} \qquad (۵)$$

با جایگزینی مقادیر I از روابط (۵) در رابطه‌ی (۴):

$$\frac{I_a R_x}{I_a R} = \frac{I_b R_1}{I_b R_2} \quad \rightarrow \quad \frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2} \quad \rightarrow \quad R_x = \frac{R_1}{R_2} R \qquad (۶)$$

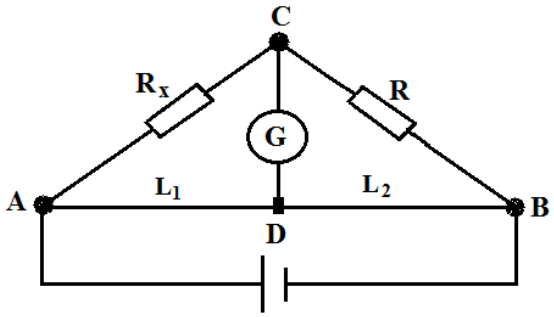
چنانچه از ابتدای کار برای دو مقاومت معلوم R_1 و R_2 از دو مقاومت مساوی استفاده کرده باشیم ($R_2 = R_1$) در اینصورت رابطه‌ی (۶) به رابطه‌ی ساده‌ی (۷) تقلیل پیدا می‌کند.

$$R_x = R \qquad (\text{اندازه مقاومت متغیر } R) \qquad (۷)$$

پل تار:

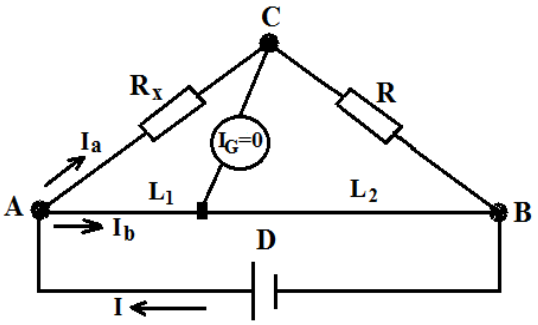
مکانیزم بکار رفته در این مدار، همان مکانیزمی است که در مدار پل وتسون مورد استفاده قرار می‌گیرد. اجزای این مدار شامل یک مقاومت معلوم، مقاومت مجهولی که می‌خواهیم مقدارش را اندازه‌گیری کنیم، یک تار رسانا که لغزنده‌ای روی تار قابل جابجا شدن است و تار را به دو قسمت با طول‌های L_1 و L_2 تقسیم می‌کند، (با جابجا کردن لغزنده روی تار اندازه‌ی L_1 و L_2 تغییر می‌کند.) یک گالوانومتر (آمپرمتر حساس) و یک منبع تغذیه می‌باشد.. این اجزا مطابق شکل (۴) در مدار قرار می‌گیرند.

همانطور که در شکل (۴) دیده می‌شود، مقاومت معلوم R ، مقاومت مجهول R_x و تار رسانا که یک اتصال لغزان (نقطه‌ی D) روی آن قرار دارد، به شکل سری به هم متصل شده‌اند.



شکل (۴): مدار پل تار

R_x مقاومت مجهول، R_1 و R_2 مقاومت‌های معلوم و R مقاومت متغیر



شکل (۵): جریان در شاخه‌های مدار وقتی گالوانومتر جریان صفر را نشان می‌دهد.

اتصال A و B به یک منبع تغذیه‌ی DC متصل می‌شوند. یک گالوانومتر (آمپرمتر حساس) به نقطه‌ی C و لغزنده‌ی D متصل می‌شود که حضور و عدم حضور جریان بین دو نقطه‌ی C و D را نشان می‌دهد.

وقتی منبع تغذیه روشن است، گالوانومتر حضور جریان بین دو نقطه‌ی C و D را نشان می‌دهد. با جابجا کردن لغزنده‌ی D می‌توانیم جریان گذرنده از گالوانومتر را صفر کنیم. در اینحالت دو نقطه‌ی C و D هم‌پتانسیل شده و شکل جریان در مدار، مطابق شکل (۵) خواهد شد. در این وضعیت پل تار همان پل وتستونی است که قطعه‌های سیم به طول L_1 و L_2 به جای دو مقاومت معلوم R_1 و R_2 بکار گرفته شده‌اند. به این ترتیب در اینحالت رابطه‌ی(۸) بین اجزای مدار برقرار است.

$$\frac{R_x}{L_1} = \frac{R}{L_2} \qquad \rightarrow \qquad R_x = \frac{L_1}{L_2} R \qquad (۸)$$

پرسش: رابطه‌ی (۸) را اثبات کنید.

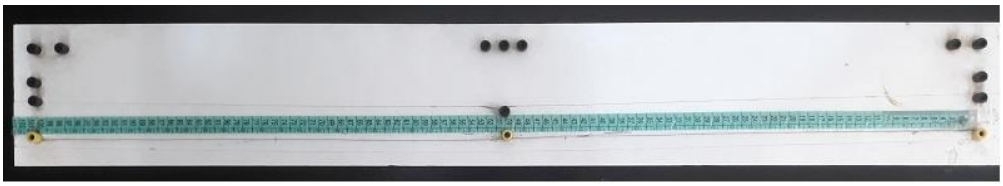
وسایل مورد نیاز:

منبع تغذیه‌ی DC، مقاومت‌های کربنی که به عنوان مقاومتهای معلوم و مجهول بکار گرفته می‌شوند، پل تار، گالوانومتر، سیم‌های رابط با طول‌های مختلف

روش انجام آزمایش:

الف: پل وتسون:

نکته: در آزمایشگاه به جای دو مقاومت معلوم R_1 و R_2 از دو سیم رسانا با طول مساویِ l که روی یک تخته ثابت شده‌اند(شکل ۶) استفاده می‌کنیم.



شکل (۶): یک سیم راست که به دو قسمت مساوی با طول l تقسیم شده است که به جای دو مقاومت معلوم R_1 و R_2 مورد استفاده قرار می‌گیرد .

با توجه به مقاومت‌هایی که در اختیار دارید، مدار شکل (۲) را ببندید. با تغییر اندازه‌ی مقاومتِ جعبه مقاومت، اندازه‌ی مقاومت مجهول را بیابید و در جدول (۱) یادداشت کنید. با توجه به اینکه اندازه‌ی واقعی مقاومت مجهول را می‌دانید، درصد خطای نسبیِ اندازه‌گیری را محاسبه کرده و در جدول (۱) وارد کنید. این کار را برای دو مقاومت مجهول دیگر نیز انجام داده و جدول (۱) را کامل کنید.

جدول (۱): آزمایش پل وتسون

ردیف	R_1	R_2	R	R_x	درصد خطای نسبی
۱					
۲					
۳					

ب- پل تار:

با استفاده از مقاومت معلوم و پل تاری که در اختیار دارید، مدار شکل (۴) را ببندید. با جابجا کردن لغزنده روی تار سعی کنید که جریان گذرنده از گالوانومتر را صفر کنید و با استفاده از رابطه‌ی (۸) مقاومت مجهول را محاسبه کرده و در جدول (۲) وارد کنید. همین مراحل را برای دو مقاومت دیگر انجام داده و جدول (۲) را کامل کنید.

جدول (۲): آزمایش پل تار

ردیف	R_1	R_2	R	R_x	درصد خطای نسبی
۱					
۲					
۳					

۱-کدامیک از سه روش خواندن مقاومت یعنی خواندن با رنگ و خواندن با اهم متر و یا پل وتسون دقت بیشتری دارد و چرا؟

۲- در پل تار چرا هر چه مقاومت مجهول را بین ۲۰ الی ۱۰۰ اهم بگیریم نتایج بهتر می شود؟

۳-موارد کاربرد پل وتستون را بیان کنید؟

آزمایش چهارم:

مقاومت متغیر

اهداف آزمایش:

استفاده از رئوستا و کنترل جریان در مدار، استفاده از پتانسیومتر و تقسیم ولتاژ، تبدیل منبع ثابت به منبع متغیر

تئوری آزمایش:

مقاومت‌های الکتریکی از نظر نوع ساخت به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

۱- مقاومت‌های ثابت: این نوع مقاومت‌ها که از نظر اندازه ثابت هستند را در آزمایش سوم (مقاومت ومقاومت ویژه) به طور کامل بررسی کردیم و انواع آن و ساختمان آنها را بررسی کردیم.

۲- مقاومت متغیر: به مقاومت‌هایی اطلاق می‌شود که مقدارشان ثابت نبوده و قابل تغییر می‌باشد. مقاومت‌های متغیر به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۲-۱- مقاومت‌های متغیر قابل تنظیم

۲-۱- الف) رئوستا

۲-۱- ب) پتانسیومتر

۲-۲- مقاومت‌های متغیر وابسته

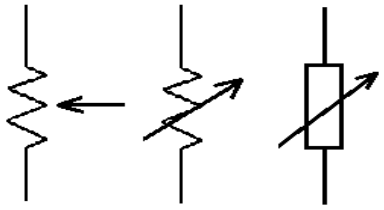
۲-۲- الف) تابع حرارت TDR

۲-۲- ب) تابع نور LDR

۲-۲- ج) تابع ولتاژ VDR

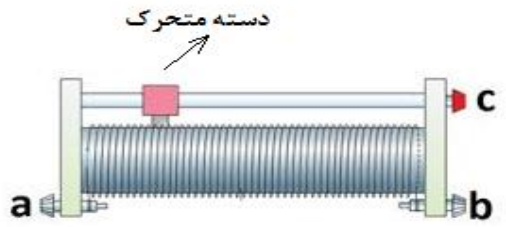
۲-۲- د) تابع میدان مغناطیسی MDR

در شکل (۱) علائم اختصاری مقاومت متغیر (رئوستا یا پتانسیومتر) را در مدارهای الکتریکی مشاهده می‌کنید.

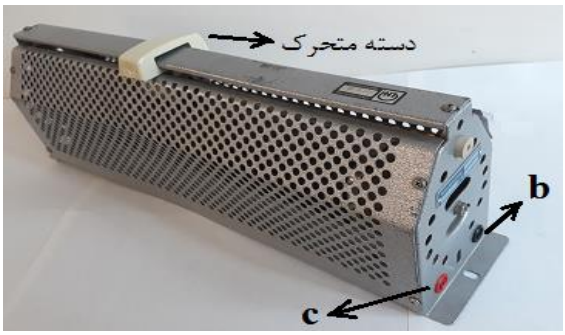


شکل (۱): علائم اختصاری مقاومت متغییر در مدار

در شکل (۱-۲) تصویر ساده شده یک مقاومت متغیر را می‌بینید. همان‌طور که ملاحظه می‌کنید، مقاومت متغیر دارای سه پایه است که به مدار متصل می‌شود. در شکل (۱-۲) با سه حرف a و b و c مشخص شده است. دو پایه a و b به دو انتهای مقاومت متصلند و به آن‌ها سرهای ثابت رئوستا می‌گوییم و پایه c در واقع همان دسته‌ی متحرکی است که روی مقاومت می‌لغزد و می‌توان مکان آن را تغییر داد و به آن سر متحرک رئوستا گفته می‌شود. در مقاومت متغیری که ما در آزمایشگاه در اختیار داریم، سرهای ثابت با فیش مشکی و سر متغیر با فیش قرمز رنگ مشخص شده که به دسته متحرک بالای رئوستا وصل است (شکل ۲-۲).



شکل (۱-۲): ساختمان داخلی مقاومت متغیر



شکل (۲-۲): مقاومت متغیر موجود در آزمایشگاه

از این مقاومت متغیر معمولا به سه طریق می‌توان استفاده کرد:

۱- اگر دو سر ثابت مقاومت متغیر (فیش‌های مشکی رنگ) را به مدار متصل کنیم و سر متغیر (فیش قرمز رنگ) آزاد بماند، در این صورت مقاومت متغیر به منزله‌ی یک مقاومت ثابت می‌باشد که اندازه‌ی اهمی آن برابر ماکزیممِ مقاومت متغیر است. در این حالت حرکت دسته متحرک تأثیری در مقدار مقاومت ندارد.

۲- اگر یکی از سرهای ثابت (یک فیش مشکی رنگ) و سر متغیر (فیش قرمز رنگ) را به مدار متصل کنیم و یکی از سرهای ثابت آزاد بماند، مقاومت متغیری در مدار داریم که با حرکت دسته‌ی متحرک اندازه‌ی این مقاومت کم و زیاد می‌شود و بین صفر تا ماکزیممِ مقاومت متغیر، تغییر می‌کند.

در این صورت با زیاد شدن مقاومت، جریان در مدار کاهش یافته و با کم شدن مقاومت جریانِ مدار زیاد می‌شود. در این‌حالت به مقاومت متغیر، رئوستا می‌گویند از آن به عنوان کنترل کننده جریان در مدار استفاده می‌کنند.

۳- اگر دو سر ثابت مقاومت متغیر (فیش های مشکی رنگ) را مستقیما به دو سر منبع تغذیه یا باطری متصل کنیم و سر متغیر (فیش قرمز) و یک سر ثابت را مجددا با ولتمتر به مدار وصل کنیم، در این‌صورت مقاومت متغیر مانند یک پتانسیومتر عمل می‌کند. یعنی با جابجا کردن دسته متحرک اختلاف پتانسیل دو سر مدار الکتریکی تغییر می‌کند و درنتیجه شدت جریان نیز تغییر می‌کند. به این ترتیب مقاومت متغیر به عنوان یک تقسیم کننده‌ی ولتاژ به کار می‌رود، با این روش می‌توان یک منبع ثابت را به یک منبع متغیر تبدیل کرد.

وسایل مورد نیاز:

باتری یا منبع مستقیم در رنج ۶ ولت، مقاومت متغیر، مقاومت ثابت ۱۰۰ اهمی، چند مقاومت ثابت فله ای و مغز مداد، سیم رابط و مولتی متر

روش انجام آزمایش:

الف-۱ ابتدا مغز مدادها را با طولهای و قطرهای متفاوت انتخاب کرده و با احتیاط دو سر آن را با اهم متر اندازه گیری کنید و در جدول زیر طول و قطر مدادها و مقدار مقاومتشان را بنویسید(دقت کنید که مغز مدادها تردهستند و با اندک فشار زیادی می شکنند)

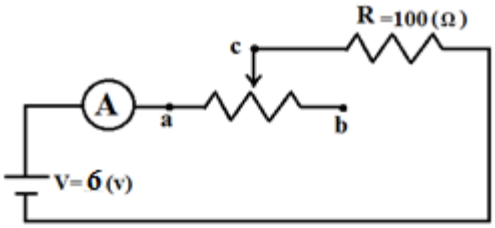
الف-۲ سپس هر گروهی یک مقاومت ۱۰۰ و ۲۲۰ اهمی کربنی فله ای را برداشته و با احتیاط لعاب رنگی روی مقاومتها را بردارید و سپس با استفاده از اهممتر با پروپهای سوزنی، طولهای متفاوت مقاومت را انتخاب کرده و مقدار اهم آنها را یادداشت کنید.

جدول (۱): مقاومت بر حسب قطر و طول مغز مداد

	نیم سانتیمتر	یک سانتی متر	دوسانتی متر	۳ سانتی متر	۴سانتی متر
مغز مداد 0/5					
مغر مداد 0/7					
مغز مداد بدنه چوبی					

ب- رئوستا و کنترل جریان در مدار:

با استفاده از یکی از سرهای ثابت و سر متغیر رئوستا، مدار شکل (۳) را ببندید. فقط دقت کنید که یک سر ثابت رئوستا را به باتری وصل نکنید. ابتدا مدار را به استاد نشان دهید. چنانچه مدار صحیح بود، انتهای مدار را به سر باتری وصل کنید. به محض وصل کردن باطری به مدار جریان در مدار جاری می‌شود.



شکل (۳): مدار کنترل جریان

تذکر: چنانچه مدار را اشتباه بسته باشید به باتری یا رئوستا آسیب می‌رسد، لذا قبل از اتصال انتهای مدار به باتری و جاری شدن جریان در مدار از صحیح بودن مدار اطمینان حاصل کنید.

بعد از اتصال کامل باتری با جابجا کردن دسته‌ی متحرک مقاومت رئوستا را روی مقادیر خواسته شده در جدول (۲) تنظیم کنید و هر بار جریان گذرنده از مدار را توسط آمپرمتری که در مدار تعبیه شده بخوانید و جدول (۲) را کامل کنید.

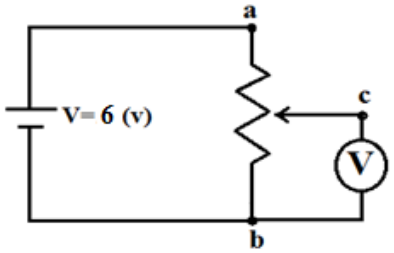
برای تنظیم اندازه‌ی مقاومتِ رئوستا روی مقادیر خواسته شده، قبل از بستن مدار یعنی زمانی که جریانی در رئوستا جاری نیست، ابتدا دسته‌ی متحرک را در انتهای ریل قرار دهید (جایی که مقاومت صفر است) و روی ریل یک علامت به عنوان نقطه صفر بزنید. سپس دسته را به ابتدای ریل برده (جایی که مقاومت ماکزیمم است) و مجددا روی ریل به عنوان مقاومت ماکزیمم علامت بزنید. توسط خط‌کش فاصله‌ی این دو نقطه را اندازه گرفته و فاصله‌های $\frac{1}{4}$ ، $\frac{1}{2}$ و $\frac{3}{4}$ را علامت بزنید. به این ترتیب وقتی دسته متحرک روی این علامت‌ها قرار می‌گیرد، مقاومت‌های خواسته شده در جدول حاصل می‌شود.

جدول (۲): کاربرد رئوستا در کنترل جریان

R (Ω)					
I(A)					

ج- رئوستا و تقسیم ولتاژ (تبدیل منبع ثابت به منبع متغیر):

باتری ۶ ولتی که در اختیار دارید، یک منبع ثابت است. می‌توانیم با کمک یک پتانسیومتر این باطری ۶ ولتی را به یک منبع DC متغیر که بین ۰ تا ۶ ولت تغییر می‌کند، تبدیل کرد. برای این منظور با کمک مقاومت متغیر که در اختیار دارید، مدار شکل (۴) را ببندید و توجه کنید که یک سر باتری را به مدار وصل نکنید تا جریان برقرار نشود. قبل از اتصال کامل باتری به مدار، مدار را به استاد نشان دهید و در صورت صحیح بودن مدار سرِ دوم باتری را هم به مدار وصل کنید. مانند قسمت



شکل (۴): مدار تقسیم ولتاژ

قبلی دسته‌ی متحرک مربوط به مقاومت متغیر را روی مقادیر خواسته شده در جدول (۳) قرار دهید و ولتاژ خروجی را در هر حالت توسط ولت‌متر بخوانید و جدول (۳) را کامل کنید.

جدول (۳): کاربرد رئوستا در تقسیم ولتاژ

R (Ω)					
I(A)					

۱- با توجه به مقادیر جدول (۲) مقاومت متغیر چگونه در مدار جریان را کنترل می‌کند؟

۲- چند کاربرد برای مدار فوق ذکر کنید.

۳- با توجه به شکل (۴) توضیح دهید چگونه از مقاومت متغیر برای تبدیل منبع ثابت به منبع متغیر استفاده کردید؟

۴- چند کاربرد برای مدار فوق ذکر کنید.

۵- نقش مقاومت ۱۰۰ اهمی در شکل ۳ چیست؟

۶- با توجه به قسمت الف توضیح دهید اگر در مدار الکترونیکی رنگهای مقاومت سوخته و مقاومت شکسته باشد و فقط یک قسمتی از مقاومت سالم مانده باشد چطور می توان، مقاومت اصلی جایگزین را تا حدود زیادی میتوان حدس زد. توضیح دهید؟

آزمایش پنجم:

اندازه‌گیری مقاومت داخلی یک باطری

اهداف آزمایش:

اندازه‌گیری مقاومت داخلی باتری یا منبع تغذیه در یک ولتاژ ثابت

تئوری آزمایش:

مقاومت داخلی:

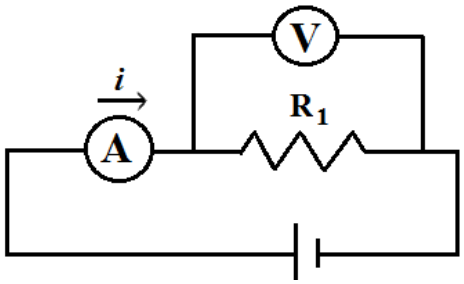
هر منبع تغذیه یا باتری به همراه خود یک مقاومت دارد که آن را مقاومت داخلی باتری یا منبع تغذیه می‌نامند. مقاومت داخلی باتری‌ها ناشی از مواد شیمیایی داخل آن‌هاست. در منبع تغذیه‌ها، مقاومت داخلی به واسطه وجود سیم‌پیچ و سایر اجزای مدار داخلی منبع ایجاد می‌گردد.

به این ترتیب وقتی مقاومت خارجی (R) به باتری یا منبع تغذیه متصل می‌شود، در واقع به صورت سری به مقاومت داخلی (r) متصل شده است. اندازه مقاومت داخلی کوچک است. (مثلا در یک باتری نو اتومبیل در حد چند صدم اهم است.) اما اثر آن قابل صرفنظر کردن نیست.

نیروی محرکه باتری:

اگر باتری یا یا منبع تغذیه به هیچ مصرف کننده‌ای متصل نباشد، ولتاژ آن حداکثر بوده و به آن نیروی محرکه باتری گویند و آن را با نماد E یا $\mathcal{E}$ نشان می‌دهند. عددی که روی باتری به عنوان ولتاژ آن نوشته می‌شود در حقیقت نیرو محرکه‌ی باتری است. اما وقتی باتری یا منبع تغذیه به مقاومت R متصل می‌شود و از آن جریان کشیده می‌شود، مقاومت داخلی باعث کاهش ولتاژ باتری نسبت به مقدار نیروی محرکه خواهد شد. در این حالت، ولتاژ که بین دو سر باطری وجود دارد به عنوان ولتاژ پایانه معرفی می‌شوند.

در شکل (۱) مدار ساده‌ای را مشاهده می‌کنید که در آن یک منبع تغذیه و آمپرمتر و مقاومت R سری شده‌اند.



شکل (۱):

طبق قانون حلقه برای مدار شکل (۱) می‌توانیم رابطه زیر را بنویسیم.

$$E = V + ir \quad \rightarrow \quad V = ir - E \qquad (۱)$$

چنانچه در این رابطه $i = 0$ باشد، در این صورت $V = E$ خواهد بود. پس برای اینکه نیروی محرکه منبع را اندازه بگیریم کافیست دو قطب آن را مستقیم به ولت‌متر متصل کنیم و اختلاف پتانسیل بین دو قطب را اندازه بگیریم. چنانچه مقاومت درونی ولت‌متر بی‌نهایت باشد، جریانی از درون ولت‌متر عبور نخواهد کرد. در اینصورت ولتاژ خوانده شده همان برابر نیروی محرکه (E) خواهد بود. اما در واقعیت چنین نیست و مقاومت داخلی ولتمتر با وجود زیاد بودن (حدود ۱۰ مگا اهم) بی‌نهایت نیست. در این آزمایش سعی شده به روش برونیابی مقاومت داخلی و نیروی محرکه‌ی باتری با دقت محاسبه شود.

وسایل مورد نیاز:

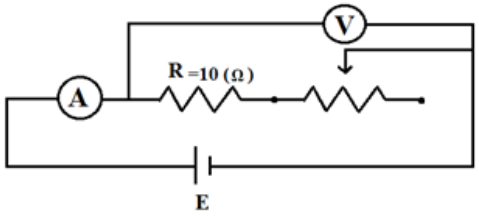
منبع تغذیه ۶ ولتی مستقیم و باتری ۱۲ ولتی، مقاومت متغیر (رئوستا) ۳۲۰ اهمی، مقاومت کوچک ثابت آجری ۱۰ اهمی، سیم رابط و مولتی‌متر

روش انجام آزمایش:

چنانچه از منبع تغذیه استفاده می‌کنید، ابتدا منبع را توسط یک ولت‌متر روی ولتاژ ۶ ولت مستقیم تنظیم نمایید و بدون اینکه به پیچ تنظیم دست بزنید، منبع را خاموش کرده و مدار شکل (۲) را ببندید.

چنانچه باتری در اختیار دارید به جای منبع تغذیه از باتری استفاده کنید.

*توجه کنید که رئوستا در بیشترین مقاومت ممکن باشد.
در حالیکه رئوستا در بیشترین مقاومت است، منبع را روشن کنید و ولتاژ و جریان را که ولت‌متر و آمپرمتر نشان می‌دهد در جدول (۱) یادداشت کنید.
مقاومت رئوستا را کمتر کرده و مجددا جریان و ولتاژ را ثبت کنید. این کار را ۵ بار تکرار کرده و جدول (۱) را کامل نمایید.



شکل (۲): مدار آزمایش

جدول (۱):

V(v)					
I(A)					

۱- نمودار (V_I) را در یک کاغذ میلی‌متری رسم کنید. نمودار چه شکلی دارد؟
۲- شیب نمودار را محاسبه کرده و توسط آن مقاومت داخلی باتری یا منبع تغذیه را محاسبه کنید. (معادله (۱))
۳- با توجه به نموداری که رسم کرده‌اید، نیروی محرکه‌ی باتری (یا منبع تغذیه) را پیدا کنید.
۴- برای یک باطری خشک که به ظاهر نیروی محرکه آن هم خوب است ولی در مدار جواب نمی دهد به نظرتان چه مشکلی به وجود آمده است؟
۵- چگونه می توان مقاومت داخلی ولت متر و آمپرمتر را اندازه گیری کرد؟

آزمایش ششم:

قوانین کیرشهف

اهداف آزمایش:

کاربرد قوانین کیرشهف در مدارهای الکتریکی

تئوری آزمایش:

در آزمایش قانون اهم، دیدیم که در برخی مدارها می‌توان به جای چند مقاومت موازی یا سری یک مقاومت معادل جایگزین کرد. اما نمی‌توان همه شبکه‌ها را با چند مقاومت ساده جایگزین کرد. برای مثال حالتی که یک مقاومت با چند شاخه در مدار وصل شده باشد، یا چند منبع تغذیه در شاخه‌های مختلف مدار حضور داشته باشند، جانشین کردن آنها با یک مقاومتِ معادل امکان‌پذیر نیست. در این نوع مدارها برای پیدا کردن جریان و حتی جهت جریان در شاخه‌ها از قوانین دوگانه کیرشهف (قانون حلقه و گره) استفاده می‌کنیم.

قبل از شرح قوانین کیرشهف بهتر است منظور از دو اصطلاح گره و حلقه را بررسی کنیم:

گره یا نقطه انشعاب در یک مدار نقطه‌ای است که یک سر از ۳ یا بیشتر از ۳ عضو الکترونیکی در آن به‌هم متصل شده باشند.

حلقه مسیر بسته‌ای است در یک مدار که از یک نقطه شروع و به همان نقطه ختم می‌شود.

قوانین دوگانه کیرشهف را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۱) قانون گره یا نقطه انشعاب: (**اصل بقای بار**)

در هر شبکه الکتریکی، مجموع جریان‌هایی که به یک گره یا نقطه انشعاب وارد می‌شوند برابر است با مجموع جریان‌هایی که از آن نقطه خارج می‌شوند. چنانچه جریان‌های ورودی به یک گره را مثبت و جریان‌های خروجی را منفی در نظر بگیریم یا برعکس، می‌توانیم قانون گره را این گونه نیز بیان کنیم:

جمع جبری جریان‌های ورودی به یک گره (نقطه انشعاب) صفر است. یعنی در هر گره از مدار داریم:

$$\sum \mathrm{I} = 0 \qquad (۱)$$

۲) قانون حلقه: (**اصل بقای انرژی**)

در هر مدار بسته (حلقه) با جهت دلخواه (ساعتگرد یا پاد ساعتگرد) جمع جبری نیروهای محرکه (مثبت) و ضدمحرکه (منفی) برابر جمع جبری حاصل‌ضرب‌های مقاومت در شدت جریان در قسمت‌های مختلف آن است. یعنی در هر حلقه داریم:

$$\sum \mathrm{E} = \sum \mathrm{IR} \qquad (۲)$$

E نیروی محرکه یا نیروی الکتروموتوری منبع تغذیه‌های موجود در مدار است.

در مدارهای الکتریکی اگر جهت جریان طوری باشد که در داخل مولد از قطب منفی به طرف قطب مثبت باشد، مولد دارای نیروی محرکه (الکتروموتوری) است و برعکس اگر جریان از قطب مثبت وارد و از قطب منفی خارج شود، مولد دارای نیروی ضدمحرکه (ضد الکتروموتوری) است.

در نوشتن قانون حلقه از یک نقطه حلقه آغاز و مدار را به اختیار در جهت ساعتگرد یا پادساعتگرد طی می‌کنیم تا دوباره به نقطه آغاز برسیم. هرگاه مقاومتی در جهت جریان طی شود، تغییر پتانسیل آن $\mathrm{IR}-$ و چنانچه در جهت مخالف طی شود تغییر پتانسیل آن $\mathrm{IR}+$ است. همچنین اگر یک منبع نیروی محرکه الکتریکی در جهت نیروی محرکه طی شود (از قطب منفی به مثبت) تغییر پتانسیل آن مثبت ($\mathrm{E}+$) و اگر در خلاف جهت طی شود (از قطب مثبت به منفی) تغییر پتانسیل آن منفی ($\mathrm{E}-$) است.

لازم به ذکر است که منبع نیروی محرکه الکتریکی دارای یک مقاومت داخلی r است و این مقاومت را نمی‌توان حذف کرد زیرا یک جزء جدا نشدنی از منبع است. لذا در حل مسائل نیروی محرکه الکتریکی مربوط به منبع را با E و تغییر پتانسیل طی شدن مقاومت داخلی را با Ir نشان می‌دهند.

وجود مقاومت درونی، درون منبع یا باطری باعث می‌شود وقتی منبع به مداری متصل شد و جریان از منبع گذشت، اتلاف پتانسیلی به اندازه Ir (I جریان گذرنده از مدار و r مقاومت داخلی منبع است.) بوجود می‌آید که در اصطلاح به آن افت پتانسیل منبع یا باطری می‌گویند. این افت پتانسیل را به راحتی می‌توان اندازه‌گیری کرد. برای این منظور کافیست اختلاف پتانسیل دو سر منبع را قبل از این که به مدار متصل شود توسط یک ولت‌متر اندازه‌گیری کنید(E). سپس بعد از اتصال منبع به مدار و جاری شدن جریان در مدار مجددا اختلاف پتانسیل دو سر منبع را توسط ولت‌متر اندازه بگیرید(É). مشاهده خواهید کرد که É از E کوچکتر است. این اختلاف همان افت پتانسیلی است که در اثر وجود مقاومت داخلی منبع (r) رخ داده است و مقدار آن برابر است با Ir. به عبارتی:

$$E - \acute{E} = Ir \qquad (۳)$$

اگر در شاخه از مدار جهت جریان را ندانیم، جهت فرضی را به دلخواه انتخاب می‌کنیم و قوانین حلقه و گره را بر اساس جهت فرضی می‌نویسیم و معادلات را حل می‌کنیم. هرگاه شدت جریان در یکی از شاخه‌ها منفی به دست آید، معلوم می‌شود که جهت مفروض با جهت واقعی جریان مخالف بوده است. اما مقادیر عددی اعم از این که جهت از ابتدا موافق یا مخالف جهت واقعی انتخاب شده باشد، صحیح به دست می‌آید. پس به این ترتیب، با این روش هم اندازه جریان در یک شاخه و هم جهت جریان را می‌توان به دست آورد، بدون آن که جهت‌ها از اول معلوم باشند.

در مدارهای پیچیده که تعداد مجهول‌ها زیاد است، به دست آوردن معادلات مستقل به تعداد مجهول‌ها گاهی دشوار به نظر می‌رسد. لذا بکار بستن نکات زیر پیدا کردن معادلات را ساده‌تر و کم خطاتر می‌کند.

۱- هرگاه در مدار n گره وجود داشت، n -۱ گره را به دلخواه انتخاب و قانون گره را برای آن‌ها بنویسید. دقت کنید که گره nام معادله مستقلی بدست نمی‌دهد.

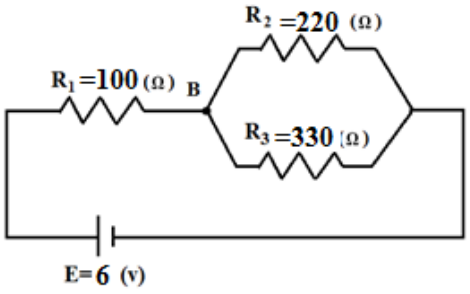
۲- مدار را به تعداد ممکن حلقه تقسیم کنید، به طوری که هر حلقه دست کم دارای یک شاخه مستقل باشد. سپس قانون حلقه را در مورد هر یک از حلقه‌های مستقل بکار ببرید.

وسایل مورد نیاز:

منبع تغذیه، باطری، مقاومت‌های مختلف، سیم رابط و مولتی‌متر

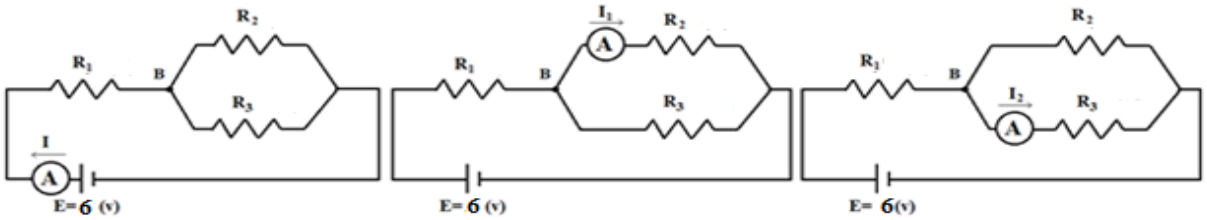
روش انجام آزمایش:

الف- منابع تغذیه‌ای که در اختیار دارید را توسط ولت‌متر روی ولتاژ ۶ ولت تنظیم کنید (E =۶ v). بدون این‌که پیچ تنظیم ولتاژ را جابجا کنید منبع را خاموش کرده و مدار شکل (۱) را ببندید. قبل از روشن کردن منبع، مدار را به استاد نشان دهید تا از درست بودن مدار اطمینان حاصل کنید. پس از اطمینان از درستی مدار، منبع را روشن کنید. در حالیکه منبع به مدار متصل است و جریان در مدار جاری است، دوباره ولت‌متر را به دو سر منبع وصل کرده و ولتاژ دو سر منبع را اندازه بگیرید(É =? v)



شکل (۱): مدار شامل ۳ مقاومت و یک منبع

مولتی‌متری را که در اختیار دارید روی مُدِ آمپرمتر قرار دهید و توسط آن جریان تک تک شاخه‌ها (I_1 و I_2) و جریان در شاخه اصلی (I) را اندازه بگیرید. توجه کنید برای اندازه‌گیری جریان در هر شاخه باید آمپرمتر را به شکل سری در آن شاخه قرار دهید (شکل ۲). جدول (۱) را کامل کنید.



(۲-a) (۲-b) (۲-c)

شکل (۲): نحوه قرارگرفتن آمپرمتر در مدار برای اندازه‌گیری جریان‌های I ، I_1 و I_2

۱- با توجه به رابطه (۳) مقاومت داخلی منبع را محاسبه کنید.

۲- رابطه قانون گره در نقطه B را بنویسید. با توجه به اندازه‌گیری‌هایی که انجام داده‌اید، آیا این قانون در نقطه B برقرار است؟

۳- مقاومت معادل مدار ($R_{tot_{تئوری}}$) را به روش تئوری محاسبه کنید.

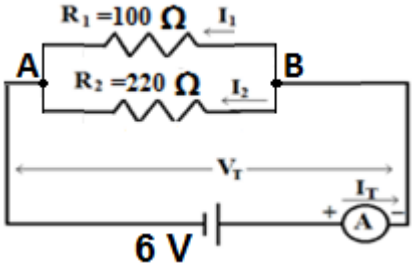
۴- مقاومت معادل مدار ($R_{tot_{تجربی}}$) را به روش تجربی محاسبه کنید.

۵- درصد خطای نسبی در محاسبه مقاومت معادل را محاسبه کنید.

جدول (۱): داده‌های مدار شکل (الف-۱)

E (v)	É (v)	I (A)	I_1 (A)	I_2 (A)	r (Ω)	$R_{tot_{تئوری}}$ (Ω)	$R_{tot_{تجربی}}$ (Ω)	درصد خطای نسبی

الف-۱- مقسم جریان در مقاومتهای موازی:



شکل (الف-۱): مدار شامل ۳ مقاومت و یک منبع

مطابق شکل بالا دو مقاومت R_1 و R_2 با هم موازی هستند. جریان کلی مدار در نقطه B به دو جریان I_1 و I_2 تقسیم شده و از دو مقاومت R_1 و R_2 می گذرد و سپس در نقطه A دوباره با هم جمع شده و به منبع برمی گردد. روابط زیر را برای مدار زیر می توان نوشت:

$$I_T = I_1 + I_2$$

$$V_T = I_T R_T \quad (۱)$$

$$V_T = I_1 R_1 \quad (۲)$$

$$V_T = I_2 R_2 \quad (۳)$$

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (۴)$$

از مقایسه روابط ۱ و ۴ خواهیم داشت:

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

$$V_T = I_T R_T \quad \rightarrow \quad V_T = I_1 R_1 \ \& \ V_T = I_T \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow I_1 R_1 = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

و نتیجه می گیریم:

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{و همینطور} \quad I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

دو رابطه مهم بالابه روابط مقسم جریان در مدارهای موازی معروف است و در طراحی مدارات الکترونیکی کاربرد فراوانی دارد. درستی این دو رابطه را در عمل با استفاده از دو مقاومت ۱۰۰ و ۲۲۰ اهمی بررسی کنید. و نتایج تئوری و عملی را با هم مقایسه کنید.

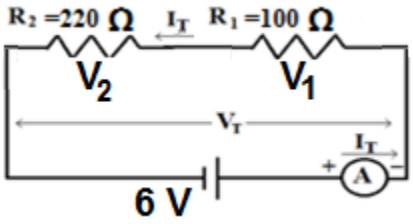
الف-۲- مقسم ولتاژ در مقاومتهای سری:

در شکل بالا دو مقاومت R_1 و R_2 با هم سری بود پس جریان کل از هر دو مقاومت می گذرد. و مقاومت معادل آنها نیز برابر مجموع دو مقاومت می باشد:

$$R_T = R_1 + R_2$$

$$V_1 = I_T R_1 \qquad (۱)$$

$$I_T = \frac{V_T}{R_1+R_2} \qquad (۲)$$



شکل (الف-۲): مدار شامل ۳ مقاومت و یک منبع

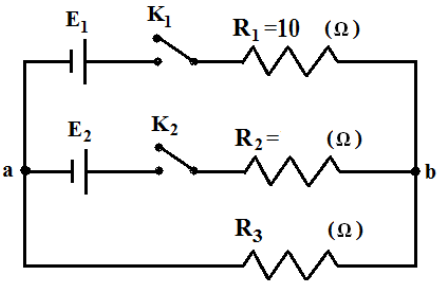
از مقایسه روابط ۱ و ۲ و همچنین نوشتن رابطه مشابه برای مقاومت دوم، به نتایج مهم زیر خواهیم رسید:

$$V_2 = V_T \frac{R_2}{R_1+R_2} \quad \text{و} \quad V_1 = V_T \frac{R_1}{R_1+R_2}$$

- با بستن مدار شکل بالا نتایج تئوری و عملی را با هم مقایسه کنید.

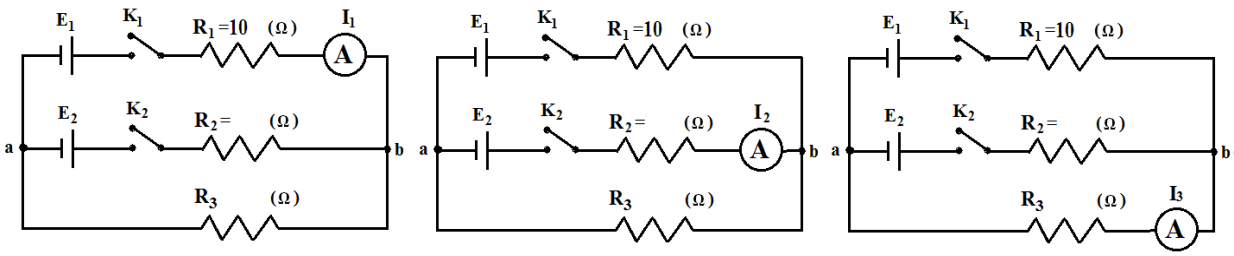
ب- به مدار شکل (۳) دقت کنید. این مدار را مانند مدار شکل (۲) نمی‌توان به سادگی با یک مقاومت معادل جایگزین کرد. لذا برای اندازه‌گیری جریان تک تک شاخه‌ها لزوما باید از قوانین دوگانه کیرشهف استفاده کنید.

از باطری‌هایی که در اختیار دارید به عنوان منبع E_1 و E_2 استفاده کنید. مدار شکل (۳) را ببندید و دقت کنید هنگام بستن مدار کلیدها باز باشد تا جریانی در مدار جاری نشود. قبل از بستن کلیدها مدار را به استاد نشان دهید تا از درست بودن مدار اطمینان حاصل کنید. پس از اطمینان از صحیح بودن مدار کلیدها را ببندید.



شکل (۳): مدار شامل ۳ مقاومت و ۲ منبع

ابتدا مولتی‌متر را روی مُدِ ولت‌متر قرار دهید و E_1 و E_2 را اندازه‌گیری کنید. سپس مولتی‌متر را روی مُدِ آمپرمتر قرار دهید و جریان تک تک شاخه‌ها را اندازه‌گیری نمایید (شکل ۴) و در جدول (۲) وارد کنید. یکبار نیز جریان‌ها و همچنین جهت جریان در هر شاخه را با استفاده از قوانین گره و حلقه پیدا کنید و با مقادیر تجربی که با آمپرمتر اندازه‌گیری کرده‌اید مقایسه کنید.



(۴-a) (۴-b) (۴-c)

شکل (۴): نحوه قرارگرفتن آمپرمتر در مدار برای اندازه‌گیری جریان‌های I_1 ، I_2 و I_3

۶- معادلات قانون گره و حلقه را برای مدار فوق بنویسید و با حل آن‌ها جریان‌های I_1 ، I_2 و I_3 را بصورت تئوری محاسبه کنید.

۷- درصد خطای نسبی محاسبه جریان را با توجه به مقادیر تجربی که با آمپرمتر اندازه‌گیری نموده‌اید، محاسبه کنید.

۸- با بستن مدار شکل های (الف-۱ و الف-۲) نتایج تئوری و عملی را با هم مقایسه کنید.

جدول (۲): داده‌های مدار شکل (۳)

E_1 (v)	E_2 (v)	I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)	درصد خطای نسبی محاسبه I_1	درصد خطای نسبی محاسبه I_2	درصد خطای نسبی محاسبه I_3

آزمایش هفتم:

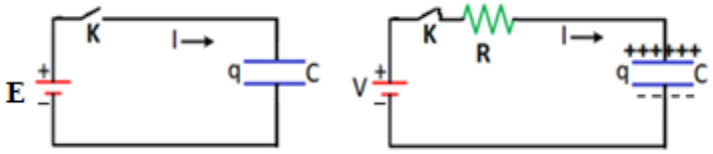
شارژ و دشارژ خازن

اهداف آزمایش:

اندازه‌گیری ثابت زمانی خازن (τ) و محاسبه‌ی ظرفیت خازن با استفاده از رسم منحنی شارژ و دشارژ خازن

تئوری آزمایش:

اگر مطابق شکل زیر یک خازن شیمیایی را با رعایت (قطبیت) به صورت سری به یک مقاومت بالا و کلید قطع و وصل و باتری با جریان مستقیم وصل کنیم، با روشن شدن کلید اگر مقاومت کم باشد، بلافاصله خازن شارژ می‌شود ولی اگر بخواهیم آهنگ شارژ خازن را آهسته کنیم باید مقدار مقاومت را افزایش دهیم(تا حد چند مگا اهم)



شکل (۱): مدار شارژ خازن

مطابق شکل اگر در زمان $t=0$ کلید را روشن کنیم بار مثبتی که در قطب مثبت باتری قرار دارد سعی در رسیدن به نقطه‌ای با پتانسیل کمتر دارد. بنابراین بارها حرکت کرده و به صفحه فوقانی خازن می‌رسند و جریان در مدار برقرار می‌شود. یعنی در زمان t باری به اندازه $q(t)$ بر روی صفحات خازن ذخیره شده است. حال اگر فاصله‌ی زمانی $(t+dt)$ و t از هر مقطع مدار بار dq بگذرد، کاری که باتری برای انتقال بار dq از قطبین خود انجام می‌دهد برابر با $dW=E.dq$ می‌باشد. انرژی تلف شده در عرض این مدت زمان در مقاومت برابر است با:

$$dW=E.dq \quad \text{و} \quad I=\frac{dq}{dt}$$

افزایش انرژی خازن در این مدت برابر است با:

$$dW_c=\frac{1}{2}\left(\frac{(q+dq)^2}{c}\right)-\frac{1}{2}\frac{q^2}{c}\approx\left(\frac{q}{c}\right)dq$$

طبق اصل بقای انرژی خواهیم داشت:

$$Edq=RI^2dt+\left(\frac{q}{c}\right)dq \qquad (۱)$$

حالا اگر طرفین رابطه‌ی (۱) را بر dt تقسیم کنیم و به جای I، $\frac{dq}{dt}$ را قرار دهیم خواهیم داشت:

$$E=RI+\frac{q}{c}$$

$$E=R\left(\frac{dq}{dt}\right)+\left(\frac{q}{c}\right) \qquad (۲)$$

رابطه‌ی (۲)، قانون دوم کیرشهف برای مدارهای دارای مقاومت خازنی می‌باشد. این رابطه را با اجرای قانون حلقه ولتاژها در مدار بالا می‌توان نوشت. برای پیدا کردن q از رابطه‌ی فوق چنین عمل می‌کنیم:

$$Rc\left(\frac{dq}{-q}+Ec\right)=dt$$

و سپس انتگرال می‌گیریم و خواهیم داشت:

$$-Rcln(-q+Ec)=t+k \qquad (۳)$$

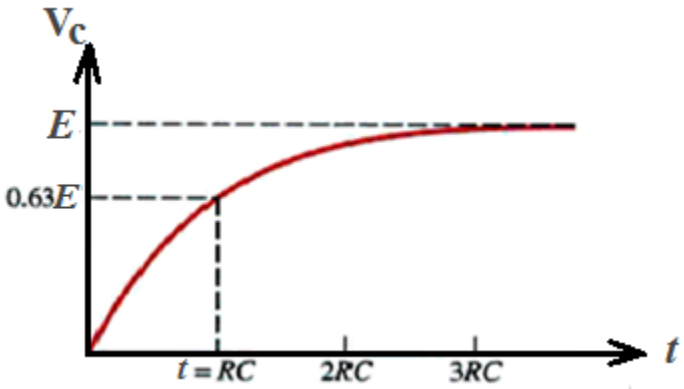
در رابطه‌ی (۳) ، k ثابت انتگرال‌گیری است که از روی شرایط اولیه بدست می‌آید. در زمان $t=0$ مقدار بار روی خازن صفر می‌باشد و در نتیجه داریم:

$$q(t)=EC(1-e^{\frac{-t}{RC}}) \qquad (۴)$$

و از روی رابطه‌ی (۴) ولتاژ دو سر خازن به صورت تابعی از زمان بدست می‌آید:

$$V_c(t)=E(1-e^{\frac{-t}{RC}}) \qquad (۵)$$

رابطه‌ی (۵) نشان می‌دهد که ولتاژ شارژ خازن بر حسب زمان به صورت نمایی تغییر می‌کند و منحنی تابع فوق به صورت شکل زیر است.



شکل (۲): اختلاف پتانسیل دوسر خازن(V_c) برحسب زمان (t)

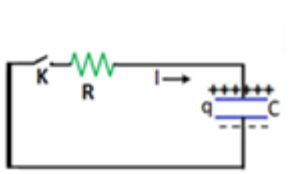
حاصلضرب $\tau=RC$ را ثابت زمانی گویند. با قرار دادن $t=RC$ در رابطه‌ی (۵) مقدار $V_c=0.63E$ می‌شود. چنانچه در آزمایشی منحنی V_c را بر حسب t رسم کنیم، مطابق شکل (۲) با تعیین مقدار $V_c=0.63E$ از محور عمودی و امتداد آن نقطه به موازات محور زمان نقطه‌ی تقاطع با نمودار شارژ را بدست آورده و از آن نقطه به موازات محور عمودی بر روی محور زمان تصویر می‌کنیم. نقطه‌ی تقاطع با محور زمان همان ثابت زمانی است که با داشتن مقدار ظرفیت خازن و مقدار مقاومت، و حاصلضرب آن دو به دست می‌آید.

توجه: بعد از رسم نمودار کامل خواهید دید که شارژ تقریبی خازن در زمان $5RC$ اتفاق خواهد افتاد. به این صورت که در هر بار خازن به مقدار ۰٫۶۳٪ مقدار باقی مانده، شارژ می‌شود. و به دلیل افزایش نمایی تابع شارژ، می‌توان گفت که خازن به صورت صدرصد شارژ خود نخواهید رسید. و مشاهده خواهید کرد که بعد از زمان $\tau=RC$ نمودار تغییرات شارژ با گذشت زمان تغییری نخواهد کرد. و در نمودار حالت دشارژ نیز این حالت را مشاهده خواهید کرد با این تفاوت که در آنجا، در هر مرحله دشارژ، خازن به مقدار ۰٫۳۶٪ مقدار قبلی خود دشارژ می‌شود و در نهایت در زمان $\tau=RC$ ، به دشارژ تقریبی خود خواهد رسید.

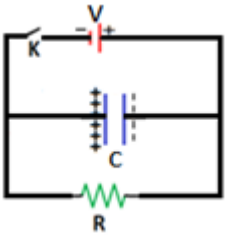
که در آن E همان مقدار اختلاف پتانسیل دو سر باتری بدون بار است که اول آزمایش یادداشت کردیم. که در این آزمایش باید حتما مقداری بیش از ۱۲ ولت باشد تا بتواند به راحتی خازن را کاملا شارژ نماید (مثلا ۱۲/۵۷ ولت) ولی اگر مقدار آن ۱۲/۰۲ولت باشد یعنی باتری در حال خالی شدن است و بهتر است یا باتری را عوض کنیم و یا اینکه اول باتری را شارژ کنیم و سپس آزمایش را انجام دهیم.

مدار دشارژ خازن

خازنی که مطابق شکل قبلی شارژ شد. یعنی ولتاژ به مقدار تقریبی ثابت رسید، باید بلافاصله کلید را قطع کنیم. و سپس باطری را برداشته و دو سر سیم‌هایی که به باطری وصل بودند را به هم وصل می‌کنیم. حالا مدار آماده دشارژ می‌باشد. ولی تا وقتی که کلید را وصل نکنیم خازن دشارژ نخواهد شد. در حالت دشارژ چون خازن و مقاومت با هم موازیند بنابراین کافی است ولتاژ دو سر یکی را بخوانیم و یادداشت کنیم ولتاژ دیگری نیز با آن برابر خواهد بود. این مطلب را با دقت در شکل‌های دشارژ خازن در زیر بهتر درک خواهید کرد:

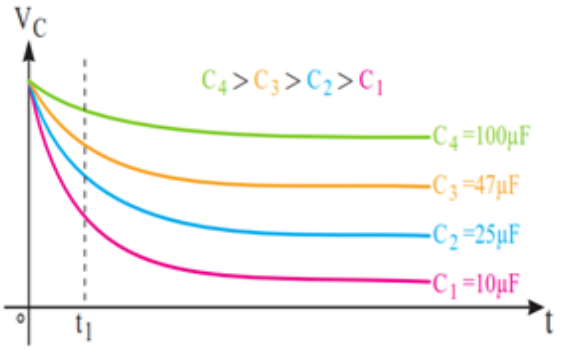


شکل (a-۳): مدار دشارژ خازن

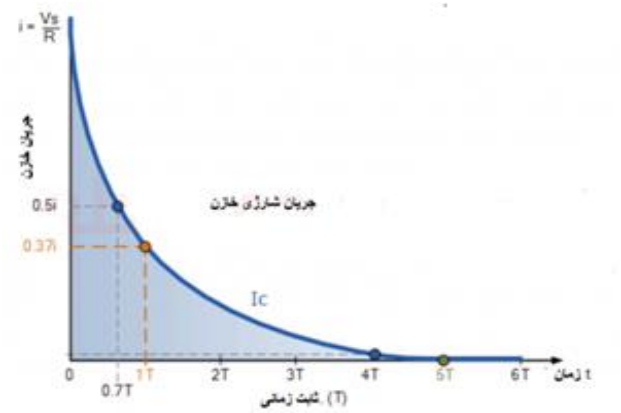


شکل (b-۳): مدار دشارژ خازن

همانطور که می‌بینید اگر کلید در شکل اول قطع شود دو شکل اول و دوم شبیه هم خواهند بود. که همان مدار دشارژ خازن است. پس با کمترین تغییرات می‌توانیم مدار شارژ را به دشارژ تبدیل کنیم. یعنی با برداشتن باطری از مدار شارژ قبلی به مدار دشارژ خواهیم رسید.



شکل (a-۴): اثر ظرفیت خازن روی منحنی دشارژ خازن



شکل (b-۴): *اختلاف پتانسیل دوسر خازن(V_c) برحسب زمان (t)*

حالا اگر قانون حلقه را در شکل اول بنویسیم خواهیم داشت:

$$\frac{q}{c} + IR = 0 \qquad (۶)$$

که حل این معادله شبیه حل معادله‌ی (۲) خواهد بود اگر در آن E را مساوی صفر قرار دهیم. و شرایط اولیه برای دشارژ برابر است با:

$$t = 0 \quad \rightarrow \quad q = q_0$$

پس خواهیم داشت:

$$q(t) = q_0 e^{\frac{-t}{RC}} \quad (۷)$$

$$V_c = E e^{\frac{-t}{RC}} \quad (۸)$$

وسایل مورد نیاز:

خازن شیمیایی ۱۰ میکروفاراد ($10\mu f - 16V$ یا $25V$)، ولت‌متر دیجیتال با مقاومت داخلی بالا در حد ۱۰ مگااهم، باتری خشک قابل شارژ ۱۲ ولت کلید قطع و وصل- کرونومتر- سیم‌های رابط

نکته مهم: از اتصال کوتاه منبع باتری خشک خودداری شود و قطب‌های باتری را با قطب‌های خازن تطابق دهید تا موقع اتصال قطب مثبت خازن نزدیک قطب مثبت باتری و قطب منفی نیز نزدیک قطب منفی باتری بسته شود. در صورت عدم رعایت این نکته ممکن است در حین آزمایش خازن منفجر شود.

شکل (۵): وسایل مورد نیاز در آزمایش

روش انجام آزمایش:

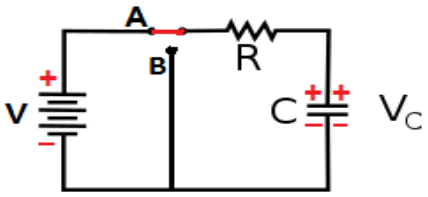
نکته۱- قبل از بستن مدار شکل (۶)، باید حتما از دشارژ بودن خازن مطمئن شده و مطمئن شوید ظرفیت خازن دقیقا چه مقدار است. برای اطمینان از دشارژ بودن خازن باید دو سر خازن را چند لحظه با هم اتصال کوتاه کرد و برای خواندن مقدار دقیق ظرفیت بهتر است از ظرفیت‌سنج خازن استفاده شود.

نکته ۲: از شارژ بودن باتری با گرفتن ولتاژ دو سر آن خارج از مدار مطمئن شوید (باید مقداری بیشتر از ظرفیت اسمی باتری باشد) و همچنین دقت کنید قطبیت خازن درست وصل شده باشد. یعنی قطب مثبت باتری باید نزدیک سر مثبت خازن باشد و قطب منفی نیز نزدیک سر منفی. دقت کنید در صورت اتصال اشتباه، احتمال ترکیدن خازن زیاد است.

نکته۳- دقت کنید که با شروع شارژ باید تا مرحله شارژ کامل پیش روید و در آنجا کلید را قطع کنید و مراحل بعدی را انجام دهید. در طول مرحله شارژ نباید هیچ توقفی داشته باشیم. یعنی باید دقت کنیم مولتی‌مترها در حین کار به حالت خاموش خودکار نروند، برای جلوگیری از این حالت باید هر یک دقیقه یکبار مولتی‌متر را کمی جابجا کنیم تا سنسور خاموش خودکار آن غیر فعال شود. حالا با رعایت موارد احتیاطی ذکر شده، شکل زیر را با حالت کلید قطع، ببندید. و مطابق جدول زیر از زمان شروع صفر تا ۲۰ ثانیه بعد مقادر V_R را از روی مولتی متر خوانده و در جدول (۱) یادداشت می‌کنیم و چون نیروی محرکه باتری بدون بار را اول آزمایش اندازه گرفتیم حالا با قرار دادن در روابطه (۹) مقدار V_c بدست می آید.

$$\left.\begin{aligned} E &= V_R + V_C \\ V_C &= E - V_R \end{aligned}\right\} \quad (۹)$$

نکته۴- مقاومت داخلی ولت‌متر $R = 10M\Omega$ است.



شکل (۶)

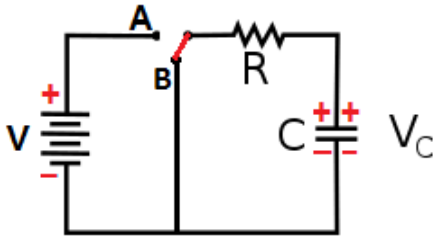
حالا جدول زیر را کامل می کنیم:

جدول (۱):

t ثانیه																				
V_R																				
V_c																				

چون می‌دانیم ثابت زمانی خازن برابر است با: $\tau = RC$ با قرار دادن مقدار آن در رابطه شارژ خازن یعنی رابطه شماره (۵) خواهیم داشت: $V_c(t) = E(1 - e^{\frac{-t}{RC}})$ و $t = RC$ لذا می‌توان نوشت: $V_c(t) = 0.63E$ بر طبق جدول بالا و با رسم زمان بر حسب V_c و با تعیین مقدار $V_c(t) = 0.63E$ و تصویر آن بر روی محور زمان، مقدار ثابت زمانی و آز آنجا مقدار C مشخص خواهد شد.

بعد از شارژ کامل خازن بلافاصله کلید را قطع می‌کنیم و مدار دشارژ را مطابق شکل (۷) می‌بندیم. و جدول دشارژ (جدول۲) را همانند حالت شارژ تکمیل می‌کنیم. یعنی بعد از شارژ بلافاصله با قطع کلید از حالت A به B رفته و جدول زیر را همانند حالت شارژ تکمیل می‌کنیم.



شکل (۷)

جدول (۲):

t ثانیه																				
V_c																				

توجه دارید که در این حالت چون خازن و ولت‌متر موازی هستند، بنابراین ولتاژ دوسر مقاومت، ولتاژ دو سر خازن نیز می‌باشد. بنابراین جدول بالا را تا تثبیت تقریبی مقدار V_c ادامه می‌دهیم. و مانند حالت شارژ ، نمودار V_c را بر حسب t رسم می‌کنیم. در رابطه‌ی دشارژ اگر مقدار $t = RC$ را قرار دهیم خواهیم داشت: $V_c(t) = 0.37E$

با جاگذاری $R = 10M\Omega$ مقدار C بدست خواهد آمد.

۱-با توجه به نمودار شارژ و دشارژ چرا نمی‌توانیم بگوییم صد در صد خازن شارژ و یا دشارژ شده است؟

۲-چرا واحد عبارت $\tau = RC$ بر حسب ثانیه است به نظر می‌رسد باید فاراد × اهم باشد. و چرا آن را ثابت زمانی گویند؟

۳- برای کوتاه و بلند نمودن زمان شارژ چه پیشنهادی دارید؟

۴- مقاومت داخلی ولت متر را چگونه حساب کردید؟

آزمایش هشتم:

الکتریسیته ساکن

تالس اولین دانشمندی بود که پی برد کهربا در اثر مالش می تواند خرده های سبک اجسام را جذب نماید و نام الکتریسیته ساکن بر آن نهادند. ولی مطمئنا انسانها با این پدیده در زندگی روزمره برخورد داشتند. ایجاد الکتریسیته ساکن در اجسام در اثر مالش تا اواخر قرن هیجدهم توسط بسیاری از دانشمندان تجربه شد و آنها در آزمایشهای زیادی دریافتند که بعضی از اجسام در اثر مالش خاصیت جذب یا دفع اجسام دیگر را پیدا می کنند. و یا به عبارت دیگر اجسام مالش داده شده بر هم می توانند نیرو وارد کنند. علت این نیرو اگر چه در آن زمان بدرستی معلوم نبود، ولی امروزه به دلیل شناخت ساختمان اتمی اجسام به سادگی قابل توجیه می باشد. در این آزمایش به نحوه ی تولید الکتریسیته ساکن در اجسام مختلف می پردازیم:

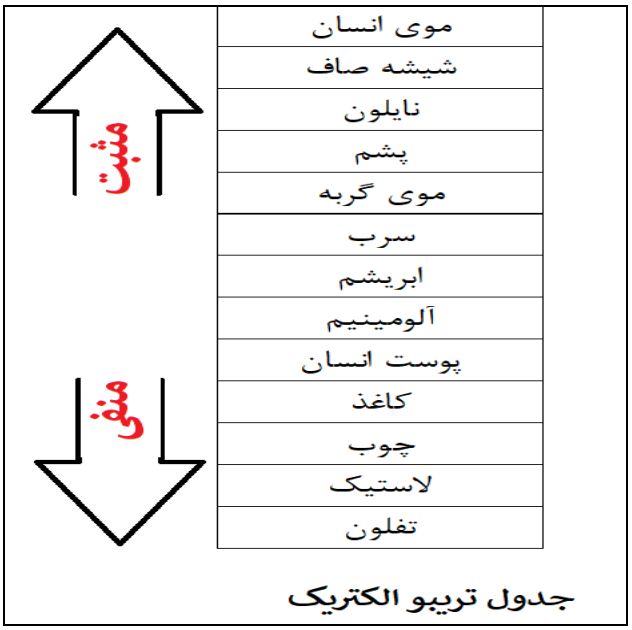
اهداف آزمایش:

۱) مطالعه آثار بار الکتریکی و تحقیق کیفی نیروی وارد از طرف اجسام باردار بر یکدیگر و تعیین علامت بار الکتریکی
۲) آشنایی با اجسام هادی و عایق و چگونگی توزیع بار در اجسام هادی
۳) مطالعه‌ی عمل ماشین‌های وان‌دوگراف و ویمشورث

تئوری آزمایش:

می‌دانیم که همه اجسام از اتم‌ها تشکیل شده‌اند. و در حالت عادی اتم‌ها و مولکول‌ها، از لحاظ بار الکتریکی خنثی هستند. بار الکتریکی الکترون، منفی، و پروتون مثبت می‌باشد و نوترون‌ها بدون بارند. وقتی در اتم‌ها تعداد پروتون‌ها و الکترون‌ها با هم برابر نباشند، جسم دارای بار الکتریکی است. اگر دو جسم غیر هم‌جنسِ خنثی، به هم مالش داده شوند، مطابق جدول تریبو الکتریک، به دلیل اختلاف ساختمان مولکولی آن دو جسم، الکترون از یک جسم به جسم دیگر منتقل می‌شود و یکی بار مثبت و دیگری بار منفی می‌گیرد. و همچنین بارهای همنام همدیگر را دفع و بارهای غیر همنام همدیگر را جذب می‌کنند.

جدول تریبو الکتریک

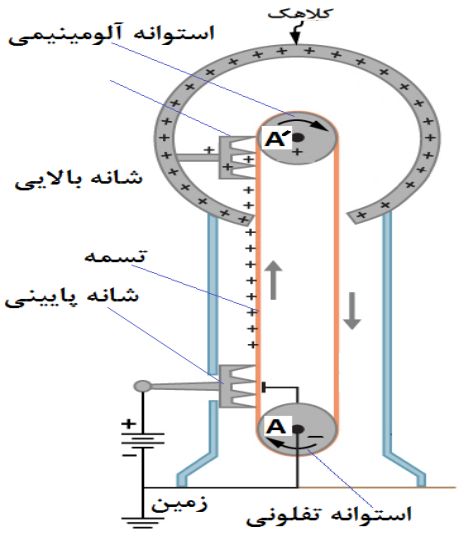


مولدهای الکتریسیته ساکن عبارتند از:

۱- ماشین واندوگراف ۲- ماشین ویمشورث ۳- دستگاه الکتروفور

۱- مولد الکتریسیته ساکن واندوگراف[1]

دستگاهی است که مطابق شکل زیر با چرخش آرمیچر با نیروی دست یا برق شهر، باعث می‌شود تا بار الکتریکی تولید شده، روی کلاهک فلزی آن جمع شود. این دستگاه در سال ۱۹۳۹ توسط آقای رابرت واندگراف فیزیکدان آمریکایی ساخته شد.



شکل (۱): ساختمان واندوگراف

نحوه‌ی کار واندوگراف: همانطور که در شکل بالا می‌بینید غلطک A که از جنس تفلون است و چون متصل به آرمیچر است با چرخش موتور می‌چرخد و با چرخش غلطک تفلونی، تسمه پلاستیکی دور آن نیز می‌چرخد و باعث مالش پلاستیک به تفلون می‌گردد. و در نتیجه غلطک دارای بار منفی می‌شود. و غلطک $\acute{A}$ دارای بار مثبت می‌شود. از طرفی غلطک A دارای بار منفی است به شانه‌ی متصل به زمین بار مثبت القا می‌کند. و بار مثبت توسط این شانه روی تسمه قرار می‌گیرد. و این بارها توسط این تسمه به شانه بالایی منتقل می‌شود. چون شانه بالایی متصل به داخل کلاهک است و بار داخل جسم رسانا نمی‌ماند، این بارها همگی به بیرون کلاهک رانده می‌شوند. بنابراین بار الکتریکی مثبت روی سطح خارجی کلاهک واندوگراف انباشته می‌شوند.

برای تولید بار بیشتر باید از تمیزی سطح غلطک‌ها و کلاهک واندوگراف و تسمه مطمئن باشیم و تعداد دور موتور نیز مناسب باشد و رطوبت دست و هوا باید کم باشد و دستگاه به اطراف نشتی بار نداشته باشد.

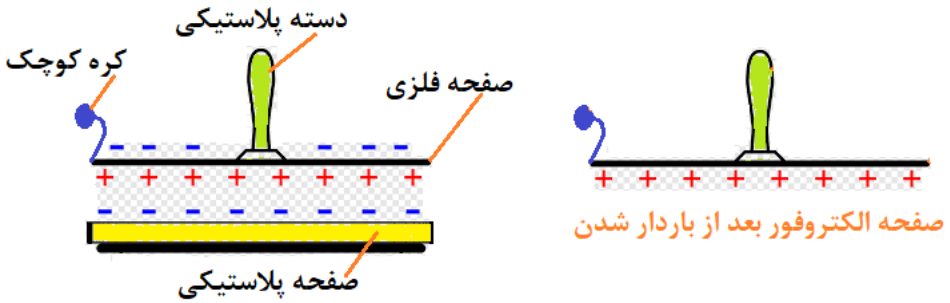
پرسش: اگر بخواهیم بار کلاهک واندوگراف منفی باشد چه تغییراتی را باید در غلطک‌ها اعمال کنیم و چرا؟

۲- الکتروفور

یکی از دستگاه‌های اولیه و ساده برای تولید الکتریسیته ساکن می‌باشد که می‌تواند فقط یک نوع بار را تولید کند. این دستگاه، از مالش و القاء برای تولید الکتریسیته ساکن استفاده می‌کند. مطابق شکل زیر، یک صفحه‌ی پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش داده و بار منفی روی سطح پلاستیک تولید می‌شود. حالا قرص فلزی الکتروفور را از دسته عایق گرفته و روی صفحه باردار قرار می‌دهیم به طوری که قرص فلزی روی قرص پلاستیکی قرار گیرد. در این حالت مقدار کمی بار منفی به صفحه فلزی از طریق تماس منتقل می‌شود. در این حالت با انگشت خود کره کوچک متصل به صفحه فلزی را لمس می‌کنیم تا بارهای منفی خنثی شوند، با این کار بار

[1] - vandograf generator

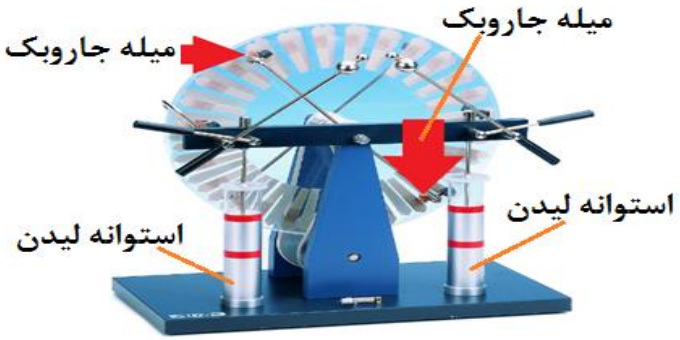
مثبت روی صفحه فلزی القاء می‌شود و با جدا کردن صفحه فلزی از صفحه پلاستیکی، روی صفحه فلزی بار مثبت القاء شده است. نوع این بار را می‌توان با الکتروسکوپ تشخیص داد.



شکل (۲): طرز کار الکتروفور

۳- ماشین ویمشورث(ویمچورست)

یکی از دستگاه‌های تولید الکتریسیته ساکن است که اولین بار توسط شخصی به همین نام در سال ۱۸۸۰ میلادی ساخته شد. که قبل از ساخت آن تنها دستگاه‌های تولید الکتریسته ساکن واندوگراف و الکتروفور بودند. اساس کار این مولد از دو دستگاه دیگر متفاوت است و براساس مالش و القا فلز به فلز و همچنین شارژ خازنهای ظرفیت بالای لیدن کار می کند. به این ترتیب که وقتی دو فلز رسانای مختلف به یکدیگر مالش داده شوند، باردار می‌شوند. زیرا هیچ دو عنصری را نمی‌توان یافت که در تعداد الکترون‌ها و اتم‌ها و نیروی بین آنها با هم کاملا یکسان باشند. وقتی صفحات باردار شده از روبروی صفحات پشتی عبور می‌کنند بر روی آن‌ها بار مخالف القا می‌کنند. این بارها شانه‌های جمع کننده، جمع شده و به استوانه لیدن برای تقویت هدایت می‌شوند. هر استوانه یک بار را تقویت می‌کند و در نهایت دوبار مخالف بر روی کره کوچک بالای استوانه‌ها جمع می‌شوند. و در فاصله مناسبی از هم باعث جرقه بین دو بار می‌شود.



شکل (۳): ساختمان ماشین ویمشورس

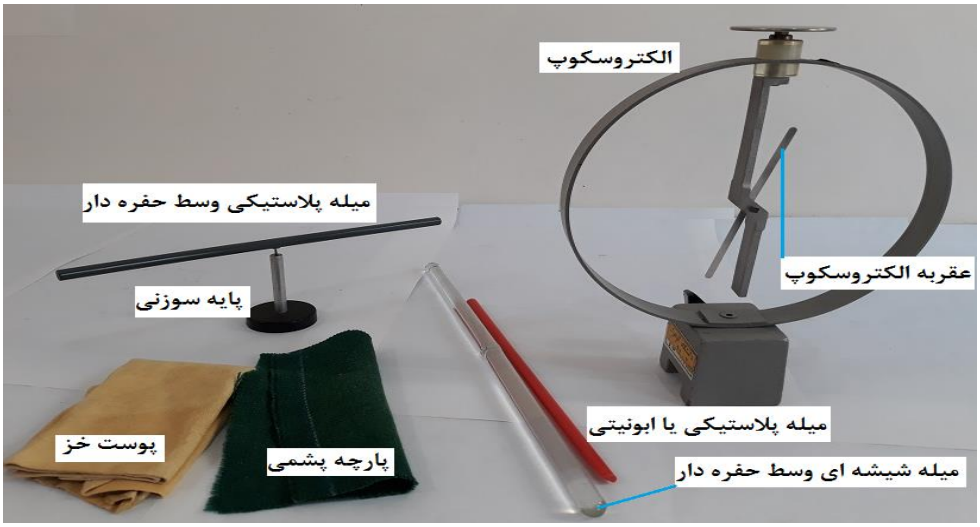
پرسش: تشریح کامل کارکرد این ماشین به سادگی واندوگراف و الکتروفور نیست. لذا توضیح کامل کارکرد آن را به دانشجویان علاقمند واگذار می‌کنیم.

اگر میله پلاستیکی(ابونیتی) را با پارچه پشمی مالش دهیم این میله دارای بار منفی می‌شود (و پارچه بار مخالف آن را می‌گیرد) و اگر میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش دهیم، بار شیشه مثبت خواهد شد. و اما به چه دلیل این اتفاق می‌افتد.

۴- وسایل مورد نیاز:

میله‌ی شیشه‌ای، میله‌ی ابونیتی، پارچه‌ی پشمی، الکتروسکوپ، گوی آزمون، واندوگراف، ماشین ویمشورث، منبع تغذیه، زنگ اخبار، قفس فارادی، ورقه‌های آلومینیومی و ...

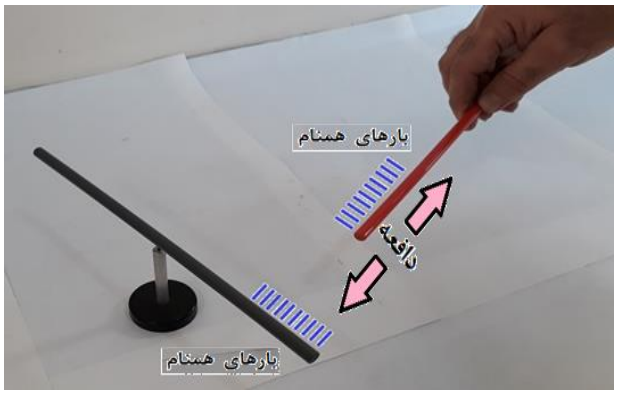
بخش اول آزمایش: بررسی بارهای هم‌نام و غیرهم‌نام



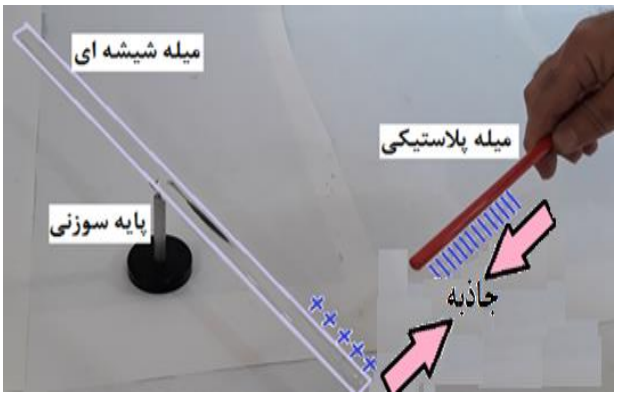
شکل (۴): وسایل لازم در بخش اول آزمایش

اگر میله‌ی پلاستیکی (ابونیتی) را با پارچه پشمی مالش دهیم، این میله دارای بار منفی می‌شود (و پارچه بار مخالف آن را می‌گیرد). اگر میله‌ی شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش دهیم، بار شیشه مثبت خواهد شد. و اما به چه دلیل این اتفاق می‌افتد؟

الف- میله‌ی پلاستیکی (ابونیتی) را با پارچه‌ی پشمی مالش دهید تا باردار شود، سپس میله‌ی دیگر پلاستیکی که وسط آن حفره دارد (شکل۴) را برداشته مطابق روش قبل باردار کنید. سپس پایه سوزنی را روی میز قرار داده و با احتیاط میله باردار وسط حفره دار را روی پایه سوزنی سوار کنید، اندکی صبر کنید تا به تعادل برسد. سپس میله‌ی باردار پلاستیکی دیگر را به سر باردار میله روی پایه نزدیک می کنیم (شکل۱-۵). چه اتفاقی می افتد؟ و چرا؟



شکل (۵-۱)

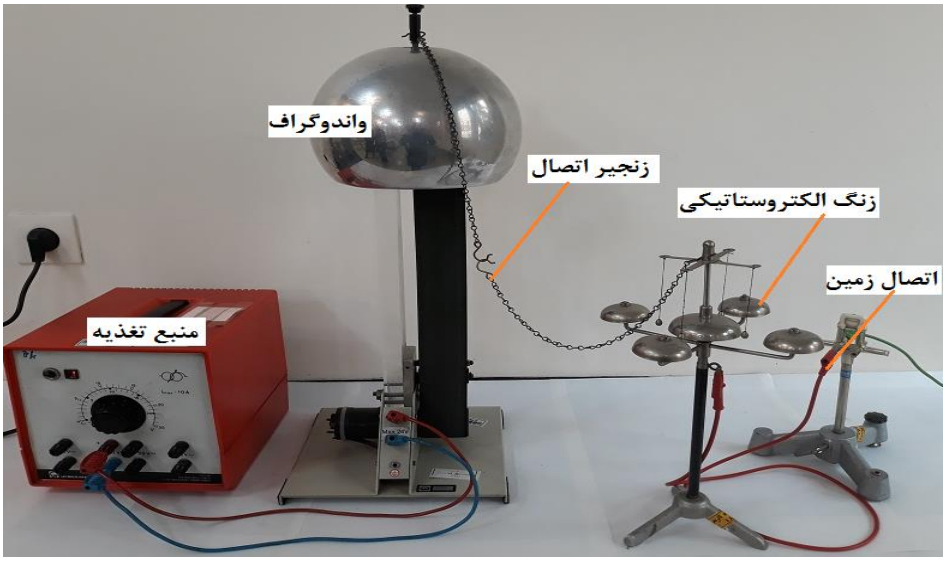


شکل (۵-۲)

ب- حالا بند الف را برای میله شیشه ای نظیر آن تکرار کنید. یعنی یک میله‌ی شیشه‌ای را که قبلا باردار کرده‌اید را به میله‌ی ابونیتیِ روی پایه (مطابق شکل (۵-۱) نزدیک کنید و نتیجه را توضیح دهید؟

ج- همین عمل را برای یک میله شیشه‌ای باردار معلق روی پایه سوزنی و یک میله ابونیتی باردار تکرار کنید.

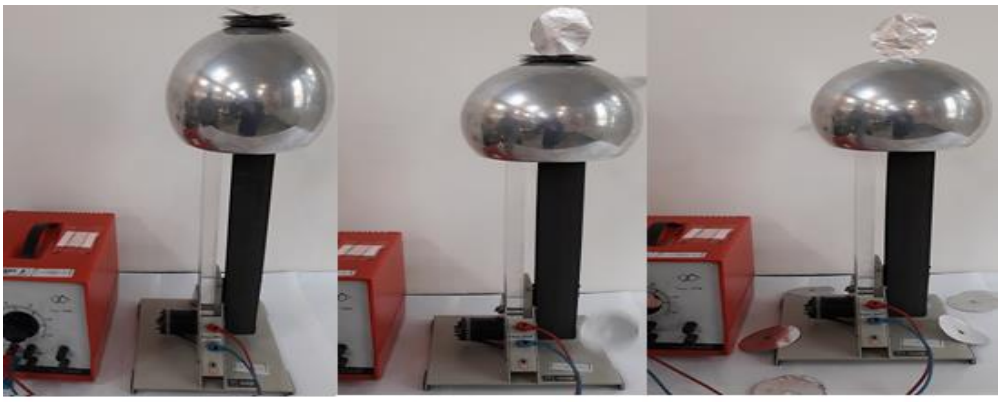
بخش دوم آزمایش: زنگ اخبار الکترواستاتیکی



شکل (۶): زنگ اخبار الکترواستاتیکی

زنگ الکتروستاتیکی را روی پایه قرار دهید و با استفاده از زنجیر برنجی بالای زنگ را به کلاهک واندوگراف وصل کنید (شکل ۶) و سیم زمین را نیز به پایه زنگ وصل کنید. سپس واندوگراف را روشن کنید اگر بار به اندازه‌ی کافی تولید شود زنگ الکتروستاتیک شروع به کار خواهد کرد (به شرطی که پایه آن کاملا صاف بوده و بارها از اطراف شارش نکنند). علت کار زنگ الکتروستاتیکی را توضیح دهید؟

بخش سوم آزمایش:



شکل (۷)

صفحه‌های نازکی از فویل آلومینیمی که وسط آنها سوراخی ایجاد شده است را روی میخ پلاستیکی کلاهک واندوگراف قرار دهید. (شکل (۷). حالا واندوگراف را روشن و مشاهدات خود را توضیح دهید؟ چرا از میخ پلاستیکی استفاده کردیم؟

روشهای تولید الکتریسیته ساکن

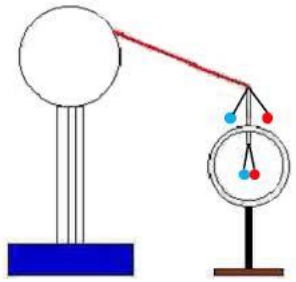
سه روش باردار کردن اجسام عبارتند از مالش، تماس و القا

یکی از مهم‌ترین نکاتی که در الکتریسیته ساکن مطرح می‌شود، اصل کوانتیده بودن بار الکتریکی است. بار هر جسم مضربی از بار یک الکترون است، به این معنا که بار یک جسم نمی‌تواند هر مقدار دلخواهی داشته باشد. از آنجایی که ضمن انتقال الکترون از جسمی به جسم دیگر، تعداد صحیحی الکترون منتقل می‌شوند. عوامل دیگر مثل آلودگی هوا و تمیزی سطوح و رطوبت هوا نیز در تولید میزان الکتریسیته ساکن موثر هستند.

مالش

می‌دانیم هر جسمی در حالت طبیعی از لحاظ بار الکتریکی خنثی است و مجموع بارهای مخالف هم با هم برابر است. که هم برای رسانا و هم نارسانا صادق است. از مالش دو جسم غیر هم‌جنس به هم مطابق جدول تریبو الکتریک، که در آن یکی الکترون می‌گیرد بار منفی پیدا می‌کند و دیگری الکترون از دست می‌دهد بار مثبت پیدا می‌کند. طبق اصل پایستگی بار باید مقدار بار مثبت و منفی روی دو جسم با هم برابر باشند. مثل باردار کردن میله‌ی پلاستیکی با پارچه‌ی پشمی

تماس



شکل (۸)

مطابق شکل (۸) فرض کنید دو کره‌ی رسانای کاملاً مشابه که روی پایه‌ی عایق قرار دارند، داشته باشیم که یکی از آن‌ها باردار باشد و دیگری بدون بار. اگر این دو کره را با یکدیگر تماس داده و سپس از یکدیگر دور کنیم، گوی خنثی نیز دارای بار می‌شود. و اندازه این دو بار با هم برابر خواهند بود.

القای الکتریکی

به خاطر اینکه الکترون‌ها و پروتون‌ها، نیروی جاذبه و دافعه دارند، جسم را بدون تماس دادن با جسم باردار می‌توان باردار کرد. مثلا اگر یک میله‌ی پلاستیکی باردار شده را به یک کره‌ی فلزی بدون بار نزدیک کنیم، بارهای مخالف میله، در سطح نزدیک کره به میله آرایش می‌گیرند. که با دور کردن میله‌ی پلاستیکی دوباره کره حالت خنثی خواهد گرفت. اگر بخواهیم کره بار مثبت بگیرد باید موقعی که میله پلاستیکی نزدیک کره قرار دارد. طرف دیگر کره را با انگشت لمس کنیم و سپس میله را از کره دور کنیم. در این حالت کره‌ی خنثی، از طریق القاء، بدون تماس و مالش، باردار شده است. در باردار کردن اجسام از طریق القا یا تماس، فقط الکترونها منتقل می شوند و جسم بار مثبت یا منفی میگیرد.

بخش چهارم آزمایش: قفس فارادی

یک قفسه فلزی توری شکل یا سبد فلزی است که ممکن است در نیز داشته باشد. فارادی اولین بار با طرح این آزمایش نشان داد که بار داخل رسانا نمی‌ماند و همه‌ی بارهای رسانا در سطح آن پخش می‌شود و در نقاط نوک تیز سطح رسانا نیز تجمع بار خواهیم داشت. این پدیده را با چندین آزمایش جالب می‌توان نشان داد: مثل دو آونگ همسان داخل و بیرون قفس، یا دو نیم کره و یک کره فلزی همسان و ...

با استفاده از قفس فارادی و دو آونگ داخلی و بیرونی قفس این موضوع را تحقیق کنید.

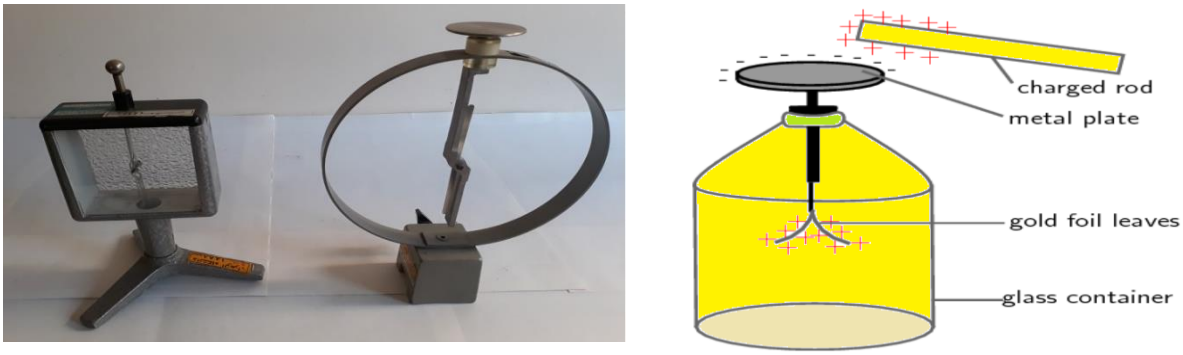
شکل (۹)

خازن لیدن: دو خازن تقویت بار و یا دو خازن استوانه‌ای است که کار تجمع و تقویت بار حاصل از دو صفحه‌ی دوار ماشین ویمشورث را انجام می‌دهد (شکل ۹). دو سطح خارجیِ دو استوانه در این ماشین به هم متصل می‌شوند و سطوح داخلی هر کدام از استوانه‌ها نیز به یک

بار اختصاص داده می‌شود تا در نهایت دو بار مخالف هم در روی دو کره‌ی کوچک فلزی متصل به هر سطح دوار ماشین مولد، بوجود آید.

بخش پنجم آزمایش: شناسایی نوع بار توسط الکتروسکوپ (برقنما)

الکتروسکوپ وسیله‌ای است که با آن می‌توانیم باردار بودن یک جسم و نوع بار آن را می‌توانیم با آن مشخص کنیم. که در شکل زیر یک نوع آن را می‌بینید. که شامل قسمتهای کلاهک فلزی، محفظه بسته فلزی یا پلاستیکی شفاف، دو تیغه نازک موازی هم که با یک میله رسانا به کلاهک متصل است تشکیل شده است (شکل ۱۰).



شکل (۱۰): الکتروسکوپ

ابتدا با تماس دست به کلاهک الکتروسکوپ آن را کاملا خنثی می‌کنیم و سپس یکی از میله‌های شیشه‌ای و یا ابونیتی را باردار نموده و به کلاهک برقنما تماس می‌دهیم تا بار آن به داخل الکتروسکوپ منتقل شده تا ورقه‌های آن از هم فاصله بگیرند.

موارد زیر را تحقیق کنید و مشاهدات و نتایج بدست آمده را بنویسید:

۱- چگونه می‌توانیم بار الکتروسکوپ را تخلیه کنیم؟
۲- اگر بار الکتروسکوپ را ندانیم چگونه می‌توانیم نوع آن را تشخیص دهیم؟
۳- با استفاده از قفس فارادی نشان دهید که بار داخل رسانا نمی‌ماند.
۴- با استفاده از قاشقک کره‌ای کوچک دسته عایق و استوانه فلزی، و باردار کردن آن با مالش و یا واندوگراف، نشان دهید بار داخل رسانا نمی‌ماند.
۵- زنگ الکتریکی را با واندوگراف و زمین تغذیه کنید و علت جذب و دفع کره‌ها را شرح دهید.
۶- صفحه‌های هم مرکز از فویل سبک آلومینیمی را روی میله‌ای عمودی که در بالای کلاهک واندوگراف وصل کرده‌اید سوار کنید. با روشن کردن واندگراف چه اتفاقی می‌افتد.
۷- تخلیه الکتریکی را با واندگراف و الکترودهای مربوطه تحقیق کنید.
۸- یک روش تهیه بار الکتریکی مثبت یا منفی را با استفاده از روش القا به طور کامل بیان کنید.
۹- بار الکتریکی چگونه بر روی نقاط مختلف جسم رسانا پخش می‌شود.
۱۰- ماشین واندوگراف را به فرفره‌ی الکتروستاتیکی و زمین وصل کنید. علت چرخش فرفره را توضیح دهید.
۱۱- در بخش سوم آزمایش مربوط صفحه های دایره ای شکل فویل آلومینیمی، اگر صفحات به صورت مربع و یا مثلث باشند به نظرتان چه اتفاقی در آزمایش خواهد افتاد.
۱۲- در همین قسمت اگر یک صفحه مستطیلی آلومینیمی را وسطش را سوراخ کرده و دو سمتش را تیز کنیم و یکبار تیزیها را به سمت بالا و بار دیگر تیزیها را به سمت پایین قرار دهیم نتیجه چه خواهد شد و چرا؟

آزمایش نهم:

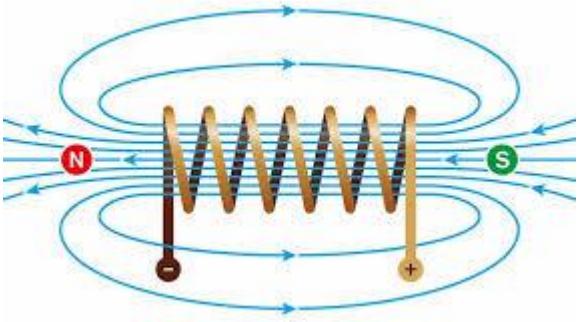
القای الکترومغناطیس

اهداف آزمایش:

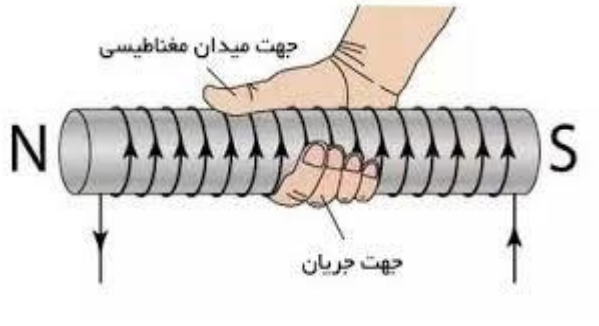
۱) تحقیق قانون القای فارادی و قانون لنز در الکترومغناطیس
۲) مطالعه‌ی چگونگی ایجاد جریان فوکو و مشاهده‌ی آثار آن

تئوری آزمایش:

نخستین بار در سال ۱۸۱۹ میلادی، اورستد دانشمند دانمارکی دریافت که سیم حامل جریان در اطراف خود میدان مغناطیسی بوجود می‌آورد. که در آن جهت میدان مغناطیسی با استفاده از قانون دست راست مشخص می‌شد. یعنی با قرار دادن انگشت شصت در جهت جریان (قراردادی از مثبت به منفی) و جهت بسته شدن چهار انگشت دیگر جهت چرخش میدان مغناطیسی را نشان می‌داد. در سال ۱۸۳۱ میلادی، مایکل فارادی دانشمند انگلیسی با انجام آزمایشات متعدد روی نتایج قبلی به این نتیجه مهم رسید که تغییرات میدان مغناطیسی، میدان الکتریکی را بوجود می‌آورد و تغییرات میدان الکتریکی، میدان مغناطیسی را بوجود می‌آورد.

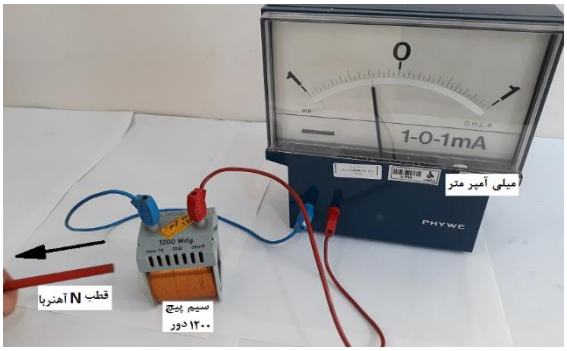


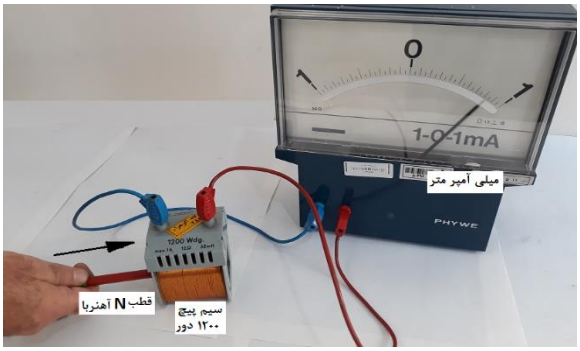
شکل (۱-۱)



شکل (۱-۲)

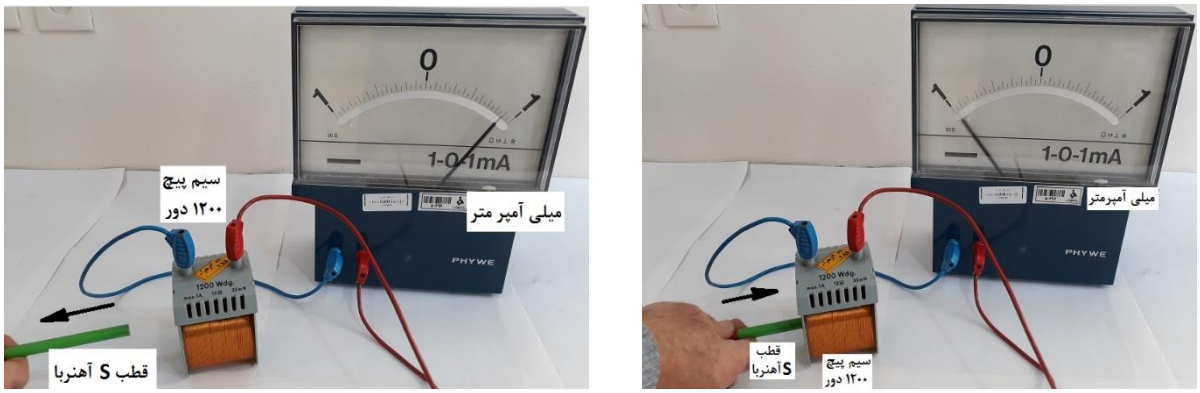
مطابق شکل (۲) دو سر یک سیم‌پیچ را به دو سر یک گالوانومتر صفر وسط متصل کرده‌ایم. و یک آهنربای میله‌ای را از قطب N به آن نزدیک می‌کنیم. ملاحظه می‌کنیم که عقربه در یک جهت منحرف می‌شود و به محض ساکن شدن آهنربا، انحراف عقربه صفر می‌شود. و با حرکت در جهت عکس قبلی، جهت انحراف عقربه نیز تغییر می‌کند. با تغییرات شار عبوری از سیم‌پیچ، جریانی در آن بوجود می‌آید تا میدان حاصل از آن طبق قانون لنز با عامل بوجود آورنده‌اش مخالفت می‌کند. یعنی موقع نزدیک کردن قطب N به سیم‌پیچ، که عقربه به سمت راست حرکت می‌کند، جریان در جهت راست می‌باشد که این را با قاعده‌ی دست راست می‌توان به راحتی مشخص کرد. و موقعی که آهنربا از سیم‌پیچ دور می‌شود، جهت جریان مخالف حالت قبلی خواهد بود.





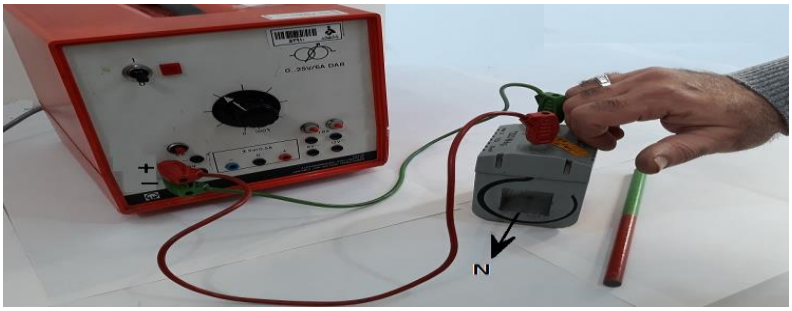
شکل (۲)

آزمایش بالا را با قطب S آهنربا نیز همانند حالت قبلی انجام می‌دهیم. که مطابق شکل (۳) این حالت را نیز همانند حالت قبل انجام می‌دهیم.



شکل (۳)

آزمایش بالا را به جای آهنربا با سیم‌پیچ متصل به منبع انجام می‌دهیم. می‌دانیم که اگر سیم‌پیچی به منبع ولتاژ مستقیم وصل شود مطابق شکل (۴) طبق قانون دست راست و جهت مثبت جریان و جهت پیچیده شدن سیم‌پیچ، دو سر سیم‌پیچ مطابق شکل به آهنربا تبدیل می‌شود. که اگر دست راست را در در جهت جریان گرفته و چهار انگشت دست راست را در جهت پیچیده شدن سیم‌پیچ جمع کنیم، انگشت شصت جهت قطب N سیم‌پیچ را نشان می‌دهد.

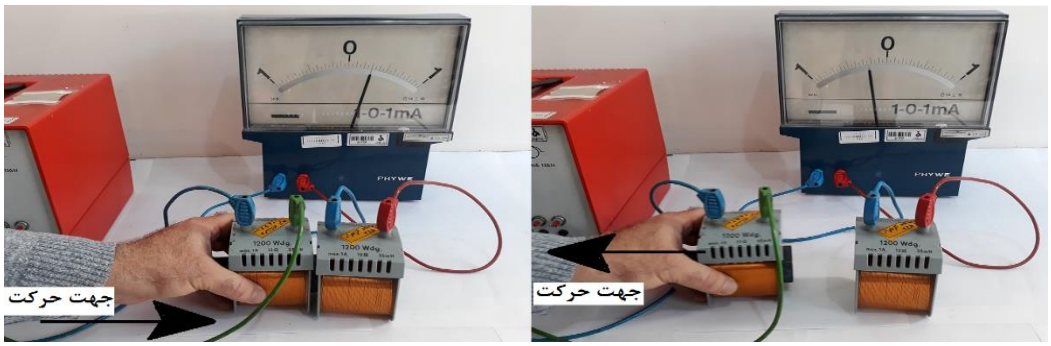


شکل (۴)

مطابق شکل (۵) به جای آهنربا، از سیم‌پیچ متصل به منبع استفاده کنید و انحراف عقربه را در حالات دور و نزدیک کردن سیم‌پیچ متصل به منبع، به گالوانومتر مشاهده کرده و نتایج را یادداشت کنید.

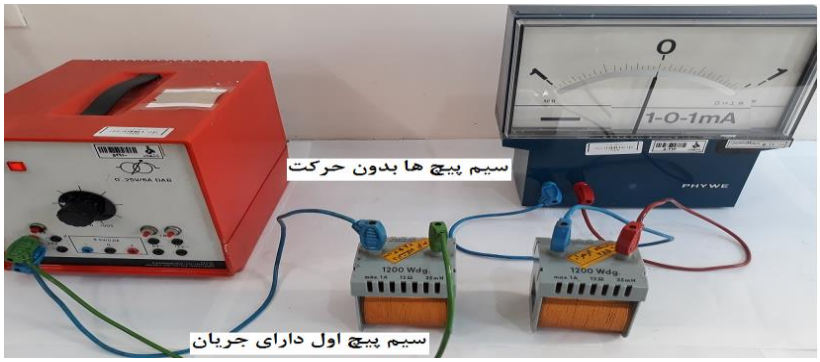
شکل (۵)

حالا با ثابت نگهداشتن سیم‌پیچ تغذیه شده با منبع چه مشاهده خواهید کرد؟ در این حالت با زدن کلید قطع و وصل در کنار منبع، علت حرکت عقربه گالوانومتر را توضیح دهید؟



شکل (۶)

این آزمایش را یکبار با سیم‌پیچ هسته‌دار متصل به باتری نیز انجام دهید. مشاهده می‌شود که در صورتی در سیم‌پیچ گالوانومتر جریان بوجود می‌آید که شار مغناطیسی گذرنده از داخل آن تغییر کند.(با زدن کلید قطع و وصل در منبع مستقیم و همچنین دور و نزدیک کردن آهنربا، در سیم‌پیچ دوم تغییر شار خواهیم داشت و این عامل با عث ظهور جریان القایی خواهد شد)



شکل (۷)

اگر نیروی محرکه القایی را با ε و میدان مغناطیسی را با B نشان دهیم. و سطحی که شار از آن می‌گذرد را A بنامیم. می‌توانیم رابطه زیر را بنویسیم:

$$\varphi = A.Bcos\theta \qquad (۱)$$

که در آن θ زاویه‌ای است که خطوط عمود بر سطح A با جهت B می‌سازد. مطابق قانون فاراده اگر تعداد خطوط القایی، که از یک مدار بسته می‌گذرد با زمان تغییر کند، یک جریان القایی در مدار بوجود می‌آید. ولی تعداد خطوط القایی همان شار مغناطیسی است و قانون القای فارادی را به این صورت می‌توان نوشت:

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt} \qquad (۲)$$

اگر تعداد دور سیم‌پیچ N باشد را بطه بالا را به صورت زیر می‌نویسیم:

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} \qquad (۳)$$

که این همان قانون القای فارادی است و علامت منفی نشان دهنده قانون لنز است یعنی جهت جریان القایی طوری است که با عامل بوجود آوردنده اش مخالفت می کند.

خودالقا:

نیروی محرکه القایی در یک سیم‌پیچ ممکن است بر اثر عبور جریان متغیر از خود سیم‌پیچ در آن ایجاد می‌شود، که این اثر را اثر خوالقایی گویند. نیروی محرکه خودالقایی از رابطه زیر به دست می‌آید که در آن L ضریب خودالقایی سیم‌پیچ است و به تعداد دور سیم‌پیچ، ابعاد و ماده‌ی درونی آن بستگی دارد.

$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dI}.\frac{dI}{dt} \rightarrow \varepsilon = -NL\frac{dI}{dt} \rightarrow \varepsilon = -L\frac{dI}{dt} \quad \text{و} \quad N = 1$$

$$\varepsilon = -L\frac{dI}{dt} \qquad (۴)$$

وسایل مورد نیاز برای آزمایش:

سیم‌پیچ‌های با دورهای مختلف، آهنربای میله‌ای، منبع تغذیه جریان مستقیم و متناوب، آمپرسنج صفر وسط و یا گالوانومتر، سیم‌پیچ ۵۰۰ دور با کابل و پریز ۲۲۰ ولت متناوب شهری، هسته آهنی با یوغ، کلید قطع و وصل، دو جوشن مغناطیسی، صفحات جریان فوکو، لامپ تخلیه الکتریکی ۲۲۰ ولت، لامپ ۶ ولتی، حلقه تامسون، سیم‌های رابط

روش انجام آزمایش:

۱- بستگی نیروی محرکه القایی به دلیل حرکت نسبی سیم‌پیچ و آهنربا

الف- مطابق شکل (۸) دو سر یک سیم‌پیچ ۱۲۰۰ دور را به دو سر آمپرسنج صفر وسط وصل کنید. قطب N آهنربا را به یک سر سیم‌پیچ نزدیک کنید و حرکت عقربه را یادداشت کنید و دفعه بعد قطب N آهنربا را از سیم‌پیچ دور کنید و جهت حرکت عقربه را به خاطر بسپارید.

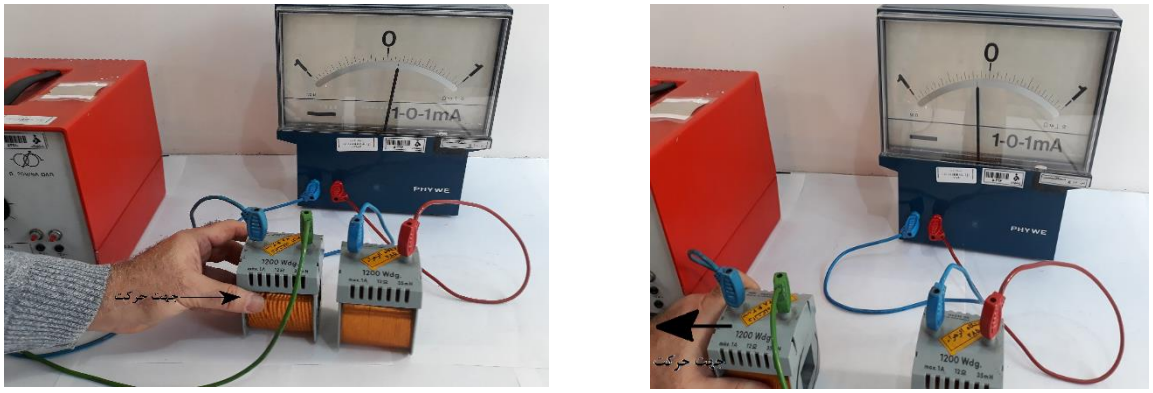
شکل (۸)

ب- مطابق شکل (۹) قطب S آهنربا را به سیم‌پیچ فوق نزدیک و دور کنید جهت حرکت عقربه را در هر حالت یادداشت کنید.

ج- یکی از قطب‌های آهنربای میله‌ای را به داخل سیم‌پیچ برده و در آنجا ثابت نگه دارید. در حالت سکون آهنربا داخل سیمپیچ، حرکت عقربه را مطالعه کنید.

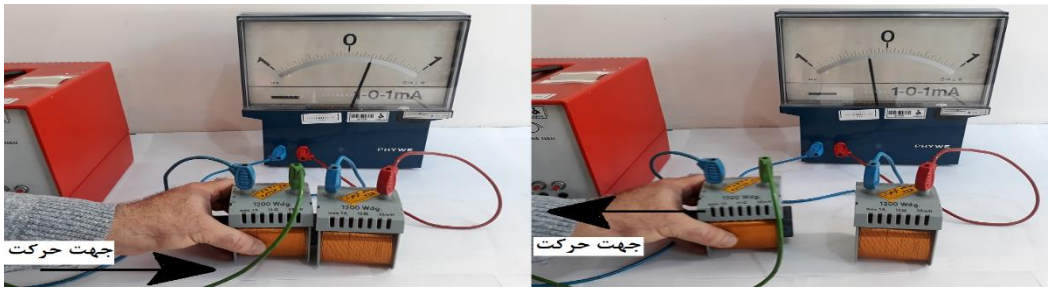
د- حالا آهنربا را ثابت نگه داشته و سیم‌پیچ را عقب جلو کنید (شکل ۹). در این حالت نیز حرکت عقربه را مشاهده کنید.

هـ- سرعت حرکت آهنربا و سیم‌پیچ را نسبت به هم زیاد کنید و وابستگی جریان القایی به سرعت حرکت آهنربا را مطالعه کنید.



شکل (۹)

و- با قرار دادن یک هسته آهنی داخل سیم‌پیچ، آهنربا را به آن نزدیک کنید (شکل ۱۰)، تفاوت این حالت را با حالت بدون هسته بیان کنید.



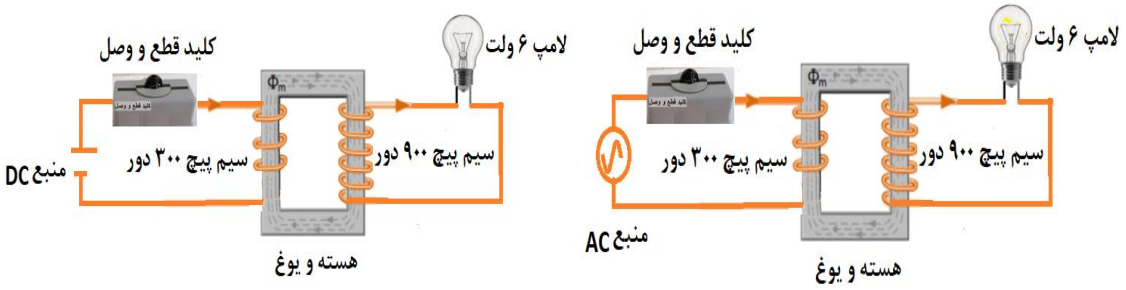
شکل (۱۰)

ز- به جای آهنربا از سیم‌پیچ متصل به کلید و منبع مستقیم ولتاژ استفاده کنید و ولتاژ را روی ۵ ولت تنظیم کرده و کلید را که در ابتدا خاموش است را روشن کنید البته باید دهانه دو سیم‌پیچ را در روبروی هم نگه دارید تا بیشترین شار از سیم‌پیچ دوم در موقع تغییر شار عبور کند. با قطع و وصل جریان حرکت عقربه را مشاهده کنید.

ح- برای همین آزمایش اگر سیم‌پیچ متصل به منبع دارای هسته باشد آزمایش بالا را تکرار کنید، و حرکت عقربه را مطالعه کنید.

۲- نیروی محرکه القایی به دلیل تغییر جریان و القاء متقابل

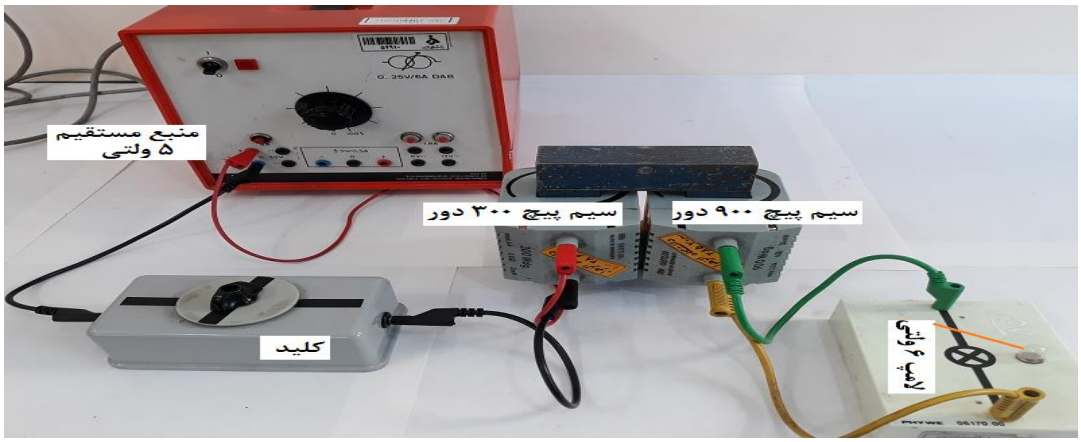
مطابق شکل (۱۱) دو سیم پیچ ۳۰۰ دور و ۹۰۰ دور را بر روی هسته آهنی قرار داده و یوغ آنرا ببندید. سیم پیچ ۹۰۰ دور را به لامپ ۶ ولتی وصل کنید و سیم پیچ ۳۰۰ دور را به منبع و کلید، وصل کنید.



(۱۱-a) (۱۲-a)

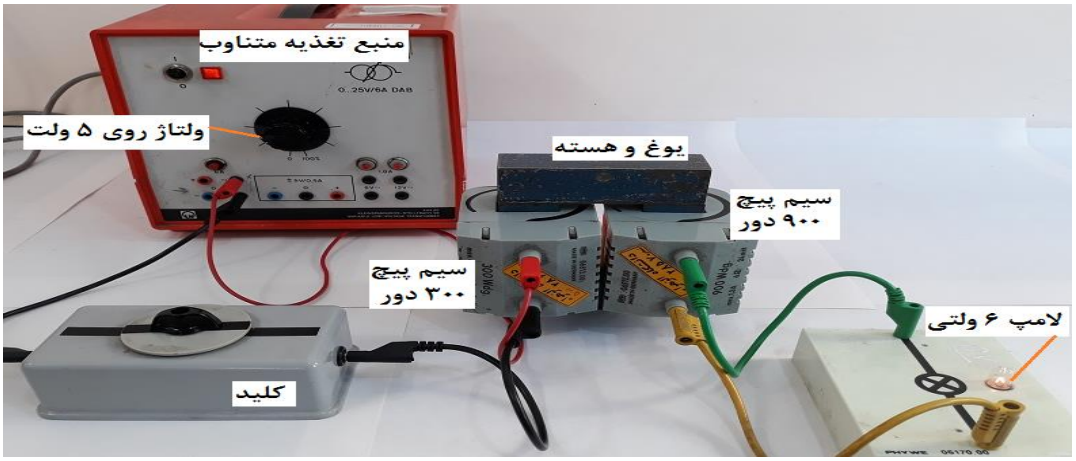
الف- سیم‌پیچ اولیه را همانند شکل (۱۱-a) به منبع مستقیم ببندید و منبع را روی ولتاژ ۵ ولت مستقیم تنظیم کنید. حالا با روشن بودن منبع، کلید را قطع و وصل کنید. مشاهدات خود را از ثانویه ترانس یادداشت نمایید.

نکته مهم- دقت کنید که لامپ ثانویه حتما ۶ ولتی باشد و ولتاژ اولیه نیز روی ۵ ولت باشد.



شکل (۱۱-b): مدار قسمت الف از بخش ۲ آزمایش

ب- در این حالت مدار قبلی را با این تفاوت که تنها منبع را به جای مستقیم، متناوب ببندید(۱۱-b) و آزمایش قبلی را برای شکل (۱۲-b) تکرار کنید. نتایج مشاهدات را در موقع قطع و وصل کردن کلید موقعی که منبع روی ۵ ولت متناوب است بررسی کنید.

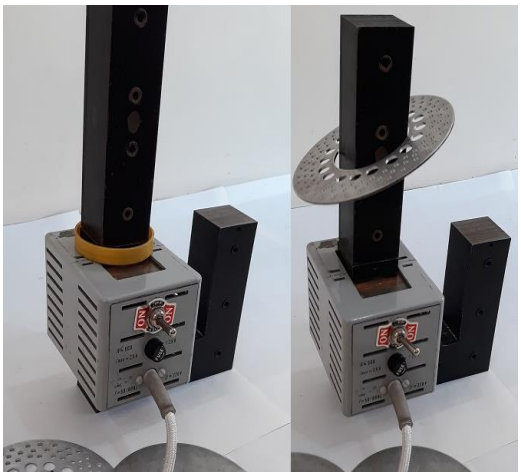


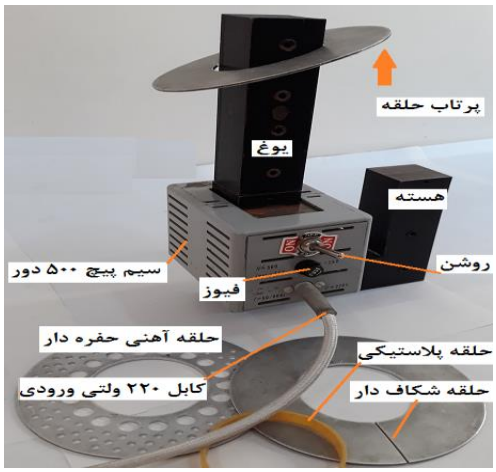
شکل (۱۲-b): مدار قسمت ب از بخش ۲ آزمایش

۳- تحقیق قانون لنز

مطابق شکل (۱۳) یوغ آهنی را به صورت ایستاده بر روی شاخه U شکل آن با رعایت امتداد لایه های ورقه‌ای آن قرار داده و سیم‌پیچ ۵۰۰ دور فیوز دار را با کابل آن به سه راهی کلیددار برق ۲۲۰ وصل کنید. و حلقه فلزی را بر روی شاخه بلند بگذارید. سپس با زدن کلید روی سیم‌پیچ ۵۰۰ دور ولتاژ را برقرار سازید. نتیجه مشاهدات خود را از این آزمایش و علت آن را توضیح دهید.

نکته مهم- این آزمایش را با حضور مدرس و به صورت لحظه‌ای انجام دهید. و بعد از چند لحظه جریان را قطع کنید. چون سیم‌پیچ مستقیم به برق ۲۲۰ وصل است و اگر جریان زیاد ادامه پیدا کند سیم‌پیچ آسیب خواهد دید.

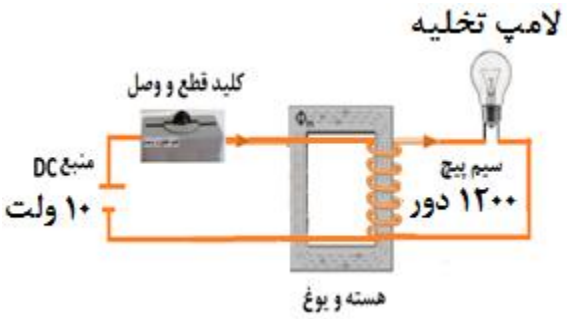




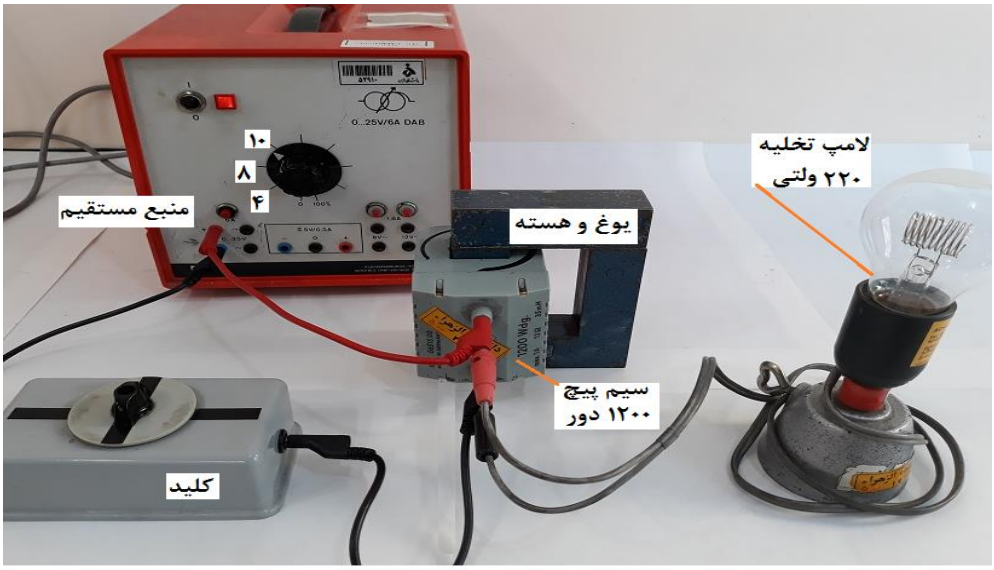
شکل (۱۳)

۴- خودالقا:

یک سیم‌پیچ ۱۲۰۰ دور را مطابق شکل (۱۴) بر روی هسته آهنی قرار دهید. و آن را به منبع جریان مستقیم ۱۰ ولت و یک لامپ تخلیه الکتریکی ۲۲۰ ولت وصل نمایید. توسط کلید جریان را در ورودی قطع و وصل کنید. نتیجه را مشاهده کنید و علت را توضیح دهید.



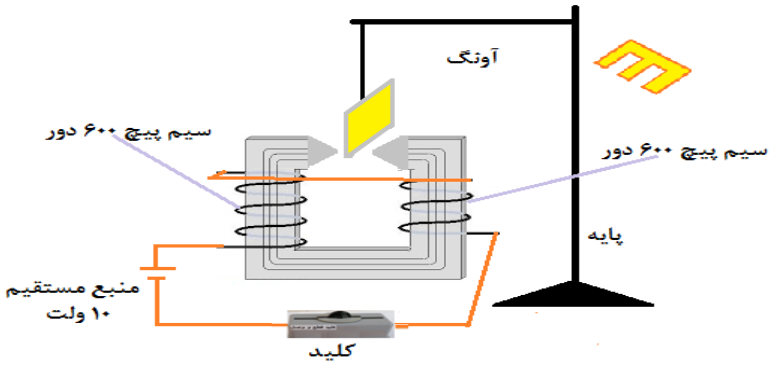
شکل (۱۴-a)



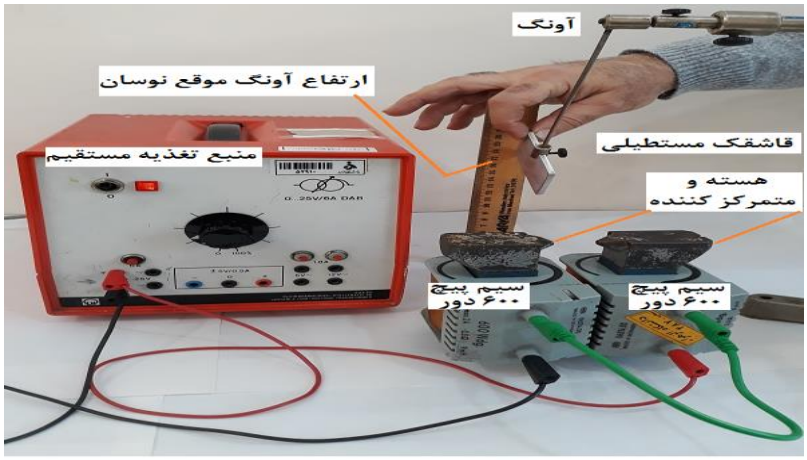
شکل (۱۴-b): مدار بخش ۴ آزمایش

۵- جریان‌های گرابی یا فوکو:

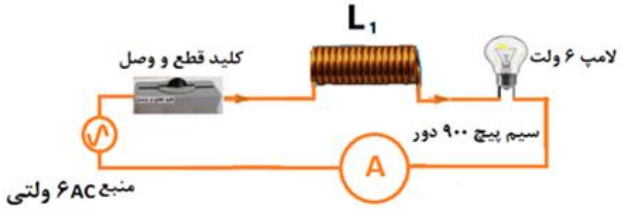
دو سیم‌پیچ ۶۰۰ دور را بر روی هسته آهنی قرار دهید و جوشن‌های آنها را بر روی آن نصب کنید. سیم‌پیچ‌ها را مطابق شکل (۱۵) به یکدیگر و به منبع جریان مستقیم ۱۰ ولت وصل نمایید دو صفحه مستطیل شکل فلزی که یکی از آنها دندانه دار است را به ترتیب بوسیله میله نگهدارنده آن مطابق شکل بین دو جوشن آویزان کنید. قبل از وصل جریان سیم پیچها، هر صفحه را با دانستن ارتفاع آونگ، به نوسان درآورید. و زمان میرایی نوسان را یادداشت کنید. سپس جریان سیم پیچ را برقرار کنید و با انحراف آونگ به اندازه قبلی آن را به نوسان درآورید و زمان میرایی آن را نیز یادداشت کنید. و حالا قاشقک نوسان را عوض کرده و نوسان آن را نیز با همان ارتفاع نوسان قبلی، بررسی کنید و زمان میرایی آن را نیز یادداشت کنید. نتیجه آزمایش و علت آن را بیان کنید.



شکل (۱۵-a)



شکل (b-۱۵): مدار بخش ۵ آزمایش



شکل (۱۶): مدار بخش ۶ آزمایش

۶- بررسی اثر مقاومت سلفی بر کنترل شدت جریان مدار

در شکل (۱۶) مداری شامل منبع تغذیه AC/DC لامپ ۶ ولتی و آمپر سنج AC/DC و دو بوبین ۱۰ و ۵۰ میلی هانری و سیمهای رابط و کلید قطع و وصل را مطابق تصویر الف به هم وصل کنید و مشاهدات خود را با ذکر علت توضیح دهید؟

الف- منبع AC را روی ۶ ولت تنظیم کنید و کلید را قطع کنید و مداری سری شامل، لامپ شش ولتی، آمپرمتر، کلید قطع و وصل و منبع ببندید. کلید را وصل کنید روشنایی لامپ و مقدار جریان را در نظر داشته باشید.

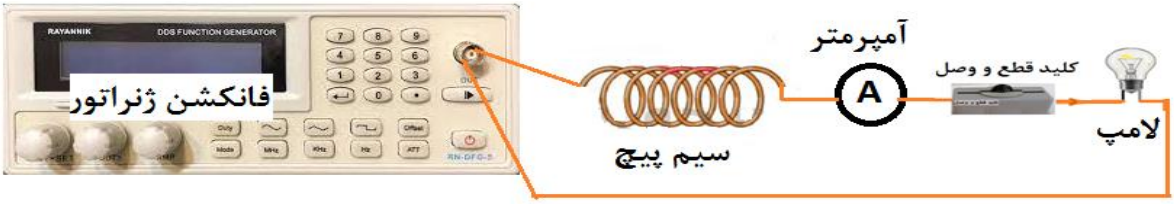
ب- به مدار بالا یک سیم پیچ ۱۰ میلی هانری سری کنید. کلید را وصل کنید. حالا مقدار روشنایی لامپ و مقدار جریان را یادداشت کنید؟ اگر به سیم پیچ هسته اضافه کنیم چه تغییراتی در مشاهدات خواهیم داشت؟

ج- اگر مدار بالا را با دوسیم پیچ سری و یا موازی انجام دهید چه تغییری در نتایج خواهید داشت؟

د- آزمایشهای بالا را اگر با ولتاژ DC انجام دهید چه نتیجه ای خواهید گرفت؟

۷- مداری مطابق شکل (۱۷) شامل:

آمپرمتر، فانکشن ژنراتور، سیم پیچ ۱۰ میلی هانری با هسته و سیم های رابط ببندید و فانکشن را روی فرکانس ۵۰ هرتز تنظیم کنیدو ولتاژ را ۱۰ ولت پیک تا پیک بگیرید. کلید را ببندید و مقدار جریان و روشنای لامپ را ببینید. نتایج را بنویسید؟



شکل (۱۷): مدار بخش ۷ آزمایش

الف- با افزایش فرکانس چه تغییری در روشنایی لامپ و مقدار جریان اتفاق می افتد؟

ب- با کاهش فرکانس چه چیزی را مشاهده خواهید کرد و چرا؟

ج- رابطه بین مقاومت القایی و فرکانس چقدر است؟

د- چند بوبین را سری کنید و در مدار ببندید و مشاهدات خود را بنویسید؟

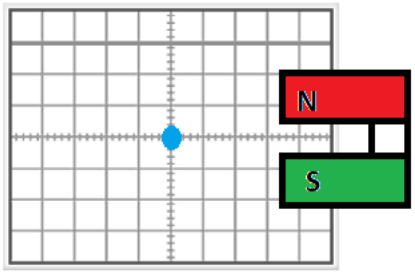
هـ- چند بوبین را موازی کرده و در مدار ببندید و مشاهدات را با قبلی مقایسه کنید؟

و- مقاومت القایی در حالات سری و موازی بوبینها با هم مقایسه کنید؟

۸- تعیین جهت نیروی وارد بر باریکه الکترونی در صفحه اسیلوسکوپ

یک اسیلوسکوپ قدیمی که دقت زیادی ندارد را روشن کرده و با تنظیم دکمه های دامنه و زمان یک نقطه باریکه الکترونی را در وسط صفحه اسیلوسکوپ ایجاد کنید. روشنایی آن را به مقدار مناسب تنظیم کنید. حالا با یک آهنربای نعلی شکل که قطبهای آن معلوم است سعی کنید باریکه الکترونی را در یک جهت منحرف کنید. با استفاده از قانون دست راست، جهت نیروی وارد بر ذره باردار در میدان مغناطیسی آهنربا را معین کنید؟

آهنربا را برعکس حالت قبل بگیرید طوری که باریکه در وسط آن باشد در مورد جهت انحراف آن با قانون دست راست بحث کنید؟



شکل (۱۸): مدار بخش ۷ آزمایش

پرسش‌ها:

۱- در آزمایش ۲-الف چرا فقط موقع قطع و وصل جریان مستقیم لامپ روشن می شود؟

۲- اختلاف دو آزمایش (۲-الف) و (۲-ب) را بنویسید؟

۳- در آزمایش ۳ چرا وقتی جریان در سیم پیچ برقرار می شود حلقه به بیرون پرتاب می شود؟

۴- چرا در آزمایش ۴ لامپ تخلیه الکتیریکی موقع قطع و وصل جرقه می زند؟ و موقع قطع چرا جرقه قویتر است؟

۵- در آزمایش ۵ وقتی بین دو جوشن میدان مغناطیسی برقرار است، زمان نوسان صفحه پر بیشتر است یا صفحه شیاردار؟ چرا؟

۶- اگر یک فلزی را در میدان مغناطیسی حرکت دهیم آیا می توانید جهت جریان گردابی را در آن تعیین کنید؟

۷- مقاومت سلفی و اهمی چه تفاوتی با هم دارند؟

آزمایش دهم:

ترانسفورماتور

اهداف آزمایش:

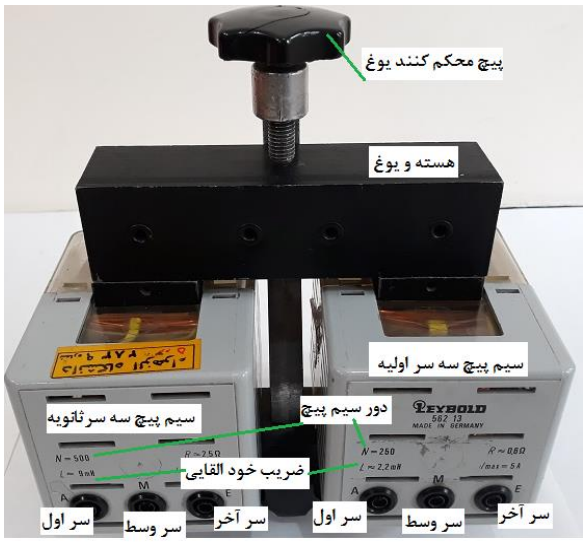
۱) مطالعه ساختمان و قوانین حاکم بر کار ترانسفورماتور
۲) آشنایی با برخی از کاربردهای ترانسفورماتور

تئوری آزمایش:

ترانسفورماتور از یک هسته و یوغ و دو سیم پیچ اولیه و ثانویه تشکیل شده است (شکل ۱-۱). تغذیه ترانسفورماتورها، با جریان متناوب است. جریان متناوب به سیم‌پیچ اولیه وارد شده و در اطراف سیم‌پیچ اولیه میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. سیم‌پیچ ثانویه خطوط این میدان را قطع می‌کند و در دو سر آن ولتاژ القایی به وجود می‌آید. اگر ولتاژ اولیه را V_1 و جریان آن را I_1 بنامیم، ولتاژ ثانویه را V_2 و جریان آن را I_2 خواهد بود. در صورت ایده‌آل بودن ترانسفورماتور خواهیم داشت:

توان ورودی = توان خروجی

$$V_1 I_1 = V_2 I_2 \rightarrow P_1 = P_2$$

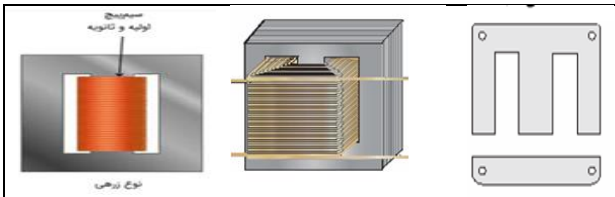


شکل (۱-۱): ترانسفورماتور متشکل از یک یوغ و دو سیم‌پیچ با تعداد دورهای متفاوت

شکل(۱-۲): یوغ متشکل از لایه‌های نازک رسانا که کنار هم پرچ شده‌اند.

هسته‌ی ترانسفورماتور از ورقه‌های نازک فلزی از جنس آهن نرم سیلیس‌دار تشکیل شده است (شکل۱-۲). در این ورقه‌ها حدودا ۴٪ سیلیس وجود دارد و دارای هدایت الکتریکی کم ولی قابلیت هدایت مغناطیسی زیاد است. برای کم کردن جریان‌های گردابی در آنها، این ورقه‌ها را با لایه‌های نازک اکسیدها، فسفاتها و سیلیکاتها به ضخامت ۲ تا ۲۰ میکرون عایق می‌کنند. این ورقه‌ها را برای هسته‌های ترانس معمولا به دو فرم EI (شکل ۲-۱) و UI (شکل ۲-۲) می‌سازند و از کنار هم قرار دادن آنها هسته‌ی ترانس ساخته می‌شود. برای سیم‌پیچ‌های ترانسفورماتور، از سیم مسی با عایق لاکی استفاده می‌کنند. این سیم‌ها با سطح مقطع دایره‌ای و در قطرهای مختلف در بازار وجود دارند.

شکل (۲-۱): هسته‌ی UI



شکل (۲-۲): هسته‌ی EI

روابط بین جریان و ولتاژ و دور سیم ها در ترانسفورماتورها:

در ترانسفورموتور با تغذیه‌ی سیم‌پیچ اولیه با ولتاژ متناوب، باعث ایجاد شار متغیری در سیم‌پیچ اولیه به مقدار $\emptyset_1$ می‌شویم و این تغییرات شار باعث القای مغناطیسی در سیم‌پیچ ثانویه می‌شود. شار ایجاد شده در سیم‌پیچ ثانویه برابر خواهد بود با $\emptyset_2$

اگر هسته را U شکل انتخاب کنیم و سیم‌پیچ‌ها روی شاخه‌های U پیچیده شده باشند و یوغ آن را نبندیم، شار تولیدی توسط سیم‌پیچ اولیه تماما از سیم‌پیچ ثانویه نخواهد گذشت. در این‌صورت می‌گوییم کوپلاژ سست است و ضریب کوپلاژ (K) کمتر از یک است. یعنی:

$$K = \frac{\emptyset_2}{\emptyset_1} < 1 \qquad (۱)$$

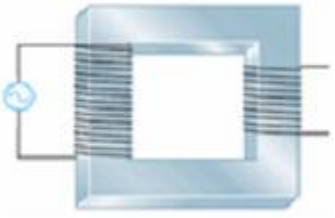
ولی اگر یوغ هسته U شکل بسته باشد (شکل۱-۲)، در این‌صورت تقریبا تمام شار مغناطیسی حاصل از سیم‌پیچ اولیه از سیم‌پیچ دوم خواهد گذشت و دو سیم‌پیچ به همراه هسته UI خود، مدار مغناطیسی کاملی را تشکیل می‌دهند. در این‌صورت می‌گوییم کوپلاژ سفت است یعنی ضریب کوپلاژ ۱ می‌باشد و داریم:

$$K = \frac{\emptyset_2}{\emptyset_1} = 1 \qquad (۲)$$

و اگر از اتلاف انرژی صرفنظر کنیم، در یک ترانسفورماتور با ضریب کوپلاژ ۱ داریم:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} \qquad (۳)$$

ترانسفورماتور کاهنده: اگر تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه کمتر از اولیه باشد در این‌صورت، ولتاژ ثانویه کمتر از ولتاژ اولیه خواهد بود. ولی جریان در ثانویه بیشتر از اولیه می‌شود. به این ترانسفورماتور کاهنده می‌گویند (شکل۳).



شکل(۳): ترانس کاهنده

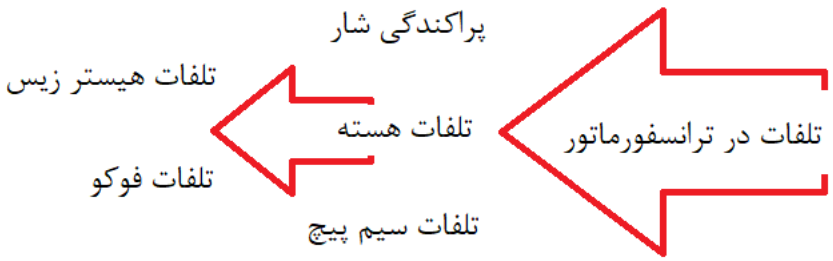
ترانسفورماتور افزاینده: اگر تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه بیشتر از سیم‌پیچ اولیه باشد، ولتاژ ثانویه بیشتر از اولیه می‌باشد ولی جریان ثانویه کمتر از جریان اولیه می‌باشد.

شکل(۴): ترانس افزاینده

راندمان ترانسفورماتور: عبارت است از تقسیم توان خروجی به توان ورودی ضربدر ۱۰۰٪ که معمولا توان خروجی به دلیل اتلاف، کمتر از توان ورودی است. به این ترتیب داریم:

$$Ra = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% < 94\%$$

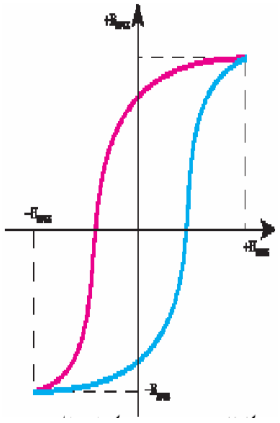
تلفات در ترانسفورماتور



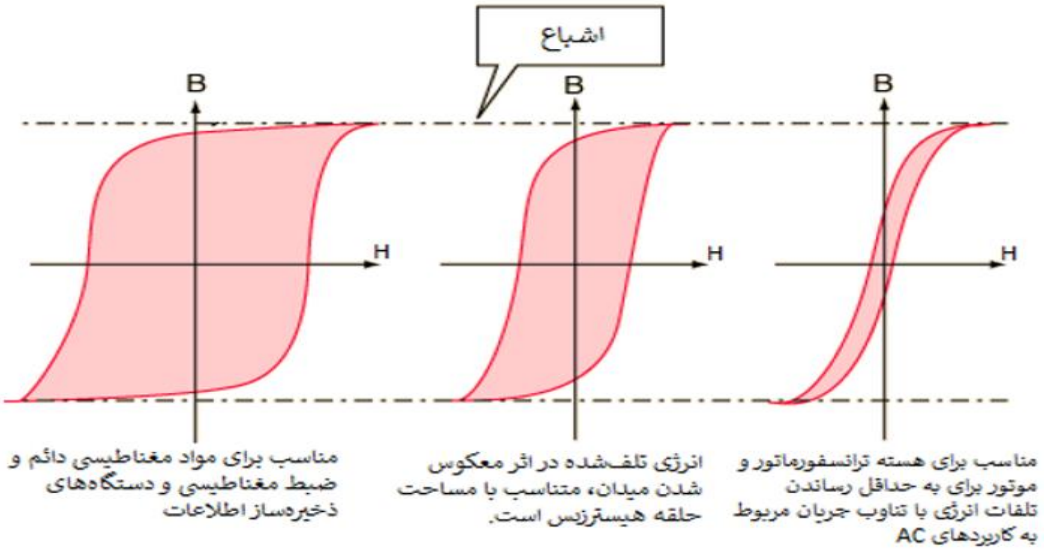
تلفات در ترانزیستور شامل **تلفات هسته** و **تلفات سیم‌پیچ** و **پراکندگی شار** می‌باشد. که **تلفات هسته** به دو بخش **تلفات هیسترزیس** یا **پسماند** و **تلفات فوکو** تقسیم می‌شود.

تلفات هسته: مقدار انرژی که در هسته ترانسفورماتور به گرما تبدیل می‌شود را تلفات هسته می‌گویند و چون هسته عموما از آهن است به آن تلفات آهنی می‌گویند.

تلفات هیسترزیس(پسماند): به مقدار انرژی الکتریکی که در واحد زمان صرف تغییر جهت شار مغناطیسی در هسته می‌شود را تلفات هیستر زیس می‌گویند.



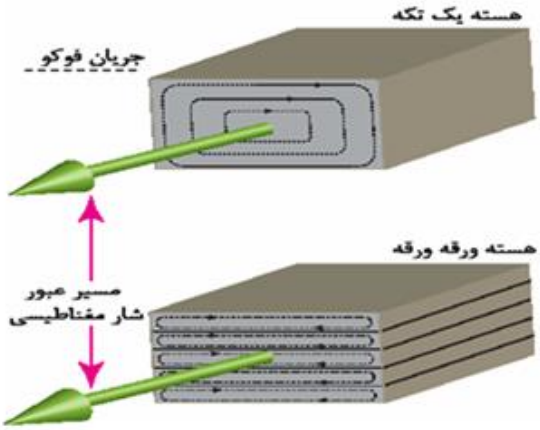
شکل(۵): شکل منحنی پسماند مغناطیسی



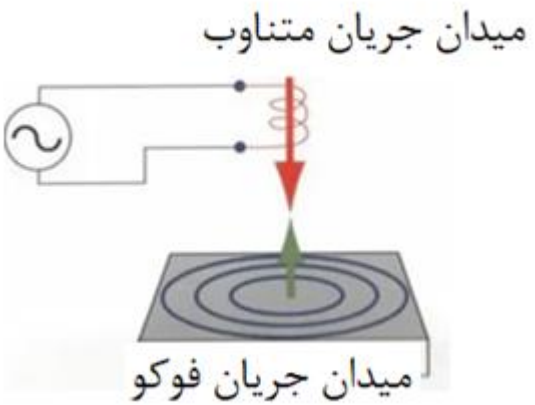
شکل(۶): شکل منحنی پسماند در مواد مختلف

مقدار این تلفات به فرکانس و جنس هسته بستگی دارد و برای کاهش این تلفات باید فرکانس کمتر باشد و جنس هسته را نیز طوری انتخاب کنیم تا پسماند کمتری داشته باشد. یعنی باید جنس هسته را از آهن سیلیس دار (نرم) انتخاب کنیم.

تلفات فوکو(گردابی): با عبور شار مغناطیسی از هسته، در هسته نیروی محرکه القا می‌شود. و جریان القایی در هسته به صورت حلقه‌های بسته تولید می‌شود. مسیر حرکت عبوری شار مغناطیسی، عمود بر حلقه جریان القایی است. بر اثر عبور این جریان‌ها هسته گرم می‌شود و برای کم کردن آن هسته را لایه لایه ساخته و بین لایه‌ها را نیز عایق‌بندی می‌کنند تا جریان‌های حلقه‌ها، ضعیف‌تر شوند.



شکل(۷-۱): جریان گردابی در انواع هسته ها



شکل(۷-۲): جهت میدان تولید شده در جریان گردابی

تلفات سیم‌پیچ مسی(تلفات اهمی): سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه در اثر عبور جریان از خود مقاومت اهمی نشان می‌دهند و هر چه طول این سیم‌ها بیشتر و مقاومت بار بیشتر باشد مقدار این تلفات قابل توجه است. طول سیم‌پیچ را نمی‌توان کم کرد ولی می‌توان بار مناسب از ترانسفورماتور کشید.

وسایل مورد نیاز:

سیم‌پیچ‌های ۳ سر ۲۵۰ و ۵۰۰ دور- سیم‌های رابط- ولت‌متر- آمپرمتر- منبع تغذیه متناوب- هسته ترانس- مقاومت بار- سیم‌پیچ پنج دور با عایق- سیم‌پیچ ۲۳۰۰۰ هزار دور- سیم‌پیچ ۵۰۰ دور فیوز دار- سیم‌پیچ یک دور (کوره القایی)- سیم قلع- میخ آهنی- ولت‌متر و آمپرمتر از هر کدام دو دستگاه-پایه و الکترود آهنی- کبریت یا فندک

روش انجام آزمایش:

قسمت اول: ترانس بدون بار

مداری مطابق شکل (۸) که در آن خروجی (سیم‌پیچ ثانویه) بدون بار است را ببندید. ولتاژ منبع را روی ۵ ولت متناوب تنظیم نمایید. در ورودی و خروجی ولت‌متر و آمپرمتر را در حالت متناوب قرار دهید. مقادیر n_1 و n_2 را طوری انتخاب کنید که دو ترانس افزاینده و دو ترانس کاهنده باشد. در هر ۴ حالت، مقادیر ولتاژ و جریان‌های اولیه و ثانویه و دورهای اولیه و ثانویه را در جدول (۱) یادداشت نموده و رابطه‌ی مربوط به ترانس ایده‌آل یعنی $\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$ را تحقیق کنید.

شکل(۸): مدار مربوط به ترانس بی بار (قسمت الف)

جدول (۱):

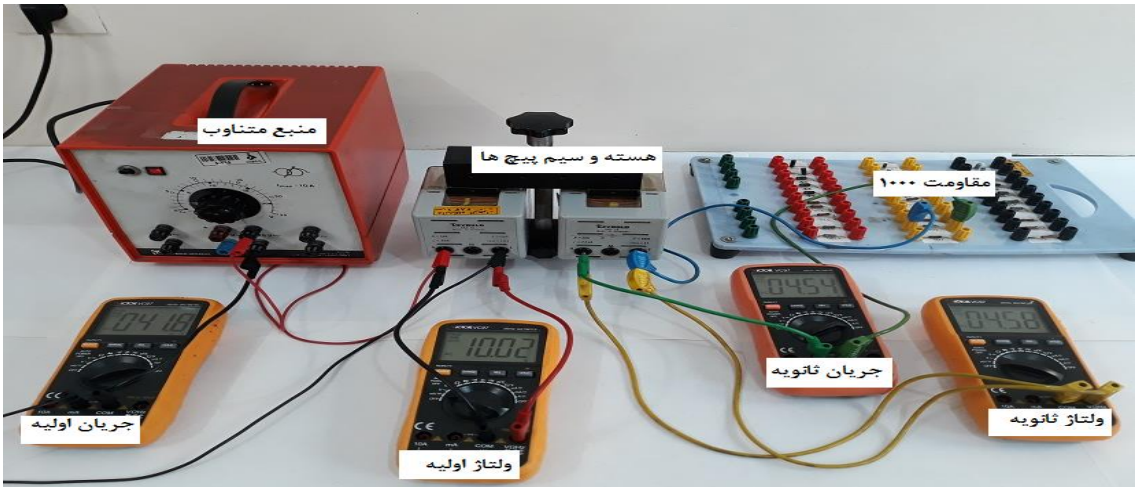
n_1	n_2	I_1	V_1	V_2	$\frac{V_1}{V_2}$	$\frac{n_1}{n_2}$

۱- دو ستون آخر جدول را با رابطه‌ی ترانس ایده آل مقایسه کنید. و نتیجه را بنویسید.

۲- برای سیم‌پیچ‌هایی که در آزمایش استفاده شدند مقادیر X_L ,L را با استفاده از روابط $X_L = L\omega$ و $X_L = \frac{V_L}{I_L}$ بدست آورید؟

قسمت دوم: ترانس با بار

مداری مطابق شکل (۹) که در آن خروجی (سیم‌پیچ ثانویه) به یک مقاومت متصل است را ببندید. ولتاژ منبع را روی ۵ ولت متناوب تنظیم نمایید. در ورودی و خروجی ولت‌متر و آمپرمتر را در حالت متناوب قرار دهید. ابتدا مقادیر n_1 و n_2 را طوری انتخاب کنید که ترانس افزاینده باشد. در این‌حالت، مقادیر ولتاژ و جریان‌های اولیه و ثانویه و دورهای اولیه و ثانویه را در مقاومت‌هایی که در جدول(۲) خواسته شده، یادداشت نموده و جدول(۲) را کامل کنید.



شکل(۹): مدار مربوط به ترانس با بار (قسمت ب)

جدول (۲): ترانس افزاینده

n_1	n_2	I_1	I_2	V_1	V_2	$\frac{V_2}{V_1}$	$\frac{n_2}{n_1}$	$\frac{I_1}{I_2}$	R (Ω)
									۰
									۱۰۰
									۱۰۰۰

۳- سه ستون آخر را مقایسه کنید. آیا رابطه‌ی مربوط به ترانس ایده‌آل یعنی $\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$ در مقاومت‌های مختلف دیده می‌شود؟ دلیل را شرح دهید.

تمام مراحل قسمت دوم را با یک ترانس کاهنده مجددا تکرار کرده و جدول (۳) را کامل کنید.

جدول (۳): ترانس کاهنده

n_1	n_2	I_1	I_2	V_1	V_2	$\frac{V_2}{V_1}$	$\frac{n_2}{n_1}$	$\frac{I_1}{I_2}$	R (Ω)
									۰
									۱۰۰
									۱۰۰۰

۴- سه ستون آخر را مقایسه کنید. آیا رابطه‌ی مربوط به ترانس ایده‌آل یعنی $\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$ در مقاومت‌های مختلف دیده می‌شود؟ دلیل را شرح دهید.

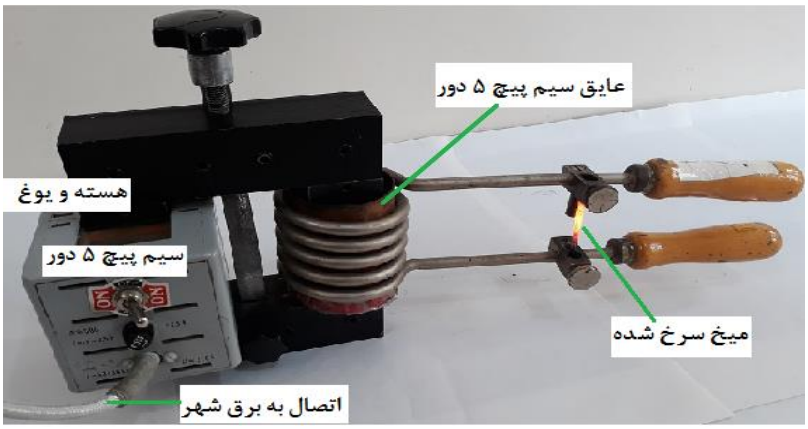
۵- بین داده‌های جدول (۲) و (۳) تفاوتی وجود دارد؟ علت چیست؟

چند مدار کاربردی برای انواع ترانس افزاینده و کاهنده:

در جداول بالا با ترانس‌های افزاینده و کاهنده و روابط آنها آشنا شدیم. حالا برای ترانس‌های **کاهنده** دو مدار عملی و مشاهده‌ای می‌بندیم. تا دانشجویان آثار جریان‌های زیاد را در ثانویه و بار اضافه شده در ثانویه که در اینجا میخ آهنی است مشاهده کنند.

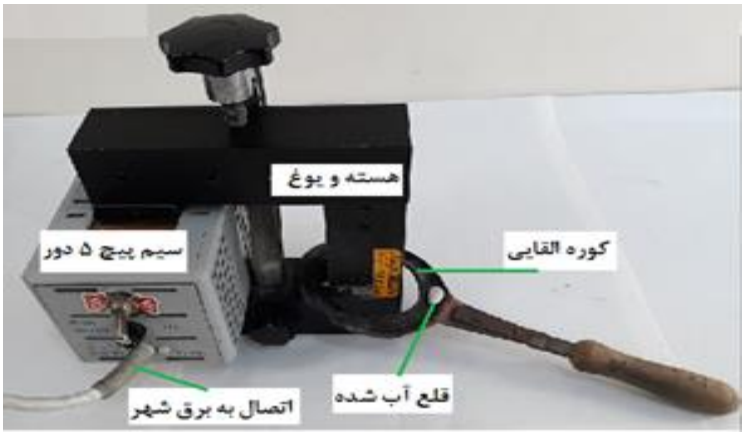
این قسمت آزمایش به علت رعایت ایمنی بیشتر حتما با نظارت مستقیم مدرس باید انجام شود.

۱- سرخ شدن میخ: سیم‌پیچ ۵۰۰ دور با کابل ۲۲۰ ولت را در یک سمت هسته‌ی U شکل قرار داده و کابل تغذیه‌ی آن را به برق شهر وصل می‌کنیم (باید دقت شود کلید سیم‌پیچ در حالت قطع باشد). سپس سیم‌پیچ پنج دور را با استوانه‌ی عایق آن داخل شاخه‌ی دیگر هسته قرار می‌دهیم. (استوانه‌ی عایق حتما باید داخل سیم‌پیچ باشد تا از اتصال سیم‌پیچ به بدنه جلوگیری شود.) حالا مقاومت بار یعنی میخ آهنی باید در جایگاه خود با دو پیچ کاملا محکم باشد و از سالم بودن میخ اطمینان حاصل کنید. سپس با وصل کردن کلید سیم‌پیچ ۵۰۰ دور جریان در ترانس کاهنده برقرار می‌شود. چون ترانس افزاینده جریان است در خروجی جریان زیادی تولید می‌شود و از میخ آهنی جریان زیادی می‌گذرد و باعث سرخ شدن میخ آهنی می‌شود. به شکل (۱۰) توجه کنید.



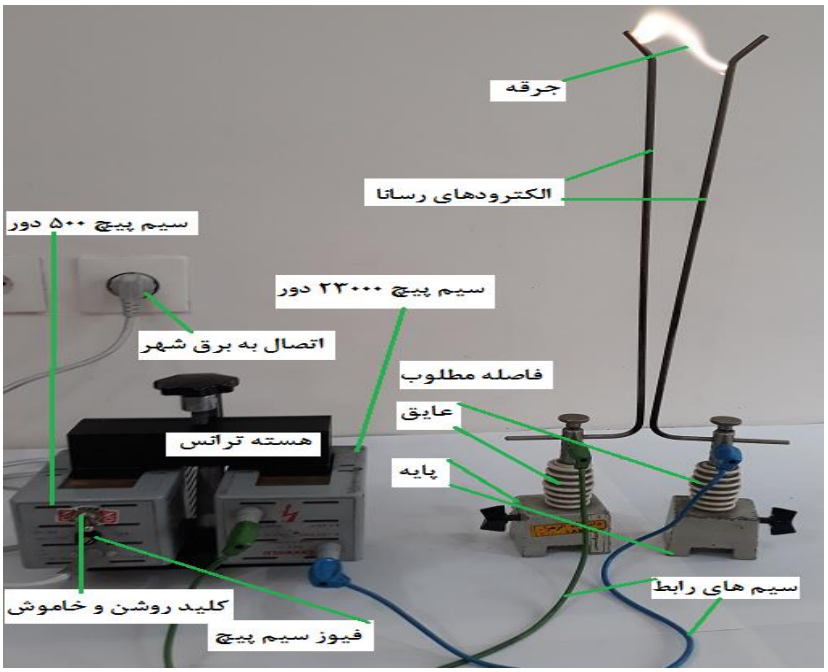
شکل(۱۰): سیم‌پیچ ثانویه ۵ دور می‌باشد.

۲-کوره القایی: آزمایش بالا را به جای سیم‌پیچ پنج دور با سیم‌پیچ یک دور انجام دهید (شکل ۱۱). این همان کوره القایی است. یک تکه سیم قلع را در داخل شیار دایره‌ای سیم‌پیچ یک دور قرار دهید. با برقراری جریان مشاهده خواهیم کرد که عبور جریان بیشتر از حالت قبل به علت کاهش سیم‌پیچ ثانویه، باعث ایجاد گرمای زیاد شده تا جایی که بعد از چند لحظه سیم قلع ذوب می‌شود. (برای احتیاط از استنشاق بخارات قلع خودداری کنید و در موقع باز کردن کوره، مراقب باشید دستتان به کوره داغ برخورد نکند)



شکل(۱۱): کوره القایی. سیم‌پیچ ثانویه یک دور است.

ترانسفورماتور ولتاژ بالا: هسته‌ی ترانس قبلی را آماده نموده و در اولیه‌ی آن سیم‌پیچ، ۵۰۰ دور را در حالی که کلید آن قطع است قرار می‌دهیم و در ثانویه‌ی آن سیم‌پیچ ۲۳۰۰۰ دور را قرار می‌دهیم. یوغ هسته را در راستای ورقه‌های هسته، می‌بندیم و پیچ آن را محکم می‌کنیم (شکل۱۲). سپس دو الکترود فلزی ایستاده را مطابق شکل روبروی سیم‌پیچ ثانویه طوری قرار می‌دهیم تا فاصله دو الکترود از هم در حد یک سانتیمتر باشد. دو الکترود را با دو سیم دو سر فیش، به خروجی سیم پیچ ثانویه وصل می‌کنیم. حالا با احتیاط زیاد(حتما توسط مدرس) کلید جریان را در سیم‌پیچ اولیه وصل می‌کنیم. اگر تخلیه بین دو الکترود صورت نگیرد حتما فاصله زیاد است. با نزدیک کردن شعله کبریت یا فندک در فاصله‌ی دو الکترود، چه اتفاقی خواهد افتاد؟



شکل(۱۲): ترانس به شدت افزاینده. تخلیه الکتریکی

حالا با احتیاط از پایه‌ی سرامیکی یکی از الکترودها گرفته و فاصله را کمی نزدیک می‌کنیم. چه مشاهده خواهید کرد؟

توجه کنید که در این آزمایش نباید دو الکترود به هیچ وجه با هم اتصال کوتاه پیدا کنند چون در این‌صورت سیم‌پیچ ثانویه خواهد سوخت. به علت ولتاژ زیاد در خروجی، حتما بعد از آزمایش اول کلید جریان را قطع کنید و سپس محض احتیاط دو سیم جدا شده از الکترودها را به هم اتصال کوتاه کنید. و همچنین سعی کنید حالت تخلیه‌ی الکتریکی با نظارت مدرس و به مدت چند ثانیه انجام شود و از عبور ولتاژ بالا از الکترودها، به مدت طولانی جلوگیری شود.

۶- چرا هسته ترانس را لایه لایه می‌سازند؟ و آیا روی هر لایه با لایه بعدی عایق می شود؟ اگر این اتفاق بیفتد چه می شود؟

۷- صدای هسته آهنی در هنگام عبور جریان از مدار به چه علت است؟

۸- چرا یوغ هسته بعد از اتمام آزمایش به هسته U شکل می‌چسبد؟

۹- برای کم کردن فرار شار مغناطیسی، چه پیشنهادی دارید؟

۱۰- چرا برای انجام آزمایش از منبع مستقیم استفاده نکردیم؟

۱۱- در آزمایش‌های مربوط به ذوب میخ و کوره از ترانس کاهنده استفاده کردیم در حالی که به نظر می‌رسد طبق رابطه $P = \frac{v^2}{R}$ برای توان مصرفی، باید ترانس افزاینده استفاده می‌کردیم؟

۱۲- در آزمایش جرقه‌های تخلیه الکتریکی، توضیح دهید چرا جرقه‌ها بالا می‌روند؟

۱۳- علت تشکیل جرقه‌های بین دو الکترود چیست؟

۱۴- موارد کاربرد ترانس‌های کاهنده و افزاینده را توضیح دهید؟

۱۵- نقش گرما و شعله فندک در ایجاد جرقه چیست؟

آزمایش یازدهم:

نیروی محرکه‌ی القایی

اهداف آزمایش:

تحقیق بستگی نیروی محرکه‌ی القایی در یک حلقه‌ی مسدود با اندوکسیون مغناطیسی (B)، عرض حلقه (L) و سرعت حلقه (v)

تئوری آزمایش:

همانطور که در فیزیک ۲ مطالعه نمودید، اگر بار الکتریکی q با سرعت ثابت v در یک میدان مغناطیسی یکنواخت، با چگالی B حرکت کند، مطابق رابطه‌ی $F = qv \times B = qvBsin\theta$ بر بار q نیرویی از میدان وارد می‌شود و باعث انحراف آن از مسیر اولیه خود می‌شود چنانچه زاویه‌ی بین v و B برابر ۹۰ درجه باشد، نیروی وارده بیشترین مقدار است و جهت نیرو بر صفحه‌ی B و v عمود است. در این آزمایش یک سیم رسانای U شکل داریم که در یک میدان مغناطیسی یکنواخت طوری حرکت می‌کند که خطوط نیروی میدان را قطع می‌کنند. الکترون‌های آزاد سیم تحت تاثیر میدان در این حلقه شروع به حرکت می‌کنند. و باعث اختلاف پتانسیل دو سر سیم می‌شوند. این اختلاف پتانسیل باعث حرکت الکترون‌ها در سیم رسانا می‌شوند. این جریان القایی چون مقدارش بسیار کم است، با انتقال این نیروی محرکه به دستگاه تقویت کننده، آن را تقویت کرده و در میلی‌ولت‌سنج آن را می‌خوانیم. اگر عرض سیم را L فرض کنیم نیروی محرکه مقدار کاری است که واحد بار الکتریکی هنگام عبور از یک سر سیم به سر دیگر آن انجام می‌دهد. و کار انجام شده برابر است با:

$$W = FL = qvBL \qquad (۱)$$

همانطور که می‌دانیم رابطه‌ی نیروی محرکه‌ی القایی ($\mathcal{E}$) با کار انجام شده طبق رابطه‌ی (۲) می‌باشد:

$$\mathcal{E} = \frac{W}{q} \qquad (۲)$$

با توجه به رابطه‌ی (۱) و (۲) داریم:

$$\mathcal{E} = vBL \qquad (۳)$$

که در آن $\mathcal{E}$ نیروی محرکه‌ی القایی و برابر اختلاف پتانسیل دو سر سیم متحرک است. واحد $\mathcal{E}$ در دستگاه SI ولت است. اگر تغییر مکان سیم در زمان t به اندازه‌ی Δx باشد، وبا توجه به اینکه حلقه با سرعت یکنواخت حرکت می‌کند، سرعت حرکت حلقه از رابطه‌ی (۴) محاسبه خواهد شد:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (۴)$$

با جایگذاری مقدار v در رابطه‌ی (۳) داریم:

$$\mathcal{E} = BL\frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (۵)$$

هر گاه مساحت سطح جارو شده توسط سیم در زمان t را با $A = L\Delta x$ نمایش دهیم داریم:

$$\mathcal{E} = B\frac{\Delta A}{\Delta t} \qquad (۶)$$

و از آنجایی که شار مغناطیسی گذرنده از سطح A که با $\Delta\varphi$ نمایش داده می‌شود برابر است با:

$$\Delta\varphi = B\Delta A$$

پس با توجه به رابطه‌ی (۶) نیروی محرکه‌ی القایی برابر است با:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \qquad (۷)$$

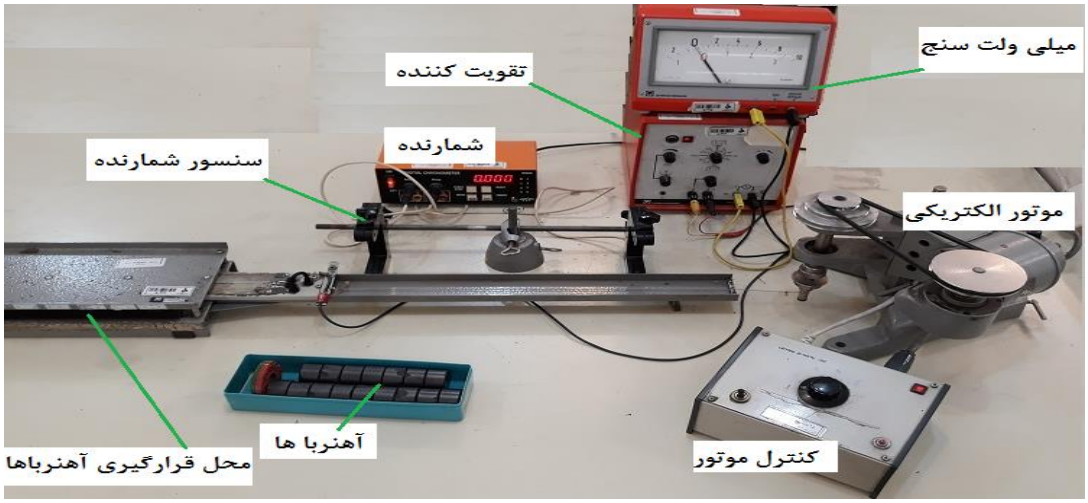
که در آن $\Delta\varphi$ تغییر شار مغناطیسی بر حسب وبر، t بر حسب ثانیه و ε بر حسب ولت است. نیروی محرکه‌ی القایی که در اثر تغییر شار مغناطیسی در یک مدار تولید می‌شود برابر است با اندازه‌ی تغییر شار مغناطیسی در واحد زمان. که اگر Δt به سمت صفر میل کند خواهیم داشت:

$$\varepsilon = -\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = -\frac{d\varphi}{dt} \qquad (۸)$$

علامت منفی در رابطه‌ی (۸) بیانگر قانون لنز است.

وسایل مورد نیاز آزمایش:

دستگاه ریل قرار گیری آهنرباها و عبور حلقه از داخل میدان، ۱۶ عدد آهنربای مغناطیسی، موتور الکتریکی، جعبه کنترل موتور الکتریکی با کلید سه وضعیتی، میلی‌ولت‌سنج عقربه‌ای، دستگاه تقویت کننده‌ی نیروی محرکه، و آهنربای تست با رنگهای قرمز و آبی، پایه، زمان‌سنج دیجیتال، سنسورهای حسگر مانع، سیم‌های رابط



شکل(۱): اجزا و مدار آزمایش

روش انجام آزمایش:

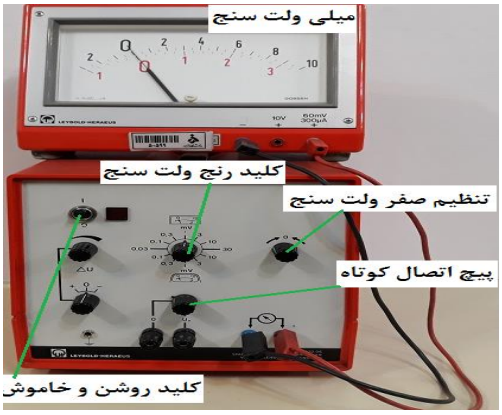
در این آزمایش سه عامل موثر بر نیروی محرکه‌ی القایی یعنی: میدان، عرض قاب و سرعت حرکت قاب، در سه آزمایش متفاوت با متغیر کردن هر کدام و تثبیت دو عامل دیگر مورد مطالعه قرار می‌گیرد و نمودار نیروی محرکه بر حسب تغییرات هر کدام رسم و مطالعه خواهد شد.

شکل(۲): آهنرباهای مورد استفاده در آزمایش همراه آهنربای تست

دستگاه القاء شامل دو صفحه‌ی مستطیل شکل آهنی و به موازات هم است (شکل۱) که در فضای بین این دو صفحه آهنرباهای استوانه‌ای ثابت، که میدان هر کدام از آنها برابر $B = 3.6\,mT$ می‌باشد قرار می‌گیرد. البته محل قرارگیری آهنرباها در هر دو طرف باید به‌صورت کاملا متقارن و در موقعیت مشخص شده باشد. و آهنرباها را باید طوری قرار داد

تا قطب N همه‌ی آهنرباها به سمت بالا باشد. این را با آهنربای رنگی که بر روی میز آزمایش قرار دارد می‌توان تست کرد. به اینصورت که هر قطبی از آهنربای مجهول که به قطب S بچسبد، N خواهد بود (شکل۲). وقتی می خواهیم ۴ آهنربا در بین ریلها اضافه کنیم باید آنها را در موقعیتهای ۲ قرار دهیم، یعنی دو آهنربا در یک سمت ریل و دو آهنربای دیگر در طرف مقابل آنها و همگی قطب شمال به سمت بالا باشد.

دستگاه تقویت کننده را روی ۱ میلی‌ولت تنظیم می‌کنیم (شکل۳) و ۴عدد آهنربا را با مشخص کردن قطب آنها در موقعیت ۲ قرار می‌دهیم. قاب متحرک با یک کلید U شکل در عرض‌های ۲۰ و ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر قرار می‌گیرد. یعنی یک ضلع قاب ثابت و ضلع دیگر قاب با آن دکمه U شکل قابل تغییر است (شکل۴). فقط باید دقت کرد که در موقع تغییر قاب باید حتما تقویت کننده را در حالت اتصال کوتاه قرار داد و بعد از تعویض عرض قاب دوباره دکمه اتصال کوتاه را باید به حالت اول برگردانیم. این عمل برای حفاظت از دستگاه انجام می‌شود.



شکل(۳): تقویت کننده‌ی جریان همراه

صفر دستگاه تقویت کننده را با دکمه تنظیم صفر باید تنظیم کنیم.

سپس

شکل(۴): کلید U شکل جهت تعویض عرض قاب

عرض قاب را در حالی که ۴ آهنربا را در داخل ریل قرار داده‌ایم با دست به آرامی به سمت بیرون می‌کشیم. اگر عقربه میلی‌ولت‌سنج به سمت راست حرکت کرد قطب آهنرباها را درست انتخاب کرده‌ایم.

حالا موتور الکتریکی را که دارای سرعت‌های از ۱ تا ۶ است روشن می‌کنیم و ریل را به داخل قاب می‌بریم و دور موتور را روی ۴ قرار می‌دهیم. کلید سه وضعیتی را به سمت راست می‌زنیم تا ریل از داخل قاب به بیرون کشیده شود. در این حالت باید ماکزیمم انحراف عقربه را بخوانیم و یادداشت کنیم. و مراقب باشیم تا انتهای قاب به آخر ریل برخورد نکند. (قبل از رسیدن به این نقطه باید متوقفش کنیم. بهتر است قبل از شروع کار با موتور با دور ۱ چندین بار ریل را عقب جلو کنیم تا درکنترل موتور تجربه کسب کنیم.)

مرحله اول- بستگی ولتاژ القایی با چگالی شار مغناطیسی یا اندکسیون مغناطیسی(B):

در این مرحله سرعت حرکت قاب روی ۴ یعنی ثابت و عرض قاب نیز در حالت ۴۰ میلی‌متر ثابت است. و فقط تعداد آهنرباها تغییر می‌کند. نیروی محرکه القایی را در شش مرحله یعنی با بکار بردن آهنرباهای ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۶ تایی اندازه بگیرید و در جدول(۱) یادداشت کنید و نمودار نیروی محرکه را بر حسب اندوکسیون مغناطیسی (B) رسم کنید. دقت کنید که در مراحل اول و دوم احتیاجی به محاسبه‌ی سرعت قاب نیست چون در این دو مرحله سرعت قاب را ثابت در نظر گرفتیم. و فقط برای مرحله سوم باید سنسورها و شمارنده را با ریل تنظیم کنیم.

جدول (۱): بستگی ε به تغییرات B

N	۴	۶	۸	۱۰	۱۲	۱۶
$B(mT)$						
$\varepsilon(mv)$						

مرحله دوم آزمایش: بستگی ولتاژ القایی و عرض قاب

در این مرحله با آهنرباهای ۱۶ تایی و دور موتور ثابت ۴ برای هر سه عرض قاب تکرار می‌کنیم در این مرحله فراموش نکنید که برای تعویض عرض قاب حتما باید دکمه اتصال کوتاه دستگاه تقویت کننده را به سمت صفر بپیچانیم و بعد تعویض قاب باز باید این دکمه را به حالت اول برگردانیم. مطابق شکل (۳) . توجه کنید که اگر کلید اتصال کوتاه در حالت صفر بماند و بخواهیم آزمایش را ادامه دهیم، عقربه‌ی ولت‌سنج منحرف نخواهد شد. و اگر در موقع تعویض عرض قاب، این دکمه را اتصال کوتاه نکنیم، ممکن است تقویت کننده دچار مشکل شده و ادامه آزمایش غیر ممکن شود.

در این مرحله نمودار نیروی محرکه را بر حسب تغییرات عرض قاب بدست آورده و جدول (۲) را کامل کنید.

جدول (۲): بستگی ε به تغییرات L

$L(mm)$	۲۰	۳۰	۴۰
$\varepsilon(mv)$			

مرحله سوم آزمایش: بستگی ولتاژ القایی و سرعت حرکت قاب

در این مرحله با ثابت بودن مقدار ۱۶ آهنربا و عرض قاب ثابت ۴۰ میلی‌متر، دور موتور را در حالتهای ۳و ۴و ۵و ۶ قرار داده و با تنظیم زمان‌سنج در مُدِ ۲ و قرار دادن سنسورهای زمان‌سنج در موقعیتی مناسب طوری که زائده ابتدای قاب متحرک از جلوی چشمی مادون قرمز سنسور بگذرد، قاب را در هر حالت حرکت داده و نیروی محرکه و زمان حرکت قاب را نیز در جدول (۳) یادداشت کنید. توجه کنید زمان توسط شمارنده باید ثبت شده باشد و بنابراین باید در این مرحله نیز عقربه نیروی محرکه را به دقت بخوانیم و در جدول زیر به همراه زمان حرکت یادداشت نماییم. بعد از خواندن هر مرحله باید دور موتور را روی حالت کم مثلا ۱ گذاشته و کلید سه وضعیتی را به سمت چپ بزنیم تا موتور نخ جمع شده را به آرامی باز کند، همزمان با دست دیگر باید ریل را به آرامی به داخل قاب هُل دهیم تا برای خواندن سری بعد آماده شود. دوباره دور موتور را روی عدد بعدی گذاشته و زمان‌سنج را صفر کرده و حرکت را تکرار می‌کنیم تا جدول (۳) کامل شود.

شکل(۵): زمان‌سنج دیجیتال و سنسور آن

با اندازه‌گیری فاصله بین دو سنسور و داشتن زمان هر حرکت، سرعت قاب در هر حالت قابل اندازه‌گیری می‌باشد. حالا نمودار نیروی محرکه را بر حسب سرعت قاب رسم می‌کنیم. توجه به این نکته مهم است که اعداد روی کنترل موتور، نشان دهنده‌ی دور موتور است نه سرعت قاب، سرعت قاب با تقسیم مسافت اندازه گرفته شده بین دو سنسور و تقسیم آن بر زمان، به دست خواهد آمد.

جدول (۳): بستگی ε به تغییرات v

$t(s)$				
$v(\frac{m}{s})$				
$\varepsilon(mv)$				

۱- نمودارهای مراحل یک تا سه را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

۲- در مرحله اول با استفاده از شیب نمودار اگر عرض قاب ۴۰ میلیمتر باشد، سرعت موتور را تعیین کنید؟

۳- در مرحله‌ی دوم آزمایش شیب نمودار را با مقدار BV مقایسه کرده و درصد خطای نسبی را محاسبه کنید؟

۴- در مرحله‌ی سوم آزمایش شیب نمودار را با مقدار BL مقایسه کرده و درصد خطای نسبی را محاسبه کنید؟

۵- ثابت کنید هنگامیکه یک قاب از داخل میدان مغناطیسی با سرعتهای متفاوت بیرون کشیده شود داریم:

$$\int_{t_1}^{t_2} \varepsilon dt = const$$

۶- در آزمایش بالا چرا فقط عرض قاب مؤثر بود و حرفی از طول قاب نبود؟

۷- اگر قاب متحرک چهار ضلعی بسته بود چه اتفاقی می‌افتاد؟

۸- اگر قطب S آهنرباها را به سمت بالا بگذاریم چه اتفاقی می افتد؟

۹- در مرحله‌ی اول با هر بار افزایش آهنربا انتظار داریم نیروی محرکه القایی صعودی افزایش یابد. اگر با افزایش آهنربا، نیروی محرکه تغییری نکرد و یا صعودی نبود، نشانگر چیست؟

۱۰- برای خطای دید کمتر، موقعیت ناظر نسبت به عقربه چطور باید باشد؟

۱۱- در حالی که رنج تقویت کننده روی 1mv است اگر عقربه عدد۱,۲ مشکی رنگ را نشان دهد مقدار نیروی محرکه چند mv است؟

۱۲- اگر رنج روی 3mv باشد و عقربه ۱,۲ قرمز را نشان دهد. نیروی محرکه چقدر است؟

آزمایش دوازدهم:

اسیلوسکوپ

اهداف آزمایش:

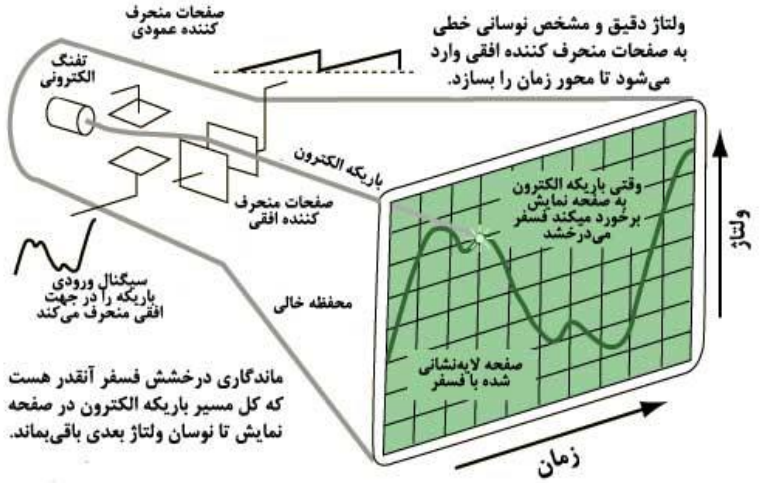
آشنایی با ساختمان اسیلوسکوپ و اندازه‌گیری قرکانس و دامنه‌ی موج با استفاده از اسیلوسکوپ

تئوری آزمایش:

یک دستگاه اندازه گیری است که از آن برای مشاهده شکلهای مختلف موجها و اندازه گیری ولتاژ، زمان تناوب اختلاف فاز، دامنه موج و فرکانس و مشخصه های عناصر نیمه هادی مانند دیودها و ترانزیستورها و منحنی های لیساژو و ... استفاده می شود. این دستگاه یک ولت متر بسیار دقیق است که می تواند ولتاژهای بسیار کم در حد چند هزارم ولت(متناوب AC) در فرکانسهای نامی اسیلوسکوپ را به طور دقیق اندازه گیری کند. مثلا اسیلوسکوپ مورد استفاده در این آزمایش 20MHz است. و می تواند از ولتاژ با فرکانس صفر (DC) تا فرکانس نامی اسیلوسکوپ 20MHz اندازه گیری نماید. این یک اسیلوسکوپ آنالوگ است که از قسمتهای زیر تشکیل شده است:

الف- لامپ اشعه کاتدیک [۲](CRT)

ب- مدارهای تغذیه و آماده سازی لامپ و سیگنال



شکل(۱): ساختمان داخلی اسیلوسکوپ

لامپ اشعه کاتدی: لامپ اشعه کاتدی قسمت اصلی مانتیتور ها و تلویزیونها و دستگاههای ضربان قلب و ... می بودند که در گذشته نه چندان دور از آنها به صورت گسترده استفاده می شد. و با آمدن تکنولوژی دیجیتال، این صفحه های نمایش جای خود را سیستم های جدید دیجیتالی دادند. با اعمال هر سیگنال الکتریکی به دستگاههای نامبرده، آن موجروی صفحه حساس فسفر سانس نقش می بندد. بر اثر بمباران صفحه ای حساس، با اشعه الکترونی آن قسمت از صفحه بمباران شده است از خود نور ساطع می کند. اشعه الکترونی تعداد زیادی الکترون می باشد که به صورت یک اشعه ی فوق العاده باریک درآمده و با سرعت در حرکت است. مقدار نور صفحه به دو عامل سرعت الکترونها و تعدادشان بستگی دارد. صفحه فلوئورسانس از یک شیشه معمولی که پشت آن از مواد فسفرسانس(ترکیب روی و فسفر) پوشیده شده تشکیل می گردد. برای تولید اشعه الکترونی باریک یک استوانه فلزی را که قسمت

[2] - Cathode Ray Tube

جلویی آن از مواد اکسید باریم و استرانسیوم پوشانده شده است و یک فیلامان که در داخل این استوانه وجود دارد. با عبور دادن جریان الکتریکی از فیلامان آن را گرم می کنند و در اثر گرما از مواد اکسیدی الکترون ساطع می شود. الکترونهای ساطع شده را از یک روزنه بسیار باریک عبور می دهند. با اعمال ولتاژ منفی به دهانه روزنه می توان مقدار الکترون تولید شده را کنترل نموده و روشنایی فسفرسانس را کم و زیاد کرد. که ولوم متصل به کنترل این حالت اسیلوسکوپ را کلید (INTEN) می‌گویند که روشنایی صفحه را تغییر می دهد.

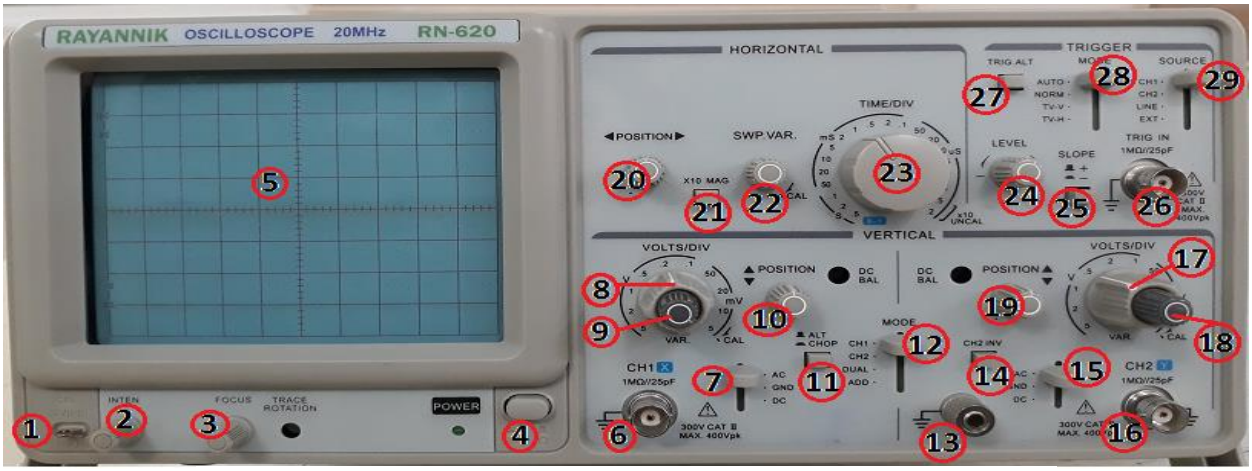
بعد از تولید باریکه الکترونی باید این اشعه به صفحه فسفرسانس برسد. برای شتاب دادن به این باریکه ها از سه استوانه فلزی که به ولتاژ زیاد وصل شده اند استفاده می شود. این مجموعه ها که از دو میدان عمود بر هم الکتریکی هستند استفاده می کنند. منبع ولتاژ ۳۰۰-۱۰۰۰ ولت را که به صورت یک ولوم در اسیلوسکوپ است را به نام FOCUS و در کنار ولوم INTEN قرار دارد. حالا سئوال اینجاست که با توجه به اینکه باریکه الکترونی اثرش یک نقطه است ولی ما می توانیم شکل موج را به صورت سینوسی در صفحه ببینیم. به خاطر اینکه وقتی اشعه از یک نقطه به نقطه دیگر در مجاورت آن می رود اثر اولیه آن تا مدت زمان کوتاهی می ماند. ثانیا باید در زمانهای مساوی این عمل تکرار شود.

باریکه الکترونی از میان دو صفحه عمود بر هم عبور می کند چون مختصات سیگنالی به صورت دو بعدی روی صفحه فلوئورسانس ظاهر می شود، می توانیم صفحات عمودی یا افقی را مثبت تر کنیم تا باریکه به آن سمت تغییر مسیر دهد.

برای اعمال سیگنال الکتریکی به اسیلوسکوپ، از پروپ استفاده می شود. در شکل زیر یک نمونه پروپ معمولی نشان داده شده است. این پروپ از از کابل کواکسیال ساخته شده تا نویز(پارازیت) را به حداقل برساند. نوک پروپ دوقسمت شده یکی به گیره سیاه رنگی وصل است که زمین آن پروپ است و دیگری به صورت کشوی فنری می باشد که با برداشتن قسمت فنری به نوک سوزنی پروپ می رسیم. این قسمت به ومثبت یا ولتاژ برای اندازه گیری وصل می شود.

شکل(۲): ساختمان کابل‌های

آشنایی با کلیدهای مختلف اسیلوسکوپ آزمایشگاه:



شکل(۳): اسیلوسکوپ

کلید شماره۱: از این پین برای تنظیم صفر دستگاه و کالیبره بودن اسیلوسکوپ و تست سلامت پروپها استفاده می شود. به این صورت که پروپ را به یکی از کانالها وصل کرده و سر فنری(ولتاژ) آن را به این پین وصل می کنیم و زمین اسیلوسکوپ را به زمین پروپ وصل می کنیم. با فرض کالیبره بودن دستگاه و تنظیم ولتاژ و فرکانس آن کانال، می توان موج کالیبراسیون دستگاه را در صفحه نمایش مشاهده کرد. که این مقدار برای اسیلوسکوپ آزمایشگاه ما، یک موج پله ای با مشخصات: ولت f=1kHz, Vpp=2 می باشد.

کلید(inten) شماره۲: شدت نور صفحه را تنظیم می کند طوری که وضوح تصویر بالا باشد.

کلید (focus) شماره ۳ : ضخامت شکل موج را تنظیم میکند. برای دقت بیشتر اندازه گیری باید حتی الامکان آن را نازک انتخاب کرد تا جایی که وضوح تصویر از بین نرود.

کلید شماره۴: کلید روشن و یا خاموش بودن دستگاه هست که همزمان کنار آن یک دیود سبز رنگ نیز روشن یا خاموش می شود. تا اگر موج در صفحه نبود متوجه شویم که دستگاه روشن یا خاموش است.

کلید شماره۵: که نشان دهنده صفحه نمایش اسیلوسکوپ است که از ده خانه افقی زمان و هشت خانه عمودی ولتاژ تشکیل شده است.

کلید شماره۶: محل اتصال پروپ کانال یک دستگاه است. پروپ را بعد از جا زدن در این قسمت باید ۹۰ درجه در جهت راست بچرخانیم تا قفل شود.

کلید شماره۷: کلید سه حالته Ac-GNd-DC است که در حالت Ac یک خازن در مسیر موج قرار می گیرد و سیگنال Dc را حذف می کند. و در حالت GNd برای تنظیم صفر دستگاه و کالیبراسیون کانالهای استفاده می شود. و در حالت Dc جمع حالات Ac و Dc را با هم نمایش می دهد.

کلید (Volt/Div)شماره۸: کلید تنظیم ولتاژ یا دامنه کانال یک دستگاه است که بر حسب V-m v (ولت - میلی ولت) است. و در واقع عدد نشان دهنده این دکمه، همان اندازه هر قسمت بزرگ محور عمودی صفحه است. (هر قسمت کوچک واقع در داخل مربعها، به اندازه ۰,۲ می باشد)

کلید (VAR) شماره۹: اکثرا باید در حالت انتهای فلش کالیبراسیون باشد. در بعضی مواقع با این کلید می توان موج را در جهت عمودی باز یا بسته کرد. ولی اگر این کلید از حالت کالیبراسیون خارج شود به اعداد روبروی (Volt/Div) دیگر نمی توان اطمینان کرد.

کلید (position)شماره۱۰: مکان سیگنال کانال یک را در جهت عمودی جابجا می کند.

کلید (Alt/Chop) شماره۱۱ : اگر فرکانس بیش از 1KHz باشد کلید Alt را انتخاب می کنیم در غیر این صورت کلید Chop را انتخاب می کنیم.

کلید (Mode)شماره ۱۲: کلیدی است چهار حالته برای انتخاب کانالهای یک یا دو و یا حالت Dualبرای نشان دادن هر دو کانال و یا Add برای جمع دو کانال

کلید شماره ۱۳: اتصال به زمین دستگاه است که برای کالیبراسیون و زمین کردن هر یک از کانالها به کار می رود.

از کلید شماره ۲۴ تا ۲۹ کلیدهای قسمت تریگر را نشان می دهد.

کلید(LEVEL) شماره ۲۴: توسط این کلید می توان شروع تریگر را طوری تنظیم کرد که مطابق با زمان یک دامنه از سیگنال ورودی باشد.

کلید (SLOPE)شماره۲۵: این کلید مشخص کننده این است که اولین نیم سیکل موج نشان داده شده مثبت و یا منفی می باشد.

کلید (TRIG IN)شماره ۲۶: برای ورود سیگنال خارجی تریگر استفاده می شود.

کلید (TRIG ALT)شماره ۲۷: در حالتی که ورتیکال مد روی ADD یا DUAL باشد کلید سورس تریگ را روی CH1 یا CH2 انتخاب کرده و کلید TRIG ALT را انتخاب می کنیم.

کلید (TRIG MODE)شماره ۲۸: دارای چهار حالت: Auto,NORM,Tv-V, Tv-H می باشد.

کلید (SOURCE)شماره ۲۵: این کلید دارای چهار حالت: CH1,CH2,LINE,Ext می باشد.

بعد از تنظیم صفر کانالها و تست پروپها، حالا ولتاژ کالیبراسیون دستگاه را تست می کنیم، بدین صورت که ولتاژ یکی از کانالهای دستگاه را به پین شماره یک وصل می کنیم و زمین را نیز به زمین اسیلوسکوپ وصل می کنیم. حالا با تغییر رنج ولتاژ و زمان اسیلوسکوپ، به موج پله ای با مشخصات اسیلوسکوپ می رسیم. اگر این اتفاق نیفتاد حتما دستگاه از کالیبره خارج شده است.

خواندن مشخصات موج ورودی به اسیلوسکوپ

فانکشن ژنراتور را روشن کرده و پروپ آن را وصل می کنیم. ابتدا دو سر پروپهای یک کانال اسیلوسکوپ را به دو سر پروپهای فانکشن وصل می کنیم. یعنی ولتاژ را به ولتاژ و زمین را نیز به زمین وصل می کنیم. سپس سعی می کنیم بزرگترین تک موج سینوسی را در صفحه اسیلوسکوپ ایجاد کنیم. سپس با استفاده از دکمه های انتقال موج به اطراف، سعی می کنیم یک موج کامل را در دا خل محور مختصات صفحه اسیلوسکوپ ایجاد نماییم. سپس با شمردن تعداد خانه های داخل یک موج در راستای افقی، و ضرب آن در رنج زمان، زمان تناوب موج را مشخص می کنیم(واحد زمان باید ثانیه و واحد ولتاژ نیز باید ولت باشد). با مشخص شدن زمان و معکوس کردن آن، فرکانس موج را بر حسب هرتز به دست می آوریم. $f(Hz) = \frac{1}{T(s)}$

قسمت اول: مشاهده موج صوتی تقویت شده در اسیلوسکوپ

وسایل مورد نیاز:

میکروفن سیم دار، دیاپازن با جعبه تشدید و چکش آن، سیمهای رابط

شکل(۴): مدار قسمت اول آزمایش

ابتدا میکروفن را که دو سیم ولتاژ و زمین دارد به پروپ یکی از کانالهای اسیلوسکوپ و نظیر به نظیر وصل می کنیم. حالا دکمه **TIME/DIV** را روی عدد **2ms** و دکمه **Volt/Div** را روی عدد **10mv** قرار می دهیم. حالا میکروفن را روی پایه سوار کرده، و دکمه آن را روشن می کنیم. سپس دیاپازن متصل به جعبه تشدید را طوری جلوی میکروفن می گیریم تا طرف باز جعبه به سمت میکروفن باشد. حالا با زدن چند ضربه به دیاپازن و گرفتن جعبه تشدید به جلوی میکروفن، سعپی می کنیم موج صوتی تقویت شده را به نمایشگر اسیلوسکوپ منتقل کنیم. موج بعد از چند لحظه میرا می شود. ولی می توان در لحظه اول دامنه را خواند. و زمان تناوب نیز قابل اندازه گیری خواهد بود.

شکل(۵): خوانش اسیلوسکوپ

- ولتاژیک منبع کاملا DC مثلا باطری ۹ ولت را با اسیلوسکوپ و یک مولتی متر دیجیتال اندازه بگیرید؟

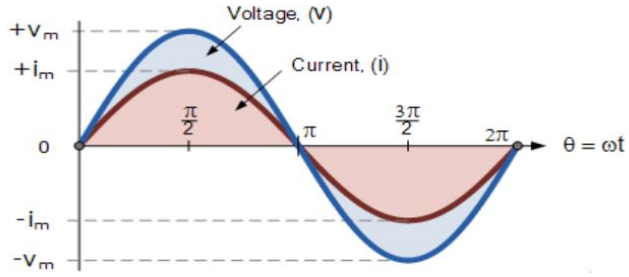
- منبع فانکشن را روشن کنید و آن را روی فرکانس 1KHz قرار دهید و دامنه موج ساز را روی عدد ۴ و ۶ تنظیم کنید. حالا دستگاه موج ساز را به یک کانال اسیلوسکوپ وصل کنید و ولتاژ V_{pp} و V_{rms} را با اسیلوسکوپ و ولتاژ V_{eff} را با مولتی متر دیجیتال اندازه بگیرید. و سپس جدول (۱) را تکمیل کنید.

جدول (۱):

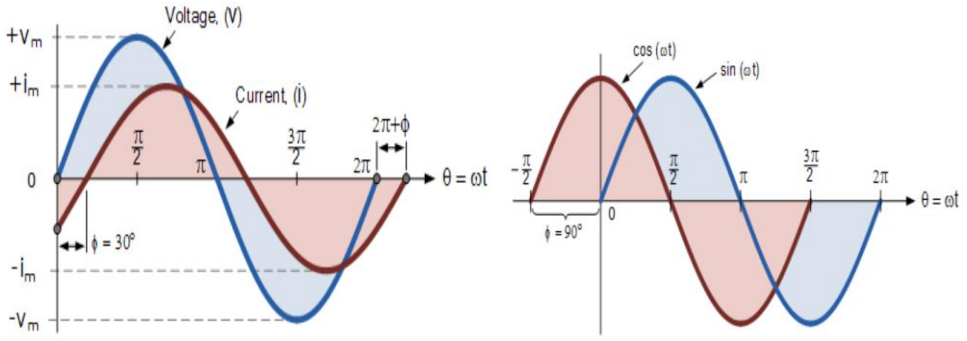
موج سینوسی	V_{pp}	$V_m = \frac{V_{pp}}{2}$	$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$	V_{eff} مولتی متر	$\frac{V_{rms} - V_{eff}}{V_{eff}} \times 100$
دامنه ۴					
دامنه ۶					
موج مربعی	V_{pp}	$V_m = \frac{V_{pp}}{2}$	$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$	V_{eff} مولتی متر	$\frac{V_{rms} - V_{eff}}{V_{eff}} \times 100$
دامنه ۴					
دامنه ۶					

اختلاف فاز دو موج

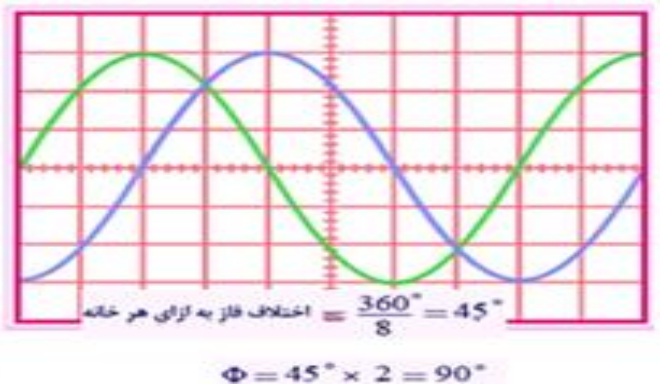
اختلاف فاز دو موج را می توان با استفاده از اسیلوسکوپ دو کاناله و وارد کردن دو موج به صورت همزمان در صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کرد و اختلاف فاز را محاسبه کرد. برای اینکار باید دو موج سینوسی و هم فرکانس باشند. مثلا در شکل زیر دوموج هم فرکانس و همفاز را مشاهده می کنید. که امواج جریان و ولتاژ دو موج همفرکانس مدار مقاومتی اهمی است.



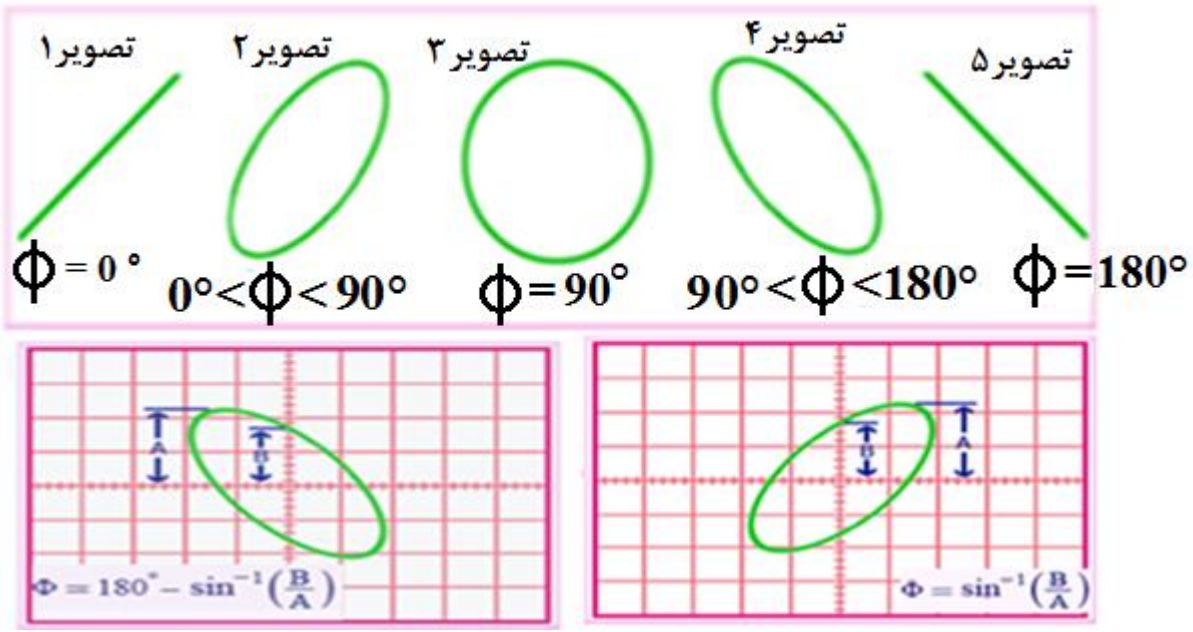
و در دو شکل دیگر دو موج هم فرکانس با فازهای متفاوت جریان و ولتاژ را نشان می دهد:



برای اندازه گیری اختلاف فاز دو موج هم فرکانس و سینوسی، آن دو موج را به اسیلوسکوپ می دهیم و نمایش همزمان دو کانال را فعال می کنیم تا اموج دو کانال همزمان در صفحه اسیلوسکوپ نمایش داده شوند. سپس در محور افقی برای یک تمام موج، تعداد مربعها را شمرده و سپس اختلاف فاز هر خانه با تقسیم ۳۶۰ درجه بر تعداد مربعهای افقی موج کامل بدست می آید. حالا موقعیت دو



موج که محور افقی را قطع کرده اند در نظر گرفته و تعداد مربعهای آن را روی محور افق مشخص می کنیم. با ضرب کردن عدد قبلی و این مقدار، اختلاف فاز بر حسب درجه بدست می آید. یک روش دیگر محاسبه اختلاف فاز دو موج هم فرکانس سینوسی، استفاده از منحنی لیساژور است. به این صورت که ابتدا دو موج را به دو کانال اسیلوسکوپ داده و سپس دکمه x-y انتخاب نموده و با توجه به نمودارهای زیر عمل می کنیم.



در اینجا ما برای مطالعه بهتر عناصر مداری، سلف و خازن و مقاومت را به صورت تک تک و ایده آل در نظر می گیریم تا بتوانیم اثرات آنها را بهتر مطالعه کنیم. و در عین حال می دانیم که به هیچ وجه نمی توانیم یک مدار خالص مثلا خازنی را به تنهایی داشته باشیم. چرا که در ظاهر ما یک خازن در مدار داریم ولی سیم های رابط و اتصالات دیگر و مقاومت داخلی منبع می توانند مقاومت

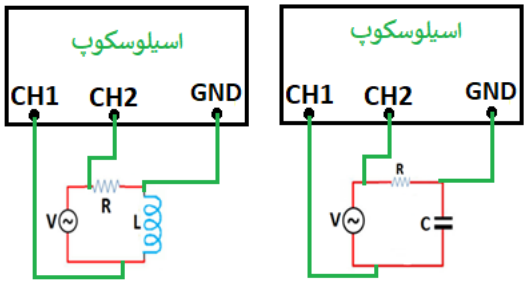
سلفی و اهمی را ناخواسته بر ما تحمیل کنند. مثلا در مدار شکل زیر یک مقاومت ایده آل را با یک منبع در نظر می گیریم. با توجه به اینکه در این مدار در ظاهر فقط مقاومت داریم و باید انتظار مقاومت اهمی داشته باشیم ولی اثرات سلفی و خازنی جزئی توسط اتصالات و منبع نا خواسته وارد مدار می شوند و ما از اثرات آنها صرف نظر می کنیم.

آزمایش تعیین اختلاف فاز

مدارهایی مطابق شکلهای زیر ببندید و اختلاف فاز جریان ولتاژ را در دو مدار زیر اندازه بگیرید

الف- به خروجی فانکشن ژنراتوری که فرکانس آن روی ۱۰۰ هرتز تنظیم شده است یک مقاومت ۱۰۰ اهمی و یک خازن متناوب ۱ میکروفارادی به صورت سری وصل کنید و نقاط زیر را به کانالهای اسیلوسکوپ وصل کنید و اختلاف فاز جریان و ولتاژ را بدست آورید؟

ب- - به خروجی فانکشن ژنراتوری که فرکانس آن روی ۱۰۰ هرتز تنظیم شده است یک مقاومت ۱۰۰ اهمی و یک سلف ۵۰ میلی هانری به صورت سری وصل کنید و نقاط زیر را به کانالهای اسیلوسکوپ وصل کنید و اختلاف فاز جریان و ولتاژ را بدست آورید؟



سئوال۱- اگر در میکروفن صحبت کنید، صدای شما چگونه مشاهده می شود.

سئوال۲- ولتاژ پله ای و زمان تناوب، موج کالیبراسیون اسیلوسکوپ آزمایشگاه چقدر است؟

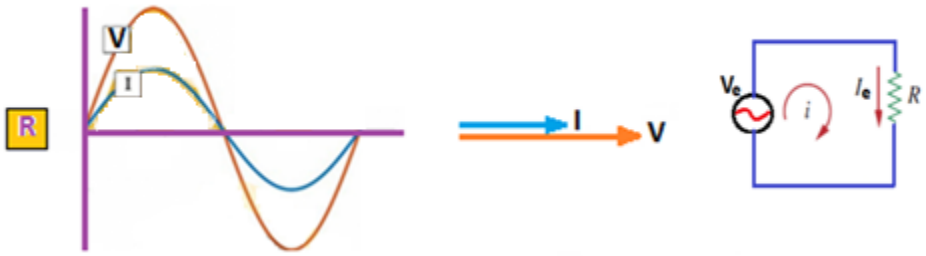
سئوال۳- اسیلوسکوپ فوق تا چه فرکانسی را می تواند بخواند؟

آزمایش سیزدهم:

جریانهای متناوب۱

رفتار مقاومت و سلف و خازن در جریانهای متناوب

در اینجا ما برای مطالعه بهتر عناصر مداری، سلف و خازن و مقاومت را به صورت تک تک و ایده آل در نظر می گیریم تا بتوانیم اثرات آنها را بهتر مطالعه کنیم. و در عین حال می دانیم که به هیچ وجه نمی توانیم یک مدار خاص مثلا خازنی را به تنهایی داشته باشیم. چرا که در ظاهر ما یک خازن در مدار داریم ولی سیم های رابط و اتصالات دیگر و مقاومت داخلی منبع می توانند مقاومت سلفی و اهمی را ناخواسته بر ما تحمیل کنند. مثلا در مدار شکل زیر یک مقاومت ایده آل را با یک منبع در نظر می گیریم. با توجه به اینکه در این مدار در ظاهر فقط مقاومت داریم و باید انتظار مقاومت اهمی داشته باشیم ولی اثرات سلفی و خازنی جزئی توسط اتصالات و منبع نا خواسته وارد مدار می شوند و ما از اثرات آنها صرف نظر می کنیم



الف- مقاومت الکتریکی

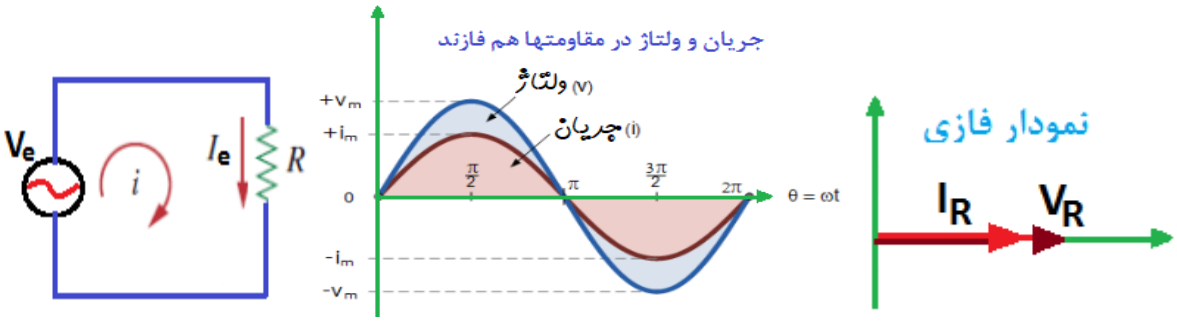
مقاومت، یک عنصری الکترونیکی است که در عبور جریان از مدار محدودیت ایجاد می کند و حاصل این ایستادگی در مقابل عبور جریان به صورت گرما در مقاومت ظاهر می شود. و مقدار آن مطابق رابطه زیر به، جنس و نوع رسانا، و سطح مقطع و طول آن بستگی دارد. $R(\Omega) = \rho \frac{l}{A}$

و می توان طبق قانون اهم بنویسیم: $R(\Omega) = \frac{V(v)}{I(A)}$ و یا $V = IR$

عملکرد مقاومت در مقابل عبور جریانهای ثابت و متغیر یکسان است و باعث تقدم و تاخر فاز ولتاژ و جریان نمی شود. مثلا اگر چند مقاومت سری در مدار داشته باشیم می توان از رابطه جمع ولتاژها استفاده کرده و ولتاژ منبع را برابر جمع جبری ولتاژهای هر یک از مقاومتها قرار داد. اگر جریان متناوب باشد رابطه آن به صورت زیر خواهد بود:

$$i_R = \frac{V_R}{R} = \frac{V_m}{R} sin\omega t = I_m sin\omega t$$

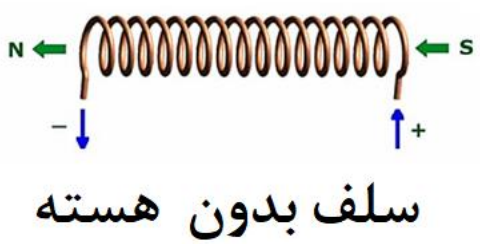
$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad \& \quad I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \& \quad I_m = \frac{V_m}{R} \quad \& \quad V_m = I_m R$$



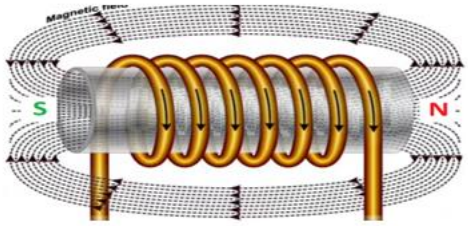
بر طبق قوانین کیرشهف در یک مدار بسته با منبع جریان متناوب یا مستقیم، جمع جبری ولتاژها برابر صفر است و همچنین مجموع جریانهای وارد شده به یک نقطه برابر مجموع جریانها خارج شده از آن نقطه است.

ب- سلف یا سیم پیچ

سلف شامل چند حلقه سیم روپوش دار است که دور هم پیچیده شده است. که ممکن است با هسته یا بدون هسته(با هسته هوا) باشند هر سیم پیچ یا سلف دارای یک مقاومت اهمی است. هر سیم پیچ علاوه بر داشتن یک مقاومت اهمی،(که با یک اهم متر قابل اندازه گیری است) یک ضریب خودالقای L(اندوکتانس) نیز دارد که واحد آن بر حسب هانری است.



سلف بدون هسته



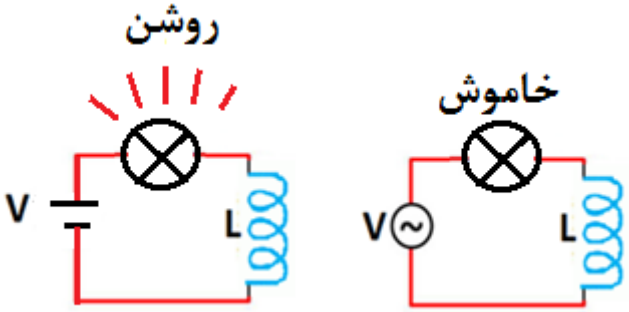
سلف با هسته

سلف در ولتاژهای DC

اگر یک سیم پیچ را به ولتاژ DC وصل کنیم جریان در مدار برقرار می شود و فقط مقاومت اهمی سیم پیچ جریان را محدود می کند. در سلف ایده آل، مقاومت اهمی را در نظر نمی گیرند و سلف در برابر جریان مستقیم هیچ مقاومتی ندارد.

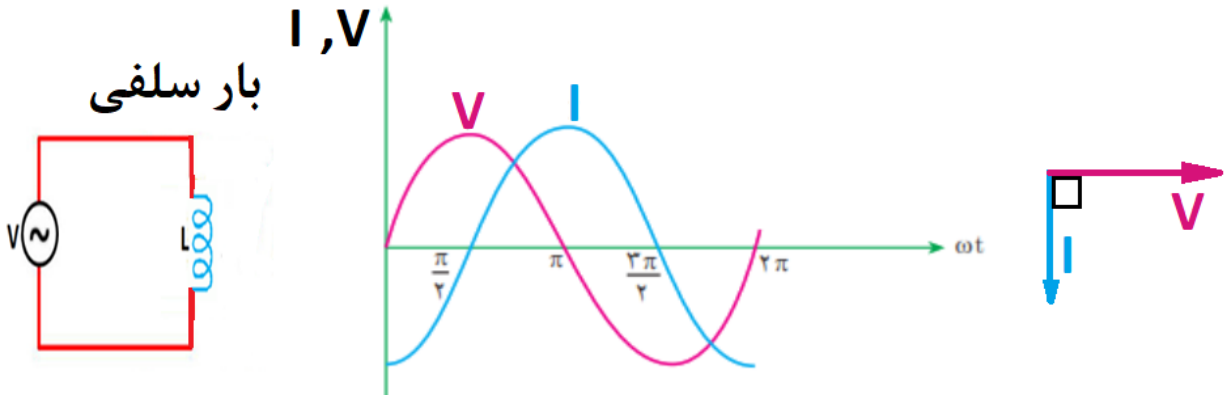
سلف در ولتاژهای AC

چند حلقه سیم پیچ روپوش دار که در جهت معینی، دور هم پیچیده شده باشد را سلف یا سیم پیچ گویند که ممکن است هسته داشته باشد و یا هسته آن هوا باشد. اگر یک سیم پیچ را به یک منبع متناوب وصل کنیم، در این صورت این سیم پیچ، علاوه بر داشتن مقاومت اهمی، یک مقاومت سلفی(X_L) نیز از خود نشان خواهد داد که عبارت است $X_L = L\omega$ که در آن L ضریب خودالقایی(یا اندوکتانس) بر حسب هانری و همچنین $\omega = 2\pi f$ و f فرکانس بر حسب هرتز می باشد. و ضریب خودالقایی L بستگی به فرکانس دارد و در ولتاژهای مستقیم این مقدار صفر است و سلف فقط دارای مقاومت اهمی اندک است. که مقاومت اهمی سلف با یک اهم متر نیز قابل اندازه گیری است.



مطابق شکلهای بالا در ولتاژ مستقیم فقط مقاومت جزئی سلفی داریم بنابراین لامپ روشن می شود و در ولتاژ متناوب علاوه بر مقاومت اهمی، مقاومت سلفی نیز خواهیم داشت و به علت تغییر فلوی مغناطیسی در سیم پیچ نیروی محرکه القا می شود که بنا بر قانون لنز با عامل به وجود آورنده اش مخالفت می کند و این باعث کاهش جریان، و خاموش ماندن لامپ می شود.

اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در سلف: اگر مداری مطابق شکل زیر در نظر بگیریم که از آن جریان متناوب سینوسی می گذرد و سلف ایده آل در مدار قرار گرفته باشد(یعنی با مقاومت اهمی صفر) جریان در مدار به اندازه 90^o از ولتاژ عقب خواهد ماند.



با تقسیم دو طرف بر راکتانس سلفی خواهیم داشت: $V_L = V_{Lmax} \times sin\omega t$

$$i_L = I_{Lmax}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

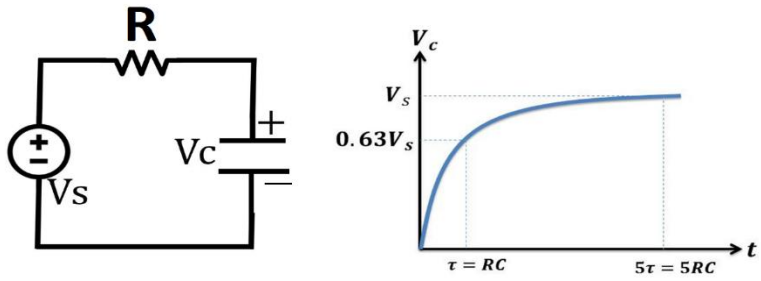
ج- خازن

به طور کلی خازن موقعی بوجود می آید که بین دو هادی یک عایق قرار گیرد. که بعضی از آنها به خواسته ما است یعنی خودمان در مدار قرار داده ایم. مثل تمام خازنهای موجود در مدارات الکترونیکی و بعضی از خازنها ناخواسته است یعنی آنها به طور ناخواسته در مدار قرار میگیرند مانند سیم دو رشته روپوش دار که از کنار هم عبور میکنند تشکیل یک خازن ناخواسته را می دهند.

خازن اگر در مدار قرار گیرد انرژی الکتریکی و بار را در خود ذخیره می کند و بدون اینکه آن را مصرف کند در اختیار مدار قرار می دهد این قطعه انرژی را در میدان الکتریکی بین دو قطب مثبت و منفی و در عایق آن انباشته می کند. خازن انواع مختلفی دارد که متناسب با مدار نوع آن را انتخاب می کنند.

خازن در مدار مستقیم:

اگر خازن را به یک منبع ولتاژ مستقیم وصل کنیم، خازن شارژ شده و بعد از اینکه کاملا شارژ شد جریان تقریبا به صفر نزدیک می شود.



مطابق شکل بالا در مدار خازن بالا وقتی جریان وجود دارد که ولتاژ آن در حال تغییر باشد. و داریم: $i_C = C\frac{dV_c}{dt}$

با اعمال دستور KVL در مدار بالا به رابطه زیر می رسیم: $\overline{V_s} = \overline{V_R} + \overline{V_C}$

و چون مدار سری است پس جریان در کل مدار یکی است: $i_C = i_R$ و داریم $V_s = i_R R + V_C$

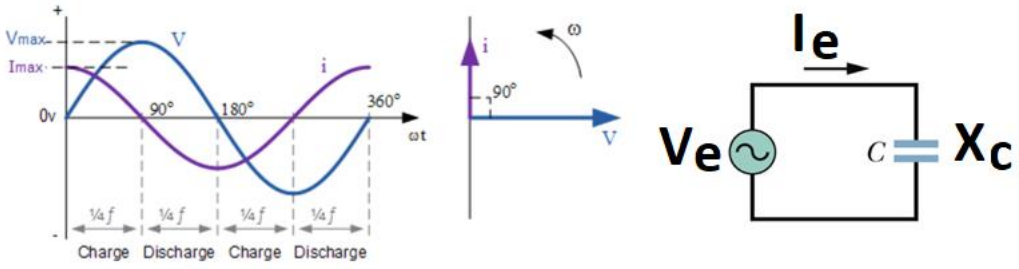
$V_s = i_C R + V_C = C\frac{dV_C R}{dt} + V_C$ و به تابع دیفرانسیلی زیر می رسیم که در آزمایش شارژ و دشارژ بررسی کردیم.

خازن در جریان متناوب:

اگر خازنی را به یک منبع ولتاژ متناوب وصل کنیم، و آن را ایده آل فرض کنیم(یعنی مقاومت اهمی مدار را نادیده بگیریم)، جریان متناوب سینوسی از مدار عبور می کند. جریان متناوب گذرنده از مدار، با توجه به فرکانس و ظرفیت خازن باعث شارژ و دشارژ آن می شود. خازن در مقابل تغییرات جریان از خود مقاومت نشان داده که به آن **"مقاومت خازنی"** یا **"رآکتانس خازنی"** گویند. و با علامت X_C نشان می دهند که واحد آن بر حسب اهم است. و در حین شارژ و دشارژ خازن که اندکی طول میکشد تا خازن کاملا به شارژ و دشارژ برسد، بین جریان و ولتاژ مدار اختلاف فاز بوجود می آید به طوری که جریان در مدار به اندازه ۹۰ درجه از ولتاژ پیش می افتد. همانطور که می بینیم خازن در مدار در ربع سیکل فرکانس پر و در ربع بعدی خالی می شود.

$$X_C = \frac{V_e}{i_e} = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{2\pi f C}$$

که در این رابطه X_C بر حسب اهم و f بر حسب هرتز و C ظرفیت بر حسب فاراد است.



$$i_C = C\frac{dV_C}{dt}$$

$$V_C(t) = V_m Sin\omega t$$

$$\frac{dV_C(t)}{dt} = V_m \omega cos\omega t$$

$$i_C = C\omega V_m cos\omega t$$

$$C\omega V_m = I_m \quad \text{و} \quad i_C = I_m Sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

$$I_e = C\omega V_e \quad \text{پس خواهیم داشت:} \quad I_e = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{C\omega V_m}{\sqrt{2}}$$

$$\frac{V_e}{I_e} = \frac{1}{C\omega} = X_c \quad \text{و از آنجا برای مقاومت خازنی می توان نوشت:}$$

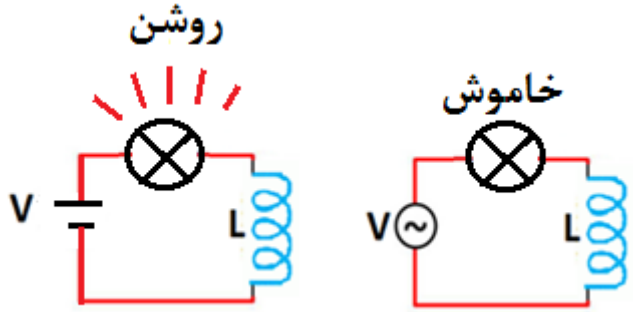
توان ظاهری جمع برداری توان اکتیو و راکتیو است. یک مدار با بار مقاومتی دارای شکل موج جریان و ولتاژ هم فاز است، اما در مداری با بار راکتیو (خازنی یا سلفی)، سلف و خازن توان مصرف نمی کنند اما ظرفیت شبکه را اشغال می کنند، چون جریان می کشند. خازن جریان پیش فاز می کشد یعنی جریان پس فاز (برای سلف) تولید می کند. سلف جریان پس فاز را مصرف می کند. در سیستم های الکتریکی که ترکیبی از بارهای مقاومتی و راکتیو هستند، ترکیب مؤلفه های توان اکتیو و راکتیو به عنوان توان کل یا توان ظاهری معرفی می شود.

پس بین ولتاژ و جریان اختلاف فاز ایجاد می شود و در اصل هر دو پارامتری برداری هستند. با توجه به اینکه توان ضرب ولتاژ در جریان است پس توان هم یک پارامتر برداری است.

علت تاخر فاز جریان در سیم پیچ به این علت است که، به هنگام تغذیه مدار با ولتاژ متناوب، جریان متناوب گذرنده از مدار با آهنگ فرکانس در حال تغییر است و این باعث ایجاد یک نیروی محرکه القایی در سیم پیچ می شود که طبق قانون لنز با عامل بوجود آورنده خود(جریان متناوب مدار) مخالفت می کند. به عبارت بهتر ولتاژ سینوسی اولیه باعث عبور جریان سینوسی از مدار می شود از طرفی نیروی محرکه القا شده در سیم پیچ، با تغییر جریان مخالفت می کند. و این باعث تاخر فاز جریان نسبت به ولتاژ می شود.

$$X_L = L\omega = 2\pi fL$$

$$V_{eff} = X_L I_{eff}$$



مطابق شکلهای بالا در ولتاژ مستقیم فقط مقاومت جزئی سلفی داریم بنابراین لامپ روشن می شود و در ولتاز متناوب علاوه بر مقاومت اهمی، مقاومت سلفی نیز خواهیم داشت و به علت تغییر فلوی مغناطیسی در سیم پیچ نیروی محرکه القا می شود که بنا بر قانون لنز با عامل به وجود آورنده اش مخالفت می کند و این باعث کاهش جریان، خاموش ماندن لامپ می شود.

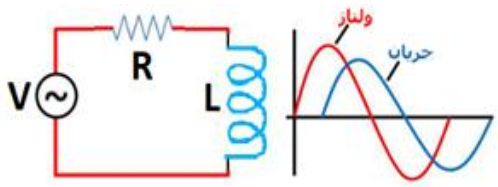
اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ در سلف: اگر مداری مطابق شکل زیر در نظر بگیریم که از آن جریان متناوب سینوسی می گذرد و سلف ایده آل در مدار قرار گرفته باشد(یعنی با مقاومت اهمی صفر) جریان در مدار به اندازه 90^o از ولتاژ عقب خواهد ماند.

با تقسیم دو طرف بر راکتانس سلفی خواهیم داشت: $V_L = V_{Lmax} \times sin\omega t$

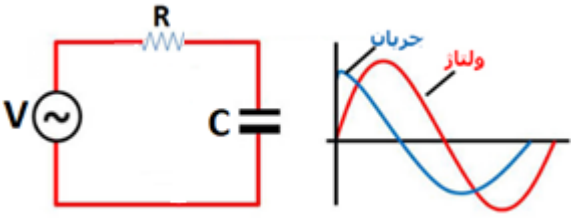
$$i_L = I_{Lmax}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

مدار RL سری:

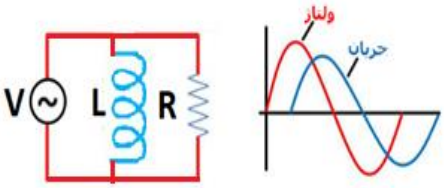
در این حالت مقاومت و سلف سری بوده و جریان یکسانی از آنها می گذرد. و چون سلف و مقاومت در ولتاژهای متناوب همفاز نیستند پس جریان سلف ۹۰ درجه عقب تر از ولتاژ است بنابراین ولتاژ کل مدار باید برداری جمع شود تا برابر ولتاژ منبع شود.



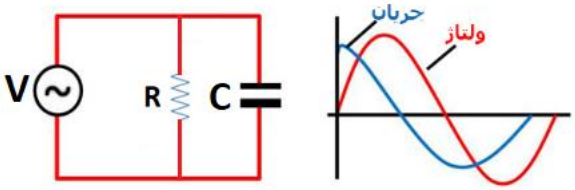
RL سری



مدار RC سری



مدار RL موازی

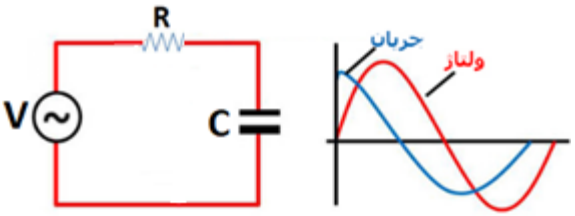


مدار RC موازی

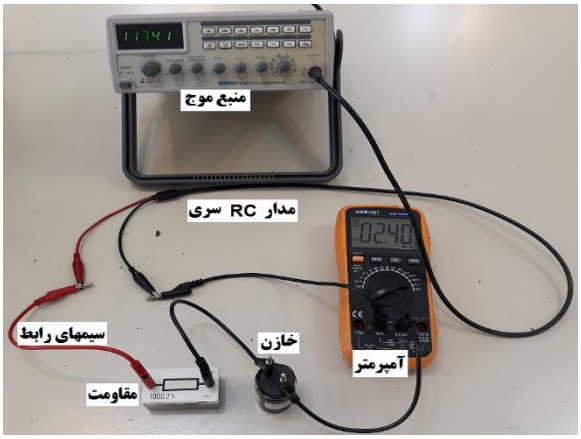
انجام آزمایش

الف- مدار RC سری

لوازم مورد نیاز: مقاومت ۱۰۰ اهمی، خازن ۱ میکروفاراد، سلف ۲,۲ میلی هانری، فانکشن ژنراتور به عنوان منبع متناوب با دامنه بیشتر از نصف ماکزیمم دامنه و موج سینوسی، سیمهای رابط، آمپر متر و ولت متر



مدار RC سری



مداری مطابق شکل بالا که در آن یک خازن با یک مقاومت به صورت سری بسته شده اند و یک آمپرمتر نیز که در رنج متناوب آمپر قرار دارد با آنها به صورت متوالی بسته شده است و مجموعه اینها با منبع موج سینوسی(فانکشن ژنراتور) به صورت متوالی در مدار قرار گرفته است.

برای مدار بالا جدولهای زیر را طبق دستورالعمل گفته شده، با خواندن مقادیر مختلف فرکانس و جریان کامل کنید.

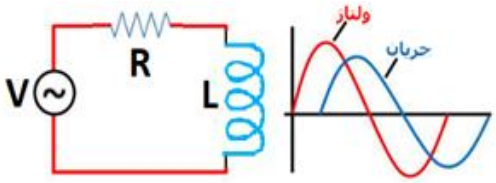
فرکانس را از ۱۰۰ هرتز شروع کنید تا ۱۰۰۰ هرتز با گام ۱۰۰ اندازه گیری کرده و سپس دو مقدار ۱۰۰۰۰ هرتز و ۱۰۰۰۰۰ هزار هرتز را نیز اندازه بگیریدو در جدول زیر یادداشت کنید و دیگر مقادیر را نیز حساب کنید. سپس برای جدول دوم به ازای فرکانس ۵۰۰۰ هزار هرتز مقادیر خواسته شده را بدست آورید؟

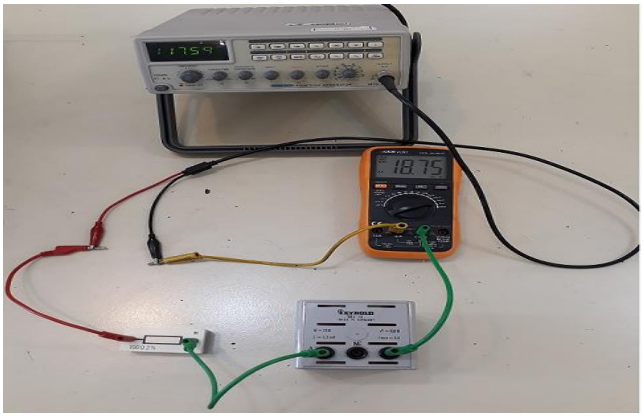
F(Hz)												
V_C												
I												
X_C												
$C\omega$												
$\frac{1}{C\omega}$												

F(Hz)	V_R	V_C	V_Z	I	ϕ	C	Z
۵۰۰۰							

ب- مدار RL سری

مدار RL سری مطابق شکل زیر ببندید و جدولهای زیر را همانند قسمت قبل پر کنید؟





فرکانس را از ۱۰۰ هرتز شروع کنید تا ۱۰۰۰ هرتز با گام ۱۰۰ اندازه گیری کرده و سپس دو مقدار ۱۰۰۰۰ هرتز و ۱۰۰۰۰۰ هزار هرتز را نیز اندازه بگیریدو در جدول زیر یادداشت کنید و دیگر مقادیر را نیز حساب کنید. سپس برای جدول دوم به ازای فرکانس ۵۰۰۰ هزار هرتز مقادیر خواسته شده را بدست آورید؟

F(Hz)												
V_L												
I												
X_L												
$L\omega$												

F(Hz)	V_R	V_C	V_Z	I	ϕ	C	Z
۵۰۰۰							

سئوال۱- مدار RC موازی را بسته و جدول بالا را برای آن تحقیق کنید؟

سئوال۲- مدار RL موازی را بسته و نتایج جدول بالا را برای آن تحقیق کنید؟

سئوال۳- را باید برای خازن در آزمایش، از خازن متناوب استفاده کرد؟

سوال۴- چرا در فرکانسهای بالا جریان خیلی کم می شود؟

سوال۵- برای افزایش L سیم پیچ چه باید کرد؟