دانشکده فیزیک

راهنما و دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

ویرایش۱۴۰۳/۳/۲۰

این چرخ فلک که ما در او حیرانیم

فانوس خیال از و مثالی دانیم

خورشید چراغدان و عالم فانوس

ما چون صوریم کاندر و حیرانیم

خیام

فهرست

راهنمای نگارش گزارش کار آزمایشگاه شماره صفحه

پیشگفتار ۵
۱-راهنمای نگارش گزارش کار آزمایشگاه ۷
۱-۱- ساختار گزارشات آزمایشگاه فیزیک ۷
۲-راهنمای دانشجویان برای تحلیل داده‌ها
۲-۱- دقت، صحت و خطای آزمایش ۱۲
۲-۲- خطای آزمایش ۱۲
۲-۲-۱ خطاهای سیستماتیک (خطای ذاتی) ۱۲
۲-۲-۲- خطاهای تصادفی ۱۳
۲-۳- ارقام معنی‌دار ۱۳
۲-۳-۱- عدم قطعیت ۱۴
۲-۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها ۱۵
۲-۵- میانگین انحراف معیار و خطای استاندارد ۱۷
۲-۵-۱- میانگین ۱۷
۲-۵-۲- انحراف از معیار ۱۷
۲-۵-۳- خطای استاندارد ۱۸
۲-۶- بازه‌های اطمینان ۱۹
۲-۷- پراکندگی خطا ۲۱
۲-۸- نتایج مقایسه: درصد تفاوت و درصد خطا ۲۲
۲-۹- نمودارها ۲۳
۲-۱۰- متغیرهای وابسته و مستقل ۲۳
۲-۱۱- داده‌های ترسیمی به صورت یک خط مستقیم ۲۳
۲-۱۲- خطی نمودن داده‌ها ۲۴
۲-۱۲-۱- رسم نمودار روی کاغذ نیمه لگاریتمی: ۲۵
۲-۱۲-۲- رسم نمودار روی کاغذ تمام لگاریتمی: ۲۶
۲-۱۳- تطبیق منحنی ۲۷
۲-۱۴- راهنمای رسم نمودار به کمک نرم‌افزار EXCEL ۲۹

۳-ابزارهای و قطعات مورد استفاده در آزمایشگاه فیزیک پایه(۲) ۳۵
۳-۱- آشنایی با انواع قطعات الکترونیکی ۳۶
۳-۱-۱- مقاومت ۳۶
۳-۱-۲- خازن ۴۳
۳-۱-۳- سلف ۵۰
۳-۲- آشنایی با انواع دستگاه‌های اندازه گیری در آزمایشگاه فیزیک (۲) ۵۷
۳-۲-۱- مولتی متر ۵۷
۳-۲-۲- اسیلوسکوپ ۶۳
۳-۳- منابع تغذیه ۶۸
۳-۳-۱- اصول عملکرد منابع تغذیه آزمایشگاهی ۶۸
۳-۲-۱ الف- منبع تغذیه DC ۶۹
۳-۳-۲-ب- منبع تغذیه AC ۷۰
۳-۳-۲-ج- فانکشن ژنراتور ۷۰
۳-۴- آشنایی با میز کار آزمایشگاه فیزیک پایه(۲) ۷۳
آزمایشهای فیزیک پایه ۲
آزمایش ۱- تحقیق قانون اهم و اندازه‌گیری مقاومت‌رشته سیم‌های متفاوت ویژه ۷۶
آزمایش ۲- اندازه‌گیری مقاومت مجهول به روش‌های پل وتستون و پل تار ۸۱
آزمایش ۳- بررسی رفتار آمپرمتر به عنوان مقاومت اهمی در مدارات الکتریکی ۸۷
آزمایش ۴- بررسی رفتار ولت‌متر به عنوان مقاومت اهمی در مدارهای الکتریکی ۹۴
آزمایش ۵- شارژ و دشارژ خازن در مدار RC، در جریان مستقیم ۱۰۱
آزمایش ۶- اندازه‌گیری مقدار میانگین و ریشه‌ی میانگین مربعی شکل موج‌های مختلف ۱۱۴
آزمایش ۷- تعیین مقاومت ظاهری در مدارهای RLC شامل مقاومت، القاگر و خازن ۱۲۲
آزمایش ۸- بررسی رفتار القاگر[1]ها (سیم پیچ[2]) در مدارات موازی و سری ۱۳۳
آزمایش ۹- تبدیل ولتاژ و جریان با استفاده از یک ترانسفورماتور ۱۳۷
آزمایش ۱۰- تعیین مقاومت خازنی با استفاده از پل اندازه‌گیری وین ۱۴۲
آزمایش ۱۱- ترانسفورماتور جریان بالا ۱۴۶

[1] Inductor
[2] Coil

پیشگفتار

به طور کلی علوم پایه به بررسی بنیادین قوانین و پدیده‌های طبیعی پرداخته و زیربنای اصلی سایر علوم را تشکیل می‌دهند از طرفی خود بر مبنای دروس پایه‌ای بنا شده‌اند که با ساده‌ترین و ابتدایی‌ترین تعاریف برگرفته از رخدادهای طبیعی آغاز شده و با ابزار ریاضی به پیچیده‌ترین و مهم‌ترین روابط حاکم بر سایر پدیده‌ها می‌رسند. از جمله این علوم فیزیک می‌باشد که خود به شاخه‌های مختلف تقسیم شده و الکترومغناطیس یکی از آن‌هاست. گرچه الکترومغناطیس تلفیقی از دو موضوع الکتریسیته و مغناطیس است اما جهت درک عمیق و مفیدتر آن بایستی ابتدا به الکتریسیته و قوانین و قواعد حاکم بر آن پرداخت و سپس در حرکتی مشابه مغناطیس و ویژگی‌های آن را مورد مطالعه قرار داده و در نهایت به دنبال قوانین و اصولی گشت که الکتریسیته را به مغناطیس و مغناطیس را به الکتریسیته پیوند می‌دهند. این نکته و ترتیبی که ذکر شد آنقدر مهم و حائز اهمیت است که هرگونه جابجایی در نظم، ترتیب و سلسله مراتب آن شناخت و درک اصولی الکترومغناطیس را با مشکل روبرو ساخته و جز سردرگمی و ابهام در تجسم آن ارمغان دیگری نخواهد داشت.

آزمایش‌های ساده‌ای که در زمینه ی فیزیک الکتریسیته و مغناطیس طراحی می‌شوند کمک شایانی در درک هرچه بهتر و عمیق‌تر قوانین و اصولی می‌کنند که علم الکترومغناطیس را شکل داده‌اند و از این روست که برای اغلب رشته‌های کارشناسی علوم پایه وفنی مهندسی، درسی بنام آزمایشگاه فیزیک پایه ۲ درنظر گرفته شده است.

از طرف دیگر به دلیل ارتباط تنگاتنگ موضوعی و علمی آزمایشهای این درس با یکدیگر، بسیار مهم است که با چه نظم و ترتیبی فهرست شده و انجام گردند، بنابراین عدم ارتباط منطقی میان آزمایش‌هایی که در طول یک ترم انجام می‌شوند پیامدی جز سردرگمی و ابهام نخواهند داشت.

چند ترم حضور در آزمایشگاه فیزیک پایه ۲ در دانشکده فیزیک و ارتباط نزدیک با دانشجویانی که هر روز مشتاقانه برای انجام آزمایش‌های مربوطه مراجعه می‌کردند نشان داد که دو چیز آنها را آزار داده و مانع از آن می‌شود تا بتوانند به اهداف علمی و عملی در نظر گرفته شده در این درس نایل گردند و در انجام هر آزمایش بیشتر وابسته به حضور و کمک پررنگ مدرسین مربوطه می باشند تا به قوای استدلالی و توانمندی‌های خود. اولین مورد مواجهه با دستور کاری غیر روان و گاهی مبهم بود و مورد دوم رویارویی با برخی آزمایش‌های نامانوس و بیشتر فنی و الکترونیکی تا آزمایشهای مبتنی بر اصول پایه‌ای و کاربردی الکتریسیته و مغناطیس. بر این اساس اصلاح و بازبینی دستور کار مذکور و تغییر، حذف یا اضافه شدن برخی آزمایش‌ها ضرورت یافته و باید انجام می‌شدند. در نسخه ی حاضر تلاش شده است تا دستور کار همه ی آزمایش‌ها

اصلاح کلی شده و با حذف موارد غیر ضروری و مبهم از آن به سبکی روان‌تر بازنویسی و اصلاح شده و تا حد ممکن پیوستگی مناسبی میان مفاهیم، عبارات و واژگان علمی به کار رفته در آنها برقرار گردد. همچنین با ایجاد آزمایش‌های جدید و کاربردی مبتنی بر اصول ساده و اولیه ی فیزیک الکتریسیته و مغناطیس دستور کارهای متناسب با آنها نیز طراحی و اضافه شدند. در نهایت سعی شد تا ترتیب آزمایش‌های در نظر گرفته شده برای هر هفته به گونه‌ای باشد که تا حد ممکن هماهنگ با سرفصل‌های درس فیزیک پایه ۲ بوده و از آزمایش‌های مربوط به الکتریسیته آغاز و با آزمایش‌های مربوط به الکترومغناطیس پایان یابد.

در انتها ضمن سپاس از تمامی افرادی که دستور کار اولیه را تهیه نموده و در واقع سنگ بنای اصلی را آنها بنا نهاده‌اند، بویژه سرکار خانم دکتر فاطمه دباغ کاشانی و از همه عزیزانی که در این بازنویسی نقش داشته‌اند صمیمانه سپاسگزارم. در این راستا از سرکار خانم دکتر مهرانه تیراندری که صبورانه و مسئولانه بار اصلی بازنویسی و اصلاح این دستور کار را به دوش کشیده و از هیچ تلاشی دریغ ننموده‌اند کمال تشکر را نموده و اقرار می‌کنم که این کار در مرحله ی اول ماحصل تلاش‌ها و زحمات طاقت فرسا و صبورانه ی ایشان بوده و بدون آن با سختی های زیادی روبرو می‌شد. همچنین از سرکار خانم احمدی به خاطر همکاری‌های ارزنده‌شان در این کار به ویژه در زمینه ی تهیه ی داده‌های تجربی مورد نیاز دستور کار جدید و راه‌اندازی و تست آزمایش‌های جدید اضافه شده سپاسگزارم. در پایان از عزیزانی که این دستور کار را مورد استفاده قرار می‌دهند خواهشمندم که با ارائه ی اشکالات و ایراداتی که در این نسخه می‌بینند در بهینه شدن کیفی آن سهیم گردند.

محمدرضا زمانی

دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت ایران

اسفند ماه ۱۴۰۲

بر ما شکیبایی و دانش است **زدانش روان‌های پر رامش است**

شکیبایی از ما شاید ستد **نه کس را ز دانش رشد نیز بد**

دستورکار آزمایشگاه فیزیک پایه (۲) شامل مجموعه‌ای از آزمایش‌های فیزیک در زمینه‌های الکتریسته و مغناطیس ساکن و الکترومغناطیس است. از اهداف ارائه این درس (مطابق سرفصل دروس وزارت محترم علوم، تحقیقات و فناوری (عتف) مصوبه سال ۱۳۹۴) آشنایی و کسب مهارتهای فنی با مفاهیم علمی و روش‌های اندازه‌گیری در زمینه‌های مذکور است. بنابراین در دستورکار حاضر تلاش شده‌است که اهداف مذکور برآورده شود. آزمایش‌های این دستورکار، اقتباسی از مجموعه آزمایش‌های طراحی‌شده توسط شرکت لیبلد[1] است. این شرکت از معتبرترین و باسابقه‌ترین شرکت‌های تولیدکننده ادوات آزمایشگاهی دانشگاهی به‌ویژه در حوزه فیزیک در سراسر دنیا است که در کشور آلمان فعالیت می‌کند. لازم به ذکر است که این آزمایش‌ها طبق امکانات موجود در دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت ایران به‌روزآوری و بومی سازی شده‌است. اغلب این آزمایش‌ها پس از بررسی تکرارپذیری‌شان تدوین شده و پس از چندین ترم تدریس اینجانب در آزمایشگاه فیزیک پایه (۲) دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت ایران، بهینه شده‌اند. این آزمایش‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که در هر جلسه هر یک از گروه‌های دانشجویی حاضر در آزمایشگاه بتوانند آزمایش‌های متفاوت از یکدیگر را انجام دهند.

همانگونه‌که ذکر شد، دستورکار حاضر مطابق سرفصل مصوب درس آزمایشگاه فیزیک (۲) وزارت عتف تدوین شده و در این دستورکار دو بخش اصلی در نظر گرفته شده‌است. در بخش نخست روش نگارش دستور کار و اصول مرتبط با آن و معرفی ابزارهای مورداستفاده در آزمایشگاه فیزیک پایه (۲) ارائه شده‌است. دانشجویان محترم با مطالعه این بخش علاوه برآنکه با جزئیات اصول نگارش گزارش کار آشنا می‌شوند، روش‌های رسم نمودار در نرم‌افزار اِکسل و محاسبه خطا را نیز فرا می‌گیرند. اصول کار منابع تغذیه و افزاره‌های اندازه‌گیری و پارامترهای تأثیرگذار در به‌کارگیری آن‌ها ارائه می‌شود. در بخش دوم دستورکار، ۱۳ آزمایش در نظرگرفته شده‌است. در این آزمایش‌ها، علاوه بر آنکه ادوات اندازه‌گیری و تأثیر به‌کارگیری آن در مدارهای الکتریکی مورد مطالعه قرار می‌گیرد (آزمایش‌های بازه فرکانسی یک مولتی‌متر، اندازه‌گیری مقادیر مختلف ولتاژی منابع با اَشکال مختلف موج، بررسی رفتار آمپرمتر به‌عنوان مقاومت اهمی و بررسی رفتار ولت‌متر به‌عنوان مقاومت اهمی)، روش‌های افزایش بازه عملکردی ابزارهای اندازه‌گیری به‌منظور به‌کارگیری در فعالیت‌های پژوهشی دانشجویان نیز ارائه می‌شود. در آزمایش‌های بعد، دانشجویان محترم با مقاومت‌های اهمی و رفتار آن‌ها و قانون اهم و پارامترهای موثر بیشتر آشنا شده و روش‌های اندازه‌گیری آن را مطالعه می‌کنند. دانشجویان رفتار ادوات الکترونیکی مانند خازن و سلف را در مدارات الکتریکی مطالعه کرده و عملکرد آن‌ها را در مدارات RLC بررسی

1 - Leybold

می‌کنند. روش‌های اندازه‌گیری مشخصات سلفی و خازنی را به ترتیب با استفاده از پل ماکسول و پل وین فرا گیرند. با ترانسفورماتور و موتورهای AC و نحوه عملکرد آن‌ها و کاربردهای آن‌ها در صنایع آشنا می‌شوند. تلاش شده‌است که دستورکار حاضر با توجه به امکانات موجود در آزمایشگاه و توانمندی‌های کادر آموزشی آزمایشگاه، اهداف درس حتی‌الامکان پوشش داده شود.

لازم به ذکر است که در دوره کرونا، طراحی و تنظیم و ضبط فیلم آموزشی بخشی از آزمایش‌ها توسط اینجانب صورت پذیرفت. این فیلم‌ها که با کمک خانم گل‌آذین طاهرآبادی مدرس آزمایشگاه دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت ایران فیلم‌برداری شده و فایلهای مربوط به این فیلم‌ها در کانال‌های دانشجویی دانشگاه و آپارات موجود است.

در پایان بر خود لازم می‌دانم که از آقای دکتر مسعود یوسفی و خانم دکتر شعله گل‌محمدی بابت کمک‌های ایشان در فرایند تدوین و بهینه‌سازی این دستورکار تشکر کنم.

فاطمه دباغ کاشانی

دانشیار دانشکده فیزیک دانشگاه علم و صنعت ایران

۱- راهنمای نگارش گزارش کار آزمایشگاه

مقدمه:

این راهنما به گونه ای طراحی شده‌است که دانشجویان بتوانند گزارش کاملی از عملکرد خود در آزمایشگاه ارائه دهند. در بخش نخست ساختار یک گزارش آزمایشگاه خوب توضیح داده شود، سپس بخش‌های مختلف گزارش به صورت اجمالی ارائه شده و نیازهای هرکدام از آن‌ها توضیح داده شود. همچنین، برخی از قواعد و قوانین استاندارد مورد نیاز برای نگارش گزارش‌های با کیفیتی حرفه‌ای معرفی شود. گزارش‌های آزمایشگاهی هم از نظر محتوای تکنیکی و هم از نظر سبک نگارش طبقه‌بندی می‌شود. کیفیت سبک نگارش گزارش بر روی نمره این درس تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین جهت کسب توانمندی ارائه گزارش با کیفیت بالا در فعالیت‌های تحقیقاتی- صنعتی آتی خود و همچنین کسب نمره قابل قبول، پیروی از قواعد این راهنما و رعایت قالب‌بندی‌های آن ضروری است.

۱-۱- ساختار گزارشات آزمایشگاه فیزیک

گزارش‌های آزمایشگاه باید طبق آن‌که گزارش‌های کامل یک پروژه هستند، گزارشی‌هایی کوتاه برای یک یا دو آزمون و یا برای یک یا دو تکنیک، طبقه‌بندی شوند.

گزارش‌های آزمایشگاه باید همیشه برای آسودگی خواننده نوشته شوند. پس، به طور مثال، هر بخش از گزارش باید سرتیتر داشته باشد و بخش‌ها باید به صورت منظمی تنظیم شده‌باشد، و به آسانی قابل فهم باشد. در محتوای این درس، انتظار می‌رود شما قالب‌بندی را برای هر گزارش را کامل بفهمید و بتوانید برای محتویات گوناگون تغییرات لازم را اعمال نمایید. گزارش‌هایی که در بالا توضیح داده شد عموماً شامل چندین بخش مختلف است. بخش‌های موردنیاز برای گزارش‌های کامل آزمایشگاه فیزیک باید به ترتیبی که در ادامه لیست‌شده‌هاست، نوشته شود:

۱- صفحه عنوان

۲- بیان اهداف

۳- تئوری آزمایش

۴- توصیف چیدمان آزمایش و لیست وسایل مورد استفاده

۵- روش کار

۶- داده‌ها

۷- تحلیل داده‌ها

۸- تشریح نتایج و بحث بر روی آن

۹- جمع‌بندی

۱۰- مراجع

۱۱- پیوست

محتوای هر کدام از بخش‌ها در گزارش آزمایشگاه در صفحات آتی توضیح داده می‌شود. اغلب توصیفات به اندازه‌ی کافی عمومی هستند که باید در تمامی گزارش‌ها موجود باشند. تعدادی از آن‌ها که برای گزارش‌های آزمایشگاه فیزیک پایه (۲) دانشگاه علم و صنعت ایران طراحی شده، چنین است:

۱- صفحه عنوان

اطلاعات زیر باید در صفحه عنوان ارائه شود:

- یک عنوان مختصر ولی آموزنده (حاوی اطلاعات مفید)
- نام شما؛
- تاریخ و ساعت انجام آزمایش؛
- تاریخ ارائه گزارش؛
- نام دیگر اعضای گروه شما
- نام مدرسان آزمایشگاه

۲- بیان اهداف

اهداف آزمایش باید به اختصار به شکل یک پاراگراف بیان شود. دستور کار یا برگه دستورالعمل در این بخش می‌تواند کمک کند. این حقیقت که آزمایش‌های در دروس آزمایشگاهی برای آموزش دانشجویان است، هدف ثانویه است که نباید در گزارش ارائه شود. به عبارت دیگر، اهدافی که در گزارش شما نوشته می‌شود، هرگز نباید عبارت "دانشجویان با استفاده از تجهیزات آشنا می‌شوند"، باشد. بلکه، اهداف باید

مسائلی را که روش کار شما و داده‌های شما تلاش می‌کنند به آن پاسخ دهند، را بیان کند. برخی از فعل‌هایی که در اهداف شما به کار برده می‌شوند، ″بررسی نمودن″، ″رسم کردن″، ″ اندازه‌گیری کردن″ یا ″مقایسه نمودن″ هستند. این بخش باید خواننده را صریحاً از این‌که چرا پروژه انجام می‌شود، آگاه کند.

۳- تئوری

در بخش تئوری، توصیف مختصری از تئوری مربوط به آزمایش باید فراهم شود تا بخش‌های دیگر گزارش،همچون تحلیل داده‌ها یا بخش‌های مباحثه به‌طور کامل فهمیده شوند. این بخش گاهی با بخش مقدمه و پس‌زمینه تلفیق می‌شود، اگر این عمل منجر به گزارشی خواندنی‌تر شود، معادلات مربوطه باید معرفی شوند و همه اصطلاحاتی که در گزارش مورد استفاده قرار می‌گیرند باید توصیف شوند. معادلات باید به عنوان بخش‌هایی از جملات کامل ارائه شوند.

۴- توصیف چیدمان آزمایش / لیست وسایلی که به‌کار گرفته شده‌است.

در این بخش، طرح کلی، صحیح و مرتب ازچیدمان آزمایش آماده کنید که در آن تمام اتصالات داخلی و روابط متقابل نشان داده شود. این بخش، شامل متن توصیفی کوتاه است که به تمام بخش‌های طرح کلی باز می‌گردد. این بخش باید شامل اطلاعاتی باشد که برای خواننده لازم است تا بتواند به‌طور مستقل چیدمان را دوباره تنظیم کند.

تمام تجهیزات و مواردی که در آزمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند، فهرست شوند. خواننده باید بتواند اقلام معرفی شده در این بخش را به اقلام معرفی شده در بخش چیدمان آزمایشگاهی مرتبط سازد.

۵- روش کار

در این بخش، روش کاری که برای انجام آزمایش اجرا می‌شود، گام به گام به تفصیل شرح داده شود. زیرا باید اطلاعات کافی فراهم شود تا خواننده بتواند آزمایش را به روش مشابه تکرار نماید. روش‌های ویژه‌ای در کار استفاده شود تا شرایط ویژه آزمایشگاهی را تضمین کند، یا دقت مطلوبی را در اطلاعاتی که از آزمایشات حاصل می‌شود، مشخص و حفظ کند. همانند تمام بخش‌هایی که در گزارش وجود دارد، روش کار نشان می‌دهد که چه کاری در آزمایشگاه انجام شده و باید انجام می‌شده‌است، بنابراین باید به صورت جمله‌ای مجهول و با فعل زمان گذشته نوشته شود. کپی نمودن روش کار از دستورکار بازتابی نادرست از کار تکمیل‌شده در آزمایشگاه بوده و قابل قبول نیست.

۶- داده‌ها

تمام داده‌های خامی که در طی آزمایش به‌دست می‌آیند باید، در این بخش عرضه شوند. این بخش باید تنها حاوی اطلاعات خام باشد، و نه نتایجی که از بررسی و دستکاری داده‌ها استخراج شده‌است. اگر نیاز باشد در مورد دوم جدولی یکسان با آن‌چه داده‌های خام در آن ارائه شده، عرضه شود، باید داده‌های خام به وضوح به عنوان داده‌های حاصل از انجام آزمایش مشخص شود.

نوع داده‌ها وابسته به آزمایش تغییر می‌کند که می‌تواند شامل اعداد، طرح‌های ساده، تصاویر، عکس‌ها و در گزارش باید زیرنویس[1]، برچسب[2] و شمارهای داشته باشد که در متن نوشتاری به آن ارجاع داده شود. تمام جدول‌بندی‌ها و رسم‌ها (نمودارها) باید به وضوح با نام تعیین شود. واحدها، هر چه باشند، باید همیشه به وضوح ذکرشوند.

۷- تحلیل داده‌ها

این بخش نشان می‌دهد که چگونه عملیات ریاضی و محاسبات بر روی داده‌های خام اجرا شده است. در ضمن معادلات و روش‌های کاری را که مورد استفاده قرارگرفته‌است، ارائه می‌کند. اگر بیش از یک معادله مورد استفاده قرارگیرد، تمام معادلات باید دارای شماره‌های متوالی جهت شناسایی باشند تا در هر بخشی که در متن نیازاست به آن ارجاع داده شود. نتایج نهایی تحلیل داده‌ها در این بخش باید با استفاده از شکل‌ها، نمودارها، جداول یا دیگر فرم‌های مناسب گزارش شود. نتیجه نهایی تحلیل داده‌ها، باید اطلاعاتی باشد که معمولاً به شکل جداول، نمودارها یا دیگرشکل‌ها هستند و می‌تواند برای بحث کردن برروی نتیجه آزمایش یا پروژه به‌کار رود.

این بخش باید شامل اظهاراتی در مورد دقت داده‌ها و آن‌چه به واسطه خطای تحلیل‌ها پشتیبانی می‌شود، باشد. نمونه محاسبات، جزئیات محاسبات و تحلیل‌های خطاها باید در این بخش ارائه شود.

۸- تشریح نتایج و بحث بر روی آن

این بخش به تفاسیر شما از نتایج آزمایش یا پروژه اختصاص داده می‌شود. اطلاعات بدست آمده از تحلیل داده‌ها بررسی شده و توضیح داده می‌شود. شما باید همه نتایج خود را شرح داده، تحلیل کرده و توضیح‌دهید (نه اینکه تنها مجدداً بیان کنید). در این بخش باید به این سوال پاسخ دهید، "داده‌ها به من چه می گویند؟". همچنین، همهٔ طرح‌های منطقی‌بدست آمده از نتیجه را توضیح دهید(برای مثال، نیاز به تکرار آزمایش‌ها یا اندازه‌گیری متغیرهای خاص به طور متفاوت، ارزیابی کیفیت و دقت روش کار).

[1] - Caption
[2] - Label

در ضمن نتایج به‌دست آمده با رفتار مورد انتظار مقایسه شود(اگر چنین مقایسه‌ای ضروری یا مفید است)، یا هر رفتار غیرعادی را توضیح دهید.

۹- جمع‌بندی

همه جمع‌بندی‌های خود را بر پایه نتایج حقیقی خود بنا نهید، مقصود آزمایش و استنباط از نتایج خود را توضیح دهید. نتایج را با توجه به اهداف بیان شده بررسی کنید. این بخش باید جواب این سوال را بدهد " به دنبال چه باشید تا جمع‌بندی را به روالی گسترده‌تر با توجه به نتایج انجام دهید؟" .

۱۰- مراجع

با استفاده از قالب‌بندی استاندارد، تمام منابع چاپ‌شده‌ای را که در طی انجام آزمایش و آماده‌سازی گزارش کار خود از آن استفاده نموده‌اید، ذکر کنید. نویسندگان، عنوان مقاله یا کتاب، نام مجله، ناشر، شماره صفحات و زمان چاپ ارائه شود. اگر یک منبع حاوی یک فهرست از مراجع باشد، باید به آن‌ها نیز در مکان‌های مناسب درگزارش ارجاع داده شود.

۱۱- پیوست

جزئیات تحلیل‌ها، محاسبات و ... که در متن اصلی گزارش به آن ارجاع داده شده‌است، باید در پیوست ارائه شود. اگر پیوست شامل بیش از یک عدد باشد، هر کدام از آن‌ها با حروف(پیوست(الف)، پیوست(ب) و ...) نشانه‌گذاری شده و در جدول محتوا فهرست شود.

۲- راهنمای دانشجویان برای تحلیل داده‌ها

۲-۱- دقت[1]، صحت[2] و خطای آزمایش[3]

انتقال داده‌ها یکی از جنبه‌های مهم در هر آزمایش است. شما باید بکوشید تا داده‌ها را تا حد امکان صحیح تحلیل کرده و ارائه دهید. به خاطر داشته باشید که در آزمایشگاه، هم وسایل اندازه‌گیری و هم روش اندازه‌گیری هرگز کامل نیستند. هر آزمایشی در معرض خطای آزمایش قرار دارد. گزارش‌های داده‌ها باید خطای آزمایش را برای همه مقادیر اندازه‌گیری شده توضیح دهد.

۲-۲- خطای آزمایش

خطای آزمایش بر روی دقت و صحت داده‌ها تأثیر می‌گذارد. دقت نشان می‌دهد که یک اندازه‌گیری چقدر به مقدار شناخته شده یا قابل‌قبول نزدیک است. برای مثال، فرض کنید که جرم یک نمونه معلوم ۵/۸۵ گرم باشد. اندازه‌گیری ۵/۸۱گرم دقیق‌تر از اندازه‌گیری ۶/۰۵ گرم است. صحت نشان می‌دهد که چندین اندازه‌گیری به چه مقدار یکدیگر نزدیک هستند. هرچه مقادیر اندازه‌گیری‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، صحت آن‌ها بالاتر است.

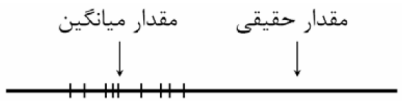
اندازه‌گیری‌ها می‌توانند صحیح باشند گرچه دقیق نیستید. مجدداً فرض کنید که نمونه با جرم مشخص ۵/۸۵گرم است. اندازه‌گیری‌ها صحیح است زیرا همهٔ آن‌ها نزدیک به یکدیگر هستند، اما هیچکدام از اندازه‌گیری‌ها دقیق نیستند، زیرا آن‌ها از جرم شناخته شده(معلوم) نمونه دور هستند.

۲-۲-۱ خطاهای سیستماتیک[4] (خطای ذاتی)

خطاهای سیستماتیک خطاهایی هستند که در هر زمان که شما یک اندازه‌گیری خاص را انجام می‌دهید، اتفاق می‌افتد. مثال‌های آن‌ها شامل خطاهای کالیبراسیون دستگاه‌ها و خطاهای ناشی از روش‌های کار و فرضیات ناقص هستند. این نوع خطاها مقادیر اندازه‌گیری شده را بیشتر یا کمتر از مقادیری می‌کنند که در غیاب خطاهای سیستماتیک حاصل می‌شود. یک مثال از خطاهای سیستماتیک می‌تواند زمانی رخ دهد که ابزار اندازه‌گیری به طور صحیح کالیبره نشده باشد. هر اندازه‌گیری که با این ابزار صورت می‌گیرد، غلط است. اگر خطای‌سیستماتیک وجود داشته باشد، اندازه‌گیری نمی‌تواند دقیق باشد. چند نمونه

[1] Accuracy
[2] Precision
[3] Experimental error
[4] systematic error

از خطای سیستماتیک در زیر آمده است.



شکل(۱)

۱- معیوب بودن وسیله اندازه گیری :ساده ترین نوع آن خطای صفر می باشد، کرنومتری که کمی کند کار می کند،

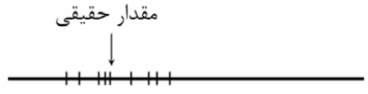
۲- ولت سنجی که محور عقربه آن دقیقا در مرکز صفحه مدرجش نباشد.

۳- اندازه گیری ارتفاع یک مایع در لوله وقتی از یک مقیاس متصل به لوله استفاده می کنیم و لوله دقیقا قائم نباشد:دراین حالت خطای ذاتی مثبت است و با افزایش ارتفاع زیاد می شود.

۴- اندازه گیری شتاب جاذبه زمین به وسیله یک سطح شیب دار که دارای اصطکاک می باشد ولی وجود آن فرض نشده باشد.

۲-۲-۲- خطاهای تصادفی[1]

خطاهای صادفی خطاهایی هستند که نمی‌توانند پیش‌بینی شوند. آن‌ها شامل خطاهای آزمایشگر در خواندن یک متر یا یک مقیاس و خطاهای ناشی از نوسانات شرایط آزمایشگاهی هستند. اگر خطاهای تصادفی در آزمایش کوچک باشند، می‌توان گفت که آزمایش صحیح است.



شکل(۲)

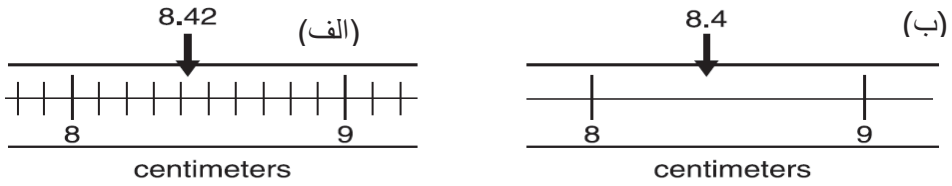
۲-۳- ارقام معنی‌دار[2]

داده‌هایی که در طی آزمایش ثبت می‌شود، باید فقط شامل ارقام معنی‌دار باشد. ارقام معنی‌دار اعدادی هستند که در اندازه‌گیری یا محاسبه معنی دارند. آن‌ها رقم‌های با معنی نیز نامیده می‌شوند. ابزارهای اندازه‌گیری که شما استفاده می‌کنید، تعداد ارقام معنی‌داری که شما باید ثبت نمایید را مشخص می‌کند. اگر شما از ابزارهای دیجیتال استفاده می‌کنید، مقدار اندازه‌گیری را دقیقاً همان‌گونه که بر روی صفحه

[1] Random error
[2] Singinificant fingures

نمایش داده می‌شود، ثبت کنید. اگر شما مجبور هستید نتیجه را از مقیاس خط‌کشی شده بخوانید، مقداری که شما ثبت می‌کنید باید شامل همه اعداد قطعی و یک عدد غیرقطعی باشد.

برای مثال، شکل(۳) اندازه‌گیری یکسانی که توسط دو مقیاس متفاوت انجام شده‌است را نشان می‌دهد. درشکل(۳- الف)، اعداد ۸ و ۴ قطعی هستند زیرا برروی مقیاس نشان داده شده‌اند ،عدد ۲ تخمینی است، پس عدد غیرقطعی است. این اندازه‌گیری سه رقم با معنا دارد، ۸/۴۲. مقیاس شکل(۳- ب)، ۸ و۹ را نشان‌دار ساخته‌است، ۸ قطعی است، اما شما باید عدد ۴ را تخمین بزنید، پس ۴ عدد غیرقطعی است. این اندازه‌گیری ۸/۴ سانتی‌متر است. گرچه شبیه اندازه‌گیری سمت چپ است، اما تنها دو رقم معنی‌دار دارد، زیرا نشانه‌گذاری‌ها از یکدیگر دورتر هستند.



شکل(۳): نمایشی از تشخیص ارقام بامعنا

۲-۳-۱- عدم قطعیت

عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها همیشه باید به یک رقم با معنا گرد شود. هنگامی‌که اندازه‌گیری‌ها با ابرازی انجام می‌شود که مقیاس خط‌کشی شده دارد، عدم قطعیت نیمی از دقت مقیاس است. نشانه‌گذاری دقت را مشخص می‌کند. در مقیاس سمت چپ شکل(۳) نشانه‌گذاری هر ۰/۱ سانتی‌متر صورت پذیرفته، بنابراین عدم قطعیت نیمی از آن(۰/۰۵سانتی‌متر) است. روش صحیح گزارش این اندازه‌گیری۸/۴۲±۰/۰۵ سانتی‌متر است . مقیاس شکل(۳-ب) هر یک سانتی‌متر نشانه‌گذاری شده‌است، بنابراین عدم قطعیت ۰/۵ سانتی‌متر است. روش صحیح گزارش این اندازه‌گیری ۸/۴±۰/۵ سانتی‌متر است. جدول (۱) قوانینی که باید در تعیین ارقامی‌که با معنا هستند، دنبال شوند را توضیح می‌دهد.

جدول(۱): قوانین تعیین تعداد ارقام بامعنا

مثال‌ها	قانون
۴/۷۳۵ km چهار رقم با معنا دارد ۵۷۳/۲۷۴ $in.$ شش رقم با معنا دارد	ارقام غیرصفر همیشه با معنا هستند
۰/۳۸ m دو رقم با معنا دارد ۰/۰۰۲ $in.$ یک رقم با معنا دارد	صفرهای قبل از اعداد دیگر با معنا نیستند

۴۲/۹۰۷ m پنج رقم با معنا دارد ۰/۰۰۷۰۶ $in.$ سه رقم با معنا دارد ۸/۰۰۵ km چهار رقم با معنا دارد	صفرهای بین دیگر اعداد با معنا است
۹۷۵/۳۸۱۰ cm هفت رقم با معنا دارد ۴۷۱/۰ m چهار رقم با معنا دارد	صفرهایی که سمت راست همهٔ اعداد دیگر باشد اگر سمت راست نقطهٔ اعشار باشد، با معنا است
۸۷۰۰ km حداقل دو رقم با معنا دارد، اما عدد دقیق مجهول است ۲۰ $in.$ حداقل دو رقم با معنا دارد، اما عدد دقیق مجهول است	تعیین آن‌که آیا صفرهای سمت راست دیگر اعداد بامعنا هستند، اگر اعداد هیچ نقطهٔ اعشاری نداشته باشند، غیرممکن است
۶۲۰/۰ km چهار رقم با معنا دارد ۵۱۰۰/۴ m پنج رقم با معنا دارد ۶۷۰/۰ $in.$ سه رقم با معنا دارد	اگر یک عدد با نقطه‌ی اعشار نوشته شود، صفرهای سمت راست همهٔ اعداد دیگر با معنا است.
۶/۰۲×۱۰^{۴} cm سه رقم با معنا دارد	تمام ارقامی که با نماد علمی نوشته می‌شوند، بامعنا هستند

۲-۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌تواند شامل محاسبات، همچون تقسیم جرم به حجم جهت تعیین چگالی، یا تفریق جرم ظرف از جرم کل اندازه‌گیری شده جهت تعیین جرم ماده باشد. استفاده از قواعد صحیح ارقام با معنا در طی این محاسبات به منظور جلوگیری از نتایج غلط یا گمراه‌کننده مهم است.

هنگامی‌که کمیت‌ها به یکدیگر افزوده یا از یکدیگر کم می‌شوند، عدد حاصل باید تعداد ارقام سمت راست اعشار برابر با کمینه تعداد ارقام سمت راست اعشار اعدادی را داشته باشد که به یکدیگر افزوده و یا از هم کم می‌شوند. جدول (۲) نشان می‌دهد که چگونه نتایج صحیح باید نوشته شود:

جدول(۲): مثال‌هایی از ارقام با معنا در جمع و تفریق داده‌های آزمایشگاهی

توضیح	مثال
نتیجه با یک رقم پس از اعشار نوشته می‌شود زیرا عدد ۳/۷ فقط یک رقم پس از اعشار دارد	$3.7\ \text{cm} + 4.6083\ \text{cm} = 8.3\text{cm}$
نتیجه دو رقم پس از اعشار دارد چون عدد ۶/۲۸ فقط دو رقم پس از اعشار دارد	$48.3506\ \text{m} - 6.28\ \text{m} = 42.10\ \text{m}$
نتیجه هیچ عددی پس از اعشار ندارد زیرا عدد ۸ هیچ رقمی پس از اعشار ندارد	$(8\text{km} - 4.2\text{km}) + 1.94\ \text{km} = 6\text{km}$

توجه کنید که نتایج جمع و تفریق تعداد صحیح رقم با معنا دارد اگر شما موقعیت اعشار را در نظر بگیرید. با ضرب یا تقسیم، نتیجه باید تعداد یکسان رقم با معنا برابر با کمینه رقم با معنای اعداد شرکت‌کننده در

محاسبه را داشته باشد. جدول (۳) نشان می‌دهد که چگونه نتایج مناسب باید نوشته شود:

جدول(۳): مثال‌هایی از ارقام با معنا در ضرب و تقسیم داده‌های آزمایش

توضیح	مثال
نتیجه با سه رقم با معنا نوشته شدهاست زیرا ۲/۳۰ سه رقم با معنا دارد	$5.246\text{in.} \times\ 2.30\ \text{in.} = 12.1\ \text{in.}^2$
نتیجه با دو رقم اعشار با معنا نوشته شدهاست زیرا *0/038* دو رقم با معنا دارد	$0.038\ \text{cm} \div\ 5.273\ \text{cm}\ = 0.0072$
نتیجه با دو رقم با معنا نوشته شدهاست زیرا ۲/۸ دو رقم بامعنا دارد(توجه نمایید که در این مثال استفاده از نماد علمی اجباری است زیرا ۲۱۰ تعداد غیرواضحی از ارقام با معنا دارد)	$76.34\ \text{m} \times 2.8\text{m}\ = 2.1\ \times 10^2\ \text{m}^2$

هنگامی‌که محاسبات شامل ترکیبی از عملیات‌ها است، شما باید یک یا دو رقم اضافه‌تر را در هر گام نگه دارید تا از خطای گرد کردن جلوگیری نمایید. در انتهای محاسبات، به تعداد صحیح ارقام با معنا گرد کنید. یک استثنای این قاعده هنگامی است که محاسبات شامل عدد دقیق باشد، همچون تعداد دفعاتی که توپ به زمین برخورد کرده و بازمی‌گردد یا تعداد امواجی که در یک بازهٔ زمانی از یک نقطه می‌گذرد. همانگونه‌که در مثالی که به دنبال می‌آید نشان داده شدهاست، اعداد دقیق را هنگامی‌که ارقام با معنی را در محاسبه تعیین می‌کنید، درنظرنگیرید.

❖ مثال

هنگامی‌که آزمایش قطره روغن ملیکان انجام می‌شود، در می‌یابید که یک قطره روغن سه الکترون اضافه دارد، بار کل قطره چقدر است؟

$$\text{بار} = \left(\text{تعداد الکترون ها}\right)\left(\text{بار هر الکترون}\right) \Rightarrow \text{q} = \text{ne} = (3\text{e})\left(1/6 \times 10^{-19}\frac{C}{e}\right) = 4/8 \times 10^{-19}C$$

هنگامی‌که تعداد ارقام با معنا را در پاسخ می‌یابیم، تعداد الکترون‌ها را فراموش می‌کنیم، زیرا یک عدد دقیق است.

۲-۵- میانگین[1] انحراف معیار[2] و خطای استاندارد[3]

شما می‌توانید عدم قطعیت در داده‌ها را با محاسبه میانگین و انحراف معیار محاسبه کنید. در ادامه توصیف این پارامترها و روابط ریاضی حاکم بر آن‌ها ارائه می‌شود.

۲-۵-۱- میانگین

میانگین یک مجموعه داده جمع همه مقادیر اندازه‌گیری‌شده تقسیم بر تعداد اندازه‌گیری‌ها است. اگر داده‌های شما نمونه‌ای از یک جمعیت[4] (بسیار بزرگتر از مجموعه داده‌ها) باشد، میانگینی که شما محاسبه می‌کنید تخمینی از میانگین جمعیت است. میانگین، $\overline{X}$ ، با استفاده رابطه فرمول تعیین می‌شود:

$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i = \frac{X_1+X_2+X_3+\cdots}{n} \qquad (۱)$$

که در آن X_1، X_2 و ... مقادیر اندازه‌گیری شده و n تعداد اندازه‌گیری‌ها است.

۲-۵-۲- انحراف از معیار

انحراف معیار مقیاسی از آن است که مقادیر داده‌ها چه میزان پراکنده شده‌اند. اگر اندازه‌گیری‌های شما مقادیر یکسانی داشته باشند، در نتیجه انحراف معیار شما کوچک خواهد بود و هرکدام از مقادیر نزدیک به میانگین هستند. اگر اندازه‌گیری‌های شما گستره‌ی وسیعی از مقادیر غیر یکسان باشند، در نتیجه انحراف معیار بزرگ خواهد بود و برخی از مقادیر نزدیک به میانگین هستند، اما بقیه از میانگین دور هستند. اگر شما تعداد زیادی اندازه‌گیری انجام دهید، سپس اکثریت اندازه‌گیری‌ها در میان یک انحراف معیار بالا یا زیر میانگین قرار می‌گیرند(بازه ی اطمینان[5] را برایت نمودار گستره‌های انحراف معیار ببینید).ازآن‌جا که انحراف معیار مقیاسی از عدم قطعیت است، باید طبق استاندارد تنها یک رقم با معنا را در نظر گرفت. انحراف معیار معمولاً با حرف یونانی سیگما، σ، برای داده‌هایی که یک نمونه از مجموعه جمعیت را دارد، و با حرف، S ، برای داده‌هایی که یک نمونه را شکل می‌دهد، نمایش داده می‌شود.

برای محاسبه انحراف معیار از این رابطه استفاده می‌شود:

$$\boldsymbol{S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(X_i-\overline{X}\right)^2}{n-1}}} \qquad (۲)$$

---

[1] - Mean
[2] - Standard Deviation
[3] - Standard Error
[4] - Sample of a populatin
[5] confidence

۲-۵-۳- خطای استاندارد

هنگامی‌که شما اندازه‌گیری یک کمیت را تکرار می‌کنید، خطای استاندارد، *SE*، یک مجموعه داده تخمینی‌از صحت آن اندازه‌گیری است. خطای استاندارد مقیاسی از عدم قطعیت می‌دهد، اما اگر تعداد زیادی از مقادیرداده‌ها را شامل شود. این موضوع انحراف معیار را کاهش می دهد.خطای استاندارد با استفاده از رابطه زیر، .محاسبه می‌شود:

$$\boldsymbol{SE = \frac{S}{\sqrt{n}}} \qquad (۳)$$

❖ مثال:

فرض کنید شما مقادیر زیر را برای دمای یک ماده اندازه‌گیری نموده‌اید:

آزمون	۱	۲	۳	۴
دما($^{\circ}C$)	۲۰/۵	۲۲/۰	۱۹/۳	۲۳/۰

مقدار میانگین داده

$$\boldsymbol{\overline{X} = \frac{\sum_{i=1}^{4} X_i}{4} = \frac{20.5+22.0+19.3+23.0}{4} = 21.2^{\circ}C} \qquad (۴)$$

است. انحراف معیار داده‌ها چنین است :

(۵)

$$\boldsymbol{S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \overline{X})^2}{(n-1)}} \Rightarrow S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{4}(X_i - \overline{X})^2}{(4-1)}}}$$

$$\boldsymbol{= \sqrt{\frac{(20.5-21.2)^2 + (22.0-21.2)^2 + (19.3-21.2)^2 + (23.0-21.2)^2}{3}}}$$

(گرد شده به یک رقم با معنا)

خطای استاندارد

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{1/63}{\sqrt{4}} = 0/8$$

(گرد شده به یک رقم با معنا) (۶)

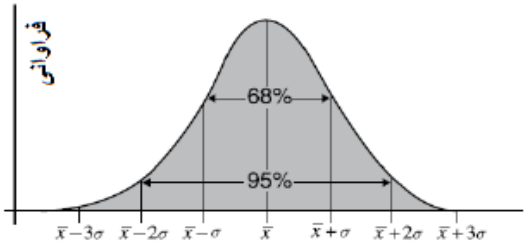
با استفاده از انحراف معیار، ما دما را به صورت $21/2 \pm 2^{\circ}C$ گزارش می‌دهیم. از آن‌جا که ما تعداد کمی داده داریم، انحراف معیار$2^{\circ}C$ نشان می دهد که اغلب مقادیر داده‌ها نزدیک مقدار میانگین هستند. ولی، اگر

ما تعداد زیادی ازاندازه گیری‌ها را انجام دهیم، انحراف معیار نشان می‌دهد که اکثریت مقادیر داده‌ها بین $19/2^{\circ}C$ و $23/2^{\circ}C$ قرار گرفته‌اند. به همین ترتیب، دما می‌تواند با استفاده از خطای استاندارد، $21/2 \pm$ $0.8^{\circ}C$ گزارش شود.

۲-۶- بازه‌های اطمینان

بازهٔ اطمینان گسترهای از مقادیر است که ***مقدار حقیقی***[1] احتمالاً در آن قرار دارد. اگر یک کمیت اندازه‌گیری شود، همچون جرم یک ایزوتوپ خاص، و این اندازه‌گیری چندین بار تکرار شود، انتظار می‌رود یک انحراف معیار کوچک در مقایسه با میانگین حاصل گردد، بنابراین بازهٔ اطمینان باریک است. یک بازهٔ اطمینان پهن در این حالت بر امکان(احتمال) خطاهای تصادفی در اندازه‌گیری‌ها دلالت دارد.

بازه‌های اطمینان با روش‌های مختلفی می‌تواند بیان شود. نمودار زیر روشی که معمولاً در فیزیک به‌کار برده می‌شود را نشان می‌دهد.



شکل(۴): نمایش روش معمول تعیین بازه اطمینان در فیزیک

این روش تنها برای داده‌هایی که توزیع نرمال شکل(۴) (زنگوله‌ای شکل[2]) دارند، به‌کار می‌رود، که به آن توزیع گاوسی گویند. میانگین در بیشینه‌ی توزیع قرارمی‌گیرد. بازه‌های اطمینان در هر دو سمت بیشینه، مضربی **از انحراف معیار از میانگین** را توصیف می‌کند درصد مرتبط با هر بازهٔ اطمینان(٪۶۸ و ٪۹۸ و ...) با محاسبه سطح زیر منحنی تعیین می‌شود.

گونه‌های متنوعی از انواع داده‌ها در موضوعات مختلف از توزیع منحنی زنگوله‌ای شکل پیروی می‌کند. در فیزیک، منحنی‌های گاوسی در اندازه‌گیری‌های مکرر یک مقدار، همچون اندازه‌گیری زمان واپاشی فلورسانس به‌کار می‌رود.

!!نکته: توزیع گاوسی شکل هنگامی‌که بیش از یک مقدار مرکزی انتظار می‌رود، یا زمانی‌که

[1] True Value
[2] Bell-Shaped

تنها تعداد کمی اندازه‌گیری صورت می‌پذیرد، مناسب نیست.

❖ **مثال**

در آزمایش زمان سقوط یک توپ کوچک از یک ارتفاع معین ($90/4\pm0/05cm$) چندین بار اندازه‌گیری شده است و اعداد زیر به دست آمده است:

T(s)	**0/34**	**0/41**	**0/37**	**0/41**	**0/42**	**0/89**	**0/37**	**0/49**	**0/43**	**0/40**	**0/41**	**0/47**

در بین این اعداد، عدد *0/89* خیلی پرت به نظر می رسد و می توان با ملاحظاتی آن را حذف کرد.

جالب است بدانید در این آزمایش خاص، علت اینکه این عدد به دست آمده، این است که کرنومتر توسط آزمایشگر صفر نشده واین عدد در واقع مجموع دو نتیجه متوالی می باشد.

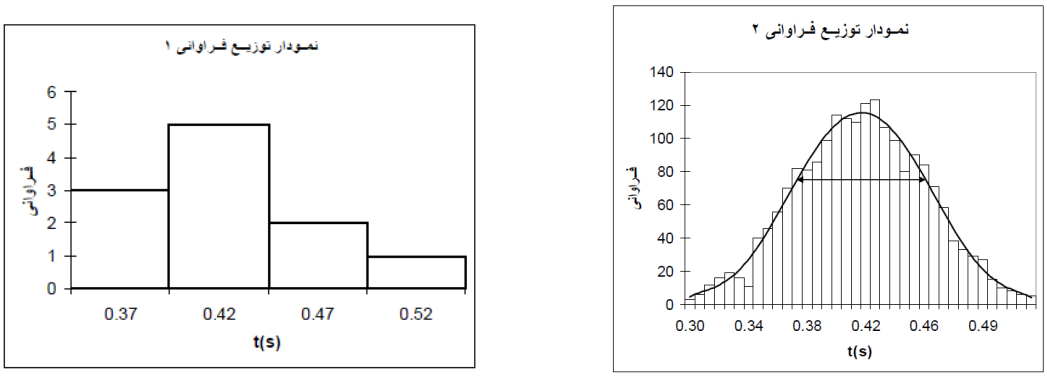
حال ۱۱ عدد داریم. میانگین این اعداد برابر است با:

$$\frac{0/34 + 0/41 + \cdots + 0/47}{11} = 0/41$$

اکنون چهار بازه مساوی متوالی تعریف کرده و تعداد اعدادی که در هر بازه هستند را شمرده و در جدولی یادداشت می کنیم.

بازه‌ها (s)	توزیع اعداد (فراوانی)
0/32-0/37	*3*
0/37-0/42	*5*
0/42-0/47	*2*
0/47-0/52	*1*

درشکل(۵) نمودار توزیع فراوانی۱، این فراوای‌های را به تصویر کشیده‌است. حال فرض کنید تعداد اندازه‌گیری‌ها افزایش پیدا کنند مثلا به دو هزار بار برسند .اکنون درشکل(۵) نمودار توزیع فراوانی۲، فراوانی این اندازه‌گیری‌ها را نشان می‌دهد



شکل(۵):نمودار توزیع فراوانی۱ و۲

۲-۷- پراکندگی خطا[1]

اگر محاسبات شما شامل نتایج دو یا چند اندازه‌گیری باشد، شما باید عدم قطعیت ترکیبی[2] اندازه‌گیری را بیان کنید.

عدم قطعیت ترکیبی کمیاتی که با یکدیگر جمع یا تفریق می‌شوند، ریشه دوم جمع مربعات عدم قطعیت‌های مجزا است، اگر به عنوان مثال، شما کمیت $K = F + G - H$ را که در آن F ، G، H ، مقادیر اندازه‌گیری شده است، محاسبه کنید، عدم قطعیت آن‌ها $\Delta F، \Delta G، \Delta H$ است که در آن نماد Δ ، در این حالت، ”عدم قطعیت“ معنا می‌شود. پس، عدم قطعیت K ،

$$\Delta K = \sqrt{(\Delta F)^2 + (\Delta G)^2 + (\Delta H)^2} \qquad (۷)$$

❖ مثال

فرض کنید شما جرم دو جسم را $3/18 \pm 0/01\ kg$ و $2/184 \pm 0/001\ kg$ اندازه گرفته‌اید، عدم‌قطعیت ترکیبی

$$\Delta m_{Combined} = \sqrt{(\Delta m_1)^2 + (\Delta m_2)^2} = \sqrt{(0/01)^2 + (0/001)^2} = 0/01 \qquad (۸)$$

است. حاصل‌جمع دو جرم سه رقم با معنا دارد و آن باید به صورت $5/36 \pm 0/01\ kg$ شود.

برای محاسبه عدم قطعیت ترکیبی کمیاتی که در یکدیگر ضرب یا بر یکدیگر تقسیم می‌شوند، عدم قطعیت باید تقسیم بر مقادیر میانگین شود. فرض کنید $K = F \times G \div H$ باشد،عدم قطعیت ترکیبی هنگامی‌که ضرب یا تقسیم می‌شوند، چنین است:

[1] Propagation error
[2] Combined Unceryainty

$$\Delta K = |K|\sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2} \qquad (۹)$$

❖ مثال

فرض‌کنید می‌خواهید اندازهٔ شتاب جسمی را محاسبه کنید. شما نیروی خالص وارد بر جسم را، $F = 1/49 \pm 0/03\ N$ ، جرم را $m = 3/42 \pm 0/01\ kg$ ، اندازه‌گیری نموده‌اند.شتاب بدون عدم قطعیت برابر

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1/49N}{3/42kg} = 0/436\ {}^{m}/_{s^2} \qquad (۱۰)$$

است. عدم قطعیت ترکیبی

$$a = |a|\sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2} = |0/435|\sqrt{\left(\frac{0/03}{1/49}\right)^2 + \left(\frac{0/01}{3/42}\right)^2} = 0/009\,\frac{m}{s^2} \qquad (۱۱)$$

شتاب باید به صورت $0/436 \pm 0/009\frac{m}{s^2}$ ثبت شود.

۲-۸- نتایج مقایسه: درصد تفاوت[1] و درصد خطا[2]

اگر گروه‌های آزمایشگاهی دو مقدار مختلف را برای یک کمیت مورد آزمایش اندازه‌گیری کنند،شما باید علاقمند باشید تا بدانید چگونه مقادیر را با یکدیگر مقایسه می‌کنید. به عنوان مثال، یک اختلاف بزرگ، می‌تواند نشاندهنده خطاها در اندازه‌گیری یا دیگر تفاوت‌ها در روش‌های اندازه‌گیری باشد. مقایسه مقادیر اغلب درصد تفاوت را بیان می‌کند، که به صورت مقدار مطلق اختلاف تقسیم بر میانگین، و ضرب نتیجه در صد توصیف می‌شود:

$$\text{درصد تفاوت} = \left|(\text{مقدار اول} - \text{مقداردوم})/(0.5 \times (\text{مقدار اولیه} + \text{مقداردوم}))\right| \times 100. \qquad (۱۲)$$

شاید شما بخواهید مقدار تئوری یا موردانتظار را با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید، تا بدانید که آیا مقدار شما به مقدار معلوم نزدیک یا از آن دور است. این موضوع می‌تواند مشخص کند که آیا روش آزمایش شما معتبر است یا خیر؟ در این حالت شما می‌توانید درصد خطا را مشخص کنید، که به صورت قدرمطلق اختلاف مقداراندازه‌گیری شده و مقدار قابل انتظار تقسیم بر مقدار مورد انتظار، ضربدر *100* توصیف می‌شود:

[1] Percent difference
[2] Percent error

$$\text{درصد خطا} = \left|\frac{\text{مقدار موردانتظار} - \text{مقدار اندازه‌گیری‌شده}}{\text{مقدار موردانتظار}}\right| \times 100 \qquad (۱۳)$$

توجه کنید که هنگامی‌که مقدار موردانتظار خیلی کوچک باشد، درصدخطا خیلی بزرگ می‌شود زیرا تقسیم بر یک عدد خیلی کوچک اتفاق می‌افتد. هنگامی‌که مقدار موردانتظار صفر باشد، این کمیت تعریف نشده‌است و درصد خطا در این حالت کمیت مفیدی نیست.

۲-۹- نمودارها

نمودارها اغلب روشی عالی برای ارائه و تحلیل داده‌ها هستند، هنگامی که نموداری را رسم می‌کنید، راهنمایی‌هایی[1] وجود دارند که باید از آن پیروی نمایید تا در حد امکان موضوع را واضح کند:

- ✓ هر محور باید با نام و واحد متغیری که در آن راستا تعریف و ثبت شده مشخص شود.
- ✓ هر محور باید شامل تعداد قابل‌قبولی از علامت‌گذاری در هر بازه باشد. وجود تعداد زیادی علامت‌گذاری، نمودار را شلوغ و خواندن آن را سخت می‌کند. تعداد کم علامت‌گذاری سبب می‌شود که نقاط داده به سختی تعیین شود.
- ✓ به طور معمول، نمودارها باید با عنوان یا زیرنویس همراه باشند.

۲-۱۰- متغیرهای وابسته و مستقل

هنگامی‌که شما داده‌ها را به صورت نمودار رسم می‌کنید، اغلب متغیر وابسته را بر حسب متغیرمستقل رسم می‌کنید. متغیر مستقل بر روی محور x و متغیر وابسته بر روی محور y رسم می‌شود. یک **متغیرمستقل** متغیری است که با دیگر متغیرهایی که شما سعی می‌کنید اندازه بگیرید تغییر نمی‌کند. برای مثال، زمان اغلب متغیر مستقل است: در سینماتیک، فاصله، سرعت و شتاب وابسته به زمان هستند، اما بر روی زمان تأثیر نمی‌گذارند. **یک متغیر وابسته** متغیری است که وابسته به دیگر متغیرها است. برای مثال، در حرکت شتاب ثابت، موقعیت جسم با زمان تغییر می‌کند، پس موقعیت جسم وابسته به زمان بوده و یک متغیر وابسته است.

۲-۱۱- داده‌های ترسیمی به صورت یک خط مستقیم

هنگامی‌که یک نمودار بر روی محورهای x-y رسم می‌شود، ساده‌ترین رابطه‌ای که می‌توان وجود

[1] Guideline

داشته‌باشد، یک خط راست است. نقاط داده‌های رسم شده به صورت یک خط راست مفید است، زیرا شما به راحتی‌می‌توانید ببینید که نقاط داده به یک خط تعلق دارند. یک خط فهم روابط داده‌ها را آسان می‌نماید.

شما می‌توانید داده‌ها را بر روی نمودار به صورت خط راست نمایش دهید تا بتوانید شیب،m و عرض از مبدا،b، را در معادله خطی $y = mx + b$ و مشخص نمایید. شیب مقیاسی از آن است که y چگونه با تغییرx، تغییر می‌کند، یعنی،$m = \frac{\Delta y}{\Delta x}$. عرض از مبدا جایی است که خط از محور y می‌گذرد (یعنی جایی که $x=0$ است.)

۲-۱۲- خطی نمودن داده‌ها

حتی اگر داده‌هایی که شما اندازه‌گیری نموده‌اید، رابطهٔ خطی نداشته باشند، شما می‌توانید آن را باتغییر شکل (فرم) متغیرها در نمودار خود به صورت خط راست رسم کنید. یک روش تغییر رابطه به‌گونه‌ای است که با تغییر شکل‌متغیر رابطه‌ای به فرم $y = mx + b$ حاصل شود. برای توان‌های x، داده‌ها به شکل $y = Ax^c + b$ است. برای خطی نمودن این داده‌ها،x^c را در معادله با u جایگزین نموده وy را بر حسب $u(x^c)$ رسم کنید، اینگونه معادله خطی می‌شود. در این حالت نموداری خطی حاصل می‌شود. برای مثال برای رسم نمودار انرژی جنبشی KE، بر حسل سرعت، V، برای تابع $KE = \frac{1}{2}mV^2$، همانند شکل(۶-الف) تابعی سهموی حاصل می‌شود. اما، اگر متغیر محور افقی را باV^2 جایگزین کنید، نمودار خطی خواهد شد، همانند آن‌چه در شکل(۶-ب) نشان داده شده است.

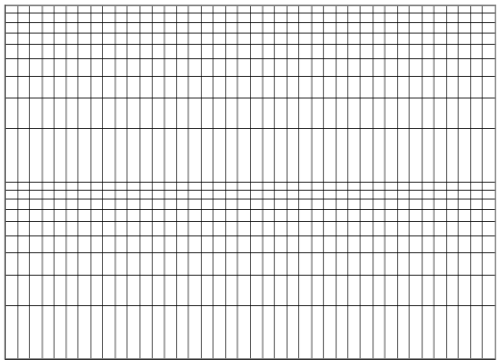
(الف) (ب)

شکل(۶) (الف) نمودار انرژی جنبشی بر حسب سرعت، (ب) الف نمودار انرژی جنبشی بر حسب مجذورسرعت

۱-۱۲-۲- رسم نمودار روی کاغذ نیمه لگاریتمی:

اگر داده‌ها نمایی باشد، به صورت $y = Ae^{bx}$ ، یا اگر توانی از x باشد، به صورت $y = ax^n$ ، از هر دو طرف معادله لگاریتم می‌گیریم تا شکل خطی حاصل شود. برای داده‌های نمایی، معادله‌ای که شما به‌دست می‌آورید، $ln(y) = ln(A) + bx$ است. داده ها یک خط با عرض از مبدا $ln(A)$ و شیب b را تقریب می‌زند، که می‌توان آن را روی کاغذ میلیمتری رسم کرد . در این صورت از شیب نمودار می توان b و از عرض از مبداء نمودار به دست آمده می توان A را محاسبه کرد.

روش دیگر برای رسم این نمودار این است که y برحسب x را روی *کاغذ نیمه لگاریتمی* رسم کرد، شکل (۷)، به‌طوری که کمیت y را روی محور عمودی که به‌صورت لگاریتمی تقسیم بندی شده‌است، و کمیت x روی محور افقی که به‌صورت میلی‌متری (یا چند میلی‌متری) مدرج شده‌است، مشخص می‌شود. در این‌صورت b شیب خط و A عرض از مبدا آن خواهد بود.



شکل(۷): کاغذ نیمه لگاریتمی

مراحل رسم نمودار محاسباتی روی کاغذ نیمه لگاریتمی نظیر رسم روی کاغذ میلی‌متری است با این تفاوت که نحوه درجه‌بندی و شیب کمی متفاوت است. از آنجا که لگاریتم اعداد روی محور لگاریتمی درجه‌بندی معمول را نمایش می‌دهند، مبداء محور لگاریتمی را می‌توان عدد ۱ انتخاب نمود ($\log 1 = 0$). همچنین محور لگاریتمی از سه قسمت عمده تشکیل شده‌استکه هر یک از آنها را یک سیکل می‌نامند. سیکل اول را می توان از۱ تا ۱۰ ، سیکل دوم را از۱۰ تا ۱۰۰ و سیکل سوم از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه‌بندی نمود. اگر داده‌های جدول شامل اعداد کوچک‌تر از ۱ و مثلاً بزرگ‌تر از ۰/۱ یا ۰/۰۱ باشد مناسب است مبدا محور لگاریتمی را ۰/۱ یا ۰/۰۱ گرفت. شیب خط در کاغذ نیمه‌لگاریتمی با انتخاب دو نقطه‌ی B و C روی خط از

رابطه‌ی $b = \frac{(y_C - y_B)/l_c}{(x_C - x_B)/x_\circ}$ به دست می‌آید، که در آن l_c فاصله سیکل اول محور لگاریتمی تا مبدا است و این طول سیکل محور لگاریتمی با خط‌کش اندازه‌گیری می‌شود و $x_\circ$ مقیاس محور میلی‌متری افقی است مقدار $(y_C - y_B)$ نیز با خط‌کش اندازه‌گیری می‌شود. برای محاسبه عرض از مبداء نمودار باید خط رسم شده را امتداد دهیم تا محور لگاریتمی را قطع نماید. سپس به کمک خط‌کش محل تقاطع را تا مبداء اندازه گیری کرده و بر طول سیکل l_c تقسیم می‌کنیم.

۲-۱۲-۲- رسم نمودار روی کاغذ تمام لگاریتمی:

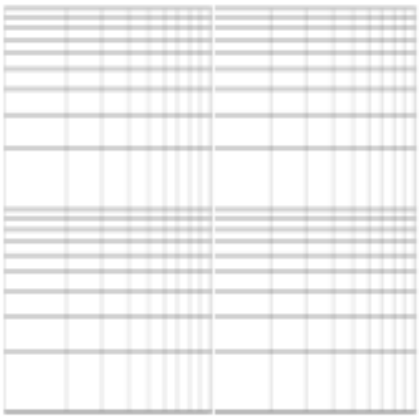
به طور مشابه، برای یک معادله با توان x، از دو طرف معادله $y = ax^n$ لگاریتم می‌گیریم که منجر به $log(y) = log(a) + n\,log(x)$ می‌شود. اگر شما $log(y)$ زا بر حسب $log\,x$ رسم کنید، داده‌ها یک خط با عرض از مبدا $log(a)$ و شیب n را تقریب می‌زند. همانند آن‌چه در شکل‌های(۸-الف) و (۸-ب) نمایش داده شده است.

(ب) (الف)

شکل (۸): نمودار تابعی توانی به شکل $y = ax^n$، الف) پیش از خطی‌سازی، ب) پس از خطی‌سازی

اگر y بر حسب x را روی کاغذ تمام لگاریتمی (که هر دو محور به صورت لگاریتمی مدرج شده‌اند) رسم کنیم، آنگاه n از شیب نمودار رسم شده و a از عرض از مبداء نمودار به‌دست می‌آید. رسم نمودار و درجه بندی مشابه حالت نیمه لگاریتمی است با این تفاوت که در این حالت شیب نمودار از رابطه زیر به‌دست می‌آید

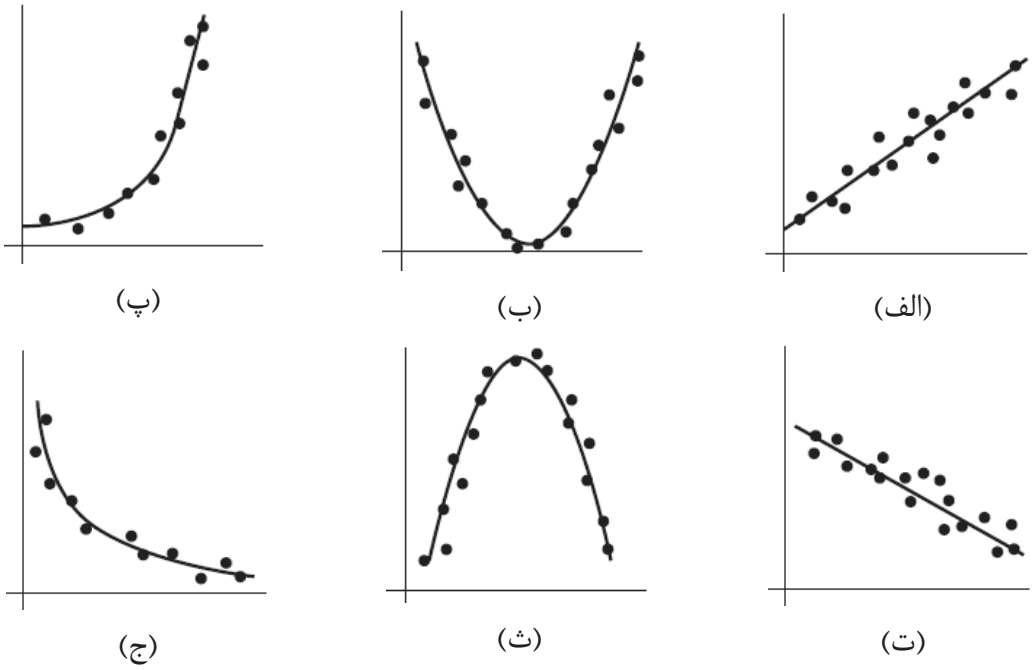
$b = \frac{(y_C - y_B)/l_c}{(x_C - x_B)/\acute{l}_c}$ که در آن l_c و $\acute{l}_c$ به ترتیب طول سیکل روی محور عمودی و افقی است که با خط‌کش برحسب میلی‌متر یا سانتی‌متر اندازه‌گیری می‌شود.



شکل (۹) کاغذ تمام لگاریتمی

۲-۱۳- تطبیق منحنی[1]

یکی از روش‌های مفید تحلیل داده‌ها تعیین آن است که آیا متناظر با مدل ریاضی خاصی است یا خیر؟ اولین قدم، رسم نقاط و دیدن آن است که آیا روند قابل تشخیصی را همچون یک روند خطی، درجه دوم یا تابع نمایی دنبال می‌کند یا خیر؟ نمودارهای شکل(۱۰) مثال‌هایی از این انواع را نشان می‌دهند.



شکل(۱۰) طرحی از رفتار (الف) و (ت) خطی، (ب) و (ث) درجه دو و (پ) و (ج) نمایی داده‌های آزمایش

[1]Curve fiting

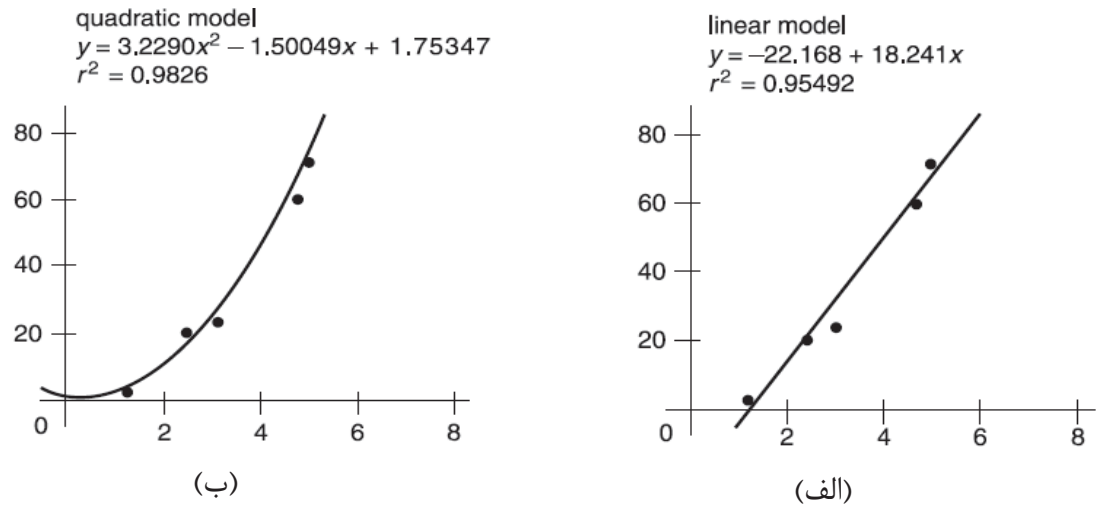
معادله عمومی یک تابع خطی $y = mx + b$ که در آن m شیب و b عرض از مبدا (محل برخورد خط با محور y) است. برای مثال، یک تابع خطی در فیزیک وابستگی سرعت به زمان برای،یک جسم متحرک با شتاب ثابت، $V = V_0 + at$ است، که در آن شتاب a،عرض مبدا است.

معادله عمومی یک تابع خطی یک تابع درجه دوم $y = ax^2 + bx + c$ است، که در آن a، b وc ثابت‌های دلخواه هستند..یک مثال از تابع درجه دودر فیزیک انرژی پتانسیل فنر، $U = \frac{1}{2}kx^2$، است که در آن x فاصله فنری است که حالت تعادل کشیده شده k، ثابت فنر است، در این bو c صفر است. مثال دیگری از یک تابع درجه دو موقعیت به صورت تابعی از زمان برای جسم با شتاب ثابت، $X = \frac{1}{2}ax^2 + V_0x +$ X_0، که در آن a شتاب، V_0 سرعت اولیه و X_0 موقعیت اولیه است. معادلهٔ عمومی یک تابع نمایی $y = Ae^{bx}$ که در آن Aو b ثوابت دلحواه هستند. یک مثال تابع نمایی که‌در فیزیک تعداد ذرات رادیواکتیو باقی‌مانده پس از یک زمان خاص از واپاشی رادیواکتیو $N = N_0e^{-\lambda t}$ که در آن تعداد ذرات اولیه،λ نرخ واپاشی است. اگر به وضوح خطی باشد، یا اگر شما می‌توانید با خطی سازی داده‌ها را رسم کنید، شما می‌توانید با یک لبه صاف بهترین خط تطبیق‌یافته را که تقریباً تعداد نقاط بالا و پایین حط یکسان است، رسم کنید بهتر است. جهت رسم دقیق خط، روش تطبیق حداقل مربعات[1] را مطالعه نموده و به‌کار برید.

اگر یک معادلهٔ دقیق‌تر مطلوب باشد، یا داده‌ها به وضوح از یک الگوی خطی پیروی نکنند، می‌توانید ازکامپیوتر برای تطبیق داده به مدل ریاضی استفاده نمایید (که البته درآزمایشگاه تمام دانشجویان باید از برنامه‌های کامپیوتری همچون *EXCEL*، *MATLAB* و... جهت رسم نمودار استفاده کنند) در این حالت، شما داده‌ها را وارد نموده و مدلی را که فکر می‌کنید بهترین تطبیق را بر داده‌ها دارند، انتخاب می‌کنید. این تجزیه و تحلیل رگرسیون[2] نامیده می‌شود. تجزیه و تحلیل رگرسیون یک روش معمول تطبیق منحنی است که تحلیلی که با استفاده از این روش انجام می‌شود، پارامترهای معادله‌ای که برای تطبیق انتخاب نموده‌اید و همچنین پارامترهایی را که توضیح می‌دهد که با چه دقتی داده بر مدل تطبیق یافته‌است، را ارائه می‌دهد. نمودارهای شکل(۱۱- الف) و (۱۱- ب) داده‌های یکسانی را نشان می‌دهد که مدل خطی و درجه دوم به آن تطبیق یافته‌است. مقدار r^2 ضریب تشخیص[3] (ضریب تعیین کننده) است. این ضریب دلالت بر

[1] Least Square fiting
[2] Regression analyas
[3] Coefficient of determiniation

تطبیق بهتر دارد. در مثال زیر هر دو مدل تطبیق خوبی بر داده‌ها دارند،اما مقادیر r^2 نشان می دهد که مدل معادله دوم تطبیق بهتری دارد.



شکل(۱۱): تطبیق دومعادله‌ی متفاوت(خطی ودرجه دو) بر یک مجموعه داده و بررسی دقت تطبیق معادلات برآن‌ها

در ادامه روش رسم نمودار در نرم افزار *EXCEL* توضیح داده می‌شود.

۲-۱۴- راهنمای رسم نمودار به کمک نرم‌افزار EXCEL

همان‌گونه که ذکر شد، نرم افزار *EXCEL* از جمله نرم افزارهایی است که به کمک آن می‌توانید محاسبات مورد نیاز و از همه مهم‌تر رسم نمودارهای مربوط به آزمایشات خود را انجام دهید. در ادامه به اختصار روش رسم نمودار در این نرم افزار توضیح داده می‌شود. اگر داده‌های یک آزمایش در اختیار باشند، برای رسم نمودار کافی است مقادیر x و y مربوط به آزمایش را در دو ستون مجزا در خانه‌های یک صفحهٔ کار[1]اکسل از داده‌های مربوط به رابطهٔ مقاومت خازنی با فرکانس تولیدکننده سیگنال سینوسی استفاده می‌شود، که داده‌های مرتبط با آن در جدول (۴) ارائه شده‌است.

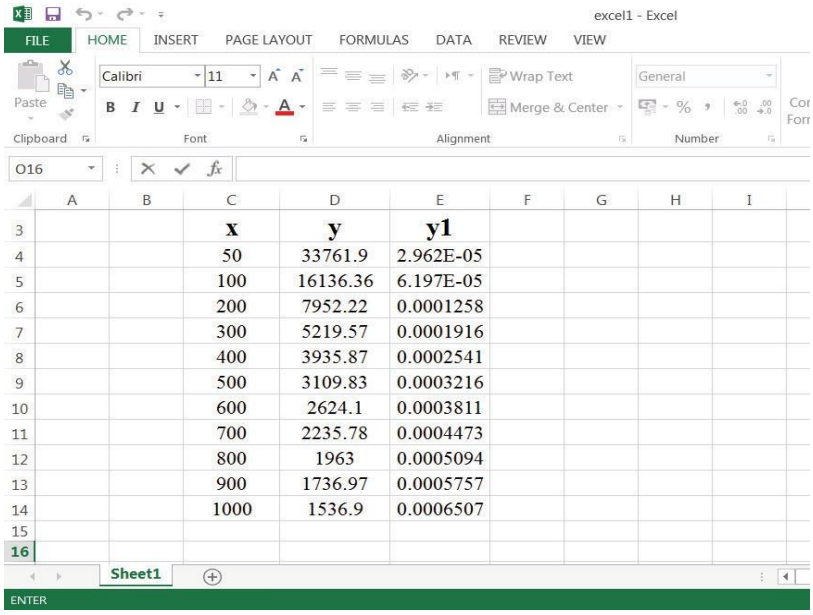
جدول(۴): داده‌های مرتبط با بررسی رفتار مقاومت خازنی با تغییر فرکانس

f(Hz)	$X_c(\Omega)$
50	*33761/90*
100	*16136/36*

[1] Sheet

200	*7952/22*
300	*5219/57*
400	*3935/87*
500	*3109/83*
600	*2624/10*
700	*2235/78*
800	*1963/00*
900	*1736/97*
1000	*1536/90*

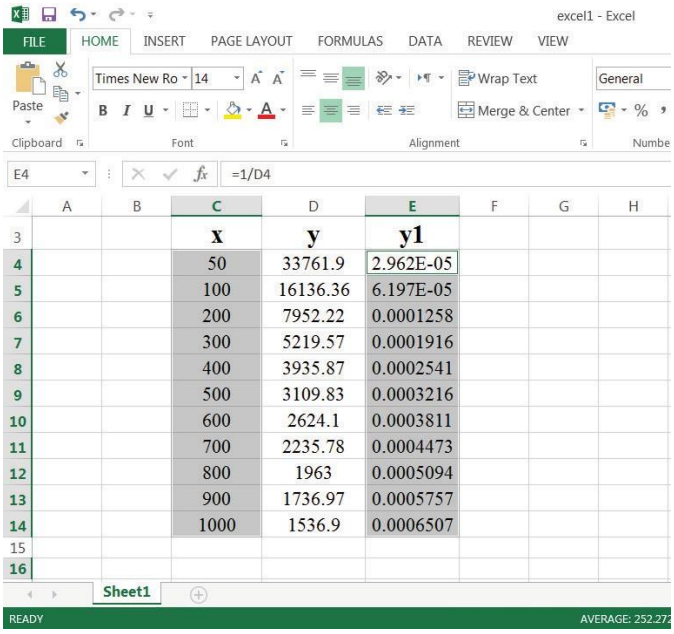
با توجه به این‌که رابطه فرکانس با مقاومت خازنی غیرخطی بوده و مقاومت خازنی متغیر وابسته و فرکانس متغیر مستقل است، نیاز به خطی نمودن نمودار است. در ستون سوم این خطی‌سازی صورت گرفته و $\frac{1}{X_c}$ در آن محاسبه شده‌است.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
3			**x**	**y**	**y1**				
4			50	33761.9	2.962E-05				
5			100	16136.36	6.197E-05				
6			200	7952.22	0.0001258				
7			300	5219.57	0.0001916				
8			400	3935.87	0.0002541				
9			500	3109.83	0.0003216				
10			600	2624.1	0.0003811				
11			700	2235.78	0.0004473				
12			800	1963	0.0005094				
13			900	1736.97	0.0005757				
14			1000	1536.9	0.0006507				
15									
16									

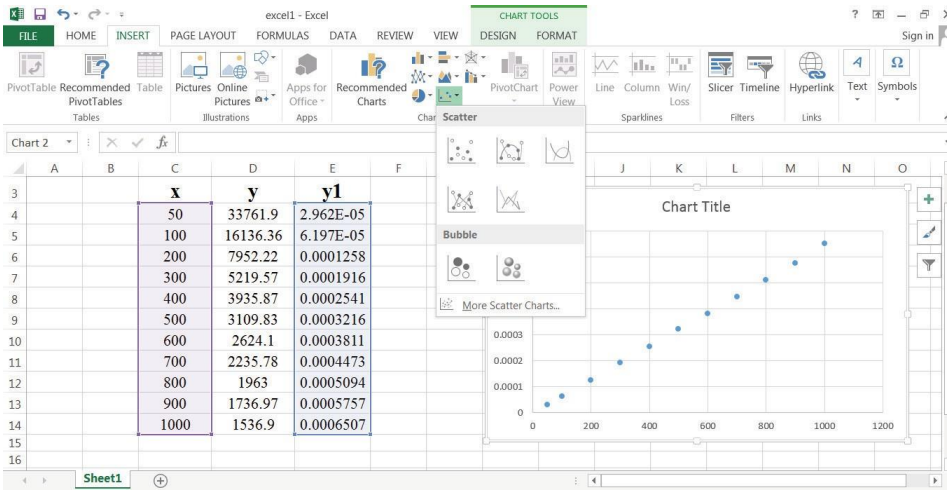
شکل(۱۲) وارد کردن داده‌ها در صفحه *EXCEL*

سپس هر دو ستون داده‌ها را (x, y_1)مطابق شکل(*13*) انتخاب می‌کند.



شکل(13): انتخاب داده‌ها در صفحه *EXCEL*

حال از منوی بالا صفحه *Insert* را انتخاب نموده و سپس از منوی *Charts* بر روی گزینه‌ی *Scatter* کلیلک کرده و اولین حالت را انتخاب کنید[۱].



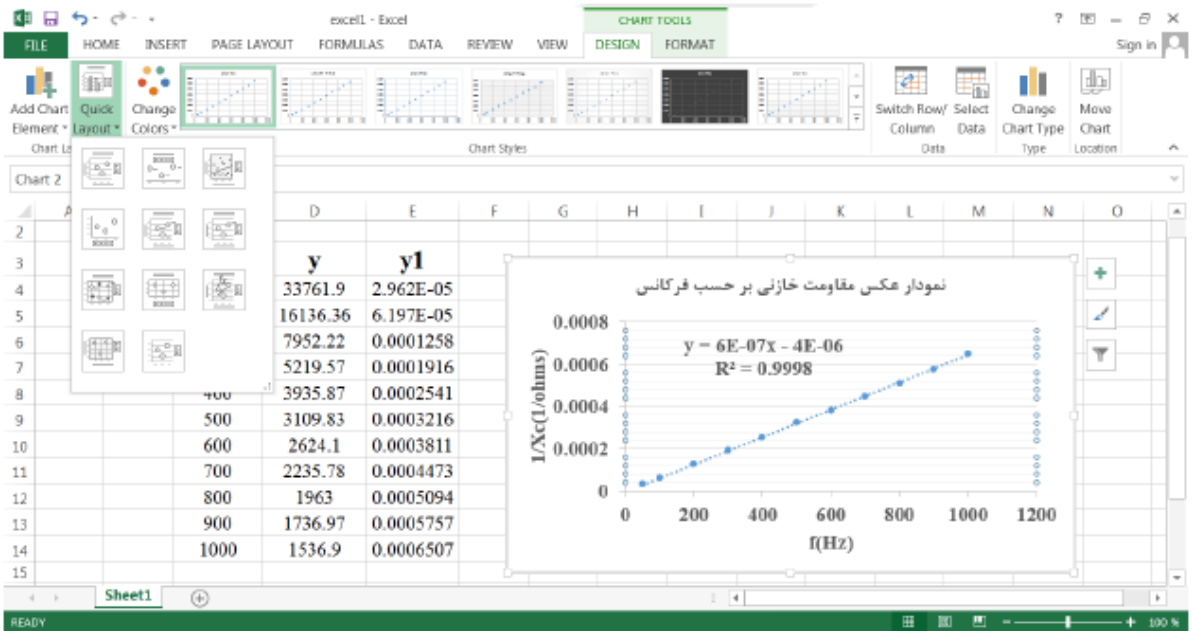
شکل(14): انتخاب کردن نحوه رسم داده‌ها در صفحه *EXCEL*

مطابق شکل(۱۴) یک نمودار از نقاط گسسته ظاهر خواهد شد که بیانگر داده‌ها (x, y_1) است.

با کلیک بر روی آیکون *Chart Tools* بخش *Desing* می‌توانید بر روی بخش *Quick Layout* کلیک نموده

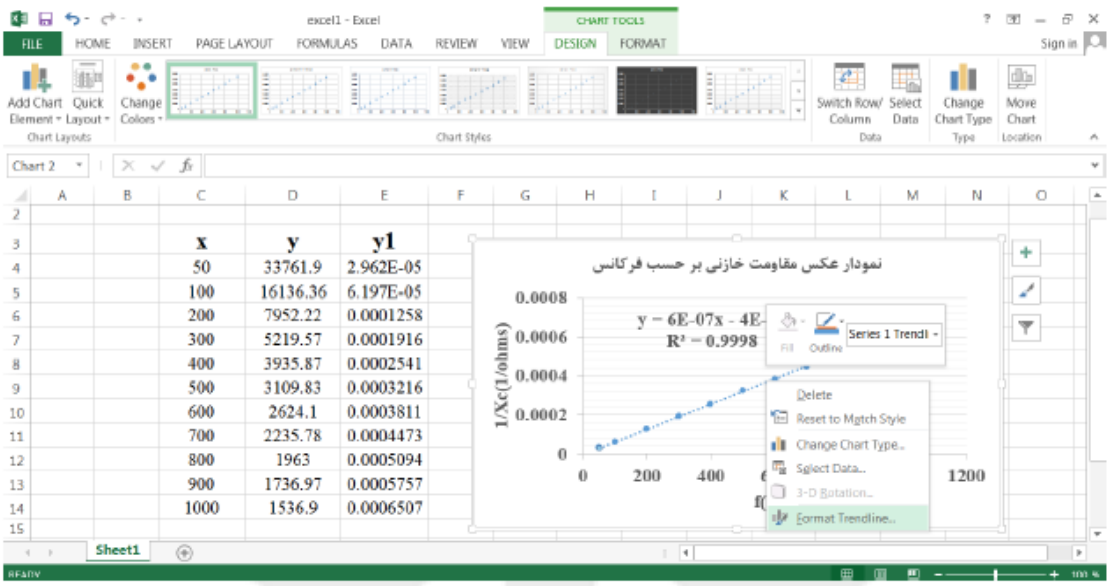
[۱]- لازم به ذکر است که وابسته به نسخه نرم‌افزار اکسل ممکن است اندکي محل قرار گيري آيکون‌ها متفاوت باشد.

و گزینه مناسب را انتخاب نمایید. گزینه مناسب گزینه‌ای است که اطلاعات کامل را روی نمودار ارائه دهد.باید بتوانید عنوان محورها را مشخص نموده و اطلاعات مربوط به عنوان نمودار و آن‌چه در بخش آماده‌سازی گزارش کار آمده‌است را وارد کنید.

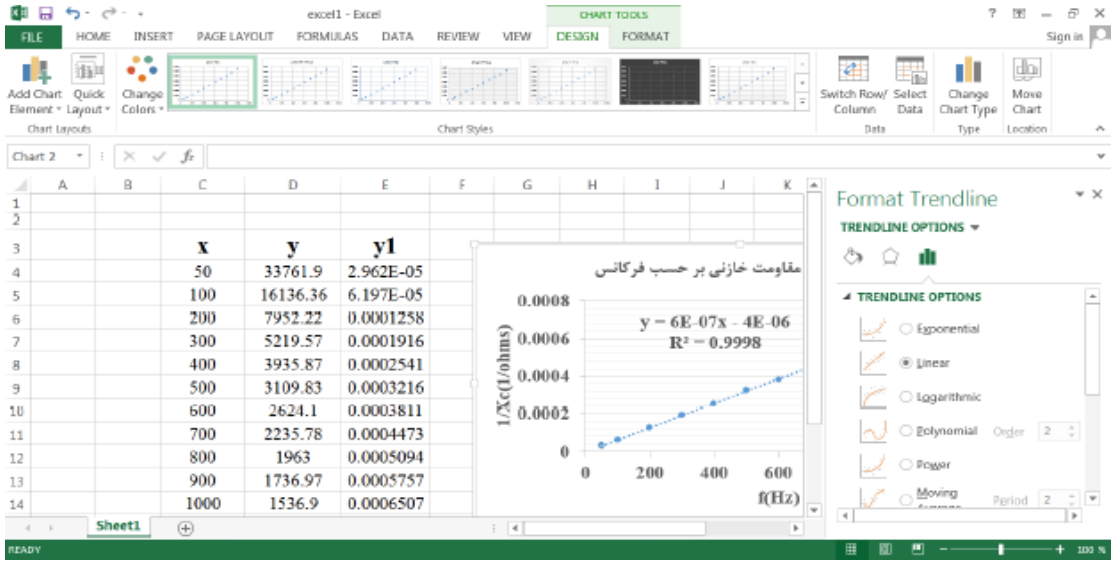


شکل (۱۵) انتخاب نوع مناسب *Layout* در نمودار رسم‌شده در نرم‌افزار *EXCEL*

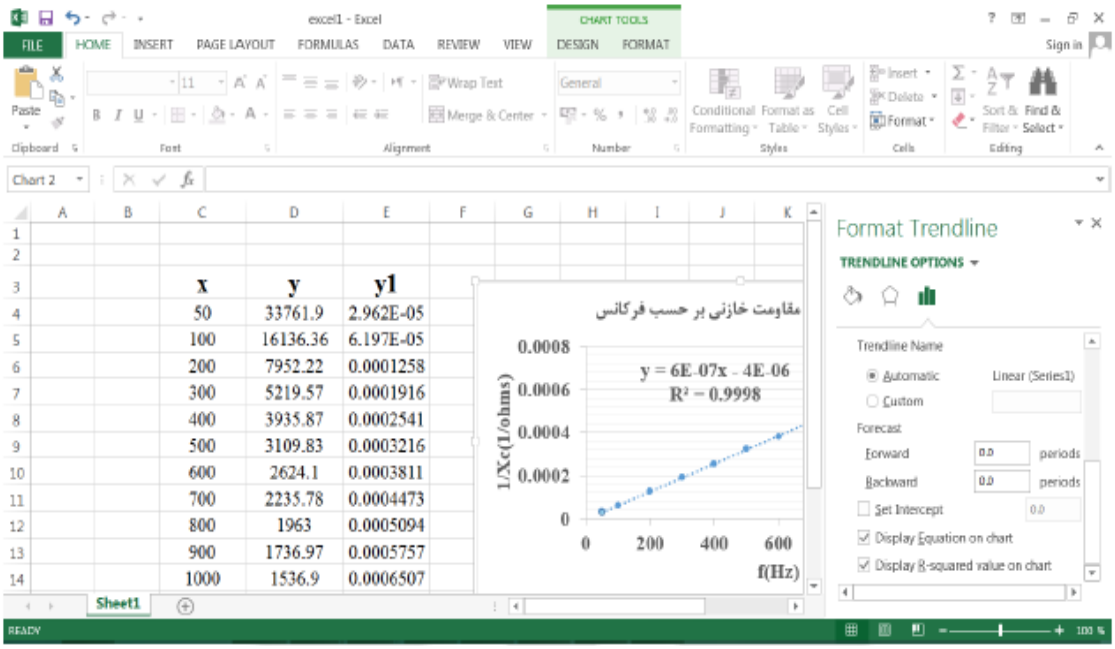
درنرم‌افزارهای نسخه جدید شما می‌توانید پس از کلیک برروی نمودار و انتخاب گزینه *Format Trendline* نوع منحنی‌ای که می‌خواهید بر داده‌های خود تطبیق دهید مشخص کنید. شکل(۱۶- الف) مرحله انتخاب گزینه *Format Trendline* و شکل (۱۶- ب) و شکل (۱۶- ج) برخی از گزینه‌های موجود را نشان می‌دهد. در این بخش شما می‌توانید انتخاب کنید که آیا می‌خواهید اطلاعاتی همچون معادله منحنی تطبیق‌یافته را روی شکل داشته باشید یا خیر؟


excel1 - Excel
CHART TOOLS
FILE
HOME
INSERT
PAGE LAYOUT
FORMULAS
DATA
REVIEW
VIEW
DESIGN
FORMAT
Sign in
Add Chart Element
Quick Layout
Change Colors
Chart Layouts
Chart Styles
Switch Row/ Column
Select Data
Change Chart Type
Move Chart
Data
Type
Location
Chart 2
x
y
y1
50 33761.9 2.962E-05
100 16136.36 6.197E-05
200 7952.22 0.0001258
300 5219.57 0.0001916
400 3935.87 0.0002541
500 3109.83 0.0003216
600 2624.1 0.0003811
700 2235.78 0.0004473
800 1963 0.0005094
900 1736.97 0.0005757
1000 1536.9 0.0006507
نمودار عکس مقاومت خازنی بر حسب فرکانس
y = 6E-07x - 4E-
R² = 0.9998
Series 1 Trendl
Fill
Outline
Delete
Reset to Match Style
Change Chart Type...
Select Data...
3-D Rotation...
Format Trendline...
1/Xc(1/ohms)
0.0008
0.0006
0.0004
0.0002
0
0
200
400
1200
Sheet1
READY

(الف)


excel1 - Excel
CHART TOOLS
FILE
HOME
INSERT
PAGE LAYOUT
FORMULAS
DATA
REVIEW
VIEW
DESIGN
FORMAT
Sign in
Add Chart Element
Quick Layout
Change Colors
Chart Layouts
Chart Styles
Switch Row/ Column
Select Data
Change Chart Type
Move Chart
Data
Type
Location
Chart 2
x
y
y1
50 33761.9 2.962E-05
100 16136.36 6.197E-05
200 7952.22 0.0001258
300 5219.57 0.0001916
400 3935.87 0.0002541
500 3109.83 0.0003216
600 2624.1 0.0003811
700 2235.78 0.0004473
800 1963 0.0005094
900 1736.97 0.0005757
1000 1536.9 0.0006507
مقاومت خازنی بر حسب فرکانس
y = 6E-07x - 4E-06
R² = 0.9998
1/Xc(1/ohms)
0.0008
0.0006
0.0004
0.0002
0
0
200
400
600
f(Hz)
Format Trendline
TRENDLINE OPTIONS
TRENDLINE OPTIONS
Exponential
Linear
Logarithmic
Polynomial
Order
Power
Moving Average
Period
Sheet1
READY

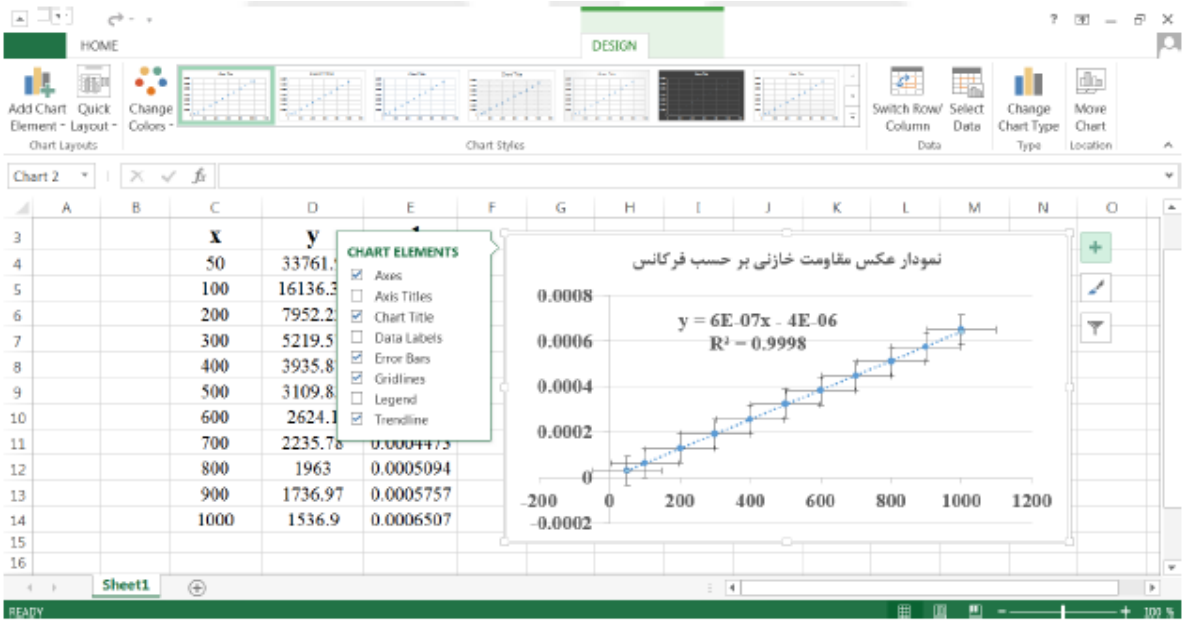
(ب)



(ج)

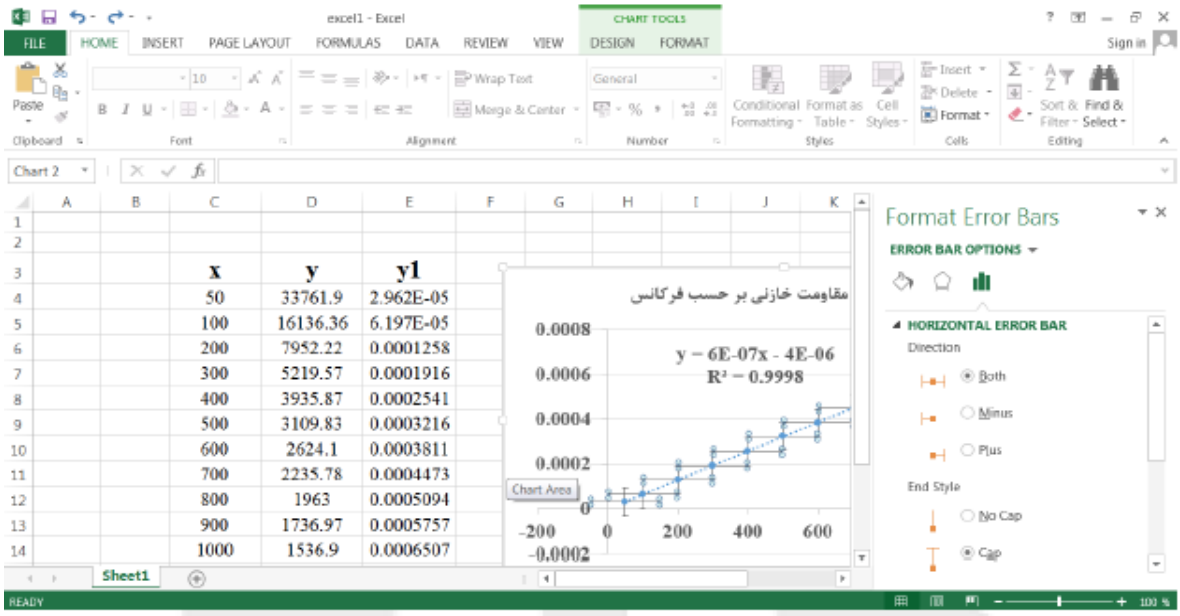
شکل(۱۶): روش انتخاب نوع خط تطبیق‌یافته بر داده‌های آزمایش

با فشردن علامت + در کنار چارت می‌توانید گزینه‌هایی همچون اضافه نمودن *Error Bars* نیز وارد نمایید(شکل ۱۷)



شکل(۱۷): نحوه‌ی نمایش *Error Bars* بر روی نمودار

با انتخاب گزینه *Error Bar Options* می‌توانید اطلاعات راستای xو y را به صورت جداگانه وارد نمایید(شکل۱۸)



x	y	y1
50	33761.9	2.962E-05
100	16136.36	6.197E-05
200	7952.22	0.0001258
300	5219.57	0.0001916
400	3935.87	0.0002541
500	3109.83	0.0003216
600	2624.1	0.0003811
700	2235.78	0.0004473
800	1963	0.0005094
900	1736.97	0.0005757
1000	1536.9	0.0006507

شکل(۱۸): معرفی آیکون *Error Bar Options* و عملکرد آن

شیب‌خط برابر $6 \times 10^{-7} \mu F$ که ظرفیت خازن برابر $0/095$ میکروفاراد محاسبه خواهد شد.که بر داده‌های تئوری ($C = 0/1 \mu F$) تطبیق دارد.

۳-ابزارهای و قطعات مورد استفاده در آزمایشگاه فیزیک پایه(۲)

در آزمایشگاه فیزیک پایه(۲) از سه دسته قطعات الکترونیکی، منابع تغذیه و وسایل اندازه‌گیری استفاده می‌شود. قطعات الکترونیکی از جمله مقاومت، سلف، خازن، دیود و ... برای تشکیل مدارهای الکترونیکی، طبق نیازهای سازندگان و مصرف‌کنندگان و نحوهٔ عملکرد این قطعات، انتخاب می‌شوند. منابع تغذیه، منبع جریان مستقیم[1]، منبع جریان متناوب[2]، منبع تولید سیگنال با شکل‌موج‌های مختلف(فانکشن ژنراتور[3]) و ... هستند. از وسایل اندازه‌گیری می‌توان به مولتی‌متر و اسیلوسکوپ اشاره نمود. در ادامه در ابتدا قطعات الکترونیکی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پس از آن اطلاعاتی در مورد میز کار الکترونیکی آزمایشگاه ارائه می‌شود. در این بخش اطلاعاتی در مورد منابع تغذیه اعم از آن‌که بر روی میز کار جای گرفته باشند یا به صورت قابل حمل باشد، توضیحاتی‌در ارائه می‌شود و در نهایت وسایل اندازه‌گیری موجود بر روی میز کار یا

[1] Direct Curent(DC) Source
[2] Alternative Curent(AC) Source
[3] Function Generator

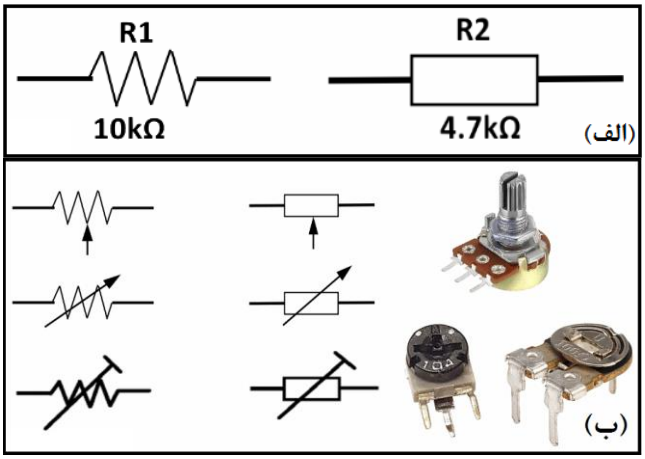
قابل حمل[1] معرفی می‌شوند.

۳-۱- آشنایی با انواع قطعات الکترونیکی

قطعات الکترونیکی که در آزمایشگاه فیزیک پایه(۲) مورد استفاده قرار می‌گیرند، مقاومت‌ها، خازن‌ها و سلف‌ها هستند که در ادامه این قطعات معرفی می‌شوند. در اینجا تلاش می‌شود قطعات الکترونیکی به‌طور مبسوطتر جهت آشنایی دانشجوها بررسی و معرفی شود، اگرچه فقط برخی از این قطعات در آزمایشگاه معرفی و استفاده خواهد شد اما آشنایی اولیه با این قطعات الکترونیکی در بهره‌گیری و استفاده هر بیشتر از آنها مفید خواهد بود.

۳-۱-۱- مقاومت

مقاومت‌ها از اصلی‌ترین قطعاتی هستند که در وسایل الکتریکی به کار می‌روند. مقاومت یک رسانا در برابر عبور جریان الکتریکی را مقاومت الکتریکی گویند. واحد مقاومت اهم است و با نماد Ω نشان داده می‌شود. شکل مقاومت در مدارهای الکتریکی به صورت زیر می‌باشد:



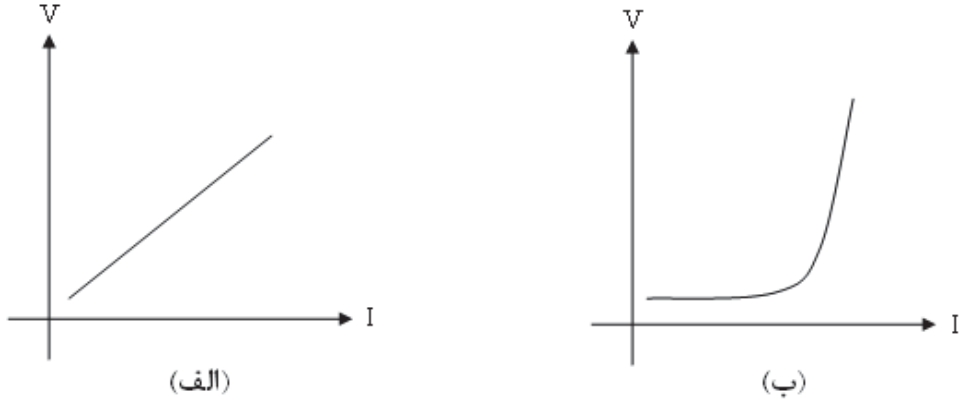
شکل:(۱۹): شماتیک مقاومت الکتریکی‌درمدارها الف)مقاومت ثابت (سمت راست نماد مقاومت در IEC و سمت چپ نماد مقاومت در $ANSI$ است.)، ب)مقاومت متغییر

مقاومت به منظور کاهش دادن جریان به مقدار معین و یا افت مقدار معینی از ولتاژ به کار می‌رود. مقاومت‌ها وابسته به رفتار جریان بر حسب ولتاژ اعمالی به دو دسته اهمی و غیراهمی تقسیم می‌شوند. در ادامه به اختصار توضیحاتی در مورد مقاومت اهمی ارائه می‌شود.

مقاومت اهمی به مقاومتی گفته می‌شود که نسبت ولتاژ اعمال شده، به جریان گرفته شده از آن مقداری

[1] poetable

ثابت باشد، به عبارت دیگر باید نمودار تغییرات ولتاژ به جریان این مقاومت خطی باشد و از رابطه اهم خطی $R(\Omega) = \frac{V(V)}{I(A)}$ پیروی کند.



شکل(۲۰): نمودار V-I برای (الف)مقاومت اهمیو (ب)غیراهمی

موادی که غالباً در مقاومت‌ها به کار می‌روند عبارتند از کربن، آلیاژ مخصوص از فلزاتی از قبیل نیکروم و کنستانتن.

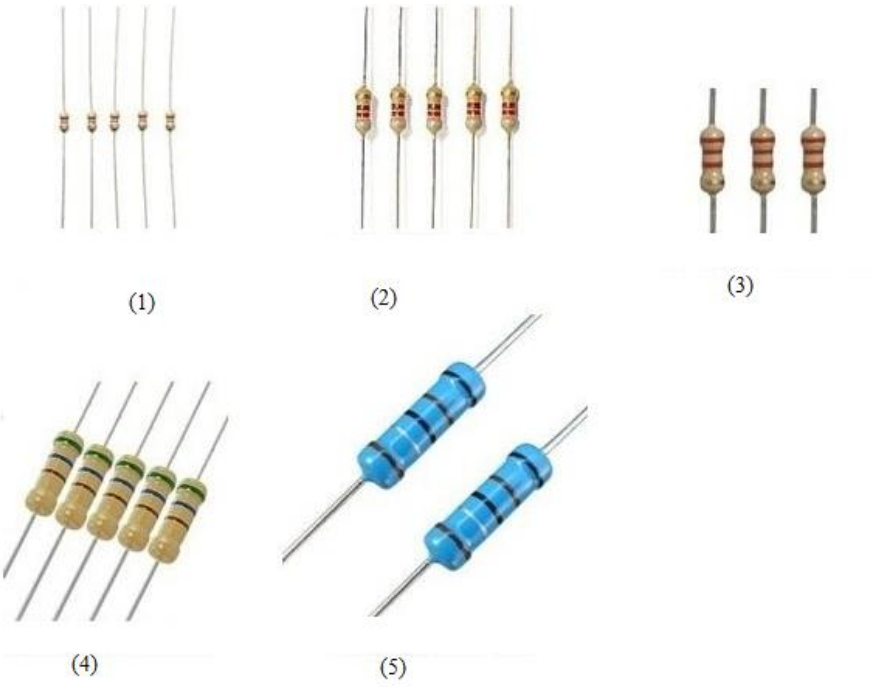
موارد استفاده از مقاومت اهمی در مدارهای الکتریکی را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱. محدود کردن جریان(کنترل جریان) و تقسیم ولتاژ در نقاط مختلف مدار.
۲. ایجاد حرارت.
۳. تطبیق و همسنگ نمودن مقاومت ورودی و خروجی در مدارهای الکترونیکی.
۴. تطابق ولتاژ بین دو طبقه در تقویت‌کننده‌ها.
۵. تعیین پهنای باند و فرکانس قطع در تقویت کننده‌ها، فیلترها و موارد مشابه.

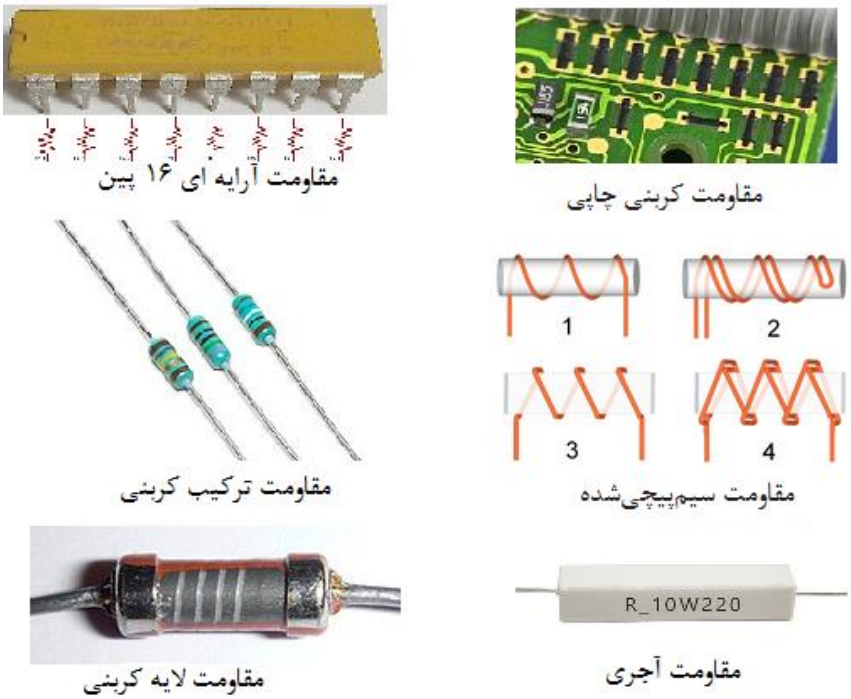
طبقه‌بندی مقاومت‌های اهمی از نظر نوع عملکرد به دو دسته مقاومت ثابت و متغیر است.

الف) مقاومت‌های ثابت

مقاومت‌هایی هستند که مقدار آن‌ها ثابت بوده و تابع عواملی چون گرما، فرکانس، میدان مغناطیسی، نور، رطوب و... نیستند. مقاومت‌های ثابت دو سیم رابط دارند که به دو انتهای مقاومت متصل است. مقاومت‌های ترکیب کربنی رنگی، سرامیکی، آجری، لایه‌ای (فلزی و کربنی و اکسید فلزی)، آرایه‌ای، مقاومت کربنی چاپی، مقاومت سیم‌پیچی‌شده از این قبیل‌اند. در شکلهای (۲۰) و (۲۱) انواع مقاومت ثابت نشان داده شده است. از مقاومتهای رنگی در جریان‌های پایین و از مقاومت‌های آجری یا سرامیکی در جریان‌های بالا استفاده می‌شود. مقاومت های ترکیب کربنی نویز بالا و پایداری پایینی در دماهای بالا دارند. به همین دلیل از این مقاومت ها در مدارهایی که حساسیت بالایی دارند استفاده نمی‌شود.



شکل (۲۰): چند نمونه مقاومت رنگی



شکل (۲۱): چند نمونه مقاومت ثابت

مشخص‌های یک مقاومت ثابت عبارتند از:

- ✓ **مقدار اهم مقاومت:** مقدار اهم یا بر روی مقاومت نوشته شده و یا به صورت نوارهای رنگی مشخص‌شده‌هاست.
- ✓ **خطا یا تلرانس**[1]: بازه تغییرات مقدار مقاومت که اغلب می‌بایست توسط شرکت‌های سازنده ذکر شود.
- ✓ **تحمل حرارتی:** به بیشترین دمایی که مقاومت‌های غیر سیمی در حین کار می‌توانند تحمل کند قبل از آنکه تغییر ماهیت بدهند، تحمل حرارتی گویند و در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد است.
- ✓ **توان مصرفی ماکزیمم:** بیشترین توانی که مقاومت می‌تواند در مقابل عبور جریان و تحمل ولتاژ از خود نشان دهد، قبل از آنکه بسوزد.
- ✓ **افت ولتاژ *DC* بیشینه:** در مقاومت‌های با اهم بالا، بیشترین افت ولتاژ *DC* مجاز از مهم‌ترین عوامل‌مربوط به مقاومت محسوب می‌شود.
- ✓ **بیشینه بسامد کار:** به بیشترین فرکانسی که مقاومت می‌تواند در هنگام کار با منبع تغذیه متناوب تحمل کند، قبل از آنکه ساختار مقاومتی آن فرو بریزد و خواص غیر از مقاومت به خود بگیرد، بیشینه بسامد کار مقاومت گویند.

ب) مقاومت‌های متغیر:

در بسیاری از وسایل الکتریکی مقدار بعضی مقاومت‌ها باید پیوسته تغییر کند. پیچ ولوم رادیو، کنترل‌کننده روشنایی تلویزیون از آن جمله‌اند، مقاومت‌های متغیر مقاومت‌هایی هستند که پیوسته می‌توان مقدار آنها را تغییر داد. دو گونه مختلف از مقاومت‌های متغیر وجود دارند:

انواع مقاومت متغییر عبارتند از:

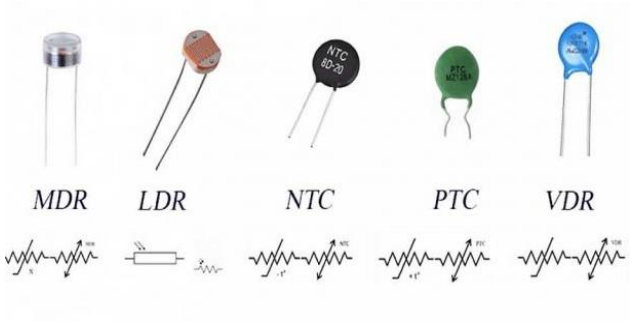
- ✓ **رئوستا:** مقاومتی که به‌صورت فیزیکی تغییر می‌کند.
- ✓ **جعبه مقاومت:** مقاومتی که به‌صورت فیزیکی تغییر می‌کند.
- ✓ **پتانسیومتر:** مقاومتی که به‌صورت فیزیکی تغییر می‌کند.
- ✓ **وی‌دی‌آر**[2]: مقاومتی که با تغییرات ولتاژ دو سر مقاومت رابطه معکوس دارد.
- ✓ **مقاومت نوری**[3]: مقاومتی که با افزایش نور محیط، مقدار آن کاهش می‌یابد و مهم‌ترین کاربرد آن

[1] Tolerance
[2] Voltage Dependent Resistor
[3] Light Dependent Resistor

در فوتوسل است.

- ✓ **پی‌تی‌سی**[1]: این مقاومت با دما رابطه مستقیم دارد، یعنی با افزایش دما مقدارش افزایش می‌یابد.
- ✓ **ان‌تی‌سی**[2]: این مقاومت با دما رابطه عکس دارد، یعنی با افزایش دما مقدارش کاهش می‌یابد.
- ✓ **امدی‌آر**: مقدار این مقاومت با افزایش میدان مغناطیسی افزایش می‌یابد.

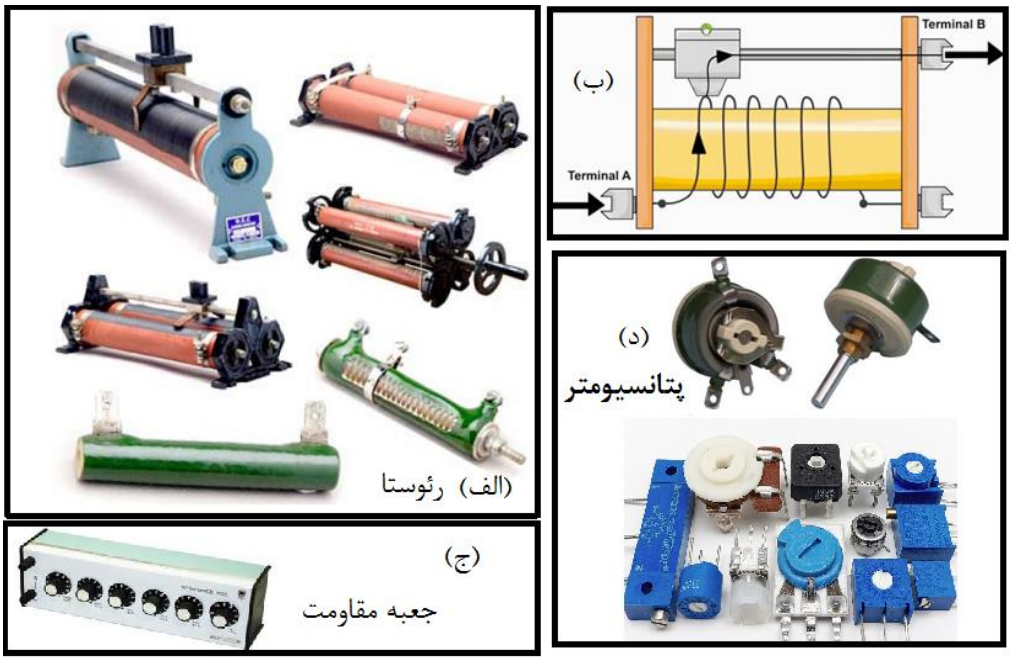
این مقاومتها در شکل (۲۲) و (۲۳) نمایش داده شده اند.



شکل (۲۲): انواع مقاومت متغییر

دو نوع اول یعنی رئوستا و پتانسیومتر را می‌توان با تغییر مکان یا تغییر زاویه‌ی محور پیچ آن تنظیم کرد. در این حالت مقاومت به طور فیزیکی متغیر است می‌تواند دارای سه ترمینال باشد که دو تای آنها نسبت به هم ثابت است و تابع گردش محور نیست. مقدار این مقاومت بر روی بدنه مقاومت متغیر، نوشته می‌شود. شکل (۲۳) چندین نوع رئوستا و پتانسیومتر همچنین جعبه مقاومت نشان داده شده است.

[1] Positive Temperature Coefficient
[2] Magnetic Dependent Resistor



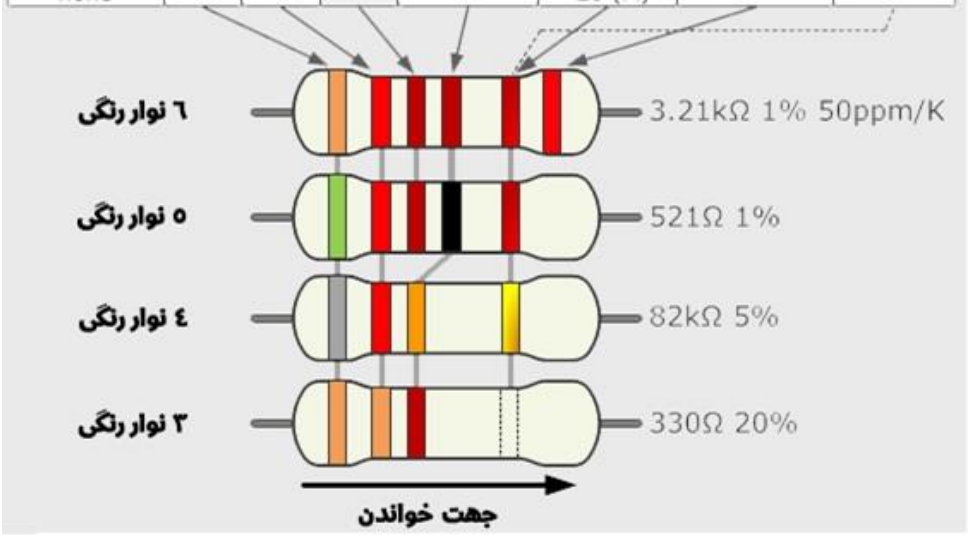
شکل (۲۳): چند نمونه مقاومت متغیر. (الف)و (ب) رئوستا، (ج)جعبه مقاومت، (د)پتانسیومتر.

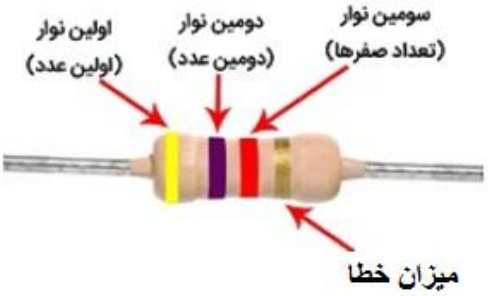
رئوستا گونه‌ای از مقاومت‌های متغیر هستند که از خانواده پتانسیومترهای خطی و دارای سه ترمینال می‌باشند در شکل (۲۳-(الف)) انواع رئوستا و در شکل (۲۳-(ب)) ساختار داخلی آن نشان داده شده است. جنس رئوستاها برخلاف پتانسیومترها از سیم بوده و بدین خاطر از توان بالاتری نسبت به مقاومت‌های متغیر کربنی برخوردارند.

❖ **نحوهٔ تعیین مقدار مقاومت‌ها از روی کد رنگی به شرح زیر است:**

رنگ اولین نوار نشاندهنده اولین عدد صحیح مقدار مقاومت است و رنگ دومین نوار نشاندهنده دومین عدد صحیح مقدار مقاومت است. رنگ سومین نوار نشاندهنده ضریب مقاومت است. رنگ نوار چهارم حدود خطا (تلرانس) را معین می‌کند.

رنگ	عدد اول	عدد دوم	عدد سوم	مضرب	درصد خطا (٪)	ضریب دما (ppm/k)	نرخ شکست
black	0	0	0	x 1		250 (U)	
brown	1	1	1	x 10	1 (F)	100 (S)	1
red	2	2	2	x 100	2 (G)	50 (R)	0.1
orange	3	3	3	x 1K		15 (P)	0.01
yellow	4	4	4	x 10K		25 (Q)	0.001
green	5	5	5	x 100K	0.5 (D)	20 (Z)	
blue	6	6	6	x 1M	0.25 (C)	10 (Z)	
violet	7	7	7	x 10M	0.1 (B)	5 (M)	
grey	8	8	8	x 100M	0.05 (A)	1(K)	
white	9	9	9	x 1G			
gold			3th digit only for 5 and 6 bands	x 0.1	5 (J)		
silver				x 0.01	10 (K)		
none					20 (M)		





شکل(۲۴): طریقه خواندن مقدار مقاومت‌های رنگی

در جدول (۵) معنای این کدهای رنگی ارائه شده‌است.

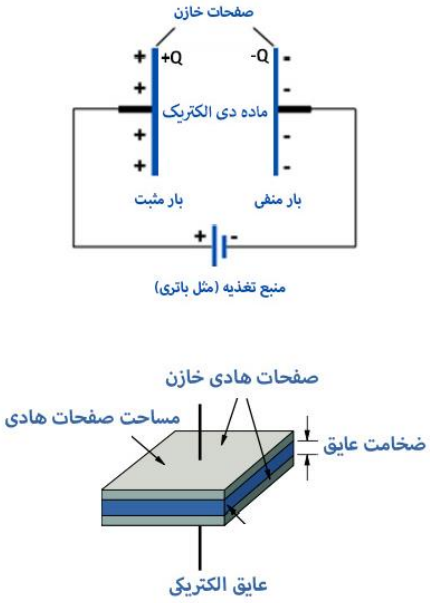
جدول (۵): ضرایب نوارهای رنگی در مقاومت‌ها			
رنگ	عدد صحیح	مضرب	درصد خطای نسبی
سیاه	*0*	*1*	-
قهوه ای	*1*	*10*	-
قرمز	*2*	*100*	-
نارنجی	*3*	*1000*	-
زرد	*4*	*10000*	-
سبز	*5*	*100000*	-
آبی	*6*	*1000000*	-
بنفش	*7*	*10000000*	-
خاکستری	*8*	*100000000*	-
سفید	*9*	*1000000000*	-
طلائی	-	-	*%5*
نقره ای	-	*%10*	
بی رنگ	-	-	*%20*

۳-۱-۲- خازن

خازن، قطعه الکتریکی است که انرژی الکتریکی باطری را در خود ذخیره می‌کند. هنگامی‌که یک عایق پیرامون دو رسانا قرار می‌گیرد خازن به وجود می‌آید. خازن‌های آزمایشگاه عموماً مسطح می‌باشند. اگر اختلاف پتانسیل به این دو صفحه وصل شود، مقداری بار روی صفحات ذخیره می‌شود. ساختمان خازن از دو قسمت عمده تشکیل شده‌است:

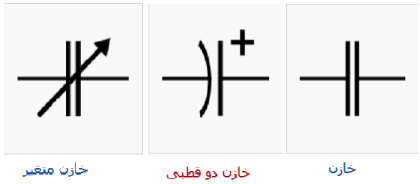
۱. **صفحات رسانا**: که به آن جوشن نیز می‌گویند. معمولا ورق‌های نازک از جنس آلومینیوم، روی و یا نقره ساخته می‌شوند، شکل(۲۵).

۲. **عایق بین صفحات رسانا**: که به آن دی‌الکتریک نیز گفته می‌شود. معمولاً خازن‌ها از نظر نوع دی-الکتریک به کار رفته در ساختمان آنها نام‌گذاری و تقسیم‌بندی می‌شوند.



شکل (۲۵) نمایش صفحات خازن و دی الکتریک بین این صفحات

نماد علمی انواع خازن در شکل (۲۶) آمده است.



شکل(۲۶): نماد علمی خازن

همچنین بر اساس نوع و شکل قرار گرفتن صفحات رسانا در مقابل یکدیگر می‌توان خازن‌های گوناگونی را ساخت. از قبیل خازن‌های تخت (دو صفحه رسانای تخت)، خازن‌های استوانه‌ای(دو پوسته استوانه‌ای هم مرکز) و خازن‌های کروی(دو صفحه کروی رسانا.)

- **مشخصات یک خازن**

از مهمترین مشخصات یک خازن ظرفیت و ماکزیمم ولتاژ کار آن است. در انتخاب یک خازن باید عوامل زیر را در نظر گرفت:

۱. **ظرفیت لازم:** به مقدار باری که به ازاء اختلاف پتانسیلی به میزان یک ولت روی صفحات ذخیره می‌شود، ظرفیت می‌گویند و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C(F) = \frac{Q}{V} \qquad (۱۴)$$

مقدار ظرفیت خازن فقط به مشخصات فیزیکی از قبیل اندازه و فاصله صفحات و جنس دی الکتریک وابسته بوده و بر حسب فاراد (F) بیان می‌شود.

۲. **ولتاژ بیشینه کار**: این ولتاژ که معمولاً روی بدنه خازن به همراه ظرفیت خازن نوشته می‌شود، ولتاژی است که به دو سر خازن اعمال می‌شود بدون اینکه دی‌الکتریک میان صفحات یونیزه می‌شود و به طوری که خازن بتواند در شرایط عادی کار کند. مقدار آن به فاصله صفحات و جنس دی‌الکتریک وابسته است

۳. **ضریب حرارتی**: وابستگی ظرفیت خازن به دما را ضریب حرارتی خازن می‌گویند.

۴. **میزان خطا و تلفات**: ضریب تلفات خازن به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود

$$D = \frac{1}{2\pi fCR} \qquad (۱۵)$$

که در آن C ظرفیت خازن، R مقاومت اهمی صفحات خازن وf فرکانس منبع تغذیه هستند.

۵. **فرکانس بیشینه کار**: خازن در مدارهای متناوب ازخود مقاومت ظاهری‌ای نشان می‌دهد که این مقاومت ظاهری با فرکانس رابطه عکس دارد:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \qquad (۱۶)$$

در نتیجه تا جایی که با افزایش فرکانس این امپدانس روند کاهشی داشته باشد خازن درست کار می‌کند ولی از یک فرکانس مشخص به بالا تغییر خاصیت می‌دهد، به این حد فرکانسی، حداکثر فرکانس کار خازن می‌گویند. حال سوال مهم آن است که چگونه ظرفیت یک خازن را از روی اطلاعات ثبت شده بر روی آن به‌دست آورید. امروزه سازندگان مختلف بعضی بر روی خازن‌های ساخته شده ظرفیت آن را می‌نویسند و فقط روی بعضی خازن‌ها مثل خازن عدسی، به جای نوشتن مستقیم ظرفیت را ذکر می‌کنند. که اگر دو رقم اول را در کنار هم بنویسید و به مقدار عدد سوم(عدد سمت راست) در جلوی آن، صفر قرار دهید، عدد بدست آمده ظرفیت خازن برحسب پیکوفاراد (PF) می‌باشد. به عنوان مثال اگر بر روی خازنی عدد ۶۲۳ نوشته شده باشد ظرفیت آن برابر است با:

$$c = 62000PF \qquad (۱۷)$$

چنان‌که بر روی بعضی از خازن‌ها نوارهای رنگی کشیده شده باشد، می‌توانید از روش خواندن مقاومت‌های رنگی استفاده نمایید. ولی عدد حاصل برحسب پیکو فاراد خوانده می‌شود(که این‌کدگذاری خازن‌ها دیگر رایج نیست.).

- **انواع خازن:**

a) خازن ثابت

۱- سرامیکی

۲- خازن های ورقه‌ای

۳- خازن های میکا

۴- خازن های الکترولیتی

۵- آلومینیومی

۶- تانتالیوم

۷- خازن روغنی و گازی

b) خازن متغیر

خازن‌هایی متغییر خازنهایی هستند که یکی صفحات آنها ثابت و دیگری متغیر است، در نتیجه ظرفیت آنها نیز متغییر است. این خازن ها در دو نوع کلی در بازار یافت می‌شوند. این دو نوع عبارتند از:

۱- خازن‌های تریمر

۲- خازن‌های متغییر

می‌توان از خازن‌ها برای تنظیم مدارهای LC در گیرنده‌های رادیویی، یا برای تطبیق امپدانس در آنتن‌ها و ... استفاده کرد. ظرفیت خازن‌های متغییر بین ۱۰ تا ۵۰۰ پیکوفاراد است و همچنین می‌تواند به صورت الکتریکی یا مکانیکی تغییر کند. به‌طور کلی با تغییر سه عامل می‌توان ظرفیت خازن‌های متغیر را تغییر داد: فاصله صفحات d، سطح صفحات A و نوع دی‌الکتریک $\varepsilon_0 K$

$$c = \varepsilon_0 K \frac{A}{d}$$

۱- خازن سرامیکی

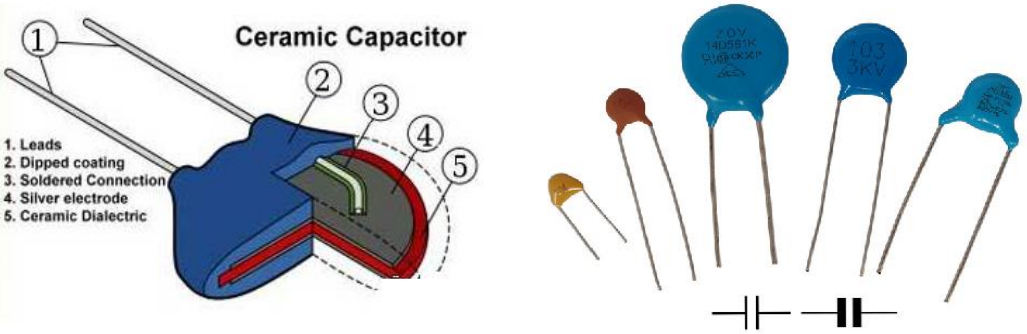
در میان خازن و انواع آن، خازن سرامیکی معمول‌ترین خازن غیرالکترولیتی است که دی‌الکتریک بکار رفته در آن از جنس سرامیک است . ثابت دی‌الکتریک سرامیک (K) بالا است، در نتیجه می‌توان از آن برای ساخت خازن‌هایی با ظرفیت زیاد و ولتاژ کاری بالا در اندازه‌های کوچک استفاده کرد. خازن‌های سرامیکی که غیرقطبی هستند(+ و − ندارند)، بیشتر در مدارهای الکترونیکی، مانند مدارهای مخابراتی و رادیویی استفاده می شوند.

ویژگی خازن های سرامیکی

- ✓ ظرفیت خازن‌های سرامیکی معمولا بین ۵ پیکو فاراد تا ۰/۹ میکرو فاراد است
- ✓ فرکانس کاری خازن‌های سرامیکی بالای ۱۰۰ مگاهرتز است.
- ✓ بزرگترین عیب خازن‌های سرامیکی وابسته بودن ظرفیت آن ها به دمای محیط است، زیرا با تغییر

دما ظرفیت خازن تغییر می کند.

- **خازن عدسی:** عدسی یکی از پرکاربرد ترین خازن ها است که در اصل از زیر مجموعه های خازن‌های سرامیکی است، اما به دلیل کاربرد فرآوان و اهمیتی که دارد، در اینجا به عنوان یک نوع مستقل معرفی می‌شود. دلیل نام گذاری این خازن‌ها به این نام، ابعاد بسیار کوچک و ظاهر عدسی شکل آنها است. .به دلیل ابعاد کوچک خازن های عدسی، معمولا ظرفیت این خازن‌ها در محدوده‌ی پیکوفاراد و نانوفاراد قرار می‌گیرد و شما می‌توانید برای بدست آوردن ظرفیت این خازن‌ها از کد عددی نوشته شده بر روی آنها کمک بگیرید.



شکل(۲۷): خازن عدسی و نمای داخلی آن

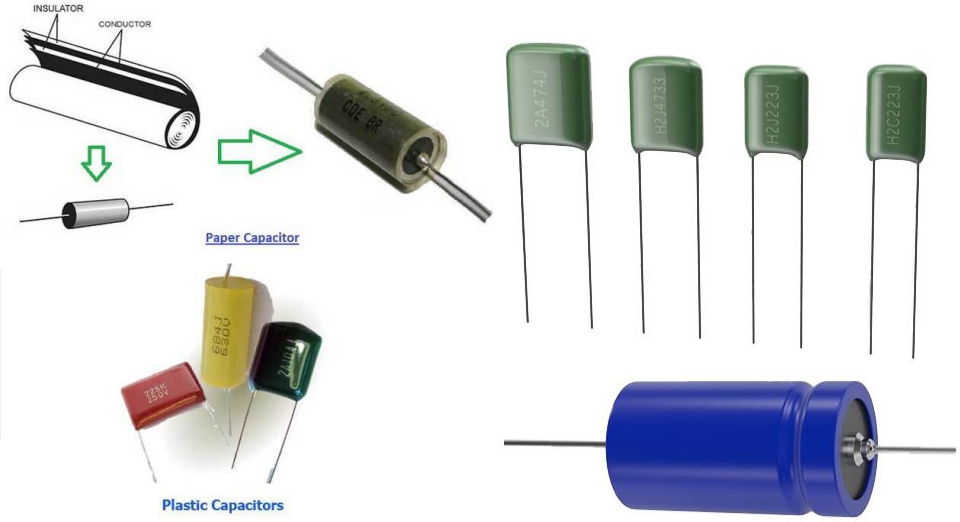
۲- خازن ورقه‌ای

مهم ترین ویژگی خازن‌های ورقه‌ای ثبات ماده‌ی دی‌الکتریک آنها در برابر تغییرات دمایی است، بنابراین برای ساخت دی‌الکتریک این خازن ها از کاغذ و مواد پلاستیک استفاده می‌شود. بنابراین این خازن‌ها به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند:

- ✓ خازن‌های کاغذی
- ✓ خازن‌های پلاستیکی

خازن‌های پلی‌استر، از جمله رایج‌ترین خازن های پلاستیکی است و ماکزیمم فرکانس کار این خازن حدود یک مگاهرتز است. از آنجایی خازن‌های ورقه‌ای نسبت به تغییرات دما حساسیت زیادی ندارند، می‌توان در مدارهایی که احتیاج به خازنی با ظرفیت ثابت در مقابل حرارت دارند از نوع پلاستیکی آن که دی‌الکتریک آنها از ورقه‌های نازک ساخته شده از پلاستیک، استفاده کرد. همچنین می‌توان در ولتاژها (بیش از ۶۰۰ ولت) و جریان‌های زیاد از نوع کاغذی خازن‌هایی که دی‌الکتریکشان معمولا از یک صفحه نازک کاغذ متخلخل که یک دی‌الکتریک مناسب مانند پارفین درون آن تزریق شده‌است، استفاده کرد. خازن‌های کاغذی به علت کوچک بودن ثابت دی‌الکتریک، دارای ابعاد فیزیکی بزرگ هستند، اما از مزایای این خازن‌ها استفاده در ولتاژها و جریان‌های بالا می‌باشد. صفحات خازن کاغذی به صورت نوارهای صاف و

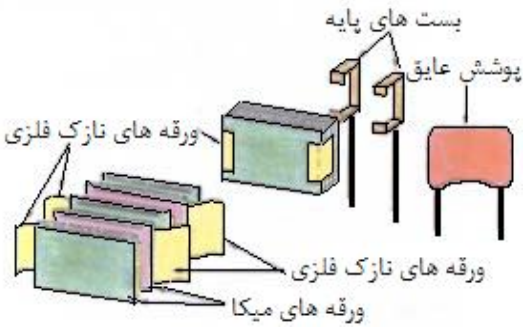
طویل از جنس ورقه‌های قلع هستند.



شکل(۲۸): خازن ورقه‌ای و نمای داخل آنها در سمت چپ بالا

۳- خازن میکا

در میان خازن و انواع آن، خازنی وجود دارد که در ساخت آن از ورقه‌های نازک میکا به عنوان دی الکتریک در بین صفحاتش که از ورقه‌های فلزی-آلومینیوم هستند، استفاده می‌شود، و در پایان، مجموعه در یک محفظه قرار داده می‌شوند تا از اثر رطوبت جلوگیری شود. از ویژگیهای اصلی و مهم خازن میکا می‌توان به داشتن ولتاژ کار بالا ، عمر طولانی و کاربرد در مدارات فرکانس بالا اشاره کرد. ظرفیت خازن‌های میکا تقریبا بین ۰/۰۱ تا ۱ میکرو فاراد است.



شکل(۲۹): خازن میکا و نمای داخلی آن

۴- خازن الکترولیتی:

یکی از پرکاربردترین انواع خازن‌ها هستند که بر خلاف خازن‌های سرامیکی دارای قطب + و – هستند (هنگام استفاده در مدار باید به جهت خازن توجه ویژه‌ای داشت). دی‌الکتریک بکار رفته در این نوع خازن به نوعی ماده شیمیایی آغشته شده است و این ماده شیمیایی مانند یک کاتالیزور عمل کرده و باعث بالا

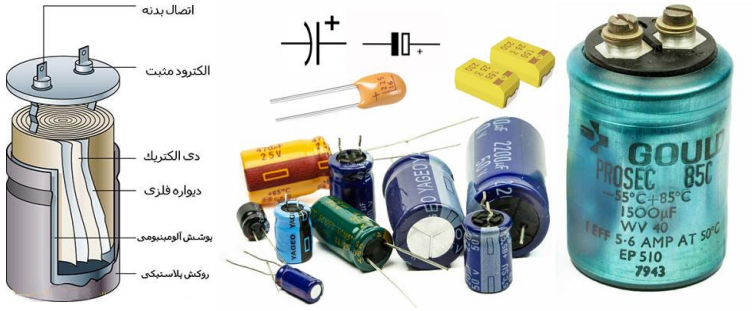
رفتن ظرفیت خازن‌های الکترولیتی یا شیمیایی می‌شود. این خازن‌ها در مدار یکسوکننده دیودی به عنوان فیلتر و در مدار بایاس ترانزیستور ها به عنوان کوپلینگ استفاده می‌شوند. ظرفیت این نوع خازنها معمولاً در رنج میکرو فاراد هستند و ظرفیت و ولتاژ قابل تحمل خازن بر روی آن نوشته شده‌است.

- **پلاریته خازن:** در میان خازن و انواع آن، خازن‌هایی مانند خازن الکترولیتی وجود دارند که دارای قطب + و – هستند، به این قطب مثبت و منفی خازن ها پلاریته می گویند. در موقع استفاده این خازن ها در مدار، حتما باید به پلاریته خازن توجه شود.
- **انواع خازن‌های الکترولیتی:** خازن های الکترولیتی در دو نوع آلومینیومی و تانتالیومی در بازار یافت می‌شوند.

I. **خازن آلومینیومی:** این خازن همانند خازن‌های ورقه‌ای از دو ورقه آلومینیومی تشکیل شده است، یکی از این ورقه‌ها که لایه اکسید روی آن ایجاد می‌شود "آند" نامیده می‌شود و ورقه آلومینیومی دیگر نقش کاتد را دارد. ساختار داخلی خازن آلومینیومی متشکل است از دو ورقه آلومینیومی به همراه دو لایه کاغذ متخلخل (این دولایه از از الکترولیت پر شده‌اند)، و سیم‌هایی که به انتهای ورقه‌های آلومینیومی متصل شده‌اند. کل این مجموعه نیز درون یک قاب فلزی قرار گرفته و در انتها با یک پولک پلاستیکی که سیم‌های خازن از آن می‌گذرد محکم بسته شده‌است.

II. **خازن تانتالیوم**

در این نوع خازن به جای آلومینیوم از فلز تانتالیوم استفاده می‌شود و زیاد بودن ثابت دی‌الکتریک اکسید تانتالیوم نسبت به اکسید آلومینیوم (حدوداً ۳ برابر) سبب شده است که خازن‌های تانتالیومی نسبت به نوع آلومینیومی درحجم مساوی دارای ظرفیت بیشتری باشند.



شکل(۳۰): خازن الکترولیتی

۵- خازن روغنی و گازی

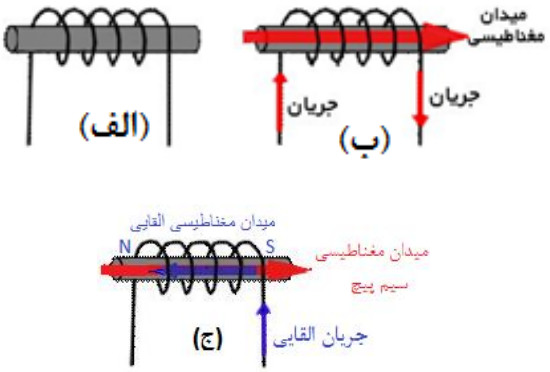
در میان خازن و انواع آن، خازنی وجود که اغلب برای فیلتر و ذخیره انرژی با ولتاژ زیاد، حرکت موتور،

استارت موتور، نورپردازی با ولتاژ بالا و ... استفاده می‌شود، به این خازنی روغنی می‌گویند. یکی از مشهورترین وسایلی که از خازن روغنی و گازی در آن استفاده شده، کولرگازی است. این خازن‌ها در سیستم‌های گرمایشی صنعتی، موتورهای*AC* ، موتورهای*DC* ، چراغ‌های با ولتاژ بالا *(HID)*، تابلوهای روشنایی ولتاژ بالا و منبع تغذیه‌ها نیز کاربرد دارد.

شکل(۳۱): خازن گازی و نمای داخلی آن

۳-۱-۳- سلف

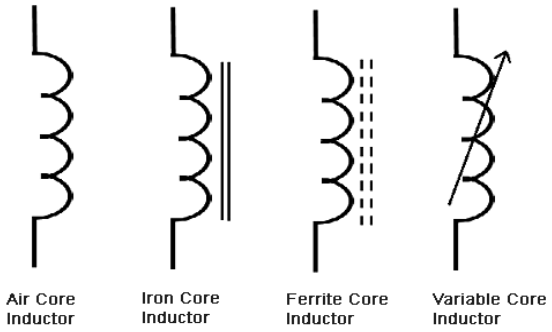
سلف قطعه‌ای الکترونیکی و دو پایه است که به آن سیم‌پیچ یا القاگر نیز می‌گویند. عملکرد اصلی القاگر، مقاومت در برابر تغییرات جریان الکتریکی می‌باشد.



شکل(۳۲):در شکل (الف) سلفی که هیچ جریانی از آن عبور نمی‌کند. شکل (ب) سلفی که یک جریان ثابت از آن عبور می‌کند.

این قطعه معمولاً از رسانایی مانند یک سیم که بصورت سیم‌پیچ درآمده و دور هسته‌ای از جنس آهن یا کربن خاص به نام « فِرّیتِ» پیچیده شده‌است، تشکیل می‌شود. در شکل (۳۲) از سمت چپ به راست شکل(ب) سلفی را که در مدار جریان مستقیم *DC* قرار داده شده نشان می‌دهد که در ابتدا در مدار (الف) خاموش است. سپس در شکل(ب) مدار روشن و جریان ثابت و پایا است پس در داخل سلف یک میدان

مغناطیسی ثابت به وجود می‌آید. در شکل(ج) سمت چپ واکنش سلف به این افزایش جریان که به صورت یک جریان القایی با یک فلش آبی رنگ نشان داده شده است. این جریان از آنجا ناشی می‌شود که وقتی شدت جریان الکتریکی تغییر کند، میدان مغناطیسی متغیر با زمان، ولتاژی را در رسانا القا می‌کند و براساس قانون القای الکترومغناطیسی فارادی، این ولتاژ مانع از تغییر جریانی می‌شود که در سیم‌پیچ جاری است. سلف‌ها اغلب به عنوان مقاومت در مدارهای جریان متناوب AC شناخته می‌شوند. بنابراین از سلف‌ها بطور گسترده در تجهیزاتی که با برق متناوب (AC) کار می‌کنند، استفاده می‌شود. ویژگی اصلی یک سلف توانایی آن در مقاومت در برابر تغییرات جریان و ذخیره انرژی به شکل میدان مغناطیسی است. نماد علمی سلف در شکل (۳۳) آمده است. که با توجه به نوع هسته و ثابت و یا متغییر بودن آن متفاوت است.



شکل (۳۳): نماد علمی سلف با هسته های مختلف

عمل القای الکتریکی نتیجه پدید آمدن میدان مغناطیسی، پیرامون سیمی می‌باشد که جریان الکتریکی از آن می‌گذرد. جریان گذری از سیم شار مغناطیسی متناسب با جریان پدید می‌آورد. بنابراین، هر تغییری در این جریان، ولتاژی می‌سازد که با تغییر جریان مخالفت می‌کند و مانع این امر می‌شود. این ولتاژ که با یکای ولت سنجیده می‌شود بصورت حاصل ضرب خودالقائی القاگر L در مشتق جریان نسبت به زمان محاسبه می‌شود.

$$\boldsymbol{\varepsilon} = L\frac{dI}{dt} \qquad (۱۸)$$

در این رابطه جریان I برحسب آمپر و ضریب خودالقائی L برحسب *هانری* محاسبه می‌شود. ضریب خودالقائی یک ویژگی هندسی مدار است که مشخص می‌کند، با گذشتن جریانی معین از سیم‌پیچ، چه مقدار شارمغناطیسی ایجاد می‌شود. هر سیم یا ماده رسانایی، هنگامی که جریان الکتریکی از درونش می‌گذرد، تولید میدان مغناطیسی می‌کند؛ اما در ساخت القاگرها از شکل‌ها و هسته‌های گوناگون استفاده می‌شود تا میدان مغناطیسی ساخته‌شده را تقویت کنند. پیچیدن سیم باعث افزایش تعداد خطوط شار مغناطیسی می‌شود که به مدار متصل‌اند و باعث افزایش القائیدگی می‌شود. هرچه تعداد دورهای سیم‌پیچ بیشتر باشد، خاصیت مغناطیسی نیز می‌شود. راه دیگر، افزایش القائیدگی در القاگر، گزینش هسته مناسب

می‌باشد؛ برای مثال، استفاده از ماده‌های فرومغناطیس مانند آهن و پیچیدن سیم به دور آنها باعث افزایش چشمگیر خطوط شار مغناطیسی می‌شود. انتخاب هسته‌ای با تراوایی مغناطیسی بالا، باعث چندهزار برابر شدن خاصیت القاگری القاگر می‌شود. ضریب خودالقائی با رابطه (۱۹) به دست می‌آید:

$$L = \frac{\mu k N^2 A}{l} \qquad (۱۹)$$

بنابراین به طور خلاصه ظرفیت یک سلف توسط چهار عامل کنترل می‌شود:

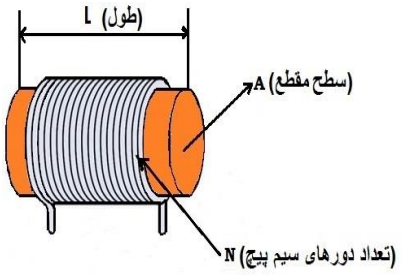
N تعداد حلقه های سیم پیچ

k جنس هسته‌ای که سیم‌پیچ به دورآن پیچیده‌شده‌است

μ نفوذپذیری مغناطیسی خلاء

A سطح مقطع سیم پیچ

l طول سیم پیچ



شکل(۳۴) قسمت های مختلف یک سلف

- **کاربردهای سلف**

۱. **فیلتر:** سلف به همراه خازن و مقاومت می‌تواند فیلترهایی برای مدارات الکتریکی و پردازش، استفاده شود. امپدانس سلف با افزایش فرکانس ولتاژ ورودی، افزایش می‌یابد، بنابراین می‌تواند به صورت یک فیلتر پایین گذر عمل کند. اگر سلف با خازن ترکیب شود، تشکیل یک فیلتر میان گذر می‌دهند که برای سیگنال هایی با فرکانسی مشخص استفاده می‌شود.

۲- **حسگر:** از سلف در حسگرهایی در راه دور عمل می‌کنند، استفاده می شود. از این حسگرها به‌طور عمده در سیستم حمل و نقلی مثل قطار، اتوبوس و همچنین برای تشخیص ترافیک، استفاده می‌شود. نمونه معروف کاربرد سلف در حسگر دستگاه فلزیاب یا دستگاه تشخیص سلاح در ورودی ادارات مهم می‌باشد.

۳- **ترانس:** از ترکیب چند سلف با هسته مشترک، یک ترانس به وجود می‌آید. استفاده ترانس ها برای افزایش، کاهش و یا ایزوله کردن ولتاژ در مدارات و وسایل، بکار می‌رود. نمونه پرکاربرد ترانسفورماتورهای که در منابع تغذیه استفاده می‌شود که در آزمایش شماره ۱۰ با آن آشنا خواهید شد..

۴- **موتور:** از مهم ترین کاربردهای سیم پیچ ها، استفاده در موتو های الکتریکی است. موتورهای الکتریکی می‌توانند انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی و بالعکس تبدیل کنند. نمونه می‌توان به

موتور کولر اشاره کرد.

۵- **ذخیره انرژی:** از سلف‌ها در مدار برای ذخیره انرژی استفاده می‌شود. البته دارای محدودیت‌هایی در عملکرد می باشند. برای مثال از آنجایی که سلف ها انرژی را به شکل میدان مغناطیسی ذخیره می کنند، با قطع جریان به سلف، انرژی در سلف از بین می‌رود. بیشترین کاربرد سلف به عنوان ذخیره کننده انرژی، در مدارات کلید زنی منابع تغذیه می‌باشد.

۶- **برای جرقه نزدن:** برخی از دستگاه ها را زمانی که به برق وصل می‌کنیم جرقه می‌زند ولی اگر از سلف در ورودی استفاده شود دیگر جرقه نمی‌زند.

- **انواع مختلف سلف**

بسته به کاربرد، انواع مختلفی از سلف‌ها وجود دارد. آنها دارای فاکتورهای مختلفی هستند، سلف‌های فرکانس بالا، سلف‌های فرکانس پایین خطوط برق و برخی از سلف‌های طراحی شده‌ی ویژه برای کاربردهای جداسازی و فیلتر. در زیر به انواع مختلف این سلف‌ها و جزئیات آنها پرداخته می‌شود.

- ✓ **سلف فاقد هسته (هسته هوا)**

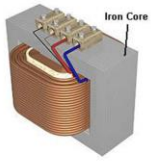
شکل(۳۵) سلف فاقد هسته

سلف های هسته سرامیکی به عنوان سلف فاقد هسته شناخته می‌شوند. سرامیک رایج ترین ماده مورد استفاده برای هسته سلف است. سرامیک دارای ضریب انبساط حرارتی بسیار پایینی است، بنابراین حتی برای طیف وسیعی از دماهای کاری، پایداری اندوکتانس القاگر بالا است. از آنجایی که سرامیک خاصیت مغناطیسی ندارد، به دلیل مواد هسته، افزایشی در مقدار نفوذپذیری وجود ندارد

.

- ✓ **سلف فرومغناطیسی (سلف با هسته آهنی)**

یک نمونه از این سلف در شکل (۳۶) نشان داده شده است



شکل(۳۶) سلف هسته آهنی

✓ سلف هسته فریت

با پیچاندن طول سیم به دور یک هسته فریت، یک سلف هسته فریت ایجاد می‌شود. هسته فریت از مخلوط کردن اکسید آهن (Fe_2O_3) در ترکیب با سایر اکسیدهای فلزی مانند(Mn) ، روی (Zn) یا منیزیم (Mg) در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد تا ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد ماده‌ای با خواص مغناطیسی بسیار جالبی به نام فریت ایجاد می‌کند. فریت‌ها عمدتاً دو نوع هستند، فریت های نرم و فریت‌های سخت. این‌ها بر اساس خواص مغناطیسی طبقه بندی می‌شوند.

شکل(۳۷) سلف هسته فریت

الف)فریت نرم : این مواد این توانایی را خواهند داشت که قطبیت مغناطیسی خود را بدون مقدار خاصی از انرژی مورد نیاز برای معکوس کردن قطبیت مغناطیسی معکوس کنند.

ب)فریت سخت: به آنها آهنرباهای دائمی نیز می‌گویند. و قطبیت مغناطیسی را حتی پس از حذف میدان مغناطیسی حفظ می‌کنند. سلف‌های هسته فریت دارای نفوذپذیری بالا، مقاومت الکتریکی بالا و تلفات جریان گردابی کم هستند که این ویژگی‌ها آنها را برای بسیاری از کاربردهای فرکانس بالا مناسب می‌کند.

✓ سلف پودر آهنی

این سلف ها از ذرات بسیار ریز با ذرات عایق شده از پودر آهن بسیار خالص تشکیل شده اند. این نوع سلف حاوی تقریباً صد در صد آهن است. هنگامی که این توان آهنی تحت فشار بسیار بالا فشرده شده و با یک ماده چسبنده مانند اپوکسی یا فنولیک مخلوط می شود، به ما یک هسته جامد می‌دهد. با این عمل پودر آهن مانند یک ساختار جامد مغناطیسی تشکیل می شود که از شکاف هوای توزیع شده تشکیل شده‌است. این سلف ها عمدتاً در منابع تغذیه سوئیچینگ قابل استفاده هستند.

شکل(۳۸) سلف در آهنی

✓ سلف‌های مبتنی بر بوبین

شکل(۳۹) لف مبنی بر بوبین

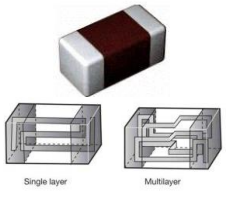
این القاگرها روی بوبین استوانه‌ای پیچانده می‌شوند، بنابراین به عنوان سلف‌های مبتنی بر بوبین نامیده می‌شوند و عمدتاً برای نصب بر روی بردهای مدار چاپی استفاده می شوند. این سلف ها از دو نوع لید تشکیل شده‌اند که عبارتند از لید محوری *(axial lead)*و لید شعاعی *.(radial lead)* لید محوری برای نصب افقی بر روی برد و لید شعاعی برای نصب عمودی بر روی برد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

✓ سلف حلقوی

شکل(۴۰)

این نوع القاگر در واقع سیم پیچانده شدهای است بر روی هسته‌ای که دارای سطح حلقه‌ای است. این سلف ها معمولاً از مواد مختلفی مانند فریت، آهن پودری و غیره تشکیل می‌شوند که از نوع سلف های *DIP* ساده هستند. این سیم پیچ ها عمدتاً در تجهیزات پزشکی، تنظیم کننده سوئیچینگ، تهویه هوا، یخچال، مخابرات و آلات موسیقی و غیره استفاده می شوند.

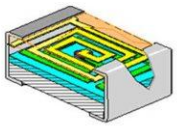
✓ سلف های سرامیکی چند لایه



شکل(۴۱) سلف های سرامیکی چند لایه

این سلف از نوع سلف‌های*SMD* هستند. همانطور که از نام آن مشخص است، این سیم پیچ از چند لایه تشکیل شده است. به سادگی با افزودن لایه های اضافی سیم پیچ خورده ای که در اطراف هسته مرکزی پیچیده شده است، یک سلف چند لایه ایجاد می کند. در این سلف های چند لایه نه تنها اندوکتانس کویل افزایش می یابد بلکه ظرفیت بین سیم ها نیز افزایش می یابد. بیشترین مزیت این کویل ها این است که با دادن فرکانس های کاری پایین تر می توانیم نتایج اندوکتانس بالاتری بدست آوریم. این سیم پیچ ها دارای کاربردهایی در. فرکانس‌های بالا برای توقف نویز و همچنین در ماژول‌های پردازش سیگنال مانند شبکه‌های محلی بی‌سیم و بلوتوث هستند. همچنین در سیستم‌های ارتباطی سیار استفاده می‌شوند.

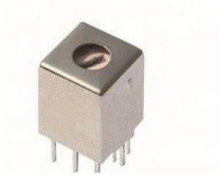
✓ سلف های فیلمی (لایه ای)



شکل (٤٢) سلف فیلمی

برای ساخت این سلف‌ها از یک لایه نازک رسانا بر روی مواد پایه استفاده می‌کنند. سلف‌های فیلم در اندازه نازک برای مبدل های DC به AC مناسب هستند که به‌عنوان منبع تغذیه در تلفن‌های هوشمند و دستگاه‌های تلفن همراه عمل می‌کنند.

✓ سلف‌های متغیر



شکل(٤٣) یک سلف متغییر

سلف های متغیر به ۴ دسته کلی تقسیم می‌شوند:

الف- سلف‌های گرمایی

ب- سلف‌های الکترومغناطیسی

ج- سلف‌های مغناطیسی

د- سلف‌های مکانیکی

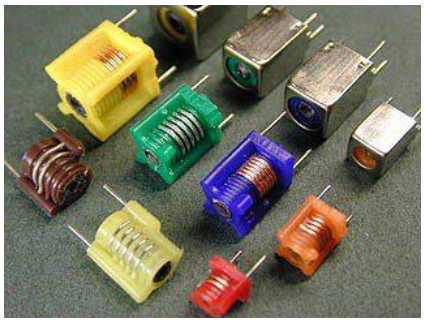
این نوع القاگر با حرکت دادن هسته مغناطیسی به داخل و خارج از سیم پیچ‌های سلف شکل می‌گیرد. با این هسته مغناطیسی می‌توانیم مقدار اندوکتانس را تنظیم کنیم. هنگامی که یک سلف هسته فریت را در نظر می‌گیریم، با حرکت دادن هسته آن به داخل و خارج که سیم پیچ روی آن پیچانده شده است، می‌توان سلف هسته فریت متغیری را تشکیل داد. این نوع سلف‌ها در کاربردهای رادیویی و فرکانس بالا که نیاز به تنظیم است، استفاده می‌شود. این القاگرها معمولاً از ۱۰ μH تا ۱۰۰ μH و امروزه از ۱۰ nHتا ۱۰۰ mH متغیر هستند.

✓ سلف‌های کوپل شده

شکل(۴۴) نمونه‌هایی از سلف‌های کوپل شده

دو رسانا که توسط القای الکترومغناطیسی به هم متصل می‌شوند، عموماً به عنوان سلف‌های کوپل شده شناخته می‌شوند. هرگاه جریان AC در یک القاگر جریان داشته باشد، در سلف دوم ولتاژ تولید می‌کند، پدیده القای متقابل را به ما می‌دهد.

✓ **سلف‌های قالبی**



شکل(۴۵)چند نمونه سلف قالبی

این سلف‌ها یا توسط عایق‌های پلاستیکی یا سرامیکی قالب‌گیری می‌شوند. این‌ها معمولاً در شکل‌های میله‌ای و استوانه‌ای یا سیم‌پیچ‌های مختلف موجود هستند.

✓ **سلف مقاومتی**

شکل(۴۶) سلف مقاومتی رنگی

سلف‌های مقاومتی(معمولی) ظاهری شبیه مقاومت دارند. این نوع سلف‌ها، سلف‌های جریان پایین هستند. برای ساخت این نوع سلف یک سیم مسی بسیار نازک دور یک هسته فریت دمبلی شکل پیچیده می‌شود و دو درب در بالا و پایین هسته دمبل به هم متصل می‌شوند. پس از آن فرآیند قالب‌گیری (مواد سبز رنگ اطراف سلف) را طی می‌کند که در آن مقادیر به‌صورت نوارهای رنگی چاپ می‌شوند مقدار این نوع سلف ها براساس کدرنگی که روی بدنه آنها قرار دارد، مشخص می شود. محدود ظرفیت این نوع از سلف ها از میلی هانری تا میکرو هانری است. از سلف‌های مقاومتی در جاهایی که جریان عبوری از آن کم باشد استفاده دارد. مثلا در یک مدار نوسان‌گری روی کلکتور ترانزیستور که جریان کار پایین مثلا میلی آمپر باشد، استفاده می‌کنند.

۳-۲- آشنایی با انواع دستگاه‌های اندازه گیری در آزمایشگاه فیزیک (۲)

دستگاه اندازه‌گیری الکتریکی، قطعه‌ای است که به وسیله آن، دامنه یا مقدار کمیت مورد نظر اندازه گرفته می‌شود. کمیت مورد اندازه‌گیری می‌تواند ولتاژ، جریان، توان، مقاومت، فرکانس و غیره باشد.

۳-۲-۱- مولتی متر[1]

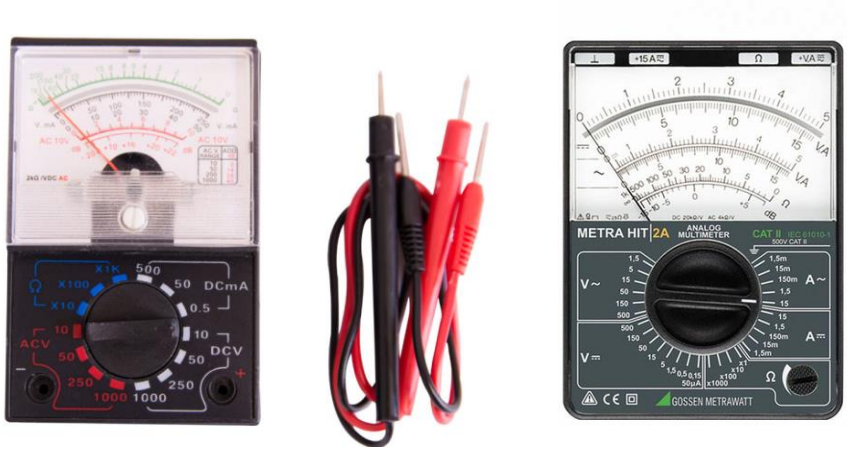
دستگاهی برای اندازه‌گیری چندین کمیت الکتریکی مانند ولتاژ، جریان، مقاومت الکتریکی، ظرفیت خازنی است، که می‌توان با آن سلامت یا مشخصات قطعات الکتریکی یا الکترونیکی را نیز ارزیابی کرد. مولتی‌متر از اساسی‌ترین ابزار مهندسان و تعمیرکاران برق و الکترونیک است که در هر کارگاه، تعمیرگاه یا آزمایشگاه برق یافت می‌شود. مولتی‌متر، دو نوع آنالوگ (عقربه‌ای) و دیجیتال (رقمی) دارد، گرچه نوع آنالوگ

[1] multimeter

آن، کم‌وبیش منسوخ شده‌است. در مولتی‌متر می‌توان با یک کلید قابل چرخش (سِلِکتور)، کمیت الکتریکی موردنظر برای اندازه‌گیری و حدود آن را انتخاب کرد. برای استفاده از مولتی‌متر لازم است با کمیت‌های الکتریکی آشنا بود، چرا که هر یک، واحدی مشخص دارد. نام دیگر مولتی‌متر، که امروزه کم‌تر رایج است، آوومِتر[1] است که از حروف اول آمپر*(Amper)* ، ولت *(Volt)* و اهم *(Ohm)* می‌آید. نخستین ابزار برای اندازه‌گیری کمیت‌های الکتریکی، گالوانومتر[2] بود که ۱۸۲۰ میلادی برای اندازه‌گیری جریان‌های کم ساخته‌شد. گالوانومتر، نخستین نمونه آمپرمتر بود که تنها در آزمایشگاه کاربرد داشت و بزرگ و حساس بود. نخستین مولتی‌متر در دهه ۱۹۲۰ اختراع شد. این دستگاه، جریان، ولتاژ و مقاومت را اندازه می‌گرفت. مولتی‌مترهای امروزی با بهره‌گیری از مدارهای الکترونیکی و پردازنده‌های ساده، چندین کمیت الکتریکی را اندازه می‌گیرند و روی نمایش‌گر ال‌سی‌دی نشان می‌دهند.

➢ انواع مولتی‌متر

۱. مولتی‌متر عقربه‌ای یا آنالوگ



شکل(۴۷) دو نمونه مولتی‌متر آنالوگ

این مولتی متر استفاده از یک سیم‌پیچ متحرک و یک اشاره‌گر برای نشان دادن قرائت (عقربه) ساخته می‌شود. این دستگاه شامل یک سیم‌پیچ است که به دور یک درام که بین دو آهنربای دائمی قرار گرفته است پیچیده شده است. با عبور جریان از سیم پیچ، میدان مغناطیسی در سیم‌پیچ القا می‌شود که با میدان مغناطیسی آهنرباهای دائمی واکنش نشان می‌دهد و نیروی حاصله باعث می‌شود عقربه متصل به درام بر روی مقیاس منحرف شود که نشان دهنده قرائت جریان است. همچنین شامل فنرهای متصل به درام است که نیروی مخالف حرکت درام را برای کنترل انحراف نشانگر ایجاد می‌کند. از مزایای نوع آنالوگ این است

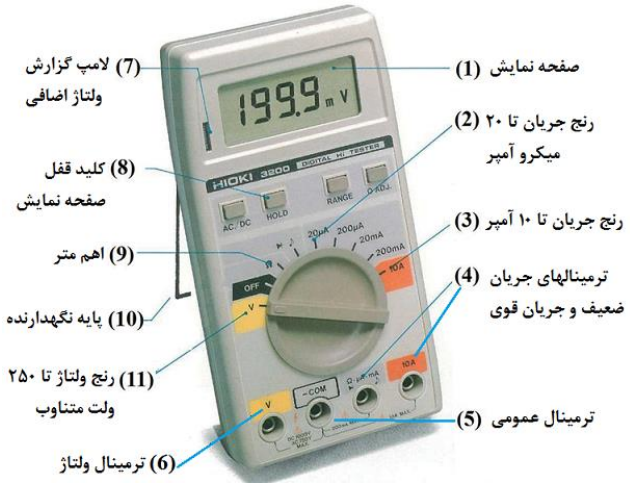
[1] *Avometer*
2 Galvanometer

که ارزان است، نیازی به باتری ندارد، می‌تواند نوسانات خوانش ها را اندازه‌گیری کند.

۲. مولتی‌متر دیجیتالی

شکل(۴۸) دو نمونه مولتی‌متر دیجیتال

مولتی متردیجیتال *fluke* یک دستگاه کوچک قابل حمل و دارای صفحه نمایش بزرگ است که برای اندازه‌گیری ولتاژ، جریان و آزمایش دیودها استفاده می‌شود. در برخی از مدل‌ها با ویژگی‌های پیشرفته‌تر اندازه‌گیری رطوبت، فرکانس، فشار و... نیز امکان‌پذیر است. این نوع عمدتاً برای کالیبراسیون جریان‌ها، ولت‌ها و سایر واحدهای الکتریکی به کار می‌رود. در شکل (۴۸) دو نمونه از مولتی‌مترهای دیجیتال نمایش داده شده اند. در آزمایشگاه فیزیک اغلب مولتی‌متر دیجیتال *Hioki3200Digital HiTeater* استفاده خواهید کرد.به اختصار توضیحی در مورد این سیستم ارائه می‌کنیم. (شکل(۴۹) تصویری از این مولتی‌متر را نشان می‌دهد.)



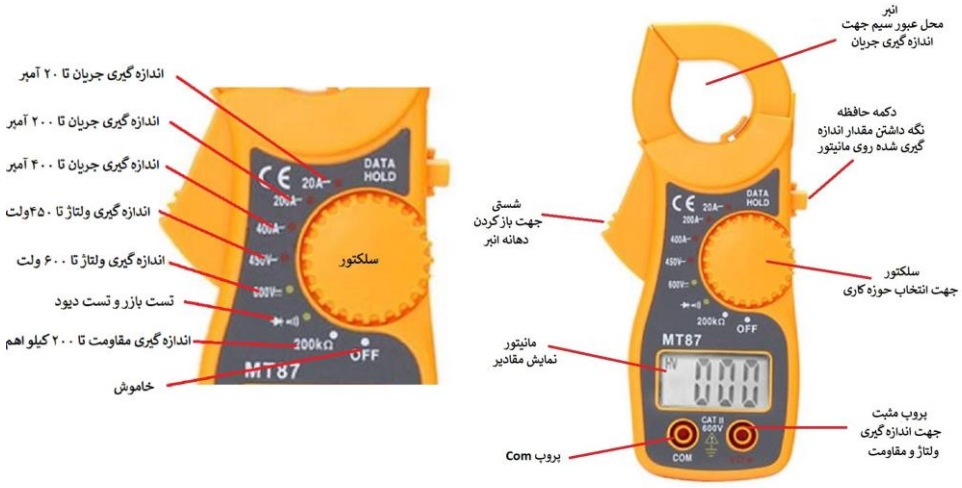
شکل(۴۹): تصویری از مولتی‌متر دیجیتال هایوکی۳۲

۳. مولتی‌متر رومیزی

شکل(۵۰) مولتی متر دیجیتال رومیزی

این مولتی‌متر از نوع دیجیتال است که قسمتهای مختلف آن در شکل (۵۰) نشان داده شده است.

۴. مولتی‌متر انبری[1]



شکل(۵۱) قسمت های مختلف مولتی‌متر انبری

این مولتی‌متر نیز از نوع دیجیتال است. اندازه‌گیری جریان با این مولتی‌متر بسیار ساده است و نیازی به قطع سیم ندارد در مبحث بعدی نحوه اندازه‌گیری با آن و تفاوت آن با سایر مولتی‌مترها بیان شده است.

1 *clamp meter*

- **نحوه اندازه‌گیری جریان با مولتی‌متر**

برای قرار دادن مولتی‌متر در مدار متوالی به ترتیب زیر عمل کنید.

۱- پراب قرمز مولتی‌متر را به ورودی *A/mA* اتصال دهید که معمولا دو سوکت سمت راست است.

۲- پراب مشکی مولتی‌متر ا به ورودی مشترک یا *COM* متصل کنید (سوکت مشکی رنگ)

۳- سلکتور مولتی‌متر را روی جریان (*DC A*، *mA*، *μA*) قرار دهید. محدوده جریان را باید از قبل بدانید تا بتوانید در رنج مشخص قرار دهید و یا از مولتی‌متر های اتو رنج- *Auto range* استفاده کنید. دقت شود کنار علامت *A*، دو خط موازی افقی است که خط دوم نقطه چین است:

۴- بخشی از مدار که قرار است جریان آن اندازه‌گیری شود را جدا یا اتصال باز کنید.

۵- ترمینال مثبت آمپرمتر(مولتی‌متر) را به سیمی که به قطب مثبت تغذیه (باتری) می‌رود، وصل کنید.

۶- ترمینال منفی آمپرمتر را به سیمی به سر مقاومت، وصل کنید.

۷- سپس با روشن کردن مولتی‌متر، شدت جریان اندازه‌گیری شده را مشاهده کنید.

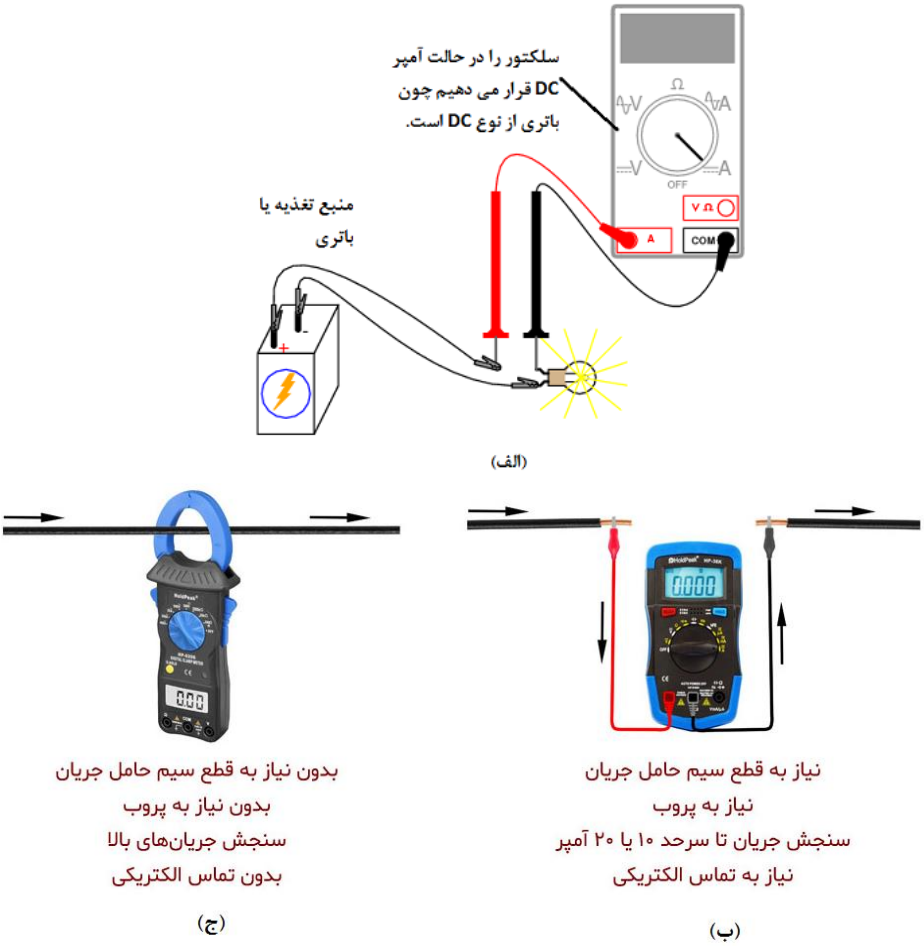
نکته۱ : در صورت منفی نشان دادن جریان، بدان معنی است که جهت آمپرمتر را برعکس در مدار گذاشته‌اید.

نکته۲ : در صورتی که جریان در حد آمپر باشد(ماکزیمم *10A*) باید حتما پراب به سوکت یا ترمینال (*10A*) متصل شود در غیر این صورت ممکن است باعث سوختن فیوز مولتی‌متر شود. البته این فیوز به راحتی قابل تعویض است.

نکته ۳: در صورتی که قصد اندازه گیری جریان *AC* را داشته باشید، سلکتور مولتی‌متر را بروی گزینه‌ای کنار علامت آمپر، "مد~ " دارد بگذارید.

نکته۴ : در مدل‌های اتو رنج (*Auto Rang*) و مولتی متر های جدید ، سلکتور آمپر *AC* و *DC* یکی می‌باشد.

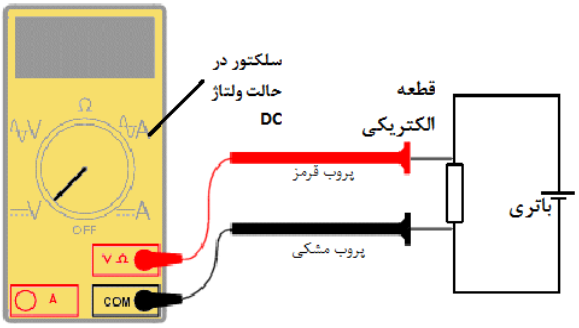
نکته۵ : در نحوه ندازه گیری جریان در مولتی‌مترهای انبری یا کلمپ در شکل (۵۲-ج) نشان داده شده است.



شکل(۵۲)در شکل (الف) و (ب)نحوه قرار دادن مولتی متر درمدار برای اندازه گیری جریان نمایش داده شده است. در شکل (ج) نحوه اندازه گیری با مولتی متر انبری نشان داده شده است.

➢ اندازه‌گیری ولتاژ با مولتی متر

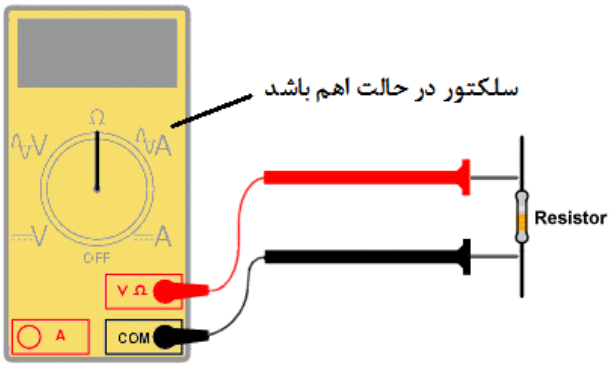
برای اندازه‌گیری ولتاژ باید در حالی که قطعه‌ای در مدار قرار دارد و مدار به منبع متصل شده است پروپ‌ها مولتی متر را به دو سر آن قطعه وصل کنیم (اصطلاحا مولتی متر موازی قطعه باشد.). سلکتور مولتی‌متر باید در حالت ولت باشد و سیم‌های رابط که بعنوان پروب استفاده می‌شود به ترمینال ولت و *com* وصل شود.



شکل(۵۳) نحوه اندازه گیری مقاومت با مولتی‌متر

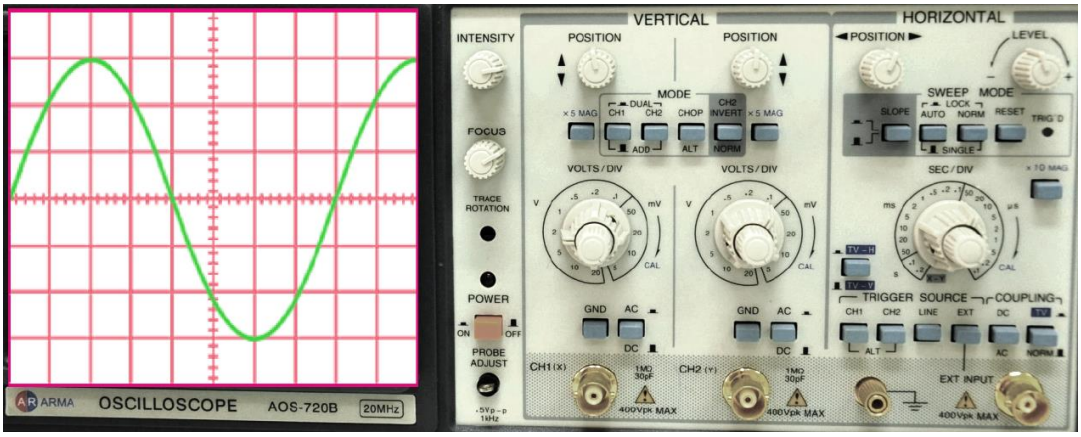
نحوه اندازه‌گیری مقاومت با مولتی متر

برای اندازه‌گیری مقاومت باید پایه‌های آن را از مدار خارج کرده و به باتری یا قطعه دیگری تماس نداشته‌باشد و پروپ‌ها را به دو سر آن وصل کنیم. سلکتور مولتی‌متر باید در حالت اهم باشد.



شکل(۵۴) اندازه گیری مقاومت با مولتی متر

۳-۲-۲- اسیلوسکوپ[1]



شکل(۵۵) نمایی از اسلوسکوپ *20MHz* و دوکاناله آزمایشگاه

اسیلوسکوپ یا نوسان‌نما یک دستگاه اندازه گیری است که از آن برای مشاهده شکل موجها و اندازه گیری ولتاژ ، زمان تناوب ، اختلاف فاز و همچنین مشاهده منحنی مشخصه ولت - آمپر عناصر نیمه هادی مانند دیود و ترانزیستور استفاده می شود . اسیلوسکوپ یک ولت متر دقیق است ولی توانایی اندازه گیری جریان را به طور مستقیم ندارد و برای اندازه گیری جریان باید از روشهای غیر مستقیم مانند قانون اهم استفاده کرد . یکی از مزایای اسیلوسکوپ این است که بر خلاف مولتی‌مترهای معمولی ، در فرکانس های بالا نیز به خوبی کار می کند. اندازه‌گیری و مشاهده شکل موجها در اسیلوسکوپ از ولتاژ با فرکانس صفر یعنی ولتاژ مستقیم

[1] Osilloscope

(*DC*) شروع و به فرکانس مشخصی ختم می‌شود مثلا اسیلوسکوپ *20MHz*، اسیلوسکوپی است که ولتاژهای *DC* و *AC* را تا فرکانس *20MHz* نمایش می‌دهد. با توجه به اینکه اسیلوکوپ یک دستگاه اندازه گیری است در حالت ایده‌آل نباید هیچ تاثیری روی سیگنال ورودی داشته باشد.

اسیلوسکوپ‌ها در دونوع آنالوگ و دیجیتال ساخته می‌شوند که هر یک می‌تواند یک کاناله، دو کاناله و یا چهار کاناله باشد. نمونه‌ای که در آزمایشگاه فیزیک ۲ با آن کار می‌کنیم نوع آنالوگ دو کاناله و *20MHz* است. اگرچه کلیدهای کنترلی اسیلوسکوپ‌های مختلف با هم فرق دارند ولی در نهایت کارکرد آنها در مدل‌های مختلف یکسان است. در ادامه چهار قسمت اصلی یک اسیلوسکوپ آنالوگ را توضیح خواهیم داد:

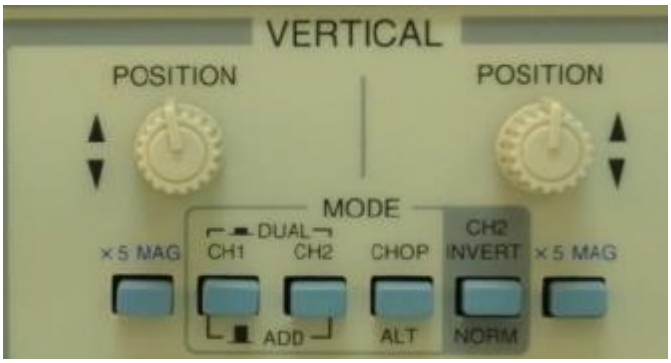
➢ انتخاب وضعیت[1] عمودی[2] یا افقی[3] موج

با توجه به اینکه از کدام کانال اسیلوسکوپ استفاده می‌کنیم، می‌توانیم موقعیت عمودی موج را روی صفحه نمایش تغییر دهیم. البته می‌توان همزمان دو موج را جداگانه در حالت *DUAL* و یا جمع ریاضی دو موج را به‌طور همزمان با قرار دادن کلیدها مورد نظر در حالت *ADD* در صفحه نمایش مشاهده کرد، شکل (۵۶).

توجه۱: بعضی از اسیلوسکوپ‌ها به‌جای کلید *DUAL* دو کلید دیگر به نام‌های *ALT* و *CHOP* دارند که هر دوی آن‌ها هم دو موج را همزمان نمایش می‌دهند، اما تفاوت آنها در این است *ALT* یک دوره تناوب از یک موج را به‌طور کامل و بسیار سریع نمایش می‌دهد و سپس موج کانال دوم را. اما وضعیت *CHOP* به‌صورت همزمان بریده‌های از یک موج و بریده‌هایی از موج دیگر را هم‌زمان نشان می‌دهد. شکل موج در فرکانس‌های پایین با نقطه نشان داده می‌شود.

توجه۲: در بعضی از اسیلوسکوپ‌ها دکمه تغییر وضعیت (*MODE X-Y*) در کنار همه دکمه‌های *VERTICAL MODE*، در بعضی دیگر در قسمت تریگر (*Trigger*) قرار دارد. در این وضعیت محور عمودی معرف کانال *I* و محور افقی نمایش تغییرات کانال *II* است.

[1] Position
[2] vertical
[3] Horizental



شکل(۵۶)

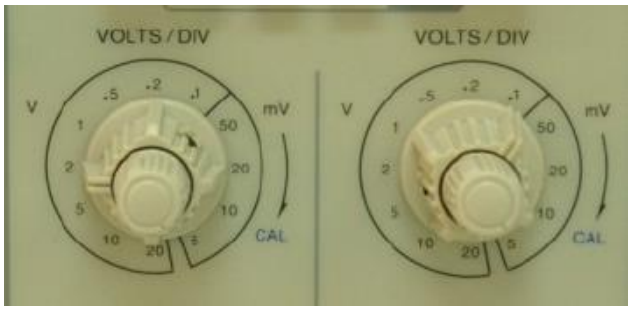
- **کنترل زمان**

کنترل دوره تناوب موج به کمک *SEC/DIV* صورت می‌گیرد، شکل(۵۷). همانطور که در شکل (۵۵) ملاحظه می‌شود صفحه نمایش اسیلوسکوپ با واحدهایی مدرج شده است. فرض کنید یک موج وارد اسیلوسکوپ شده و در صفحه نمایش نشان داده شده است با فرض اینکه با کمک *SWEEP MODE* موج را ثابت و با حداقل یک دوره تناوب بر روی صفحه نمایش داده شده باشد، برای به دست آوردن دوره تناوب یا پریود موج باید عددی را که سویچ یا سلکتور *SEC/DIV* روی آن قرار دارد را در واحد مربوط به آن قسمت ضرب کنیم. با معکوس کردن دوره تناوب فرکانس بدست می‌آید.

شکل(۵۷)

- **کنترل ولتاژ یا دامنه**

کنترل دامنه‌ی موج مربوط به واحدهای عمودی با کمک سلکتور *VOLT/DIV* انجام می‌شود که در این صورت باید ولتاژ قله تا قله یا پیک تا پیک (*P-P*) را در عددی که سلکتور *Volt/Div* روی آن قرار گرفته ضرب کرد تا دامنه موج را بدست آوریم، شکل(۵۸).



شکل(۵۸)

نکته۱: در هر کانال باید دامنه موج بر اساس مقیاس مربوط به آن کانال و جداگانه خوانده شود.

نکته۲:در اکثر اسیلوسکوپ‌ها روی سلکتور *SEC/DIV* و *VOLT/DIV* یک سلکتور کوچکتر وجود دارد که برای کالیبره کردن اسیلوسکوپ استفاده می‌شود و همیشه باید قبل از تنظیم سلکتورها این دستگیره یا سلکتور کوچک را تا منتهاالیه در جهت عقربه‌های ساعت بچرخانیم در غیر این‌صورت اندازه‌گیری ما صحیح نخواهد بود.

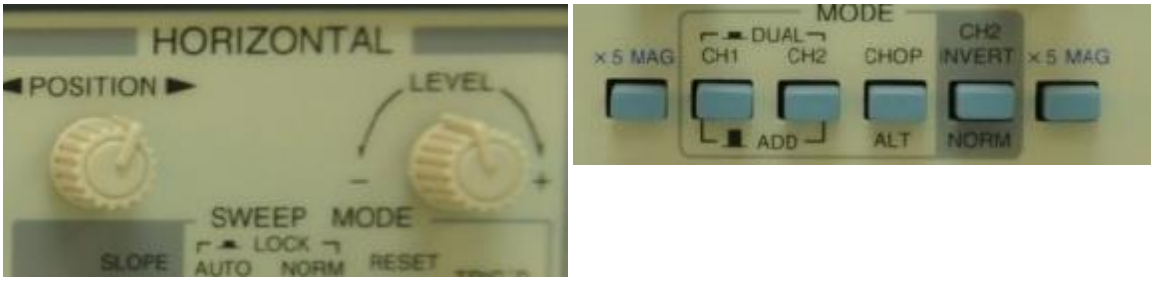
شکل(۵۹)

- **انتخاب وضعیت‌های *DC*، *GND* و *AC***

این کلیدها زیر *VOLT/DIV* قرار دارند و به ما این امکان را می‌دهند نوع خروجی را انتخاب کنیم، شکل(۶۰). به صورت که اگر کلید را در وضعیت *AC* قرار دهیم تنها مولفه‌ی *AC* سیگنال نمایش داده می‌شود و مقدار *DC* را حذف خواهد کرد. وضعیت *GND* ورودی را به زمین اتصال کوتاه می‌کند و امکان تنظیم عمودی سطح صفر را فراهم می کند. وضعیت *DC* موج را دست‌نخورده و بدون تغییر نشان می‌دهد.

شکل(۶۰)

نکته۱: همیشه در ابتدای شروع کار باید اسیلوسکوپ را تنظیم و سیگنال را روی صفر صفحه نمایش قرار دهیم. برای این کار ابتدا کلید را در حالت *GND* قرار داده و یا سلکتور *HORIZENTAL POITION* سیگنال را از روی خط افقی به صفر منتقل کنید. باید این کار را برای هر کانال بطور جداگانه انجام دهیم. برای تغییر وضعیت از یک کانال به کانال دیگر باید از کلید *MODE* استفاده کنیم.



شکل(۶۱)

نکته۲: استفاده از وضعیت *AC* اگرچه باعث مسدود کردن مقدار *DC* موج می‌شود اما در فرکانس‌های پایین می‌تواند باعث اعوجاج و به‌هم‌ریختگی شکل موج شود. دلیل این مساله استفاده از خازن‌ای ظرفیت بالایی است که بری حذف مقدار *DC* موج درون اسیلوسکوپ وجود دارد.

نکته۳: تنها مشکل *DC* این است که ممکن است مقدار *DC* موج، مزاحم اندازه‌گیری دقیق مقدار *AC* شود.

- **تریگر کردن اسیلوسکوپ با یک منبع خارجی**

تریگر کردن در واقع کالیبره کردن اسیلوسکوپ است که بوسیله‌ی سیگنال مربعی انجام می‌شود.

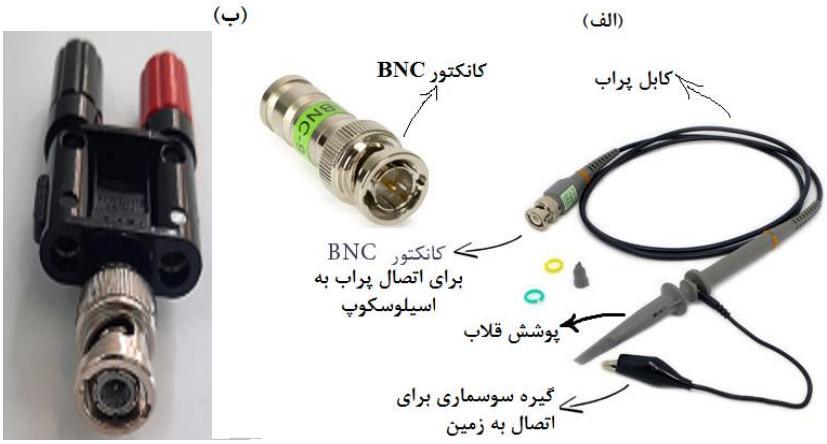
شکل(۶۲)

- **پروب‌های اسیلوسکوپ**

پراب یا پروب اسیلوسکوپ، وسیله ایست که توسط آن شکل موج از مدار به روی اسیلوسکوپ منتقل می‌کند. پراب انواع مختلف دارد:غیرفعال[1]، فعال[2]، دیفرانسیلی[3] و جریانی. پراب غیر فعال که در شکل زیر مشاهده می‌شود و معمولا برای کار با تمام مدارهای معمولی، مانند الکترونیک با سرعت پایین، ولتاژهای حدود ۵ ولت مناسب است. در آزمایشگاه فیزیک ۲ از کانکتور تبدیل *BNC* شکل (۶۳) سمت

[1] passive
[2] Active
[3] Differential

چپ برای سهولت استفاده می شود در این صورت با اتصال دو سیم رابط به این کانکتور می توان ولتاژ دو سر قطعه‌ها را به اسیلوسکوپ منتقل کرد و نیازی به استفاده از کابل و قلاب و گیره سمت راست نیست.



شکل (۶۳) سمت راست (الف) پراب غیرفعال همراه با کانکتور *BNC* و در سمت چپ(ب) کانکتور *BNC* آزمایشگاه فیزیک ۲

۳-۳- منابع تغذیه

برای ایجاد جریان در یک مدار الکتریکی نیاز به مولد جریان یا ولتاژ داریم. منابع تغذیه آزمایشگاهی انرژی خود را از راه‌های گوناگونی تامین می‌کنند، مانند: سیستم های انتقال انرژی الکتریکی، سیستم‌های الکترومکانیکی مانند ژنراتور و آلترناتور، مبدل انرژی خورشیدی و یا منبع تغذیه دیگر.

منابع تغذیه به طور کلی به دو دسته *AC* و *DC* تقسیم میشوند:

یکی از ابزار ضروری برای استفاده در آزمایشگاه فیزیک(۲)، انواع منابع تغذیه آزمایشگاهی می‌باشد. از این ابزار برای تأمین انرژی الکتریکی استفاده می‌شود. برای انتخاب این وسیله باید ویژگی‌هایی از قبیل ولتاژ خروجی، حداکثر جریان خروجی، شکل موج خروجی و در عین حال پایداری مشخصات خروجی دقت کرد.

اگرچه مجموعه وسیعی از لوازم الکترونیکی از جمله باتری‌های سربی- اسیدی، نیکل، هیدرید فلز وجود دارند که می‌توانند انرژی الکتریکی را ایجاد نمایند، اما دستگاه منبع تغذیه آزمایشگاهی علاوه بر این ویژگی قابلیت تثبیت انرژی بدست‌آمده را نیز دارا می‌باشد.

۳-۳-۱- اصول عملکرد منابع تغذیه آزمایشگاهی

خروجی‌های منبع تغذیه متغیر آزمایشگاهی علاوه بر آن‌که باید بتوانند ولتاژ خروجی را تنظیم نمایند، باید قابلیت تنظیم جریان خروجی را نیز داشته باشند. تنظیم ولتاژ خروجی به منظور استفاده از منبع ولتاژ

تثبیت شده و قابلیت محدود کردن جریان خروجی صورت می‌گیرد به این شکل که با قرار دادن منبع تغذیه در حالت ولتاژ بیشینه و محدود کردن جریان خروجی، می‌توان از آن به عنوان منبع جریان استفاده کرد. منابع تغذیه مورد استفاده در این آزمایشگاه منبع تغذیه مستقیم، متناوب و فانکشن ژنراتور هستند.

در ادامه توضیحی مختصر در مورد این سه منبع ارائه خواهد شد.

۳-۲-۱ الف- منبع تغذیه DC

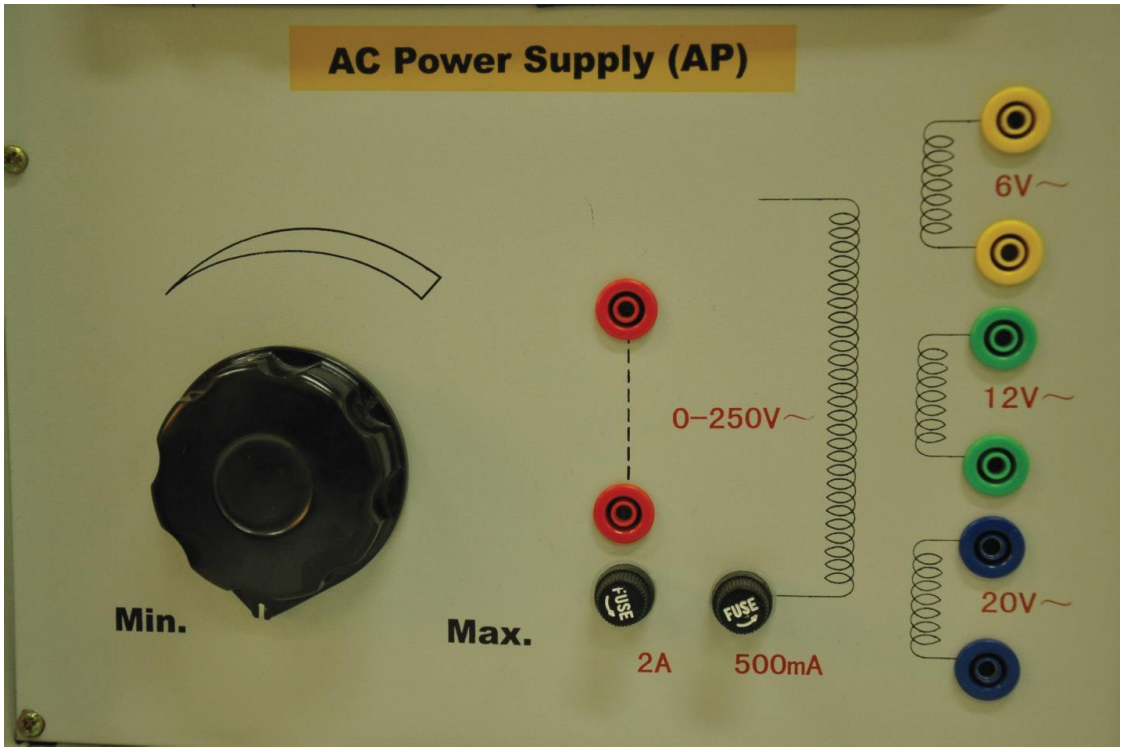
منابع تغذیه *DC* در آزمایشگاه وابسته به نوع آزمایش می‌تواند، تک کاناله یا چند کاناله باشد. همچنین می‌تواند کانال ثابت یا متغیر داشته باشد. منبع تغذیه مستقیم نصب شده بر روی میز کار در شکل(۶۴) نشان داده شده‌است.

شکل(۶۴): تصویری از منبع تغذیه مستقیم نصب‌شده بر روی میز کار الکترونیکی

از جای فیش‌های کانال‌های ۱ و ۲ جهت دسترسی به ولتاژهای متغیر بین صفر تا ۳۰ ولت استفاده می‌شود. در این حالت برای تنظیم مقدار ولتاژ و جریان باید از پیچ‌های تنظیم *VOLTAGE* و *CURRENT* استفاده شود. مقدار جریان و ولتاژ تنظیم شده را می‌توان از روی صفحه نمایش مربوطه مشاهده کرد. جفت جافیش کانال‌های ۳ و ۴ نیز به ترتیب مقدار ولتاژهای ثابت ۵ ولت و ۱۰ ولت را تامین می‌کنند. همانگونه‌که مشاهده می‌کنید، در هر خروجی شما حداقل دو خروجی مثبت و منفی دارید که وابسته به مدار گاهی انتخاب صحیح جهت شارش جریان اهمیت پیدا می‌کند. در صورتی‌که در آزمایشی از منبع مستقیم نصب‌شده بر روی میز کار استفاده نشود،در مورد منبع تغذیه جایگزین توضیحاتی ارائه خواهد شد.

۳-۳-۲-ب- منبع تغذیه AC

منبع تغذیه *AC* معمولاً منبع الکتریکی است که ولتاژ ۲۲۰ ولت شهر را با استفاده از مدارات داخلی به ولتاژی کمتر ولی با فرکانسی یکسان با فرکانس برق شهر تبدیل می‌کند. در آزمایش‌هایی که از منبع تغذیه *AC* استفاده می‌شود، خصوصیات این نوع از منبع توضیح داده می‌شود. از منبع روی میز کار الکترونیکی استفاده نمی‌شود، ولی جهت آشنایی اطلاعاتی در رابطه با آن در ادامه ارائه خواهد شد. در شکل(۳۰) نمای کلی منبع تغذیه *AC* نشان داده شده است.



شکل(۶۵): نمایی از منابع *AC* تعبیه شده بر روی میز کار الکترونیکی

همان‌گونه‌که در شکل نیز پیداست، از جفت جای فیش‌های زرد رنگ به منظور ایجاد مقدار ولتاژ متناوب *6* ولت و از جفت جافیش‌های سبز رنگ و آبی به ترتیب، جهت دسترسی به مقدار ولتاژهای *12* و *20* ولت استفاده می‌شود. همچنین به منظور استفاده از ولتاژهای متناوب و متغیر با نظارت کامل مربیان آزمایشگاه از جفت جافیش قرمز رنگ استفاده می‌شود. در این حالت پیچ تنظیم مقدار ولتاژ متناوب نیز در کنار آن تعبیه شده‌است.

۳-۳-۲-ج- فانکشن ژنراتور

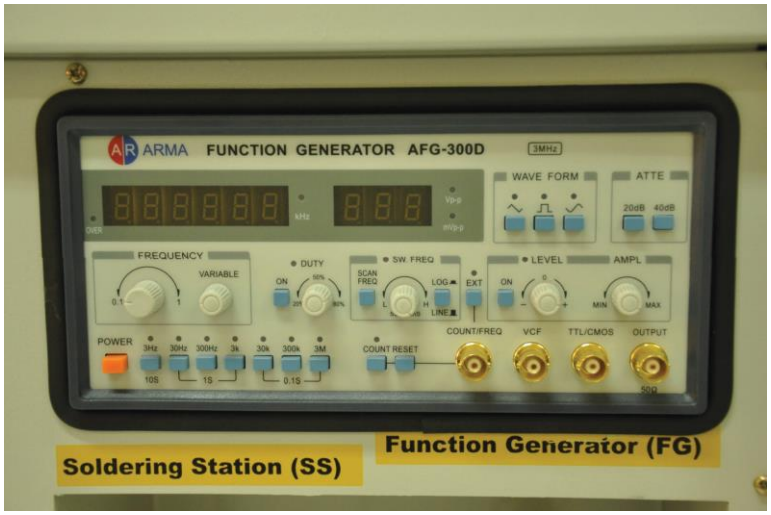
ژنراتورهایی که در گسترهٔ فرکانسی *Hz* تا *MHz 1(AF)* شکل موج‌های مختلفی از جمله سینوسی، مربعی، دندان‌ارهای و مثلثی ایجاد می‌کنند، فانکشن ژنراتور نام دارند. شاید از خود سوال کنید که سیگنال ژنراتور

چیست؟ و چه تفاوتی با فانکشن ژنراتور دارد؟ در ابتدا جواب سوال اول را داده و سپس به بررسی مورد دوم خواهیم پرداخت. سیگنال ژنراتور دستگاهی است که قادر به تولید سیگنال‌ها یا امواج الکترونیکی با مقدار دامنه(ولتاژ) و فرکانس موردنظر ما می‌باشد و برای وارد کردن به مدار و دیگر کارها آن را به خروجی می‌فرستد. بسیاری ازافراد فکر می‌کنند فانکشن ژنراتور و سیگنال ژنراتور با هم تفاوتی ندارند. سیگنال ژنراتور و فانکشن ژنراتور از مهم‌ترین دستگاه‌هایی هستند که کاربرد زیادی دارند. می‌توان گفت ماهیت این دو ژنراتور مثل هم است و هر دو سیگنال متناوب تولید می‌کنند. اصلی‌ترین تفاوت این دو مولد در نوع سیگنالی می‌باشند که آن‌ها تولید می‌کنند. فانکشن ژنراتورها قادرند انواع سیگنال‌های مربعی، سینوسی، مثلثی و ... را تولید کنند، درحالی‌که سیگنال ژنراتور فقط سیگنال سینوسی تولید می‌کند. تفاوت دیگر سیگنال ژنراتور با فانکشن ژنراتور در دامنهٔ سیگنال و میزان فرکانس می‌باشد. به طور کلی فرکانس سیگنالی که فانکشن ژنراتورها تولید می‌کند از فرکانس سیگنالی که سیگنال ژنراتور تولید می‌کند کمتر می‌باشد. پس سیگنال ژنراتورها قادرند سیگنال‌هایی با فرکانس بالا ایجاد کنند، به عنوان مثال فرکانس تولیدی در مدل‌های معمولی تا ۱۵۰ مگاهرتز قابل تنظیم می‌باشد. در فانکشن ژنراتورهای معمولی فرکانس تولیدی تا ۲ یا ۳ مگاهرتز می‌باشد. تفاوت دیگر در دامنه سیگنال است. در سیگنال ژنراتورها دامنه سیگنال‌های تولیدی خیلی کم و حدوداً چند ده میلی‌ولت است. در فانکشن ژنراتورها دامنه سیگنال‌های تولیدشده خیلی از سیگنال ژنراتورها بیشتر است. دامنه سیگنال ژنراتورهای معمولی در حدود ۱۰ تا ۲۰ ولت پیک تا پیک می‌باشد. نتیجه حاصل می‌شود که سه فاکتور اصلی در مقایسه بین سیگنال ژنراتور و فانکشن ژنراتور عبارتند از: میزان فرکانس، دامنه و شکل موج.

در تمامی آزمایشاتی که در آزمایشگاه از فانکشن ژنراتور استفاده شده‌است، از فانکشن ژنراتور *S12* ساخت شرکت لیبلد[1] استفاده شده‌است که در ادامه توضیح مورد نیاز ارائه خواهد شد. پیش از ورود به توضیحات مربوط به این دستگاه تصویری در مورد دستگاه‌های موجود بر روی میز کار در شکل(۶۶) ارائه خواهد شد.

[1] Leybold

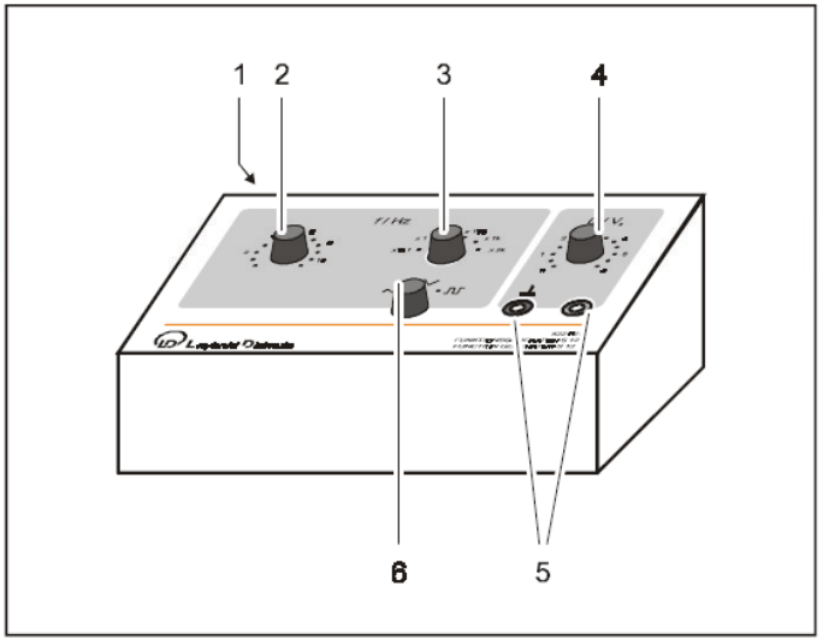
(الف)



(ب)

شکل(۶۶): الف) تصویری از سینگال ژنراتور، ب) تصویری از فانکشن ژنراتور

در شکل(۶۷) تصویری از فانکشن ژنراتور *S12* مشاهده می‌کنید. فانکشن ژنراتور ولتاژهای موج سینوسی، مثلثی و مربعی با دامنه و فرکانس قابل تنظیم تولید می‌کند. جریان تولیدی آن تا $1\ A$ است.



شکل(۶۷): تصویری از فانکشن ژنراتور *S12*

نکات عملکرد

- ✓ از منبع توان *V* ۱۲ *W* ۲۳۰ به عنوان ورودی این فانکشن استفاده نمایید
- ✓ هیچ منبع خارجی را به خروجی متصل ننمایید.

دستورالعمل دستگاه

۱- سیم‌های خروجی جهت اتصال به منبع ۱۲ ولت *AC*

۲- دکمه تنظیم فرکانس

۳- سوئیچ انتخاب بازهٔ فرکانسی

۴- دگمه تنظیم ولاژ خروجی

۵- سوکت‌های *mm* ۴ خروجی فانکشن ژنراتور

۶- سوئیچ انتخاب شکل سیگنال

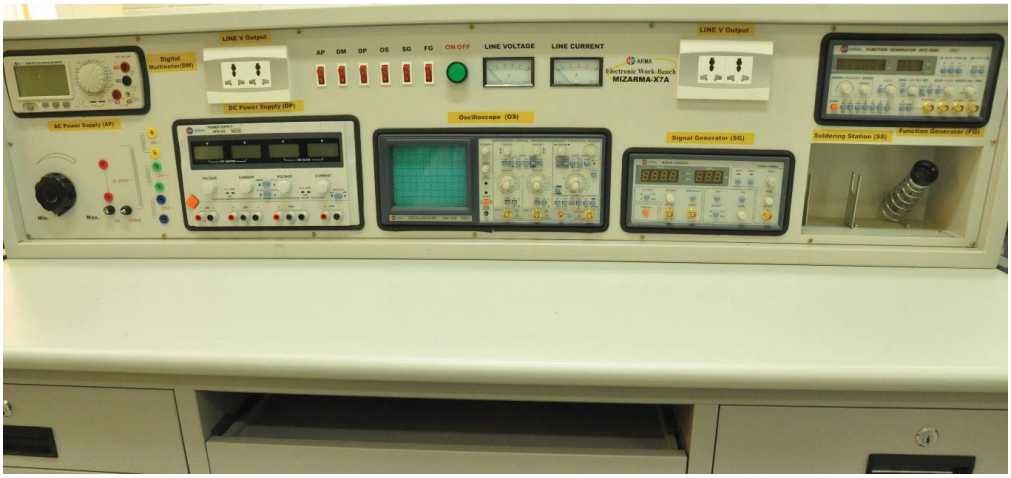
۳-۴- آشنایی با میز کار آزمایشگاه فیزیک پایه(۲)

میز کار آزمایشی که در آزمایشگاه فیزیک پایه ۲ تمامی آزمایش‌ها بر روی آن انجام می‌گیرند، دستگاه‌های الکترونیکی‌ای از قبیل: مولتی‌متر دیجیتال، منابع تغذیه *DC* و *AC*، اسیلوسکوپ، مولد خروجی‌های ولتاژ شهری و کلیدهای روشن و خاموش نمودن‌سیگنال(سیگنال ژنراتور[1]) و فانکشن ژنراتور، مربوط به هر یک از

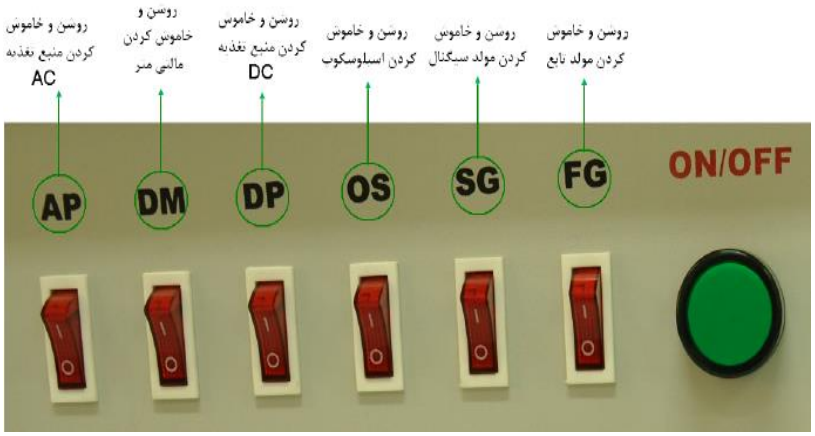
1 Signal generator

اجزا مذکور است. در شکل (۶۸) یک نمای کلی از این میز کار نشان داده شده‌است.

شکل(۶۸): تصویری از میز کار الکترونیکی آزمایشگاه فیزیک پایه(۲)



به منظور برقرار نمودن جریان الکتریکی اصلی میز کار آزمایش، پس از اطمینان حاصل کردن از اتصال سیم رابط اصلی میز کار به پریز برق، از کلید و فیوز تعبیه شده در کناره میز کار استفاده کنید(در این حالت چراغ سبز رنگ میز کار روشن خواهد شد). همچنین به منظور استفاده از هر یک از اجزا و دستگاه‌های الکترونیکی ذکر شده در بالا و روشن و خاموش کردن آن‌ها، از کلیدهای مخصوص و مربوط به هریک از این اجزا استفاده می‌شود. قرار دادن کلید در وضعیت I و روشن شدن چراغ نشانه آماده به کار بودن دستگاه مربوطه و قرار دادن کلید در وضعیت O و خاموش شدن چراغ نشانه فعال نبودن آن است شکل(۷۴) را مشاهده نمایید.



شکل(۶۹): نمایی از کلیدهای تعبیه شده بر روی میز کار الکترونیکی

همان‌گونه‌که ذکر شد، بر روی میز کار منابع و ابزار اندازه‌گیری تعبیه شده‌است و از سوی دیگر از ابزارهای قابل حمل نیز استفاده می‌شود.

دستور کار
آزمایشهای فیزیک ۲

آزمایش شماره ۱

تحقیق قانون اهم و اندازه‌گیری مقاومت‌رشته سیم‌های متفاوت ویژه

➢ اهداف آزمایش

- بررسی تجربی بستگی مقاومت رساناها به جنس و طول و سطح مقطع آنها
- بررسی قانون اهم

➢ وسایل مورد نیاز:

(۱)دستگاهی متشکل از رشته سیم‌هایی با سطح مقطع و جنس‌های مختلف برای اندازه‌گیری مقاومت، آنها (۲)منبع ولتاژ ، (۳)یک جفت سیم رابط آبی و قرمز به طول یک متر، (۴)تعداد ذو سیم رابط کوتاه (۵)تعداد دو دستگاه مولتی‌متر دیجیتال.

➢ تئوری آزمایش:

مقاومت اهمی به مقاومتی گفته می‌شود که در دمای ثابت نسبت ولتاژ اعمال شده به دو سرآن (**V**) به جریان گرفته شده از آن (**I**) مقدار ثابتی باشد به عبارت دیگر نمودار تغییرات I برحسب V خطی باشد، در اینصورت داریم:

$$\frac{V}{I} = R = cte \quad \rightarrow \quad V = RI \qquad (۱)$$

این رابطه که در آن R ثابت است را قانون اهم گویند. یک وسیله‌ی رسانا هنگامی از قانون اهم پیروی می‌کند که مقاومت آن وسیله مستقل از بزرگی و قطبیت اختلاف پتانسیل اعمال شده به دو سرآن باشد. اگر به جای وسایل رسانا بر مواد رسانا تأکید کنیم رابطه‌ی قانون اهم به شکل

$$\boldsymbol{E} = \rho \boldsymbol{j} \qquad (۲)$$

تبدیل می‌شود، در اینجا نیزنسبت میدان الکتریکی $\boldsymbol{E}$ به چگالی جریان $\boldsymbol{j}$ ثابت باشد. در این صورت ρ مقاومت ویژه فلز است. مقاومت ویژه نوع خاصی از مقاومت است که برای توصیف میکروسکپی و ذاتی خود ماده بکار می رود البته باید به این نکته توجه داشت که قانون اهم ویژگی خاصی برخی از مواد است و برای همه مواد برقرار نیست. مثلا ترانزیستورها و لامپهای خلاء از قانون اهم پیروی نمی کنند یعنی اگرچه رابطه $V = RI$ و $\boldsymbol{E} = \rho \boldsymbol{j}$ را می توان برای آنها نوشت اما برای این رساناهای غیر اهمی R و ρ مقادیر ثابتی نیستند.

اگر از یک رسانای استوانه ای با مساحت سطح مقطع A و طول l که دو سر آن به اختلاف پتانسیل ثابت V وصل شده است جریان I عبور کند، در این صورت میدان الکتریکی E و چگالی جریان j در تمام نقاط داخل استوانه ثابت بوده و به صورت زیر بدست می آیند:

$$E = \frac{V}{l} \qquad (۳)$$

$$E = \rho j \quad \text{و} \quad j = \frac{I}{A} \qquad \rightarrow \qquad E = \rho \frac{I}{A} \qquad (۴)$$

با جایگذاری رابطه‌ی اخیر در رابطه‌ی ۳ خواهیم داشت:

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad (۵)$$

➢ نحوهٔ انجام آزمایش:

توجه : قبل از بستن مدار، ابتدا پیچ تنظیم منبع تغذیه را به منتهاالیه سمت چپ بچرخانید تا ولتاژ منبع صفر شود سپس منبع تغذیه و دستگاه های اندازه گیری را روشن کنید، و با نظارت مربی از صحت بسته شدن مدار اطمینان حاصل بفرمایید.

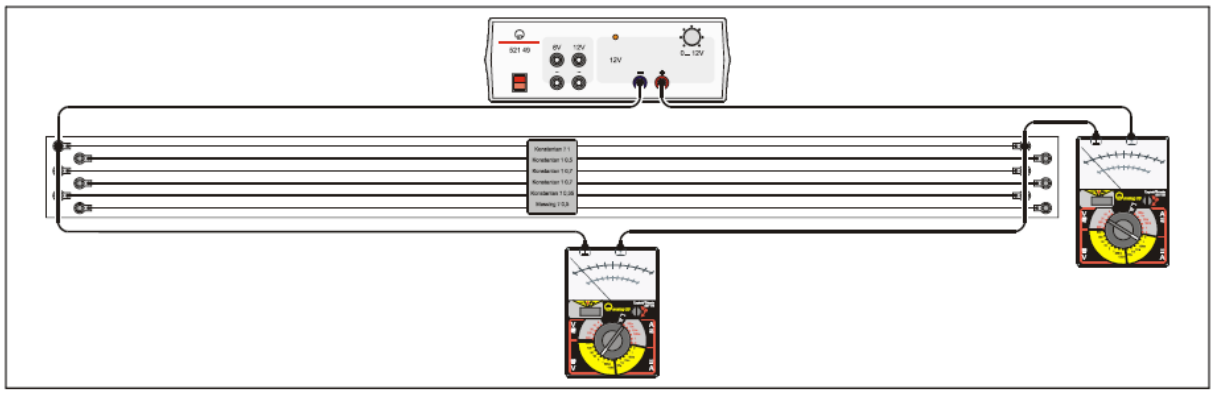
چیدمان آزمایشگاهی اندازه‌گیری با آمپرمتر و ولت‌متر در شکل(۱) نشان داده‌شده‌است.

الف– تاثیر تغییر سطح مقطع رسانا بر مقاومت اهمی آن

۱- یک رشته سیم کنستانتن به قطر ۰/۵میلی‌متر را انتخاب کرده، و منبع ولتاژ و آمپرمتر را به صورت سری به آن وصل کنید. سپس ولت متر را به صورت موازی با سیم مذکور قرار دهید.

۲- افت ولتاژ دو سر سیم را بین صفر تا ۳/۶ ولت با گام‌های ۰/۴ ولت تنظیم نموده، در هر مرحله جریان I و ولتاژ U را ثبت و در جدول(۱) وارد کنید.

۳- حال با انتخاب سیم کنستانتن با قطر ۰/۳۵ میلی‌متر آزمایش فوق را تکرار کرده و اندازه‌گیری‌ها را با گام‌های ۰/۸ ولت تا ۴/۰ ولت انجام دهید و جدول(۱) را تکمیل نمایید.



شکل(۱): چیدمان آزمایشگاهی تحقیق قانون اهم

جدول(۱): سیم‌های کنستانتن با طول یکسان(l=۱ m) و ضخامت‌های مختلف

$d = 0.35mm$ $A = 0.1mm^2$	$d = 0.5mm$ $A = 0.2mm^2$

$\Delta R = \lvert \bar{R} - R \rvert$	$R(\Omega)$	$I(A)$	$U(V)$	$\Delta R = \lvert \bar{R} - R \rvert$	$R(\Omega)$	$I(A)$	$U(V)$
			۰/۸				۰/۲
			۱/۶				۰/۴
			۲/۴				۰/8
			۳/۲				۱/۲
			4/0				۱/۶
							۲/۰
							۱/۴
							2/4
							2/8

توجه : قبل از بستن مدار، ابتدا پیچ تنظیم منبع تغذیه را به منتهاالیه سمت چپ بچرخانید تا ولتاژ منبع صفر شود سپس منبع تغذیه و دستگاه های اندازه گیری را روشن کنید، و با نظارت مربی از صحت بسته شدن مدار اطمینان حاصل بفرمایید.

ب– تاثیر تغییر طول رسانا بر مقاومت اهمی آن

با استفاده از یک سیم کوتاه دو سیم کنستانتن به قطر ۰/۵ میلی‌متر را به صورت سری به یکدیگر متصل نمایید (طول کل در این حالت ۲ متر خواهد بود). سپس اندازه‌گیری‌های آزمایش فوق را با گام‌های ۰/۲ ولت تکرار کنید و جدول (۲) را تکمیل نمایید.

جدول(۲): سیم‌های کنستانتن با ضخامت یکسان($d = ۰/5\ mm$) و طول‌های مختلف

$l = 1m$				$l = 2m$			
$\Delta R = \lvert \bar{R} - R \rvert$	$R(\Omega)$	$I(A)$	$U(V)$	$\Delta R = \lvert \bar{R} - R \rvert$	$R(\Omega)$	$I(A)$	$U(V)$
			۰/۲				۰/۲
			۰/۴				۰/۴
			۰/8				۰/8
			۱/۲				۱/۲
			۱/۶				۱/۶
			۲/۰				۲/۰
			۱/۴				۱/۴
			2/4				2/4
			2/8				2/8

توجه : قبل از بستن مدار، ابتدا پیچ تنظیم منبع تغذیه را به منتهاالیه سمت چپ بچرخانید تا ولتاژ منبع صفر شود سپس منبع تغذیه و دستگاه های اندازه گیری را روشن کنید، و با نظارت مربی از صحت بسته شدن مدار اطمینان حاصل بفرمایید.

ج– تاثیر تغییر جنس رسانا بر مقاومت اهمی آن

۱- یک سیم کنستانتن به قطر ۰/۵ میلی‌متر و طول ۱ متر ویک سیم برنجی به قطر ۰/۵ میلی‌متر و طول ۱ متر را انتخاب نمایید.

۲- مجموعهٔ اندازه‌گیری‌های قبلی را برای سیم برنجی به قطر ۰/۵ میلی‌متر با گام‌های ۰/۱ ولت تا ۰/۷ ولت انجام داده و با مجموعهٔ اندازه‌گیری‌های کنستانتن به قطر ۰/۵ میلی‌متر و با گام‌های ۰/۲ ولت مقایسه نمایید و جدول(۳) را تکمیل کنید.

جدول(۳): سیم‌های برنجی و کنستانتن با ضخامت و طول یکسان($d = ۰/۵\ mm$ و $l = ۱\ m$)

سیم کنستانتن				سیم برنجی			
$\Delta R = \lvert\bar{R} - R\rvert$	***R(Ω)***	***I(A)***	***U(V)***	$\Delta R = \lvert\bar{R} - R\rvert$	***R(Ω)***	***I(A)***	***U(V)***
			۰/۴				۰/۱
			۰/۶				۰/۲
			۰/۸				۰/۳
			۱/۰				۰/۴
			۱/۲				۰/۵
			۱/۴				۰/۶
			۱/۶				۰/۷
			۱/۸				
			۲/۰				

مقایسه کیفی و کمی

الف- وابستگی مقاومت به مساحت سطح‌مقطع سیم

۱- با استفاده از جدول (۱) نمودار $U(V)$ بر حسب $I(A)$ را برای سیم‌های با مساحت سطح مقطع متفاوت رسم کنید.

۲- شیب خط را برای هرکدام از خطوط به دست‌آورده و جدول(۴) را تکمیل نمایید.

جدول(۴): مقاومت R سیم کنستانتن به طول ۱ متر به صورت تابعی از مساحت سطح‌مقطع A، محاسبه‌شده از شیب خط منحنی‌های مربوط به جدول (۱)

$A\left(mm^2\right)$	۰/۱	۰/۲
$R\left(\Omega\right)$		

۳- از جدول (۱) درصد خطای نسبی $\frac{\Delta R}{R} \times 100$ را برای هر دو سیم مذکورمحاسبه کنید.

۴- نسبت $\frac{R_1}{R_2}$ را با نسبت $\frac{A_1}{A_2}$ مقایسه کنید.

ب- وابستگی مقاومت به طول سیم

۱- نمودار $U(V)$ بر حسب $I(A)$ را برای جدول(۲) رسم نمایید. شیب نمودار حاصل را محاسبه نموده و جدول(۵) را تکمیل نمایید.

جدول(۵): مقاومت R سیم کنستانتن با ضخامت ۰/۵ میلی‌متر به صورت تابعی از طول l، محاسبه‌شده از منحنی جدول(۲)

$l(m)$	۱	۲
$R\,(\Omega)$		

۲- از جدول (۲) درصد خطای نسبی $\frac{\Delta R}{R} \times 100$ در برای هر دو سیم محاسبه کنید.

۳- نسبت $\frac{R_1}{R_2}$ را با نسبت $\frac{l_1}{l_2}$ مقایسه کنید.

ج- وابستگی مقاومت به جنس سیم

۱- از جدول(۳) نمودار $U(V)$ بر حسب $I(A)$ را رسم نمایید. شیب منحنی‌های حاصل را به دست آورده و جدول(۶) را تکمیل نمایید.

جدول(۶): مقاومت سیم کنستانتن و سیم برنجی، تعیین‌شده از شیب منحنی جدول (۳)

ماده	برنج	کنستانتن
$R\,(\Omega)$		
$\rho\left(\Omega m^2\right)$		

۲- درصد خطای نسبی $\frac{\Delta R}{R} \times 100$ را برای سیم برنجی جدول (۳) محاسبه کنید.

۳- نسبت $\frac{R_1}{R_2}$ را با نسبت $\frac{\rho_1}{\rho_2}$ مقایسه کنید.

۴- با توجه به آن‌که جنس سیم‌های مذکور مشخص است، خطای اندازه‌گیری مقاومت ویژه را از مقایسه مقدار به دست آمده در جدول (۶) و مقدار واقعی آن محاسبه نمایید.

➢ سوالات

۱- اگر ۱۰ رشته سیم مسی به طول ۱ متر و سطح‌مقطع ۱ میلی‌متر مربع از جنس مس موجود باشد، چه روشی برای رسیدن به بیشترین مقاومت برای این رشته سیم‌ها پیشنهاد می‌کنید؟ اگر بخواهیم مقاومت را کاهش دهیم چه روشی مناسب است؟

۲- مقاومت ویژه مواد به چه عواملی بستگی دارند؟ آیا به شکل سیم یا قطعه و ساخته‌شده از آن وابسته است؟

۳- اگر سطح مقطع سیم ثابت نباشد، چگونه می توان رابطه ای بین مقاومت و مقاومت ویژه را به دست آورد؟

آزمایش شماره ۲

اندازه‌گیری مقاومت مجهول به روش‌های پل وتستون و پل تار

این آزمایش در دو بخش طراحی شده است. الف)پل‌وتستون، ب)پل‌تار.

(الف) پل وتستون

➢ اهداف آزمایش

آشنایی با مدار پل وتستون و اندازه‌گیری مقاومت به وسیله آن

➢ وسایل مورد نیاز

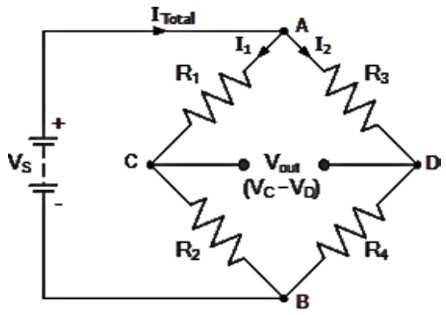
(۱) برد A_4 ،(۲) مجموعه ۱۰ تایی پل، (۳) مقاومت ۲۲۰Ω و ۴۷۰Ω، (۴) پتانسیومتر یا جعبه مقاومت متغییر به عنوان مقاومت R_3،(۵) مقاومت های مجهول R_{x_1}، R_{x_2}، R_{x_3}، R_{x_4}، (۶) منبع تغذیه DC، (۷) مولتی‌متر دیجیتال.

➢ مقدمه

مدار پل[1] یک چیدمان خاص در مدارهای الکتریکی است، که در آن دو شاخه‌ی موازی از مدار، توسط یک شاخه سوم از نقطه میانی پل می‌شوند. این نوع مدار هم برای مدارهای جریان مستقیم و هم برای مدارهای جریان متناوب استفاده می‌شود. انواع مدار شامل پل وتستون و پل تار است که برای اندازه‌گیری دقیق مقاومت نامعلوم در مدارهای جریان متناوب به‌کار می‌رود. از انواع دیگر پل می‌توان پل وین و پل ماکسول را نام برد که در مدارهای جریان متناوب استفاده می‌شوند و درآزمایش۹ با آنها آشنا خواهید شد. همچنین از پل‌های دیودی برای یکسوسازی و بدست‌آوردن جریان مستقیم استفاده می‌شود که خارج از بحث آزمایشگاه فیزیک۲ است.

پل‌وتستون شناخته شده‌ترین مدار پل است که اولین بار چارلز وتستون[2] از آن برای اندازه‌گیری مقاومت مجهول استفاده کرد. در این مدار مطابق شکل(۱) دو مقاومت معلوم و ثابت $\boldsymbol{R_1}$و $\boldsymbol{R_2}$ و یک مقاومت متغییر $\boldsymbol{R_3}$(جعبه مقاومت، رئوستا ویا پتانسیومتر) و مقاومت مجهول $\boldsymbol{R_4 = R_x}$ وصل می‌شوند. بین دو نقطه D و C یک گالوانومتر و یا مولتی‌متر دیجیتال برای نشان دادن جریان بین این دو نقطه قرار دارد. وقتی منبع تغذیه DC روشن شود، جریان به نقطه A می‌رسد و در اینجا به دو شاخه $\boldsymbol{I_1}$ و $\boldsymbol{I_2}$ تقسیم می‌شود و بین دو نقطه D و C نیز ممکن است جریانی برقرار شود. چنانچه مقاومت متغییر $\boldsymbol{R_3}$ را تغییر دهیم تا مولتی‌متر جریان صفر را نشان دهد، در این صورت $\mathbf{V_C}=\mathbf{V_D}$ است و پل در حال تعادل است.

1- Bridge circuit
2 - Charles Wheatstone



شکل(۱): طرح شماتیک مدار پل وتستون

در این حالت:

$$V_{out} = (V_C - V_D) = 0 \Rightarrow \begin{cases} V_{R_1} = V_{R_3} \\ V_{R_2} = V_{R_4} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = I_3 \\ I_2 = I_4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 I_1 = R_3 I_3 \\ R_2 I_2 = R_4 I_4 \end{cases} \Rightarrow R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1} \qquad (۱)$$

به این ترتیب مقاومت مجهول R_4 قابل اندازه‌گیری است.

خطای اندازه‌گیری R_x، با روش دیفرانسیلی به صورت زیر در می آید:

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} \qquad (۲)$$

➢ روش انجام آزمایش

➢ **توجه : قبل از بستن مدار، ابتدا پیچ تنظیم منبع تغذیه را به منتهاالیه سمت چپ بچرخانید تا ولتاژ منبع صفر شود سپس منبع تغذیه و دستگاه های اندازه گیری را روشن کنید، و با نظارت مربی از صحت بسته شدن مدار اطمینان حاصل بفرمایید.**

۱- مقاومت R_1 و R_2 را طبق جدول(۱) انتخاب کرده و به صورت سری به یکدیگر وصل کنید.

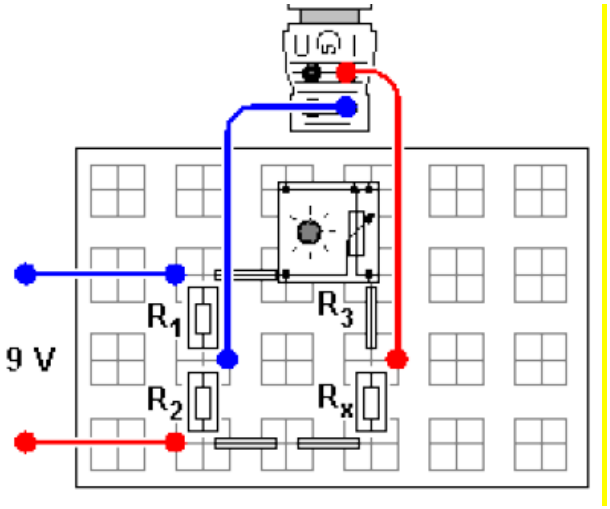
۲- مقاومت $R_x=R_4$ را به عنوان مقاومت مجهول انتخاب کرده و مانند شکل(2) به مقاومت متغیر R_3 متصل نمائید.

۳- آمپرمتر را بین نقطه D و C متصل نمائید.

۴- پتانسیومتر را تغییر دهید تا آمپرمتر عدد صفر را نشان دهد.

۵- پتانسیومتر را به آهستگی از محل خود خارج کرده و بر روی فضایی مستقل از مدار بر روی برد A_4 نصب کنید. با استفاده از اهم‌متر مقدار مقاومت بین دو پایه متغیر آنها را اندازه‌گیری نموده و در جدول(۱)ثبت کنید.

۶- آزمایش را برای مقاومت‌های مجهول دیگر جدول(۱) تکرار نموده مقدارR_x هریک را به دست‌آورید.



شکل(۲): تصویری از مدار پل وتستون

۸- با توجه به توضیحات صفحه ۳۸ دستورکار به کمک کدهای رنگی روی مقاومت های R_x، مقدار این مقاومت و خطای آن را بخوانید.

۹- مقدارخطای مقاومت متغییر R_3 (پتانسیومتر یا جعبه مقاومت) روی دستگاه نوشته شده است. مقاومت های R_1 و R_2 را از مدار خارج کرده و به کمک اهم متر مقدار آن را اندازه‌گیری کنید. با جایگذاری این مقادیر در رابطه (۴)، درصد خطای نسبی مقاومت های مجهول را بدست آورده و در جدول (۱) یادداشت کنید.

جدول(۱): مقادیر مربوط به آزمایش محاسبه مقاومت مجهول با استفاده از پل وتستون

$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_3 = R_{variable}(\Omega)$	$R_X(\Omega)$	درصد خطای نسبی
۲۲۰	۴۷۰		$R_{x_1} = ?$	
۲۲۰	۴۷۰		$R_{x_2} = ?$	
۲۲۰	۴۷۰		$R_{x_3} = ?$	
۲۲۰	۴۷۰		$R_{x_4} = ?$	

سوالات

۱-آیا اندازه‌گیری مقاومت $1K\Omega$ با مقاومت متغیر ۲۲۰ اهمی امکان‌پذیر است؟ در مورد این پدیده به طور کامل توضیح بدهید.

۳- این روش اندازه‌گیری برای مقاومت‌های کوچک در حد $m\Omega$ مناسب‌تر است یا مقاومت‌های بزرگ؟

۴- چرا برای اندازه‌گیری مقاومت‌های کوچک (در بازهٔ کوچک‌تر از چند اهم)استفاده از پل وتسون مناسب‌تر از استفاده از مولتی‌متر است؟

۵-آیا استفاده از ولت‌متر و یا آمپرمتر را برای اندازه‌گیری معیار هم پتانسیل‌شدن دو نقطه C و D پیشنهاد می‌کنید؟ چرا؟

۶- چرا مقاومت متغیر را از مدار خارج نموده و سپس مقاومت آن را در مدار اندازه‌گیری می‌کنید؟

(ب) پل تار

➢ اهداف آزمایش

آشنایی با پل تار و تعیین مقاومت‌ها با استفاده از آن

➢ وسایل مورد نیاز

(۱) پل تار به طول یک متر، (۲) مقاومت های R_{x_3} و R_{x_5} برای به عنوان مقاومتی مجهول، (۳) جعبه مقاومت متغیر با دقت حداقل یک اهم، (۴) منبع ولتاژ DC، (۵) سیم‌های رابط، (۶) مولتی‌متر دیجیتال.

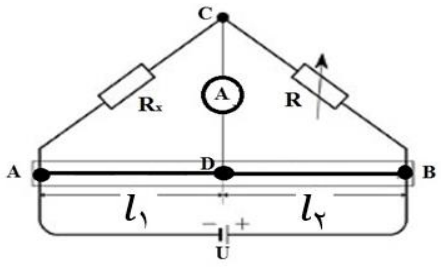
➢ تئوری آزمایش:

پل تار تشکیل شده‌است از یک رشته سیم که بین دو نقطه از سطح یک تخته یا یک جسم عایق خط‌کشی شده کشیده شده‌است و مطابق شکل (۲) به دو مقاومت R و R_x و منبع DC اتصال دارد. این سیم در نقطه D توسط یک رابط لغزنده به دو قسمت l_1 و l_2 تقسیم شده‌است. در حقیقت در پل تار این دو قطعه سیم l_1 و l_2 جایگزین دو مقاومت معلوم R_1 و R_2 شده‌اند. مقاومت هر قطعه با طول آن متناسب است و برابر است با

$$R = \rho \frac{l}{A} \qquad (۶)$$

از این رو در حالت تعادل، شبیه پل وتستون، مقاومت مجهول از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

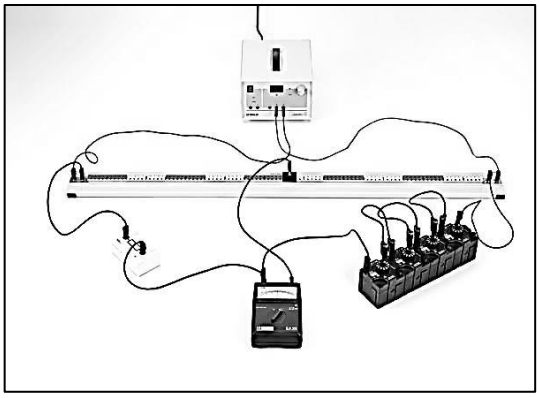
$$R_x = \frac{l_1}{l_2} R \qquad (۷)$$



شکل (۲): مدار پل تار

➢ روش انجام آزمایش

مدار آزمایش را مطابق شکل(۲) و (۳) ببندید. مقاومت R_{x_5} را برای اندازه‌گیری به عنوان مقاومت مجهول متصل کنید. ولتاژ منبع تغذیه را حدود **۰/۱ V** تنظیم نموده و دقت کنید که مقدار جریان زیر ۲۰۰mA باشد.



شکل(۳): چیدمان آزمایش

الف) ایجاد تعادل با تنظیم l_1 و l_2

هدف از این قسمت پیدا کردن مقاومت مجهول R_{x_5}و R_{x_3} می‌باشد

۱- مقاومت متغیر را از حدود ۳ اهم شروع نمائید.

۲- منبع DC را روشن کرده و ولتاژ آن را روی V ۰/۱ تنظیم کنید (این‌کار را در حالتی که مدار قطع است،انجام دهید تا آسیبی به مدار نرسد).

۳- طول l_1 و l_2 را به گونه‌ای تنظیم نمائید که آمپرمتر مقدار $I=0A$ را در محدوده‌ی $20mA$ نشان دهد.

۴- مقادیر R، l_1 و l_2 را در جدول(۲) ثبت نمائید[1]. با کمک کدهای رنگی روی مقاومتR_{x5}، مقدار آن را مشخص کرده و در جدول (۲) ثبت نمائید.

۵- به تدریج مقاومت R را افزایش داده و آزمایش را تکرار کنید.

۶- مراحل مذکور را برای مقاومت R_{x_3} تکرار نموده و به ترتیب جدول (۳) را تکمیل نمائید.

جدول (۲): اندازه‌گیری مقاومت $R_{x_5}(\Omega)$

$R_{x_5}(\Omega)$ باکدرنگی	**R (Ω)**	**L_1(cm)**	**L_2(cm)**	$R_x = \frac{l_1}{l_2}R(\Omega)$	$\Delta R_x = \lvert\overline{R_x} - R_x\rvert$
	۵				
	۱۰				
	۲۵				
	۳۰				
				$\overline{R_x} = \frac{\sum R_x}{n}$	

جدول (۳): اندازه‌گیری مقاومت$R_{x_3}(\Omega)$

[1]- توصیه می‌شود پس از آنکه آمپرمتر مقدار صفر را نشان داد، منبع را خاموش کنید و سپس فرآیند خواندن S_1 و S_2 را انجام دهید تا سیم داغ نشود.

$R_{x_3}(\Omega)$ باکدرنگی	$R\ (\Omega)$	$L_1(cm)$	$L_2(cm)$	$R_x = \frac{l_1}{l_2}R(\Omega)$	$\Delta R_x = \lvert \overline{R_x} - R_x \rvert$
	۳۰				
	۱۰۰				
	۱۵۰				
	۳۰۰				
				$\overline{R_x} = \frac{\sum R_x}{n}$	

ب) ایجاد تعادل با تطبیق مقاومت متغیر

در اینجا می‌خواهیم پیدا کردن مقاومت مجهول R_{x_5}و R_{x_3} می‌باشد

۱- طول سیم‌های l_1 ,l_2 را دقیقاً روی ۵۰cm تنظیم نمائید.

۲- مقاومت R_{x_5} را وصل کرده و مقاومت متغیر را نیز متصل نمائید.

۳- مقدار ولتاژ منبع را ۰/۱ ولت انتخاب نمائید.

۴- مقاومت متغیر را به گونه‌ای تنظیم کنید که آمپرمتر در رنج $۲۰mA$ مقدار صفر را نشان دهد. مقدار R_{x_5} و را تعیین کرده و جدول (۴) را کامل کنید.

۵- آزمایش را با مقاومت‌های مختلف R_{x_3} تکرار نمائید.

جدول (۴): اندازه‌گیری مقاومت با استفاده از مقاومت متغیر

$R_X(\Omega)$	$R(\Omega)$

➢ سوالات

۱- با توجه به آزمایش‌ها و محاسبات انجام شده آیا روش پل تار جواب دقیق‌تری می‌دهد یا روش پل وتستون؟

۲- عوامل مؤثر در افزایش دقت پل تار چیست؟

۳- برای دو جدول (۲) و (۳) نمودار R را بر حسب $\frac{l_2}{l_1}$ رسم کنید و مقدار R_x را با کمک شیب خط بدست آورید.

$$R = R_x \frac{l_2}{l_1}$$

۴- درصد خطای نسبی R_{x_5} و R_{x_3} را به روش میانگین گیری بدو جدول R_{x_5} و R_{x_3} بدست آورید.

آزمایش شماره (۳)

بررسی رفتار آمپرمتر به عنوان مقاومت اهمی در مدارات الکتریکی

۱- **اهداف آزمایش** تعیین مقاومت داخلی آمپرمتر

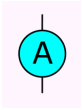
۲- افزایش بازه اندازه‌گیری جریان توسط آمپرمتر با اتصال یک مقاومت شنت[1] به صورت موازی به آن

➢ وسایل مورد نیاز

(۱) دو مولتی‌متر دیجیتال، (۲) برد *A4*، (۳) شش عدد مقاومت $۱۰\,\Omega$ (۴) یک عدد مقاومت $۱۰۰\,\Omega$ (۵) مجموعه ۱۰ تایی پلهای ارتباطی، ۶-منبع تغذیه *DC*، ۷-سیمهای رابط

➢ تئوری آزمایش

آمپرمتر وسیله‌ای برای اندازه‌گیری جریان در یک مدارالکتریکی است. جریان معرف میزان سرعت عبور بار الکتریکی ازنقاط مختلف مدار است. در مدارهای الکتریکی یک آمپرمتر مانند شکل زیر با حرف A نمایش داده می‌شود.



شکل(۱): نماد مداری آمپر متر

این آمپرمترها را می‌توان براساس طراحی، ساختار و یا نوع جریان عبوری از آنها طبقه‌بندی کرد. آمپرمترها بر اساس ساختار به پنج دسته تقسیم می‌شوند:

(۱)آمپرمتر با سیم‌پیچ متحرک. (۲) آمپرمتر با آهنربای متحرک (۳) آمپرمتر با آهن متحرک. (۴) آمپرمتر الکترودینامیک ۶-آمپرمتر سیم داغ.

همچنین از نظر جریان عبوری، آمپرمترها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱-آمپرمتر جریان متناوب(AC) ۲-آمپرمتر جریان مستقیم (DC).

برای اندازه‌گیری جریان، باید کل جریان از داخل آمپرمتر عبور کند. به همین خاطر آن را به صورت سری با مدار می بندیم و این امر باعث می‌شود یک مقاومت اضافی مربوط به این دستگاه در مدار اعمال شود که به آن مقاومت داخلی

[1] - Shunt resistors

آمپرمتر گویند و با R_i نشان می دهند. آمپرمتر به دلیل مقاومت داخلی خود، مقاومت کل مدار را افزایش میدهد، درنتیجه از مدار شامل آمپرمتر جریان کمتری نسبت به مدار بدون آن می‌گذرد. برای اینکه تاثیر این مقاومت داخلی را در میزان جریان عبوری مدار کم کنیم دو راه داریم. در روش اول می‌توانیم از دستگاه‌های اندازه گیری مانند اسیلوسکوپ استفاده کنیم که جریان را به‌طور مستقیم اندازه نمی‌گیرد و قادر است تا جریان‌های بزرگی که یک مولتی‌متر استاندارد قادر به اندازه‌گیری آنها نیست را اندازه‌گیری کند. روش دوم استفاده از مقاومت خارجی شنت است تا به کمک آن دستگاه اندازه‌گیری را از مدار مجزا کنیم.

در واقع استفاده از مقاومت شَنت روشی ارزان و ساده برای اندازه‌گیری غیرمستقیم جریان‌های بزرگ با استفاده از آمپرمتر است. برای اثرگذاری خیلی کم این مقاومت بر اندازه‌گیری جریان مقاومت آن بسیار کوچک انتخاب شود. عملاً در این آزمایش با به هم بستن مقاومتهای ۱۰ اهمی به صورت سری و موازی مقاومتهای کوچکتری را به عنوان مقاومت شنت می‌سازیم.

در این آزمایش ابتدا با اندازه‌گیری افت ولتاژ دو سر آمپرمتر در حین اندازه‌گیری جریان و سپس جریان گذرنده از آن (عددی که آمپرمتر نشان می‌دهد). می‌توان مقاومت داخلی آمپرمتر را از رابطه (۱) بدست‌آورد.

$$R_i = \frac{V}{I_i} \qquad (۱)$$

که در آن I_i جریان گذرنده از آمپرمتر و عددی که آمپرمتر نشان می دهد، است.

در بخش دوم آزمایش اثر آمپرمتر بر مدار الکتریکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این بخش یک مدار الکتریکی ساده شامل یک مقاومت اهمی R و یک آمپرمتر است که بطور سری به‌هم بسته شده‌اند. مقاومت کل این مدار R_G حاصل‌جمع مقاومت R و مقاومت داخلی آمپرمتر، $R_{i,1}$، است:

$$R_G = R + R_{i,1} \qquad (۲)$$

سپس، آمپرمتر دوم نیز بطور سری با آمپرمتر اول در مدار قرار داده می‌شود. مقاومت کل مدار به اندازهٔ مقاومت داخلی آمپرمتر دوم، $R_{i,2}$، افزایش می‌یابد.

$$R_G^* = R_G + R_{i,2} \qquad (۳)$$

بنابراین نسبت جریانها چنین به‌دست می‌آید:

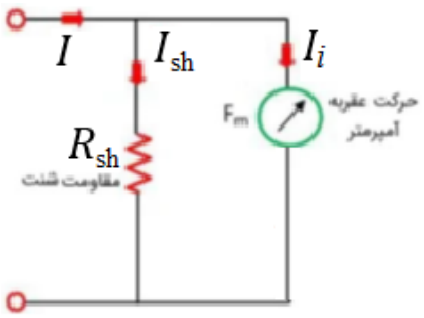
$$\frac{I}{I_i} = \frac{R_G^*}{R_G} = \frac{R_G + R_{i,2}}{R_G} = 1 + \frac{R_{i,2}}{R_G} \qquad (۴)$$

که در آن I جریان مدار قبل از اتصال آمپرمتر دوم، I_i جریان مدار بعد از اتصال آمپرمتر دوم، R_G^* مقاومت کل مدار بعد از اتصال آمپرمتر دوم و R_G مقاومت کل مدار قبل از اتصال آمپرمتر دوم می‌باشد.

در بخش پایانی به این نکته می‌پردازیم که اگر جریان مورد اندازه‌گیری از بیشینه بازه‌ی اندازه‌گیری آمپرمتر بیشتر باشد، باید یک مقاومت شنت مانند شکل (۲) و به صورت موازی به آمپرمتر متصل شود تا مقداری از جریان گذرنده از آمپرمتر به آن منتقل شود. ضریبی که باید در مقدار جریان اندازه‌گیری شده، I_i ضرب شود تا مقدار حقیقی جریان، I، به‌دست آید، با استفاده از قوانین کیرشهف و قانون اهم به‌دست می‌آید. طبق قانون دوم کیرشهف (قضیه گره) می‌توان نوشت:

$$I = I_i + I_{sh} \qquad (۵)$$

که در آن I جریان کل I_{sh} ، جریان گذرنده از مقاومت شنت می‌باشد.



شکل(۲) نحوه قرار دادن مقاومت شنت در مدار جهت اندازه‌گیری جریان

افت ولتاژ در آمپرمتر و مقاومت شنت یکسان است، بنابراین می‌توان نوشت:

$$I_{sh} \cdot R_{sh} = I_i \cdot R_i \qquad (۶)$$

درنتیجه

$$I_{sh} = I_i \cdot \frac{R_i}{R_{sh}} \qquad (۷)$$

با جایگذاری معادلهٔ(۷) در معادله(۵) رابطهٔ زیر حاصل می‌شود:

$$I = I_i \cdot \left(1 + \frac{R_i}{R_{sh}}\right) \qquad (۸)$$

عبارت داخل پرانتز همان ضریبی است که در جستجو آن بودیم و همانطور که از آن هر چه مقاومت شنت نسبت به مقاومت داخلی آمپرمتر کوچکتر باشد، این ضریب بزرگتر بوده و بازه‌ی اندازه‌گیری بیشتری خواهیم داشت.

➢ نحوهٔ انجام آزمایش

الف) تعیین مقاومت داخلی

۱- چیدمان آزمایش را طبق شکل(۳) آماده نمایید.

۲- به کمیات مورد اندازه‌گیری و پلاریته همه ابزارهای اندازه‌گیری به کار گرفته‌شده در آزمایش دقت کنید.

۳- بازه‌ی اندازه‌گیری آمپرمتر را ۲۰mA تنظیم کنید.

۴- منبع تغذیه را روشن نموده و به دقت ولتاژ را افزایش دهید تا جریانی که توسط آمپرمتر اندازه‌گیری می‌شود، حدود ۲۰ میلی‌آمپر شود.

۵- افت ولتاژ V_A را توسط ولت‌متر اندازه‌گیری نموده و در جدول(۱) ثبت کنید.

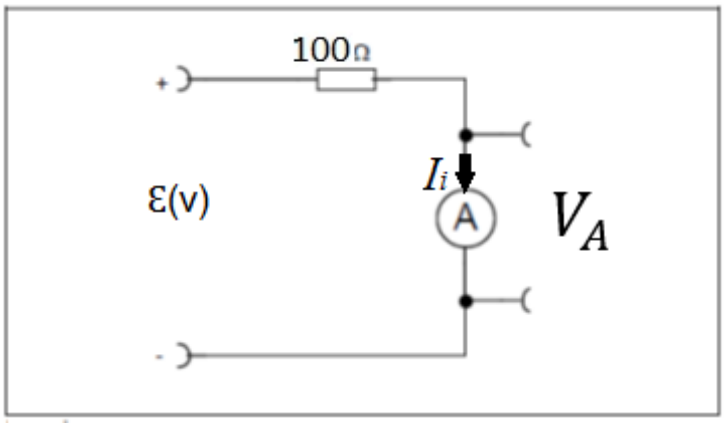
۶- آزمایش را برای آمپرمتر دوم هم تکرار نمایید و در جدول(۱) ثبت نمایید.

۷- منبع تغذیه ε را روی صفر ولت تنظیم نمایید.[۱]

جدول(۱):مقادیر مربوط به آزمایش تعیین مقاومت داخلی آمپرمتر

	$I_i(mA)$	$V_A(V)$	$R_i = \frac{V_A}{I_i}(\Omega)$
آمپرمتر اول(در رنج ۲۰ میلی آمپر)			$R_{i,1} =?$
آمپرمتر دوم(در رنج ۲۰ میلی آمپر)			$R_{i,2} =?$

[۱] - پس از هر آزمایش ولتاژ را به صفر بازگردانید تا از ایجاد بار اضافی بر روی آمپرمتر A با سیم‌کشی جدید جلوگیری نمایید.



شکل(۳): چیدمان آزمایش اندازه‌گیری مقاومت داخلی آمپرمتر

ب) اثر آمپرمتر بر روی جریان عبوری از مدارهای الکتریکی

۱- آمپرمتر A_1 (با مقاومت داخلی $R_{i,1}$) را طبق شکل(۴) به مدار متصل نمایید.

۲- ابتدا با یک پل ارتباطی (یا یک سیم رابط) آمپرمتر A_2(با مقاومت داخلی $R_{i,2}$) را اتصال کوتاه نمایید.

۳- بازه‌ی اندازه‌گیری آمپرمتر A_1 را بر روی ۲۰ mA تنظیم کنید.

۴- ولتاژ را به دقت افزایش دهید تا آمپرمتر A_1 جریان بسیار نزدیک به ۲۰ mA را نشان دهد.

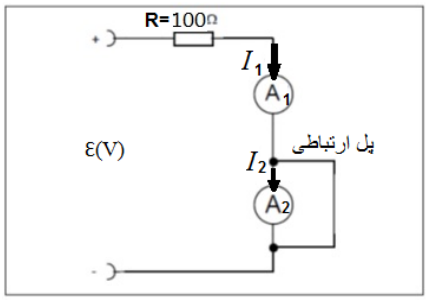
۵- پل ارتباطی اتصال کوتاه آمپرمتر A_2 را بردارید تا هر دو آمپرمتر بطور متوالی در مدار قرار بگیرند.

۶- جریان‌ها را اندازه‌گیری نموده و در جدول (۲) ثبت کنید.

۷- ولتاژ منبع را به صفر بازگردانید.

جدول(۲): مقادیر مربوط به آزمایش بررسی اثر آمپرمتر بر روی جریان عبوری از مدارهای الکتریکی

درصد خطای نسبی $\frac{\lvert(\text{تئوری } \mathbf{I}) - (\text{تجربی } \mathbf{I})\rvert}{(\text{تئوری } \mathbf{I})} \times 100$	$I\,(mA)$ محاسبه شده از **تئوری** $(1+\frac{R_{i,2}}{R+R_{i,1}})\boldsymbol{I_2}$	$\boldsymbol{I_2(mA)}$ **پس** از اتصال آمپرمتر **A_2** (عددی که آمپرمتر **A_2** نشان می‌دهد)	$\boldsymbol{I_1(mA)}$ **پس** از اتصال آمپرمتر **A_2** وبرداشتن پل(عددی که آمپرمتر **A_1** نشان می‌دهد)	$\boldsymbol{I_1(mA)}$ **قبل** از اتصال آمپرمتر **A_2** وبرداشتن پل ($\mathbf{I}$ تجربی)



شکل(۴): چیدمان آزمایش بررسی اثر آمپرمتر بر جریان عبوری مدار الکتریکی

ج) افزایش بازه‌ی اندازه‌گیری آمپرمتر

۱- بازه‌ی اندازه‌گیری آمپرمتر A_1 را بر روی $۲۰\,mA$ تنظیم کنید.

۲- سپس مقاومت شنت را به صورت موازی و طبق شکل(۵) به آمپرمتر A_2 متصل کنید. ابتدا مقاومت شنت ۱۰Ω را به آمپرمتر متصل کنید.

۳- با دقت ولتاژ را افزایش دهید تا آمپرمتر A_1 جریان بسیار نزدیک به $۲۰\,mA$ را نشان دهد.

۴- جریان I_1 بر روی آمپرمتر A_1 و جریان I_2 بر روی آمپرمتر A_2 را در جدول (۳) ثبت نمایید.

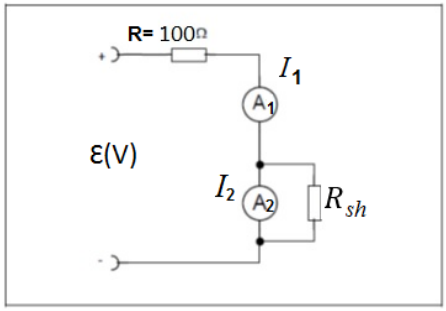
۵- ولتاژ منبع تغذیه را به صفر بازگردانید.

۶- آزمایش را با دیگر مقاومتهای شنت طبق جدول(۳) ادامه دهید. با اتصال سری و موازی مقاومتهای موجود مقاومتهای ذکر شده در جدول را بسازید و جدول را کامل نمایید. پس از هربار اندازه‌گیری ولتاژ را به مقدار صفر بازگردانید.

جدول(۳): آزمایش افزایش بازه‌ی اندازه‌گیری جریان آمپرمتر

$R_{sh}(\Omega)$	$\boldsymbol{I_1(mA)}$	$\boldsymbol{I_2(mA)}$	$\alpha = \frac{I_1}{I_2}$ (تجربی)	$\alpha = \frac{I_1}{I_2} = \left(1 + \frac{R_{i,2}}{R_{sh}}\right)$ (تئوری)	$\frac{\lvert \alpha\left(\text{تجربی}\right) - \alpha\left(\text{(تئوری}\right)\rvert}{\alpha\left(\text{(تئوری}\right)} \times 100$ درصد خطای نسبی
۱۰					
۵					
۳/ ۳۴					
۲/۵					

					۲
					۱/۶۷



شکل(۵): چیدمان آزمایش افزایش بازه‌ی اندازه‌گیری ولت متر

سوالات

۱- در اندازه‌گیری جریانهای با مقداری بسیار بالاتر از گستره‌ی آمپرمترهای معمول از چه روشی استفاده می‌کنند؟ ضریب افزایش بازه‌ی اندازه‌گیری چقدر است؟

۲- آیا با تغییر بازه‌ی آمپرمتر از mA ۲۰ به mA ۲۰۰ یا A ۱۰ مقاومت داخلی آن تغییر می‌کند؟

۳- دقت اندازه‌گیری مقاومت داخلی آمپرمتر به چه عواملی وابسته است؟ در اندازه‌گیری مقاومت داخلی اگر از مقاومت $k\Omega$ ۱ یا $M\Omega$ ۱ استفاده نماییم، آیا دقت بالا اندازه گیری افزایش می یابد؟

۴- میخواهیم جریانی به بزرگی A ۱۰۰ را با آمپرمتری با بیشینه اندازه‌گیری A ۱۰ اندازه‌گیری کنیم، مقدار مقاومت شنت موردنیاز را محاسبه نمایید؟

۵- تغییر دقت اندازه‌گیری آمپرمتر با افزایش بازه‌ی اندازه‌گیری آن را محاسبه نمایید.

۶- خطای مربوط به مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تئوری بدست آمده ناشی از چیست؟ خطای مربوط به آن را محاسبه نمایید.

آزمایش شماره (۴)

بررسی رفتار ولت‌متر به عنوان مقاومت اهمی در مدارهای الکتریکی

➢ اهداف آزمایش

۱- تعیین مقاومت داخلی ولت‌متر

۲- افزایش بازه اندازه‌گیری ولت‌متر با اتصال سری یک مقاومت کاهنده[1] آن

➢ وسایل مورد نیاز

۱- دو دستگاه مولتی‌متر دیجیتال، ۲-برد $A4$، ۳-دو عدد مقاومت $M\Omega$ ۱ ۴-سه عدد مقاومت $M\Omega$ ۱۰۰ ۵-یک عدد مقاومت $M\Omega$ ۱۰ ۶-مجموعه ۱۰ تایی پل‌های ارتباطی، ۷-منبع تغذیه DC ۸-سیم‌های رابط.

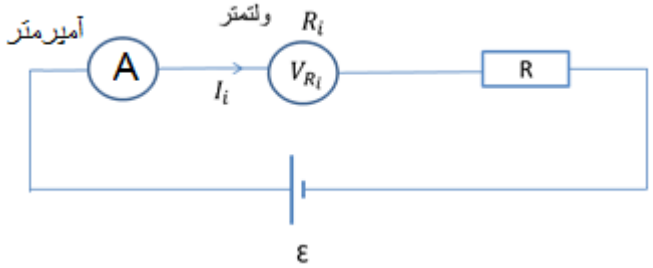
➢ تئوری آزمایش

مولتی‌متر وسیله‌ای است که برای اندازه‌گیری ولتاژ و یا جریان استفاده می‌شود. هنگامی که مولتی‌متر به عنوان ولت‌متر به صورت موازی با عنصری از مدار قرار می‌گیرد فرض بر این است که مقاومت داخلی آن بی‌نهایت است و هیچ جریانی از آن عبور نمی کند اما در واقع اینگونه نیست و همواره جریان کوچکی از آن عبور کرده و در نتیجه مقاومت معادل عنصر مورد نظر و مقاومت داخلی ولت متر (R_i) (که به صورت موازی به هم بسته شده اند) کاهش می‌یابد. بنابراین حضور ولت متر موازی باعث می‌شود که افت ولتاژعنصر مورد نظر نسبت به حالتی که ولت‌متر وجود ندارد، کمتر شود.

مداری مطابق شکل(۱) را در نظر بگیرید، مقاومت داخلی ولت‌متر را می‌توان از نسبت ولتاژی که ولت‌مترنشان می‌دهد به جریانی که آمپرمتر نشان می‌دهد به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$R_i = \frac{V_{R_i}}{I_{R_i}} \qquad (۱)$$

که در آن I_{R_i} جریان آمپرمتر سری شده با ولت‌متر. که همان جریان گذرنده از ولت‌متر و V_{R_i} ولتاژ در ولت‌متر هستند.



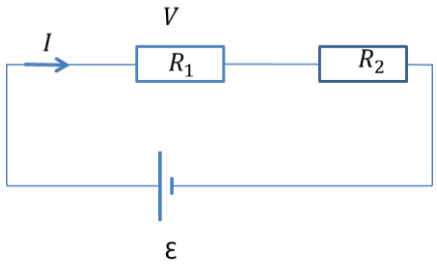
شکل (۱)

[1] - Dropping resistor

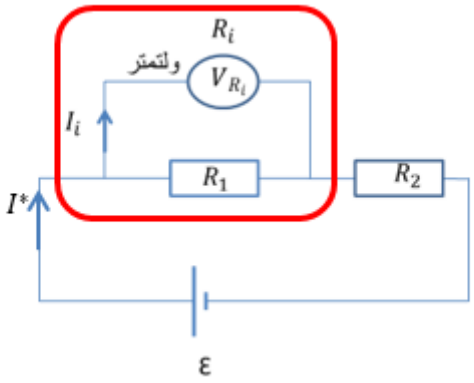
در بخش دوم آزمایش تأثیر حضور ولت‌متر بر مدارالکتریکی بررسی می‌شود. این بخش شامل یک مدار الکتریکی ساده متشکل از دو مقاومت R_1 و R_2 است(مطابق شکل۲). ولتاژ دو سر R_1 را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$V = IR_1 = \left(\frac{\varepsilon}{R_1+R_2}\right)R_1 \qquad (۲)$$

که در آن ε ولتاژ منبع (نیروی محرکه منبع)است.



شکل (۲)



شکل(۳)

اگر مانند شکل(۳) ولت‌متری به صورت موازی به مقاومت R_1 وصل شود، در اینصورت چون مقاومت معادل کل مدار (شامل مقاومت داخلی ولت متر R_i و R_1 و R_2)، نسبت به مدار شکل(۲)، تغییر کرده و کم می‌شود. بنابراین جریان مدار افزایش می‌یابد که در اینجا آن را با I^* نشان داده‌ایم وبا جریان I مربوط به قبل از قرار گرفتن ولت متر در مدار متفاوت است. از آنجا که I^* بزرگتر از I بوده R_2 ثابت است بنابراین افت ولتاژ دو سر R_2 در حضور ولت‌مترافزایش می‌یابد. بنابراین همانطور که در بخش قبل اشاره شد به دلیل ثابت بودن نیروی محرکه ε باتری باید ولتاژ دو سر مقاومت R_1 و ولت‌متر موازی شده با آن کاهش یابد.

ولتاژ ولت متر V_{Ri} می‌توان به صورت زیربه‌دست‌آورد:

$$V_{R_i} = \varepsilon - I^*R_2 = \varepsilon - \left(\frac{\varepsilon}{R_2+R^*}\right)R_2 = \varepsilon\left(1 - \frac{1}{R_2+R^*}R_2\right) \qquad (۳)$$

$$= \varepsilon\left(1 - \frac{1}{R_2 + R^*}R_2\right) = \varepsilon\left(\frac{R^*}{R_2 + R^*}\right) = \varepsilon\left(\frac{R_1 \cdot R_i}{R_2(R_1 + R_i) + R_1 \cdot R_i}\right)$$

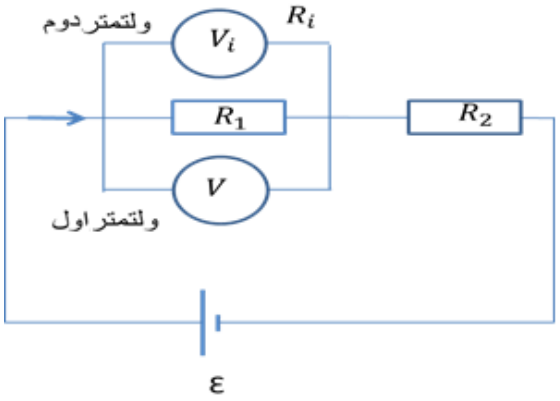
که در آن I^* جریان مدار بعد از بستن ولت‌متر به صورت موازی به مقاومت R_1 است و R^* مقاومت معادل حاصل از مقاومت R_1 و مقاومت داخلی R_i مربوط به ولت‌متر است و از رابطه

$$R^* = \frac{R_1 \cdot R_i}{R_1 + R_i} \qquad (۴)$$

به دست می‌آید.

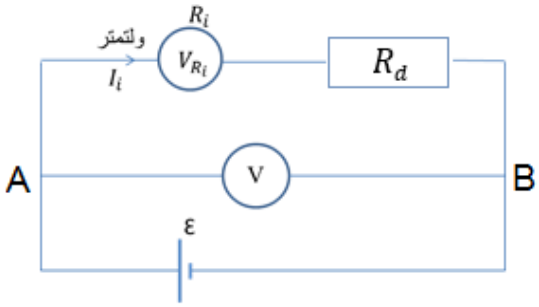
اگر در مدار شکل (۴) ولت‌متر دیگری (با مقاومت داخلی معلوم) را به صورت موازی با ولت‌متر اول ببندیم آنگاه ثابت می شود که نسبت ولتاژها (نسبت ولتاژ اندازه گیری شده با یک ولتمتر به ولتاژ اندازه گیری شده با حضور دو ولتمتر) از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{\boldsymbol{V}}{\boldsymbol{V_{R_i}}} = \frac{\boldsymbol{R_1 R_2}}{\boldsymbol{(R_1 + R_2).R_i}} + 1 \qquad (۵)$$



شکل (۴)

در بخش پایانی می‌خواهیم بررسی کنیم، اگر ولتاژی که باید اندازه‌گیری شود، از بیشینه بازه‌ی اندازه‌گیری ولت‌متر بیشتر باشد، باید مطابق شکل(۵) یک مقاومت کاهنده ولتاژ به‌نام R_d به صورت سری با ولت‌متر بسته شود تا افت ولتاژ حاصل از آن کاهش افت ولتاژ ناشی از حضور ولت‌متر را جبران نماید.



شکل(۵)

سری کردن مقاومت کاهنده با ولت‌متر به ما کمک می‌کند تا ضریبی که مقدار اندازه‌گیری شده ولتاژ V_{R_i} باید در آن ضرب شود تا ولتاژ دقیق V_{AB} به‌دست‌آید را از قوانین کیرشهف و قانون اهم بدست آوریم. ولتاژ کل V برار است با حاصل‌جمع ولتاژ دو سر ولت‌متر (V_{R_i}) و افت ولتاژ مقاومت کاهنده (V_{R_d}) بنابراین می‌توان نوشت:

$$V = V_{R_d} + V_{R_i} \qquad (۶)$$

از طرفی جریان‌گذرنده از ولت‌متر برابر جریان گذرنده از مقاومت کاهنده است، از اینرو:

$$\frac{V_{R_i}}{R_i} = \frac{V_{R_d}}{R_d} \rightarrow V_{R_d} = V_{R_i}\frac{R_d}{R_i} \qquad (۷)$$

با جایگذاری معادلهٔ(۷) در معادله (۶) خواهیم داشت:

$$\frac{V}{V_{R_i}} = \left(1 + \frac{R_d}{R_i}\right) \qquad (۸)$$

عبارت داخل پرانتز ضریبی است که به دنبال آن می‌باشیم. اگربا انتخاب مقاومت کاهنده بزرگ‌تر از مقاومت داخلی ولت-مترانتخاب شود(یعنی $R_i < R_d$) در اینصورت ضریب بزرگ‌تر خواهدشد، یعنی، بازه‌ی اندازه‌گیری ولت‌مترفزایش بیشتری می‌یابد.

➢ نحوهٔ انجام آزمایش

الف) تعیین مقاومت داخلی ولت‌متر

۱- چیدمان آزمایش را طبق شکل(۶) آماده نمایید. ازمقاومت $۱\ M\Omega$ به صورت سری برای محافظت از آمپرمتر استفاده نمایید.

۲- بازهٔ اندازه‌گیری آمپرمتر را $۲۰\ \mu A$ انتخاب نمایید.

۳- منبع تغذیه را روشن نموده و ولتاژ را افزایش دهید تا ولت‌متر، ولتاژ **بیست ولت** را نمایش دهد.

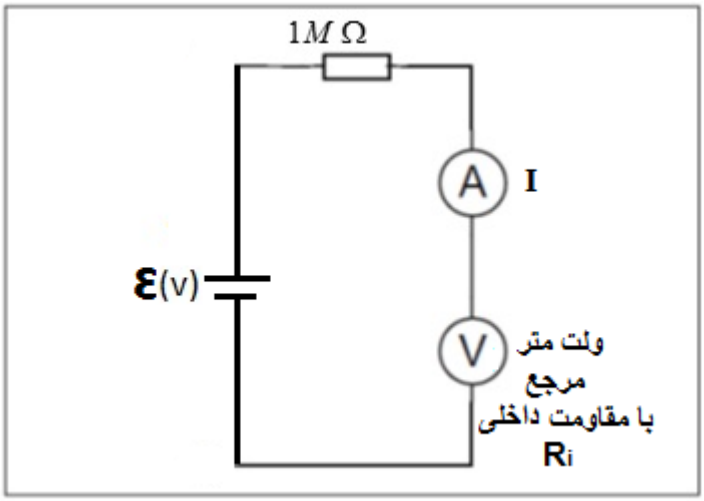
۴- ولتاژی که ولت متر و جریانی که آمپرمتر نشان می دهند را در جدول(۱) یادداشت کنید.

۵- ولتاژ را به مقدار صفر بازگردانید.

۶- این ولت متر را به عنوان ولت متر مرجع انتخاب کنید و از آن در قسمت (ب) به عنوان ولت متر دوم و در قسمت (ج) به عنوان ولت متری که با مقاومت کاهنده سری می شود استفاده کنید.

جدول(۱):مقادیر مربوط به آزمایش تعیین مقاومت داخلی ولت‌متر

$R_i\left(M\Omega\right)$	$I\left(\mu A\right)$	$V(V)$



شکل(۶): چیدمان آزمایش اندازه‌گیری مقاومت داخلی ولت‌متر

ب) تأثیر ولت‌متر بر اندازه‌گیری ولتاژ

۱- چیدمان آزمایش طبق شکل(۷) است.

۲- ولتاژ را افزایش دهید تا ولت‌متر V_i درحدود **۲۰ ولت** را نشان دهد.

۳- ولت‌متردوم را به صورت موازی طبق شکل(۷) به مدار بیفزایید ودوباره ولتاژ V_i را دوباره اندازه‌گیری کنید.

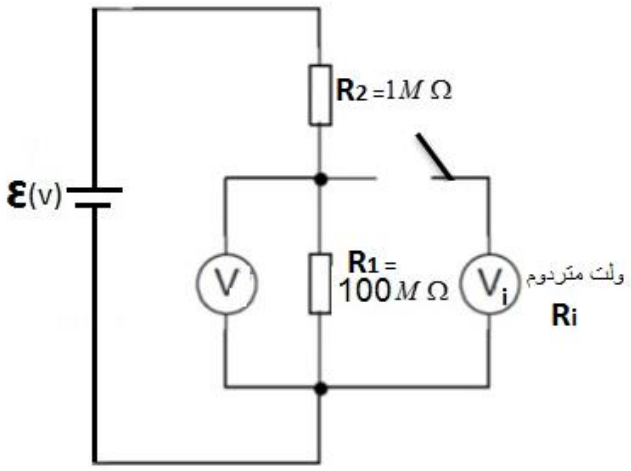
۴- ولتاژولت‌متر دوم را بخوانید و در جدول ثبت کنید.

۵- ولتاژ را به صفر بازگردانید.

۶- جدول (۲) را تکمیل نمایید.

جدول(۲): مقادیر مربوط به آزمایش بررسی تأثیر ولت‌متر بر مدارات الکتریکی

درصد خطای نسبی $(\frac{\text{عددتجربی} - \text{عددتئوری}}{\text{عددتئوری}}) \times 100$	V/V_i **محاسبه‌شده از رابطهٔ(۵)** $\frac{V}{V_{R_i}} = \frac{R_1R_2}{(R_1+R_2).R_i} + 1$ (تئوری)	$\frac{V}{V_i}$ **(تجربی)**	$V_i(V)$ **ولتاژ ولت متر دوم**	V **ولتاژ ولت متر اول (پس از اتصال ولت‌متر دوم)**	V **ولتاژ ولت متر اول (قبل از اتصال ولت‌متر دوم)**



شکل(۷): چیدمان آزمایش بررسی تأثیر ولت‌متر بر اندازه‌گیری ولتاژ یک مدار الکتریکی

ج) افزایش بازهٔ اندازه‌گیری ولت‌متر

۱- چیدمان آزمایش طبق شکل(۸) است.

۲- ابتدا مقاومت کاهنده $R_d = 10M\Omega$ را انتخاب کنید.

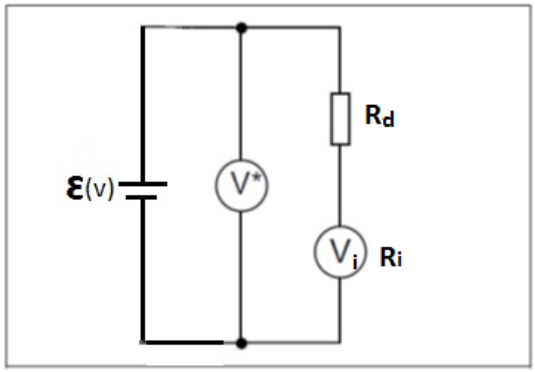
۳- ولتاژ را افزایش دهید تا V^* مقداری در حدود ۲۰ ولت را نمایش دهد.

۴- افت ولتاژ V را بخوانید و در جدول(۳) وارد نمایید.

۵-مقاومت کاهنده ی R_d را طبق جدول(۳) تغییر داده و آزمایش را تکرار نمایید.

جدول(۳): افزایش گستره‌ی بازهٔ اندازه‌گیری ولت‌متر

$R_d(M\Omega)$	ولتاژ ولت‌متر V^*	ولتاژ ولت‌متر $V_i(V)$	$\frac{V^*}{V_i}$ (تجربی)	$\frac{V^*}{V_i} = \left(1 + \frac{R_d}{R_i}\right)$ (تئوری از فرمول (۸))	درصد خطای نسبی $\left(\frac{\text{عددتجربی} - \text{عددتئوری}}{\text{عددتئوری}}\right) \times 100$
۱۰					
۱۱					
۳۳/۳					
۵۰					
۱۰۰					
۲۰۰					
۳۰۰					



شکل(۸): چیدمان آزمایش افزایش بازهٔ اندازه‌گیری ولت‌متر

➢ **سوالات**

۱- آیا دقت اندازه‌گیری مقاومت داخلی با پارامترهایی همچون مقاومت‌های سری موجود در مدار، رنج آمپرمتر و ... تغییر می‌کند؟ اگر تغییر می‌کند نحوهٔ تاثیرگذاری چگونه است؟

۲- با توجه به مقدارمقاومت داخلی ولت‌متر به نظر شما اندازه‌گیری افت قیق‌تر است؟ولتاژ دو سر کدامیک ازمقاومت‌های زیر دقیق‌تر است؟ $۵\ \Omega$ ، $۱۰۰۰\ M\Omega$ ، $۱۰\ M\Omega$؟

۳- پراب‌های ولتاژ بالا از چه تکنیکی بهره می‌برند؟ چرا؟

۴- آیا با تغییر رنج ولت‌متر دقت اندازه‌گیری و مقاومت داخلی آن تغییر می‌کند؟

۵- رابطه‌ی بین تغییر دقت اندازه‌گیری ولت‌متر با افزایش بازهٔ اندازه‌گیری آن رابه‌دست آورید.

۶- آیا می‌توان از روش بخش(ج) برای اندازه‌گیری مقاومت داخلی ولت‌متر استفاده کرد؟ در صورتیکه پاسخ مثبت است، دقت کدام روش اندازه‌گیری بیشتر است؟ با انجام محاسبات و محاسبه لازم میزان خطا پاسخ دهید.

۷- در جدول شماره(۲) خطای ولتاژ ولت متر دوم را محاسبه کنید.

۸- رابطه (۵) را اثبات کنید.

آزمایش شماره (۵)

شارژ و دشارژ خازن در مدار RC، در جریان مستقیم

➢ اهداف آزمایش:

۱- بررسی تجربی قوانین شارژ و دشارژ خازنها، اندازه‌گیری ثابت زمانی

۲- بررسی قوانین مربوط به خازن‌های سری و موازی

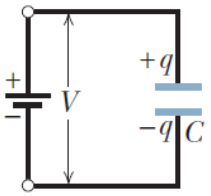
➢ وسایل مورد نیاز:

۱- سه خازن ظرفیت‌های $4.7\mu F$ وμF ۱، ۲- ولت متر، ۳- سیم‌های رابط، ۴- منبع تغذیه DC .

➢ تئوری آزمایش:

هرگاه توسط یک باتری به دو سر صفحات خازن را به یک ولتاژ ثابت وصل کنیم (شکل۱)(حتی برای یک لحظه‌ی کوتاه) در اینصورت مقداری بار الکتریکی بر روی صفحات خازن ذخیره می‌شود. بر روی صفحه‌ای که به قطب مثبت باتری وصل است بار q+ و بر روی صفحه‌ای مقابل بار q- جمع می‌شود. مقدار بار ذخیره شده با اختلاف پتانسیل دو سر خازن متناسب است. به عبارت دیگر نسبت مقدار بار شارژ شده q به ولتاژ دو سر خازن V مساوی یک مقدارثابت است که به آن ظرفیت خازن می‌گویند.

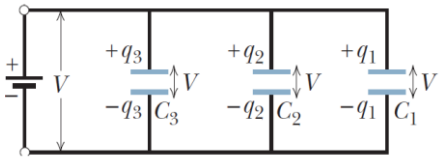
$$C = \frac{q}{V} \qquad (۱)$$



شکل (۱)

واحد اصلی ظرفیت خازن در دستگاه SI عبارت است از کولن برولت که به آن فاراد (F) می‌گویند. از آنجایی که این واحد خیلی بزرگ است معمولاً از یک میلیونیم فاراد یعنی میکروفاراد(μF) و یا یک میلیونیم میکروفاراد یعنی پیکوفاراد (pF) استفاده می‌شود.

➢ به هم بستن خازن‌ها به طور موازی :



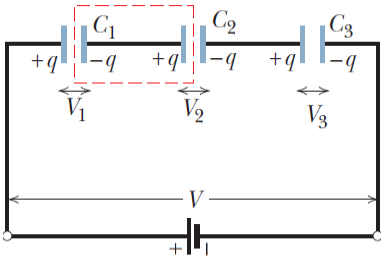
شکل (۲)

شکل (۲) بستن خازن‌ها به طور موازی را نشان می‌دهد ظرفیت خازن معادل چند خازن که به صورت موازی بسته شده‌اند برابر است با مجموع ظرفیت هر یک از خازن‌ها. در چنین حالتی ولتاژ دو سر خازن‌ها یکسان است، و بارکل q ذخیره شده با مجموع بارهای ذخیره شده در هر یک از خازن‌ها مساوی است. بنابراین برای ظرفیت معادل رابطه‌ی زیر برقرار است :

$$C = \frac{q}{V} = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + \cdots}{V} = \frac{q_1}{V} + \frac{q_2}{V} + \frac{q_3}{V} + \cdots$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots \qquad (۲)$$

- **به هم بستن خازن‌ها به طور سری:**



شکل (۳)

اگر چند خازن مانند شکل(۳) به طور سری به هم بسته شوند،اختلاف پتانسیل کل با مجموع اختلاف پتانسیل‌های V_3, V_2, V_1 به دو سرهر یک از خازن‌ها مساوی است:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots \qquad (۳)$$

از طرفی بار الکتریکی کل ذخیره شده با بار الکتریکی ذخیره شده در هر خازن مساوی است یعنی

$$q = q_1 = q_2 = q_3 = \cdots$$

بنابراین با استفاده از رابطه‌ی

$$V = \frac{q}{C} \qquad (۴)$$

می‌توان نوشت :

$$V_3 = \frac{q}{C_3} \qquad (۵) \qquad \text{و} \qquad V_2 = \frac{q}{C_2} \qquad \text{و} \qquad V_1 = \frac{q}{C_1}$$

با قرار دادن روابط (۴) و (۵) در رابطه (۳) داریم:

$$\frac{q}{C}=\frac{q}{C_1}+\frac{q}{C_2}+\frac{q}{C_3}+\cdots$$

و بدین صورت ظرفیت معادل خازن‌های سری از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}+\cdots \qquad (۶)$$

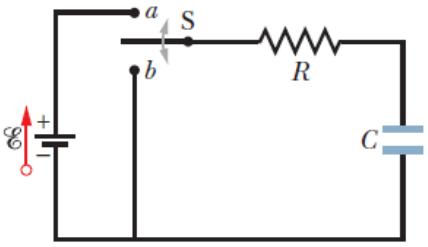
➢ شارژ خازن‌ها – ثابت زمانی[1]:

در شکل (۴) اگر مقاومت R کوچک باشد با اتصال کلید S به a خازن C در زمانی کوتاه به اندازه ولتاژ باتری V شارژ می‌شود. حال اگرR بزرگ باشد، باعث می‌شود که با اتصال کلید S به a جریان کمتری از مدار گذشته و مدت زمانی طول بکشد تا V_c یعنی ولتاژ دو سر خازن مساوی V دو سر باتری گردد. در طی این زمان جریان مدار به تدریج کم شده و زمانی به صفر می‌رسد که $V_c=V$ شود. در هر لحظه اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R برابر است با $V_R=V-V_c$ و طبق قانون اهم جریان در مدارعبارت است از:

$$I=\frac{V_R}{R}=\frac{V-V_C}{R} \qquad (۷)$$

همچنین جریان لحظه‌ای برابر است با:

$$I=\frac{dq}{dt} \qquad (۸)$$



شکل(۴)

از رابطه $q=CV_c$ رابطه زیر به دست می‌آید :

$$I=\frac{dq}{dt}=C\frac{dV_C}{dt} \qquad (۹)$$

با حذف I بین دو رابطه(۶) و (۸) یک معادله دیفرانسیل شناخته شده به صورت به دست می‌آید :

$$V-V_c=RC\frac{dV_c}{dt}$$

[1] Time Constant

از آنجا که V ثابت است بنابراین در رابطه‌ی بالا می‌توان به جای dV_c عبارت $-d(V-V_c)$ جایگزین نمود و چنین نوشت:

$$\frac{d(V-V_C)}{V-V_C}=-\frac{dt}{RC}$$

جواب کلی معادله‌ی دیفرانسیل فوق به صورت زیر است:

$$Ln(V-V_c)=-\frac{t}{RC}+LnK$$

$$Ln\frac{(V-V_c)}{K}=-\frac{t}{RC}$$

که در آن K یک مقدار ثابت می‌باشد این رابطه را می‌توان به صورت نمایی نوشت:

$$V_c-V=+Ke^{-t/RC}$$

در لحظه‌ی اتصال کلید (t=0) بار الکتریکی ذخیره شده صفر است و بنابراین داریم:

$$C=\frac{q}{V} \quad و \quad V_c=0 \quad \Longrightarrow \quad K=-V$$

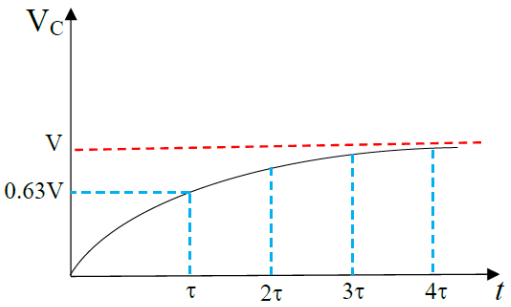
بنابراین خواهیم داشت:

$$V_c=V(1-e^{-t/RC}) \qquad (۱۰)$$

در این رابطه اگر $t=RC$ باشد، در اینصورت $V_C=V(1-\frac{1}{e})=0.63\ V$ می‌شود. در اینجا $\tau=RC$ را ثابت زمانی مدار می‌گویند و عبارت است از مدت زمانی که اگر کلید S بسته باشد طول می‌کشد تا خازن به اندازه ۰/ ۶۳ ولتاژ باتری شارژگردد برای مدت زمان‌های دیگر داریم:

$t=\tau$	V_C=0.63V
$t=2\tau$	V_C=0.86V
$t=3\tau$	V_C=0.95V
$t=4\tau$	V_C=0.98V

شکل (۵) منحنی تغییرات تابع (۱۰)برحسب را نشان می‌دهد



شکل(۵)

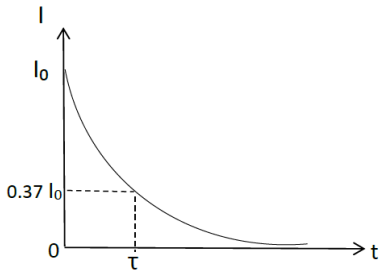
با استفاده از روابط (۷) و (۱۰) می‌توان نحوه‌ی تغییرات جریان بر حسب زمان را تعیین نمود در زمان t=0 مقدار V_c =0 است و حداکثر جریان I_o از مدار عبور می‌کند:

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

بنابراین تابع جریان شارژ خازن فرم نمایی زیر را خواهد داشت :

$$I = I_0 e^{-t/RC}$$

منحنی تغییرات این تابع مطابق شکل (۶) است و پس از زمان $\tau = RC$ جریان مدار به ۰/۳۷ جریان I_0 کاهش می‌یابد .



شکل(۶)

➢ تخلیه یا دشارژ خازن‌ها

حال که خازن کاملاً شارژ شده‌است و ولتاژ آن برابر V_c است مطابق شکل ۴ کلید S را به نقطه b وصل کنیم، بار خازن پس از مدتی تخلیه می‌گردد. چنانچه مقاومت R کوچک باشد، ولتاژ V_c در یک زمان کوتاه به صفر می‌رسد و اگر مقاومت R بزرگ باشد (ثابت زمانی $\tau = RC$ بزرگ باشد) مدت زمان بیشتری طول می‌کشد تا خازن بطورکامل تخلیه شود.

در هر لحظه داریم $I = \frac{V_C}{R}$، ازطرف دیگر $I = -\frac{dq}{dt}$ است و بنابراین می‌توان $I = -C\frac{dV_C}{dt}$

از روابط فوق معادل دیفرانسیلی زیر به دست می‌آید:

$$RC\frac{dV_C}{dt} = -V_C$$

باحل این معادله و با در نظر گرفتن شرایط اولیه، روابط مربوط یه تخلیه خازن چنین می‌شود :

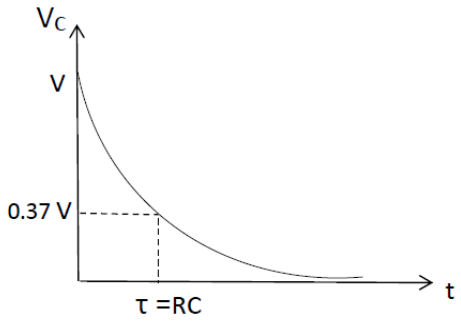
$$\mathrm{V_c} = V\mathrm{e}^{-t/RC} \qquad (11)$$

و برای جریان تخلیه یا دشارژ داریم:

$$\mathrm{I_c} = \frac{V}{R}\mathrm{e}^{-t/RC}$$

بدین ترتیب در هنگام تخلیه‌ی خازن، جریان و ولتاژ هر دو به صورت توابعی نمایی افت می‌کنند.

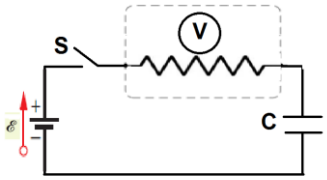
شکل (۷) منحنی تغییرات تابع $\mathrm{V_c}$ بر حسب t را در هنگام تخلیه‌ی یا دشارژ خازن نشان می‌دهد در رابطه (۱۱) اگر $\tau = RC$ باشد، $\mathrm{Vc} = Ve^{-1}$ یا $\mathrm{Vc} = 0.37\,V$ می شود. $\tau = RC$ ثابت زمانی مدار تخلیه می‌باشد و برابر مدت زمانی است که طول می‌کشد تا ولتاژ دو سر خازن به 0.37 ولتاژ اولیه‌اش برسد.



شکل(۷)

➢ روش انجام آزمایش

الف)اندازه‌گیری مقاومت داخلی ولت متر با کمک شارژ خازن



شکل (۸)

۱- منبع تغذیه DC را روی ۵ ولت قراردهید و با ولت‌متر ولتاژ دو سرآن بطور دقیق اندازه بگیرید و یادداشت کنید

۲- ابتدا با اتصال موقت دو سر خازن مطمئن شوید که خازن کاملا تخلیه است، این کار را هر با که مدار شارژ خازن را می بندید تکرار کنید.

۳- با استفاده از یک منبع تغذیه، خازن $4.7\mu F$ و یک ولت‌متر مدار شکل (۸)تشکیل داده ویک زمانسنج دیجیتال آماده کنید.

■ **توجه : قطب مثبت خازن به قطب مثبت باتری و قطب منفی خازن به قطب منفی باتری متصل گردد.**

۴- به محض وصل‌کردن مدار به منبع تغذیه(بستن کلیدS)، زمان‌سنج را به کارانداخته و طبق جدول زیر ولتاژی را که ولتمتر نشان می‌دهد یادداشت کنید.

جدول شماره۱

V=														
T(s)	0	10	20	30	40	50	60	۱۰۰	۱۲۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۴۰	۲۸۰	۳۰۰
V_M														
V_C														

۵- با گذشت زمان از مقدار ولتاژ ولتمتر(V_M) کاسته شده و به مقدار V_C اضافه می‌شود، به طوری که در هر لحظه رابطه $V=V_M+V_C$ برقرار است. در لحظه $t=0$ داریم $V_{C=0}$ و $V=V_M$.

منحنی تغییرات V_c را بر حسب زمان در کاغذ میلیمتری رسم کنید. زمان $\tau = RC$ را بدست آورید. برای محاسبه ثابت زمانی از روی نمودار باید در روی محور V_c مقدار ۰/۶۳ ولتاژ باتری را انتخاب کرده و از آن خطی به موازات محور t رسم کنید تا منحنی را قطع کند و از محل تقاطع خطی عمود بر محور زمان رسم کرده و زمان مربوط را که همان ثابت زمانی است بخوانید.

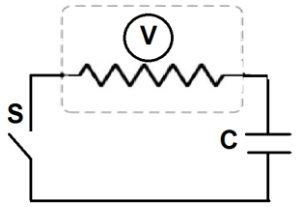
۶- با توجه به مقدار τ بدست‌آمده از نمودار وداشتن C مقدار R مقاومت داخلی ولت متر را بدست آورید.

$R = (\ldots\ldots)$ مقاومت داخلی ولتمتر $C = (\ldots\ldots)$ بار خازن شارژ شده τ ثابت زمانی $= (\ldots\ldots)$

۷- حال پس از شارژ خازن و خارج‌کردن منبع تغذیه از مدار، می‌توانید دو سر خازن شارژشده را با دو دست به مدت تقریباً ۵ ثانیه لمس کنید.سپس ولتمتر را به دو سر خازن شارژ شده ببندید. ملاحظه خواهید نمود که ولتمتر ولتاژ کمتری را نشان می‌دهد این ولتاژ را اندازه گرفته و در دفترگزارش کار خود یادداشت کنید. با آزمایش بالا معلوم می‌شود که مقداری از بار خازن شارژ شده از راه بدن انسان تخلیه می شود بنابراین در آزمایش‌های بعدی دقت کنید که دو سر خازن شارژ شده با دست یا چیز دیگری تماس پیدا نکند.

$V_C = (\ldots\ldots)$

ب)اندازه‌گیری مقاومت داخلی ولت متر به وسیله تخلیه خازن و تعیین ثابت زمانی.



شکل (۹) مدار دشارژ خازن

۱- اکنون خازن $4.7\mu F$ در قسمت الف را یک بار دیگر پر کنید.(می‌توانید خازن را مستقیم و بدون قراردادن ولتمتر در مداربه منبع وصال کنید، به این ترتیب به سرعت شارژ شود.) و سپس باتری را از مدار خارج کنید زمانسنج را صفر کرده و آماده کنید. دوسر ولتمتر را به دوسر خازن شارژ شده ببندید و زمانسنج را روشن کنید. ملاحظه خواهید کرد که ولت متر همان اندازه ولتاژ باتری را نشان می‌دهد. مقدار این ولتاژ ها را در جدول ۲ طبق زمانهای داده شده یادداشت کنید .

جدول شماره2

T(s)	0	10	20	30	40	50	60	100	120	160	200	240	280	360
V_C														

۲- منحنی تغییرات V_c را بر حسب زمان در کاغذ میلیمتری رسم کنید. زمان $\tau = RC$ را بدست آورید. برای محاسبه ثابت زمانی از روی نمودار باید در روی محور V_c مقدار ۰/۳۷ ولتاژ باتری را انتخاب کرده و از آن خطی به موازات محور t رسم کنید تا منحنی را قطع کند و از محل تقاطع خطی عمود بر محور زمان رسم کرده و زمان مربوط را که همان ثابت زمانی است بخوانید.

۳- با توجه به مقدار τ بدست‌آمده از نمودار وداشتن C مقدار مقاومت داخلی ولت متر(R) را بدست آورید.

$R = (\ldots\ldots)$ مقاومت داخلی ولتمتر $C = (\ldots\ldots)$ بار خازن شارژ شده τ ثابت زمانی $= (\ldots\ldots)$

۴- مقدار R مقاومت داخلی ولت متر بدست‌آمده از قسمت‌های الف و ب را با یکدیگر مقایسه کرده و در دفترگزارشکار خود یادداشت کنید.اگر اختلافی مشاهده گردید علت آن را توضیح دهید.

ج)تحقیق رابطه ی مربوط به خازن‌های سری $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

۱- برای بررسی قوانین مربوط به هم بستن خازن‌ها،دو خازن $4.7\mu F$ و $1\mu F$ را به صورت سری به هم وصل کرده و مانند قسمت (الف) عمل می‌کنید.

۲- جدول شماره‌ی (۳) را تکمیل نموده و تغییرات مجموع ولتاژ در سر خازن‌ها را بر حسب زمان در کاغذ میلیمتری رسم کنید و از روی منحنی مذکور ثابت زمانی مدار را بدست آورید.

جدول شماره۳

V=														
T(s)	0	10	20	30	40	50	60	۱۰۰	۱۲۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۴۰	۲۸۰	۳۰۰
V_M														
V_C														

۳- با توجه به اینکه در قسمت (الف) و (ب) مقاومت داخلی ولت‌متر را بدست آوردید، اکنون ظرفیت معادل C_t مربوط به دو خازن را از رابطه $\tau = RC_t$ به دست آورید و با مقداری که از رابطه‌ی $\frac{1}{C_t} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$.... محاسبه می‌شود مقایسه کرده و در گزارش کارتان بنویسید.

C_1	C_2	C_T تئوری	τ	R	C_T تجربی	$\frac{\Delta C}{C} \times 100$

د)تحقیق تجربی رابطه‌ی مربوط به خازن‌های موازی $C = C_1 + C_2$

۱- برای بررسی قوانین سری مربوط به خازن‌های موازی دو خازن $4.7\mu F$ و $1\mu F$ را به صورت موازی به هم وصل کرده و مانند قسمت (الف) عمل می‌کنید.

۲- جدول شماره ی (۴) را تکمیل نموده و تغییرات مجموع ولتاژ در سر خازن‌ها را بر حسب زمان در کاغذ میلیمتری رسم کنید و از روی منحنی مذکور ثابت زمانی مدار را بدست آورید.

جدول شماره۴

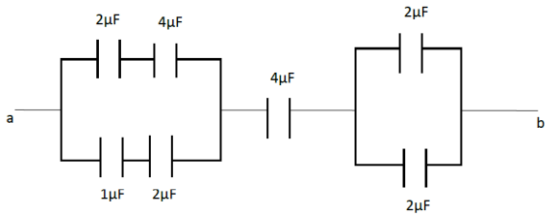
V=														
T(s)	0	10	20	30	40	50	60	۱۰۰	۱۲۰	۱۶۰	۲۰۰	۲۴۰	۲۸۰	۳۰۰
V_M														
V_C														

۳- با توجه به اینکه در قسمت (الف) و (ب) مقاومت داخلی ولت‌متر را بدست آوردید، اکنون ظرفیت معادل C_t مربوط به دو خازن موازی را از رابطه $\tau = RC_t$ به دست آورید و با مقداری که در رابطه $C_t = C_1 + C_2$ محاسبه می‌شود مقایسه کرده و در گزارش کارتان بنویسید.

C_1	C_2	C_T تئوری	τ	R	C_T تجربی	$\frac{\Delta C}{C} \times 100$

سوالات

۱- ظرفیت معادل بین نقاط a و b مدار شکل (۱۱) را حساب کنید .



شکل(۹)

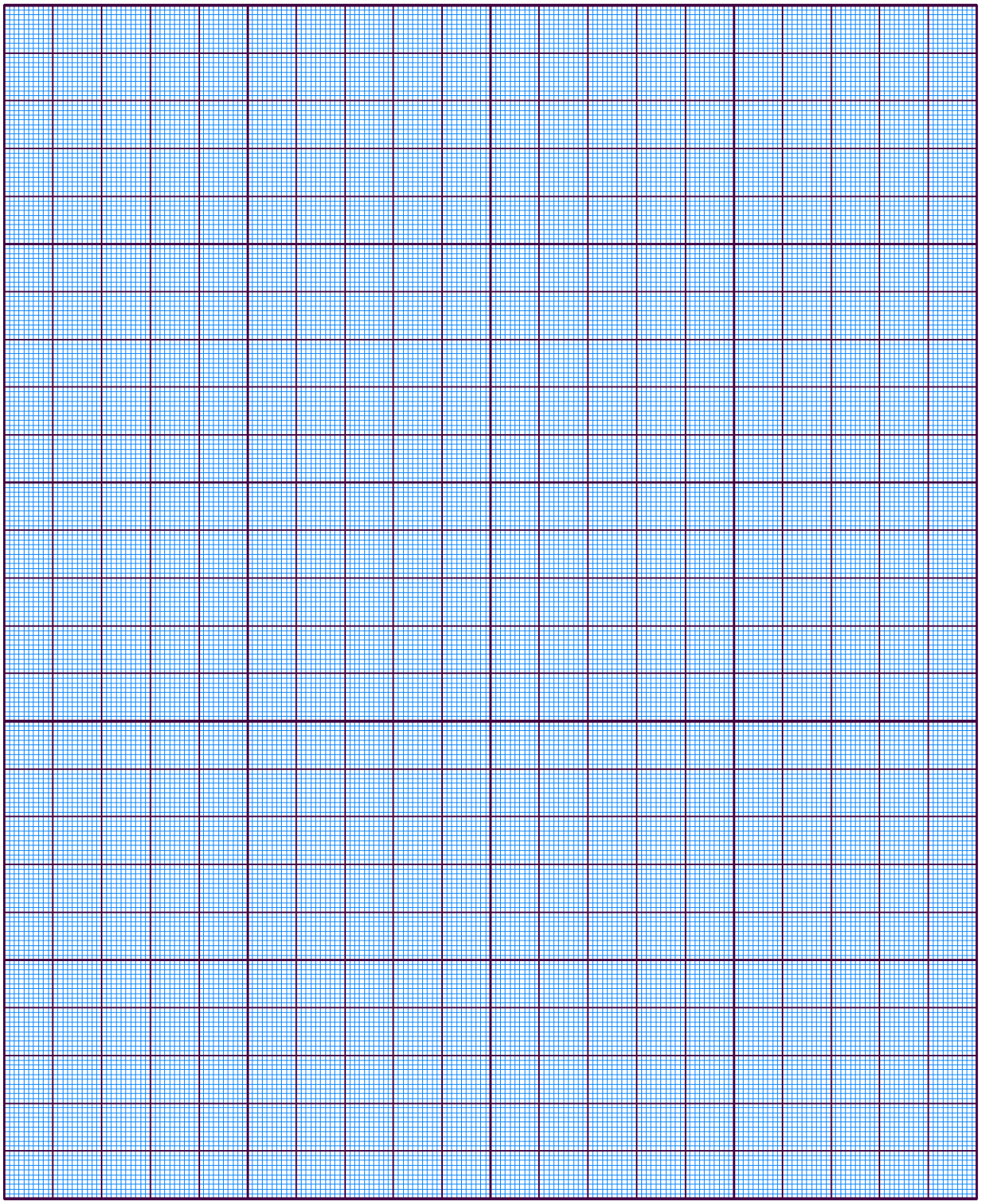
۲- علت قرار دادن ولتمتر بطور سری در مدار چیست؟

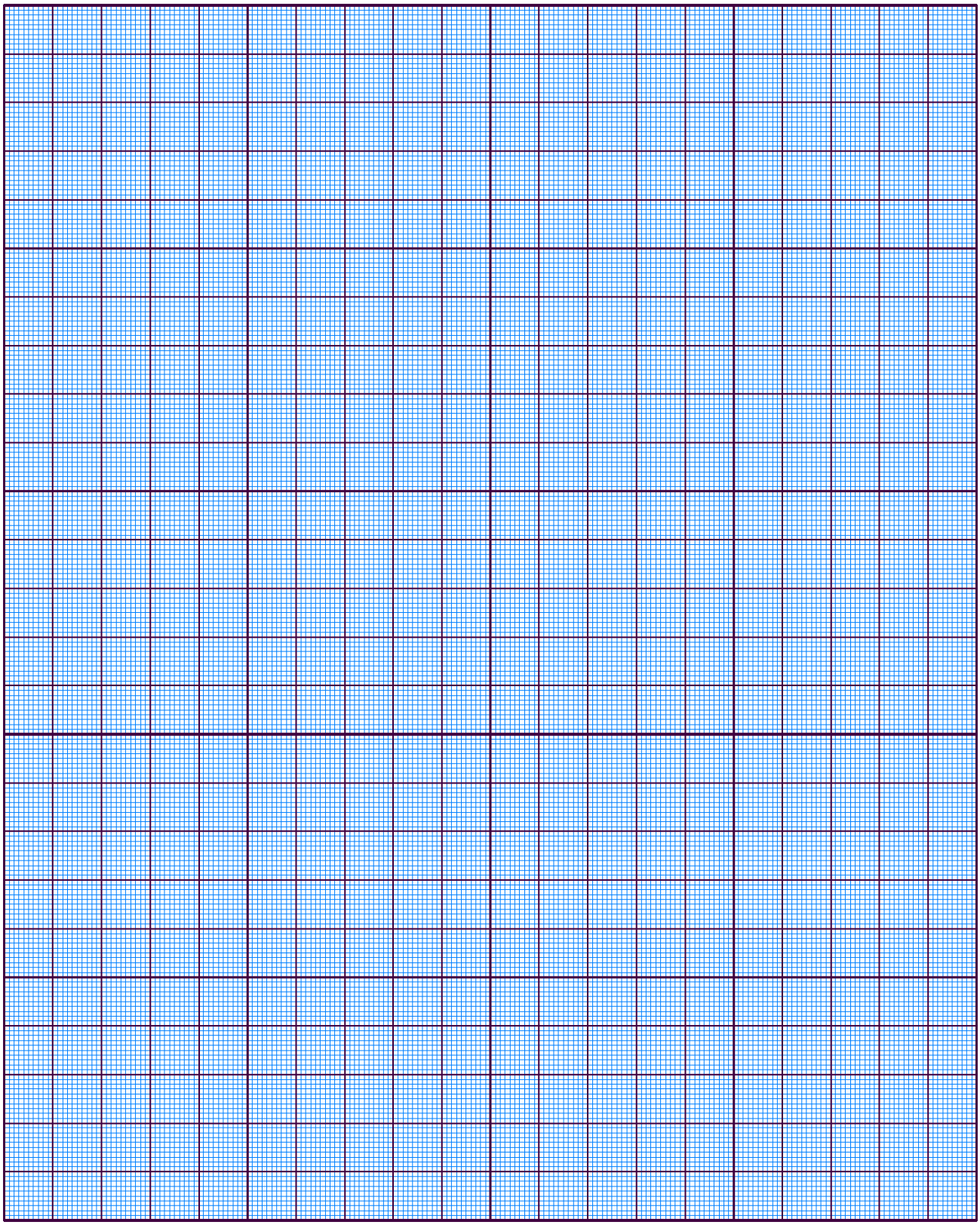
۳- در آزمایش (ج) و (د) خطای آزمایش را با استفاده از رابطه

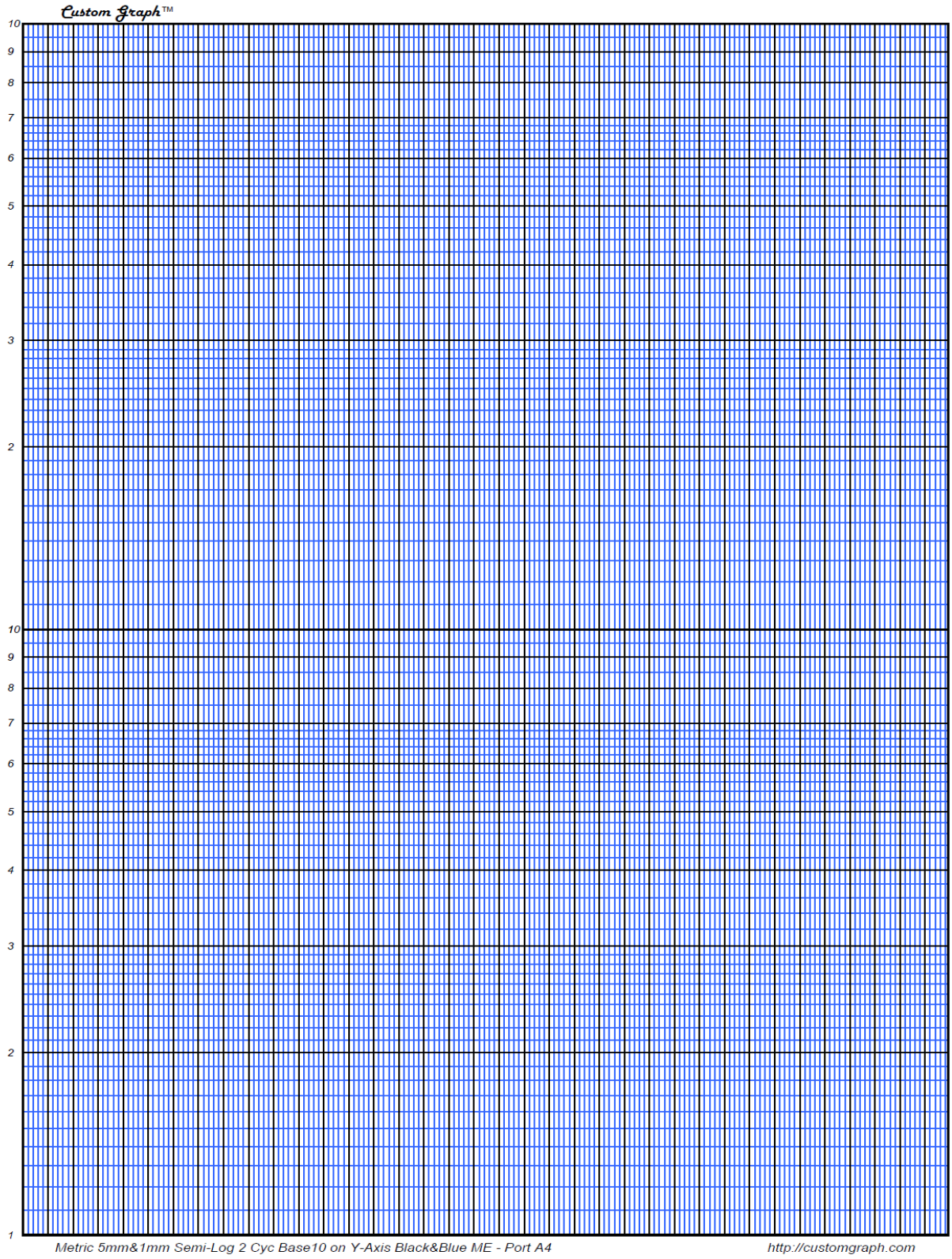
$$\frac{\Delta C_t}{C_t} \times 100 = \frac{|C_{\text{تجربی}} - C_{\text{تئوری}}|}{C_{\text{تئوری}}} \times 100$$

بدست آورید.

۴- نمودار شارژ خازن را در کاغذ نیمه لگاریتمی رسم کنید $(V - V_c)$ را بر حسب t) و سپس با محاسبه شیب نمودارحاصل مقدار R ولت متر را محاسبه کنید. (برای آشنایی با نحوه رسم نمودار در کاغذ نیمه لگاریتمی به صفحه .... از ابتدای جزوه مراجعه کنید.)






Custom Graph™
10
9
8
7
6
5
4
3
2
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
Metric 5mm&1mm Semi-Log 2 Cyc Base10 on Y-Axis Black&Blue ME - Port A4
http://customgraph.com

آزمایش شماره (۶)

اندازه‌گیری مقدار میانگین و ریشه‌ی میانگین مربعی شکل موج‌های سیگنال‌های مختلف

➢ اهداف آزمایش:

۱- آشنایی با عملکرد دستگاه مولد موج[1] و دستگاه نمایشگر موج(اسیلوسکوپ)

۲- اندازه‌گیری میانگین و مقدار ریشه میانگین مربعیِ[2] موج‌های سینوسی، مثلثی و مربعی

➢ وسایل مورد نیاز:

۱-مولتی‌متر دیجیتال، ۲-مولد موج، ۳-برد *A4*، ۴- مبدل *BNC* به همراه سیم رابط، ۵-سیم‌های رابط، ۶-مقاومت‌های ۱KΩ و ۱۰KΩ.

➢ تئوری آزمایش:

در جریان متناوب[3] (*AC*) جهت جریان به تناوب معکوس می‌شود و بزرگی آن نسبت به زمان تغییر می کند . در جریان مستقیم[4] (*DC*)، حرکت(یا جریان) بار الکتریکی تنها در یک جهت است. برق شهری از نوع جریان AC است.جریان حاصل از باتری گوشی و ساعت از نوع جریان DC است. برق شهری دارای یک ولتاژ سینوسی ۵۰Hz و ۲۲۰V است، اما این عدد قطعا مقدار لحظه ای ولتاژ نیست چرا که ولتاژ به طور لحظه ای تغییر می کند. همچنین این مقدار، مقدار متوسط ولتاژ هم نمی‌باشد زیرا مقدار متوسط موج سینوسی صفر است. در واقع ۲۲۰V مقدار مؤثر[5] این ولتاژ سینوسی است. در ادامه مقدار مؤثر ولتاژ و یا جریان را برای یک موج متناوب (و نه فقط سینوسی) تعریف می‌کنیم.

❖ مقدار میانگین:

مقدار میانگین جریان *AC* به وسیله‌ی جریان *DC* ثابتی توصیف می‌شود که در یک مدار جریان یافته و تغییراتی را ایجاد می‌کند که همان جریان *AC* در یک پریود زمانی ایجاد خواهد کرد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$\bar{I} = \frac{1}{T}\int_0^T I_p \sin(\omega t)dt \qquad (۱)$$

که در آن I_P جریان بیشینه و ω فرکانس زاویه‌ای است که از رابطه‌ی($\omega = \frac{2\pi}{T}$ به دست آمده و در آن T دوره تناوب جریان است) هستند.

❖ مقدار ریشه میانگین مربعی:

1- Function generator
2 -Root Mean Square (RMS)
3 - Alternating Current(AC)
4 - Direct Current(DC)
5 -Effective value

مقدار *RMS* جریان متناوب با جریان *DC* پایداری توصیف می‌شود که هنگامی‌که برای زمان مشخص در مدار جریان می‌یابد همان حرارتی را تولید می‌کند که در زمان یکسان در مداری یکسان جریان متناوب تولید می‌کند. در حالت معمول جریان متناوب هنگامی‌که *I(t)* یک جریان سینوسی باشد، رابطهٔ زیر برای مقدار *RMS* جریان برقرار است:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1}\int_{T_1}^{T_2} (I_P \sin(\omega t)^2 dt} \qquad (۲)$$

برای یک ولتاژ سینوسی $V(t) = V_{Peak}Sin(\omega t + \theta)$ ، مقدار V_{RMS} از رابطهٔ زیر حاصل می‌شود:

$$V_{rms} = \frac{V_{Peak}}{\sqrt{2}} \qquad (۳)$$

فاکتور $\sqrt{2}$ در این رابطه فاکتور کِرِست[1] نامیده می‌شود. فاکتور کرست و جریان‌های پیک از ملاحظات مهم در انتخاب منبع توان است. فاکتور کرست به صورت نسبت مقدار پیک به مقدار *RMS* یک شکل موج است(رابطه (۴)):

$$\text{crest factor} = \frac{V_{Peak}}{V_{RMS}} \qquad (۴)$$

برای یک موج مثلثی با مرکز حول صفر $\sqrt{3}$ و برای موج مربعی حول صفر با در نظر گرفتن $V_{Peak} = V_{RMS}$ ، برابر ۱ است. در این آزمایش با استفاده از دو ابزار اندازه‌گیری(اسیلوسکوپ و مولتی‌متر) موضوعات فوق مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. در ادامه روش انجام آزمایش معرفی خواهد شد.

برای اینکه درک واضحی از مقدار مؤثر یک جریان متناوب داشته باشیم، آن را از یک مقاومت عبور داده و مقدار متوسط توان $I^2(t)R$ را روی یک تناوب حساب می کنیم که به صورت زیر به دست می آید:

$$P = \frac{1}{T}\int_0^T (I^2R)\, dt = \frac{R}{T}\int_0^T I^2\, dt \qquad (۵)$$

اکنون جریان مستقیمی از این مقاومت عبور می دهیم و مقدار آن را طوری تنظیم می کنیم که همان توان به‌دست آید. مقدار این جریان مستقیم برابر همان مقدار مؤثر جریان است که با I_{eff} نشان داده می‌شود. توانی که جریان مستقیم به مقاومت می دهد عبارت است از:

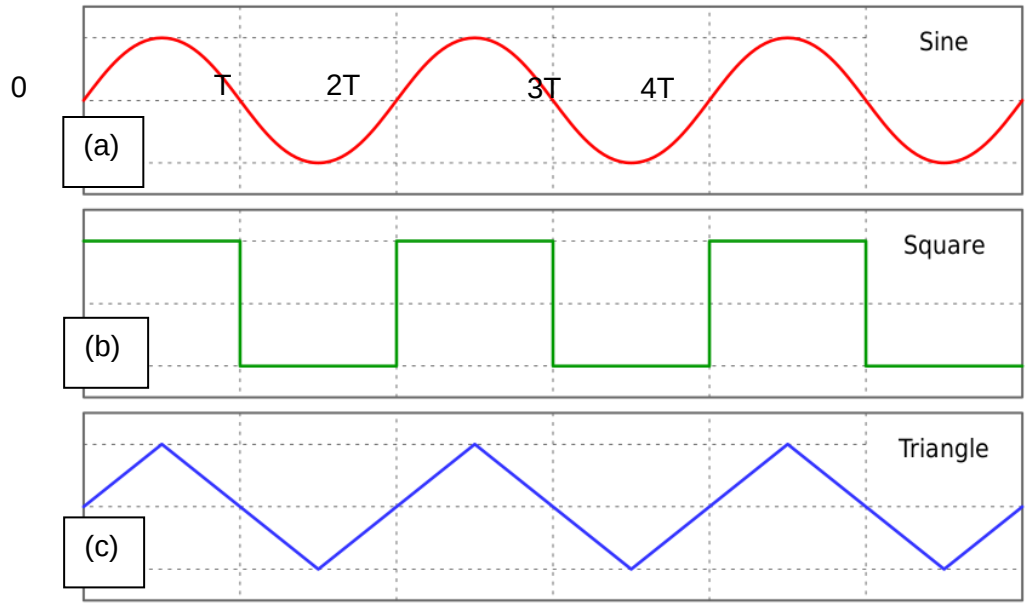
$$P = I_{eff}^2 R \qquad (۶)$$

با مساوی قرار دادن این دو توان، مقدار مؤثر جریان I_{eff} به صورت زیر به دست می آید:

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T I^2 dt}. \qquad (۷)$$

این مقدار مؤثر را، جذر[2] میانگین[3] مربعی[4] می نامند.

[1] - Crest factor
[2] -Root
[3] -Mean
[4] -Square



شکل (۱) شکل موجهای مختلف (a) موج سینوسی، (b) موج مربعی، (c) موج مثلثی.

در حالت خاص که جریان سینوسی به صورت $I(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi)$ است مانند (شکل (1-a))، مقدار مؤثر یا مقدار RMS جریان را به ضورت زیر به صورت می آوریم:

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left(I_m \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right)\right)^2 dt} = I_m \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos\left(2\frac{2\pi}{T}t + 2\varphi\right)\right) dt}$$

$$= I_m \sqrt{\frac{1}{T}\frac{1}{2}[t]_0^T} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \qquad (۸)$$

اگر مقدار مؤثر را برای یک تابع جریان متناوب با شکل موج مربعی مانند شکل (b-۱) محاسبه کنیم داریم: $I_{eff} = I_m$

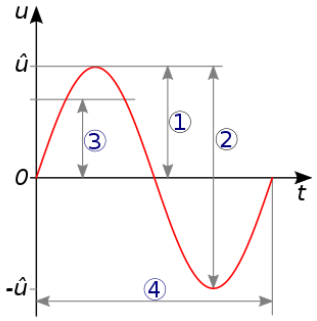
همچنین برای موج مثلثی $I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{3}}$. در حالت کلی نسبت $\frac{I_m}{I_{eff}}$ را ضریب اوج (کرست)[1] گویند.

همانگونه که در بالا اشاره شد یک ولتاژ متناوب را می توان با یک تابع زمانی به صورت زیر نشان داد:

$$V(t) = V_m \cos(\omega t) = V_p \cos(\omega t) \qquad (۹)$$

این تابع در شکل(۲) نشان داده شده است.

[1] -Crest factor



شکل (۲) در این شکل، ۱-ولتاژ پیک یا دامنه که در رابطه فوق با $V_m = V_p$ نشان داده شده است. ۲- ولتاژ پیک تا پیک V_{pp}. ۳-مقدار مؤثر ولتاژ $V_{eff} = V_{RMS}$. ۴-دوره تناوب تابع ولتاژ $\omega = 2\pi f$

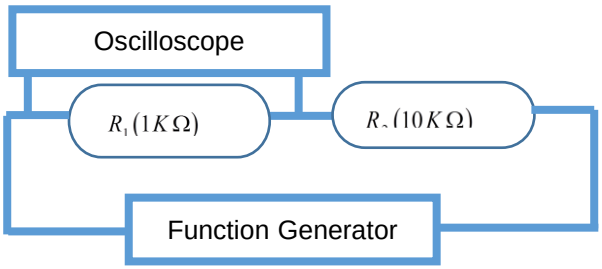
روش انجام آزمایش:

الف– مشاهدات:

۱- مقاومت ۱ KΩ و ۱۰ KΩ را به صورت سری به مولد موج متصل نمایید(شکل(۳)).

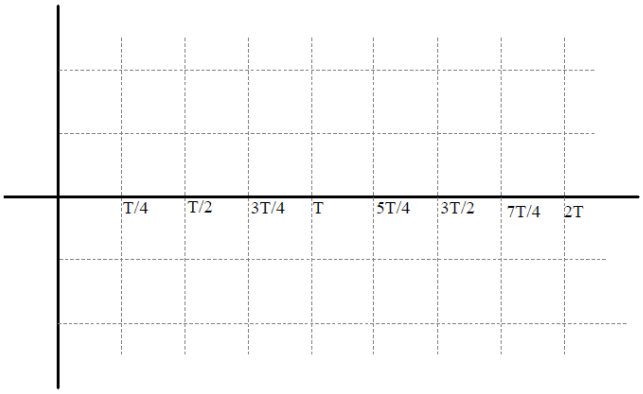
۲- دو سر مقاومت ۱ KΩ را به کانال(۱) اسیوسکوپ متصل نموده و شاخص مولد موج را بر روی ۲ و فرکانس آن را ۱ KHz انتخاب کنید.

۳- برای اندازه گیری V_{RMS} از مولتی متر دیجیتال استفاده نمایید.



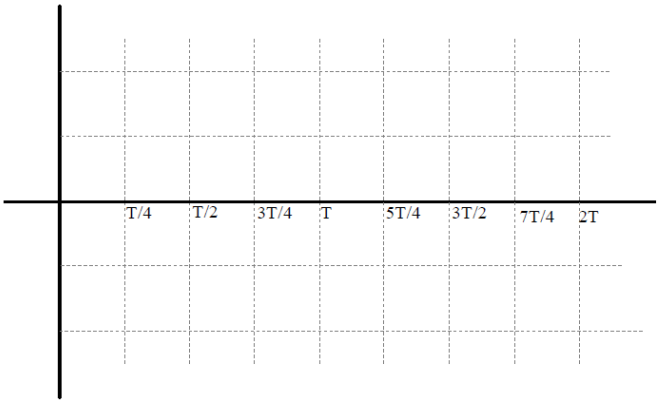
شکل(۳): دیاگرام مدار آشنایی با مولد موج و اسیلوسکوپ

۴- شکل موج عبوری از مقاومت ۱ $K\Omega$ را برای موج مثلثی، مربعی و سینوسی درنمودار شکل(4) تا (6) رسم نموده و موارد خواسته شده را یادداشت نمایید.



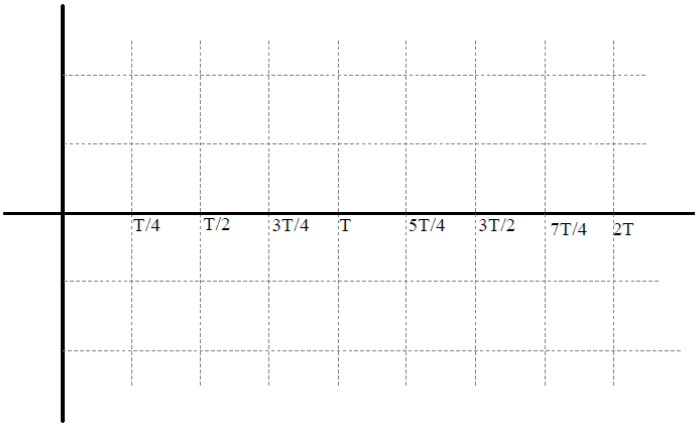
شکل(۴): شکل موج مربوط به مولدموج (موج سینوسی)

الف) $V_{P\text{-}P}$=	ب) V_P=	ج) V_{avg} =
د) V_{rms} = و (از اندازه‌گیری)	V_{rms} = (از محاسبه)	



شکل(۵): شکل موج مولد موج(موج مربعی)

الف) $V_{P\text{-}P}$=	ب) V_P=	ج) V_{avg} =
د) V_{rms} = و (از اندازه‌گیری)	V_{rms} = (از محاسبه)	



شکل (۶): شکل موج مربوط به مولد موج(موج مثلثی)

الف) V_{P-P}=	ب) V_P=	ج) V_{avg} =
د) V_{rms} = و (از اندازه‌گیری)	V_{rms} = (از محاسبه)	

ب–اندازه‌گیری پارامترهای امواج تولیدی مولد موج با استفاده از اسیلوسکوپ و مقایسه آنها با مقادیر متناظر اندازه‌گیری‌شده بوسیله مولتی‌متر

➢ اندازه‌گیری‌شده بوسیله مولتی‌متر

۱- مدار شکل(۳) را ببندید.

۲- شاخص ولتاژ مولد موج را روی ۶ ولت و فرکانس مولد موج را بر روی $۵۰Hz$ تنظیم کنید.

۳- ابتدا دکمه GND زمین[1] کانالI اسیلوسکوپ را بزنید و خط افقی را روی صفر تنظیم نمایید. سپس دکمه DC آن را انتخاب کنید با این کار هرچه در ورودی اسیلوسکوب باشد بدون تغییر در صفحه نمایش دیده می‌شود. (نکته: اگر کلید AC را بزنید یک خازن در مسیر ورودی اسیلوسکوپ قرار می‌گیرد که مولفه DC موج را حذف می‌کند.)

۴- دوسر مقاومت $۱K\Omega$ را به کانالI متصل نمائید.

۵- از انتخاب دکمه DC کانالI اطمینان حاصل نموده و شکل موج را مشاهده کنید.

۶- دامنه و زمان تناوب را ثبت نمائید.

۷- مولتی‌متر را بر روی حالت AC تنظیم نموده و با آن ولتاژ دو سر مقاومت $۱K\Omega$ ثبت نمائید. مقداری که نشان می دهد، مقدار RMS موج سینوسی AC است، که از دو طریق فوق به دست آورده است.

۸- برای اندازه‌گیری ولتاژ میانگین مولتی‌متر را بر روی DC تنظیم و ولتاژ را اندازه بگیرید.

۹- آزمایش را برای فرکانس‌های جدول(۱) تکرار نمایید.

۱۰- با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده، جداول(۱) را تکمیل نمایید.

توجه نمائید! که مولتی‌متر طراحی شده‌است که مقدار RMS سیگنال سینوسی را اندازه‌گیری کند و هنگامی که برای امواجی با شکل‌های دیگر به کار گرفته شود، همراه با اندکی خطا خواهد بود.

جدول (۱): مقادیر اندازه‌گیری‌شده و محاسبه شده ولتاژ دو سر مقاومت $۱K\Omega$ برای میانگین (برای شاخص۲ مولد موج)

الف) موج سینوسی

		$50Hz$	$1000Hz$
اسیلوسکوپ	$T(ms)$		
	$f(Hz)$		
	$V_{P-P}(V)$		
	$V_{rms}(V)$		
ولت‌متر	$Vavg(V)$		

[1] -Ground

	V_{rms} (V)		
	Crest Number		

ب) موج مثلثی

		50 *Hz*	1000 *Hz*
اسیلوسکوپ	*T(ms)*		
	f(Hz)		
	V_{P-P}(V)		
	V_{rms} (V)		
ولت‌متر	*Vavg (V)*		
	V_{rms} (V)		
	Crest Number		

ج) موج مربعی

		50 *Hz*	1000 *Hz*
اسیلوسکوپ	*T(ms)*		
	f(Hz)		
	V_{P-P}(V)		
	V_{rms} (V)		
ولت‌متر	*Vavg (V)*		
	V_{rms} (V		
	Crest Number		

➢ اندازه‌گیری با اسیلوسکوپ

مقدار افت ولتاژ دوسر مقاومت $1K\Omega$ و$10K\Omega$را توسط اسیلوسکوپ اندازه‌گیری نموده و با یکدیگر و مقایسه نمائید ((f=۵۰Hz)). منبع را بر روی موج سینوسی تنظیم نمائید.

جدول(۲): مقادیر افت ولتاژ دوسر مقاومت $1K\Omega$ و $10K\Omega$

شاخص منبع	V_{P-P}(V)($1K\Omega$)	V_{P-P}(V)($10K\Omega$)
۴		
۶		

➢ سؤالات:

۱- مقدار ولتاژ RMS را با روش انتگرالی(برای یک مقدار بیشینه) برای امواج سینوسی، مربعی و مثلثی محاسبه نمائید.

۲- مقدار V_{avg} را برای سه موج بر اساس رهیافت انتگرالی محاسبه نمائید.

۳- برای مقدار V_{P-P} یکسان کدام موج از امواج سینوسی – مربعی- مثلثی بالاترین V_{RMS} را دارد.

۴- در چه موجی V_{RMS} و V_{avg} می‌تواند یکسان باشد؟

۵- آیا فاکتور کرست سه نوع موج با مقادیر اندازه‌گیری شده تطبیق دارد؟ اگر خطایی وجود دارد ناشی از چیست؟ آن را محاسبه کنید.

۶- آیا V_{RMS} تابع فرکانس است؟ آیا مشاهدات شما با نتایج محاسبه شده همخوانی دارد؟

۷- آیا اختلاف فازی بین نمودارهای ولتاژ دو سر مقاومت وجود دارد؟

آزمایش شماره (۷)

تعیین مقاومت ظاهری[1] در مدارهای RLC شامل مقاومت، القاگر[2] و خازن

➢ اهداف آزمایش:

۱- تعیین فرکانس تشدید[3] در مدارهای RLC در حالت به هم بستن سری و موازی قطعات الکتریکی

۲- تعیین مقاومت ظاهری بسته به نوع فرکانس اعمال شده به مدارهای شامل خازن و القاگر در به هم بستن سری و موازی آنها

۳-مشاهده تغییر فاز

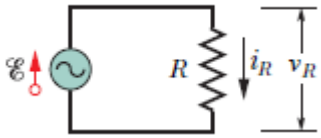
➢ وسایل مورد نیاز:

۱- برد الکترونیکی ۲- مقاومت ۱۰۰ اهمی ۳- خازن‌های ۱ و ۴/۷ میکروفارادی، ۴- القاگرهای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ دوری، ۵- مولد موج[4] ، ۶- اسیلوسکوپ (نوسان نما) با دو ورودی (کانال)، ۷- کابل BNC و سیم‌های رابط

➢ تئوری آزمایش:

مقاومت در مدارمتصل به ولتاژ AC

اگر یک مقاومت را در مداری تک حلقه مانند شکل (۱) به یک منبع ولتاژ متناوب $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$ وصل کنیم، جریان و ولتاژ دو سر مقاومت همفاز خواهند بود (شکل (۲)) و داریم:

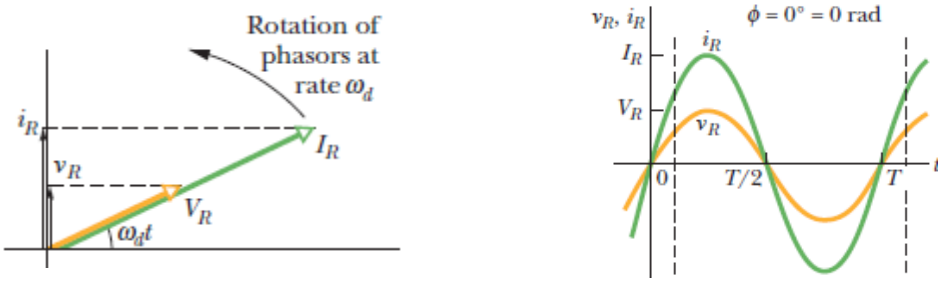


شکل ۱- مدار تک حلقه شامل مقاومت و منبع متناوب

$$\varepsilon = v_R = \sin \omega t \qquad (۱)$$

$$i_R = \frac{v_R}{R} = I_R \sin \omega t \qquad (۲)$$

[1] Impedance
[2] Inductor
[3] Resonance
[4] function generator



شکل ۲- در شکل سمت راست ولتاژ و جریان دوسر مقاومت به صورت تابعی از زمان رسم شده‌اند. و شکل سمت چپ جریان و ولتاژ دو سر مقاومت در فضای فاز نمایش می‌دهد.

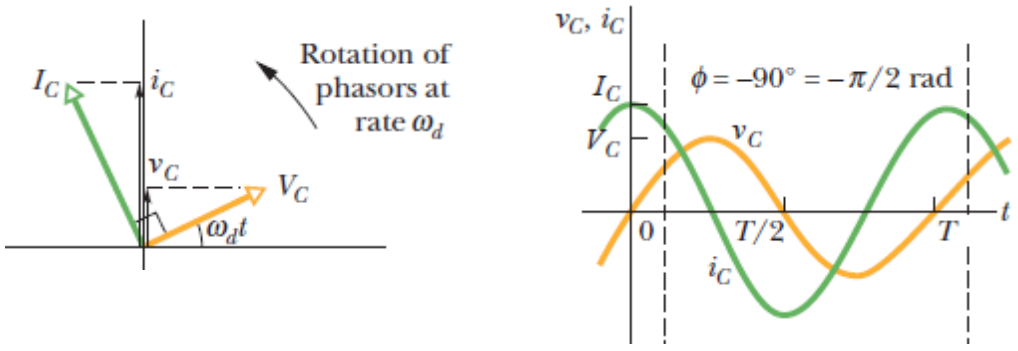
خازن در مدارمتصل به ولتاژ AC

همان‌طور که می‌دانیم، خازن‌ها پس از شارژ با جریان مستقیم(DC) ، مقاومتی بی‌نهایت و برابر عبورجریان از خود نشان می‌دهند، درحالی که این مقاومت درهنگام شارژ با جریان متناوب(AC) محدود است. به عبارت دیگر جریان AC بر خلاف جریان DC می‌تواند از خازن عبور کند. به مقاومتی که خازن در این حالت از خود نشان می‌دهد، مقاومت ظاهری خازن[1] گفته می‌شود و با فرکانس جریان متناوب برقرار شده و ظرفیت خازن نسبت عکس دارد و برابر است با:

$$x_c = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{2\pi f C} . \qquad (۳)$$

برای بدست آوردن این رابطه مداری تک حلقه شامل یک خازن که به دو سر آن ولتاژ متناوب $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$ متصل شده‌است، را در نظر بگیرید (شکل۳). با استفاده از قانون دوم کیرشهف داریم: $\varepsilon = v_c = V_c \sin \omega t$. از طرفی با توجه به رابطه‌ی مربوط به ظرفیت خازن داریم

$$q = C v_c = C V_c \sin \omega t \qquad (۴)$$



شکل ۴- در شکل سمت راست ولتاژ و جریان دوسر خازن به صورت تابعی از زمان رسم شده‌اند. و در شکل سمت چپ

[1] Capacitive Reactance

جریان و ولتاژ دو سر خازن در فضای فاز رسم شده اند.

همچنین، شدت جریان را می توان از رابطه زیر بدست آورد:

$$i_c = \frac{dq}{dt} = C\omega V_c \cos \omega t = I_c \cos \omega t = I_c \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}). \qquad (۵)$$

همانطور که دررابطه بالا دیده می‌شود جریان تقدم فازی به اندازه ی $\pi/2$ نسبت به ولتاژ دو سر خازن پیدا می کند (شکل (۳)). در رابطه (۵)جریان I_c بیشینه شدت جریان عبوری از خازن است:

$$I_c = C\omega V_c. \qquad (۶)$$

که در رابطه‌ی بالا $\frac{1}{C\omega}$ بعد مقاومت را دارد و مقاومت ظاهری خازن می نامند.

مدار شامل القاگر درمدار متصل به ولتاژ AC

هنگامی‌که از یک القاگر (سیم پیچ) جریان الکتریکی می‌گذرد در اطراف سیم پیچ میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. اگر جریان الکتریکی ثابت (DC) باشد، شار مغناطیسی که از داخل القاگر می‌گذرد ثابت بوده و القاگر مانند یک مقاومت معمولی عمل می‌کند، اما اگر جریان الکتریکی نسبت به زمان تغییر کند (جریان AC)، شار مغناطیسی متغیری در القاگر به به وجود آمده و درسیم پیچ نیروی محرکه الکتریکی القا می‌کند. طبق قانون لنز این نیروی محرکه با افزایش جریان مخالفت می‌کند و برابر است با $\varepsilon = \left|-\mathrm{L}\frac{\mathrm{dI}}{\mathrm{dt}}\right|$ ، در نتیجه از مقدار جریان می‌کاهد و می‌توان گفت القاگر در مقابل جریان متغیر مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. این مقاومت اصلی که به فرکانس جریان و ویژگی‌های القاگر بستگی دارد، را مقاومت القایی نامیده و برابر است با:

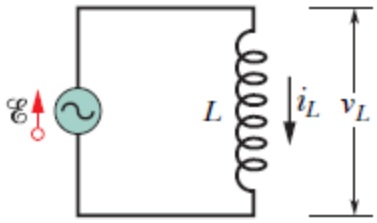
$$x_L = L\omega \qquad (۷)$$

در این رابطه L القاییدگی[1] می‌باشد.

برای اثبات رابطه (۷) یک مدار تک حلقه شامل یک القاگر با القاییدگی L و مقاومت اهمی $\mathrm{R_L}$ را که دو سر آن ولتاژ متناوب $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$ وصل شده است مانند شکل (۵) را در نظر می‌گیریم. در مدار معادل به جای القاگر یک منبع تغذیه (که اندازه نیروی محرکه آن از رابطه $\varepsilon = \left|-\mathrm{L}\frac{\mathrm{di_L}}{\mathrm{dt}}\right|$ بدست می آید) و یک مقاومت $\mathrm{R_L}$ قرار داده، بنابراین با توجه به قانون دوم کیرشهف می توان نوشت:

$$v_L - \varepsilon = i_L R_L. \qquad (۸)$$

[1] Inductance



شکل ۵- مدار تک حلقه القاگر در جریان متناوب.

اگر $R_L = 0$ باشد (القاگر ایده ال باشد.)، آن گاه:

$$v_L = \varepsilon = \left|-L\frac{di_L}{dt}\right| = V_L \sin \omega t \qquad (۹)$$

با استفاده از رابطه‌ی $\varepsilon = \left|-\mathrm{L}\frac{\mathrm{di_L}}{\mathrm{dt}}\right|$ می‌توان نوشت :

$$di_L = \frac{V_L}{L}(\sin \omega t)dt \qquad (۱۰)$$

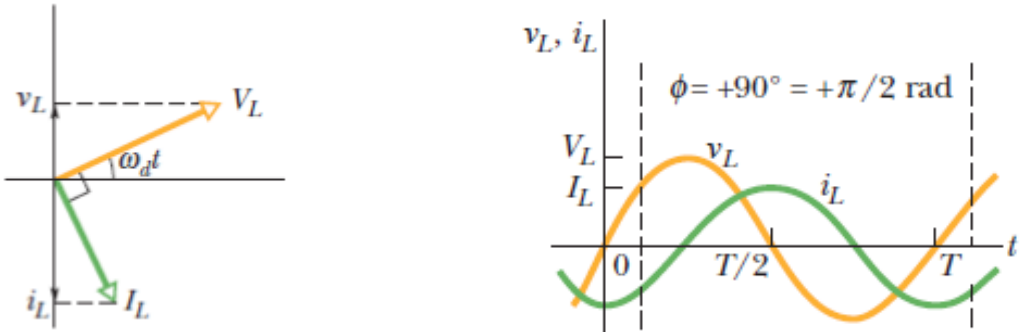
با انتگرال‌گیری از این رابطه ، شدت جریان عبوری از القاگر L به دست می آید:

$$i_L = -\frac{V_L}{L\omega}(\cos \omega t) = I_L \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \qquad (۱۱)$$

که در آن، $I_L = \frac{V_L}{L\omega}$ بیشینه جریان عبوری از القاگر بدون مقاومت L است:

$$\frac{V_L}{I_L} = L\omega = L2\pi f \qquad (۱۲)$$

دارای بعد مقاومت بوده و همانگونه که قبلا بیان شد آنرا مقاومت القایی نامیده و X_L نشان می‌دهند. همچنین رابطه (۵) نشان می دهد که فاز شدت جریان دریک مدار تک حلقه‌ی متصل به جریان متناوب و شامل یک القاگر با $R_L = 0$ به اندازه $\frac{\pi}{2}$ رادیان نسبت به اختلاف پتانسیل دو سر القاگر عقب تر است.



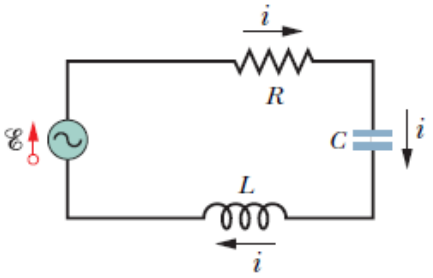
شکل ۶- در شکل سمت راست ولتاژ و جریان دوسر القاگر به صورت تابعی از مان رسم شده‌اند. و در شکل سمت چپ جریان و ولتاژ دو سر القاگر در فضای فاز نشان داده‌شده است.

مدار شامل مقاومت، القاگرو خازن (RLC) در ولتاژ AC

به منظور بررسی مقاومت ظاهری، مداری تک حلقه شامل یک القاگر به ضریب خودالقایی L، یک خازن با ظرفیت C و یک مقاومت R مانند شکل (۷) در نظر بگیرید. اگر خازن شارژ شده در داخل مدار از طریق یک سیم پیچ تخلیه شود، ولتاژ خازن به صورت نمایی به صفر کاهش نمی‌یابد، بلکه نوسان خواهد کرد. در نتیجه انرژی بین میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی منتقل می‌شود. در این حالت معادله تامسون برای فرکانس تشدید f_r به کار می‌رود:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (۱۳)$$

که L بیانگر القاییدگی و C بیانگر ظرفیت خازن می‌باشد.

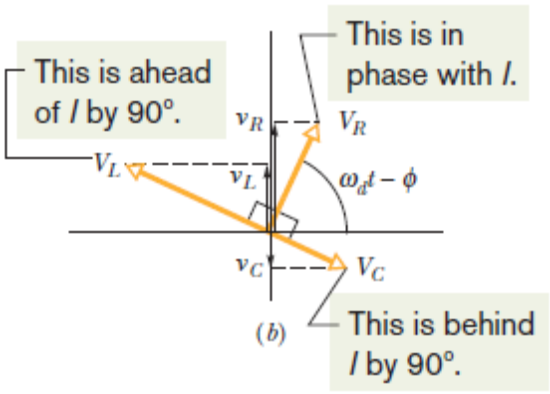


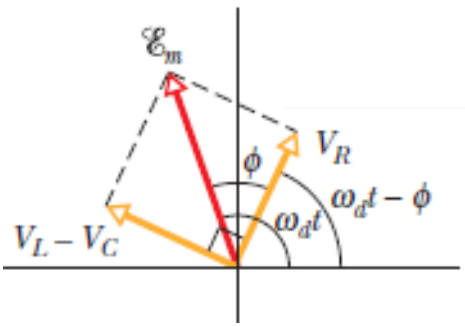
شکل ۷- مدار تک حلقه RLC در جریان متناوب.

برای اثبات این رابطه فرض کنید که مقاومت R، القاگر خالص L، و خازن C به طور متوالی مدار تک حلقه ی جریان متناوبی را تشکیل دهند. در این حالت اگر معادله اختلاف پتانسیل دو سر مدار به شکل $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$ باشد با اعمال قضیه حلقه داریم:

$$\varepsilon = v_R + v_L + v_C \qquad (۱۴)$$

در این رابطه v_R، v_L، v_C و ε اختلاف پتانسیل لحظه ای دو سر مقاومت، القاگر، خازن و منبع متناوب می‌باشند.





شکل۸- در شکل سمت چپ (b)ولتاژ دوسر خازن، مقاومت و القاگر در فضای فاز رسم شده است . همانگونه که مشهود است ولتاژ دوسر القاگر جلوتر و خازن عقبتر از مقاومت است.

هریک از این اختلاف پتانسیل ها تابعی سینوسی از زمان بوده با یکدیگر اختلاف فاز دارند (شکل (۸)). برای به دست آوردن

شدت جریان لحظه ای از نمودارهای فازنما استفاده می کنیم که در این صورت رابطه‌ی بین اختلاف پتانسیل قطعات مختلف مدار به صورت زیر است:

$$\varepsilon_m^2 = V_R^2 + (V_C - V_L)^2 \qquad (۱۵)$$

که در آن داریم:

$$V_C = X_C I_c = \frac{1}{C\omega} I_c \qquad (۱۶)$$

$$V_L = X_L I_L = L\omega I_L \qquad (۱۷)$$

$$V_R = R I_R \qquad (۱۸)$$

و در آن $I_c = I_L = I_R = I_m$ پس از جایگذاری این روابط در رابطه‌ی(۶) داریم:

$$\varepsilon_m = I_m\sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} = I_m Z \qquad (۱۹)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} \qquad (۲۰)$$

که در آن Z دارای بعد مقاومت الکتریکی بوده و به آن مقاومت ظاهری[1] گفته می شود و واحد آن اهم می‌باشد.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_C - X_L)^2} \qquad (۲۱)$$

تشدید در مدار RLC زمانی رخ می دهد که مقاومت القایی و خازنی مساوی شوند، در اینصورت اثر همدیگر را خنثی نموده می‌گویند مدار در حالت تشدید است، بنابراین داریم:

$$X_C = X_L \rightarrow L\omega_r = \frac{1}{C\omega_r} \rightarrow \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \rightarrow f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (۲۲)$$

در این آزمایش، مدارهای تشدید با خازن و سیم‌پیچ که به صورت‌های سری ویا موازی بسته شده اند، مورد آزمایش قرار می‌گیرد. برای این منظور افت ولتاژ دو سر مقاومت که وابسته به فرکانس منبع نیروی محرکه می‌باشد. با استفاده از یک اسیلوسکوپ اندازه‌گیری می‌شود.

در مدار سری با چشم‌پوشی از مقاومت اهمی القاگر و مقاومت اهمی می‌توان مقاومت ظاهری از مدار AC را به صورت زیر نوشت:

$$Z_S = \left|2\pi fL - \frac{1}{2\pi fc}\right| \qquad (۲۳)$$

همچنین در به هم بستن موازی، با چشم‌پوشی اگر از مقاومت اهمی القاگرو مقاومت اهمی، مقاومت ظاهری مدار AC به صورت زیر توصیف می‌شود:

$$\frac{1}{Z_P} = \left|\frac{1}{2\pi fL} - 2\pi fc\right| \qquad (۲۴)$$

لازم به ذکر است که با اعمال فرکانس تشدید f_R ، سمت راست رابطه‌های (۲۴) و (۲۵) صفر می شوند، یعنی مقاومت در مدار سری از بین می‌رود و در مدار موازی بی نهایت می‌شود.در اینصورت مدار سری به عنوان یک مدار فیلتر یا یک فیلتر

[1] Impedance

باند گذر شناخته می‌شود. درنتیجه فقط یک باند فرکانس خاص از سیگنال ورودی قادر به عبور از این فیلتر است. بنابراین فرکانس‌های غیر از فرکانس تشدید میرا می‌شوند. همچنین مدار موازی به عنوان یک مدار فیلتر دام[1] مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین صورت در این نوع مدار، فرکانس تشدید مسدود شده و همه‌ی فرکانس های دیگر قادر به عبور از فیلترخواهند بود. با توجه به شکل (۸) ثابت می‌شود که تغییر فاز φ بین ولتاژ و جریان کل در مدار سری RLC به شکل زیر بیان می‌گردد:

$$tan\,\varphi = \frac{2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}}{R} \quad (۲۵)$$

در فرکانس تشدید، تغییر فاز صفر است. این تغییر فاز در فرکانس‌های خیلی پایین به سمت $-\frac{\pi}{2}$ و در فرکانس‌های خیلی بالا به سمت $+\frac{\pi}{2}$ میل می‌کند.

همچنین در به هم بستن موازی، با چشم‌پوشی اگر از مقاومت اهمی القاگرو مقاومت اهمی، مقاومت ظاهری مدار AC به صورت زیر توصیف می‌شود:

با توجه به شکل (۲)، برای تغییر فاز در مدار موازی نیز خواهیم داشت:

$$tan\,\varphi = \frac{1}{\left(\frac{1}{2\pi fL} - 2\pi fC\right)R} \quad (۲۶)$$

در این حالت، برای فرکانس‌های خیلی پایین و خیلی بالا، تغییر فاز به سمت صفر میل می‌کند و در فرکانس تشدید تغییر فاز برابر $\pm\frac{\pi}{2}$ خواهد بود.

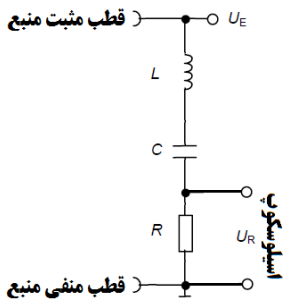
➢ نحوه انجام آزمایش:

۱) تعیین فرکانس تشدید

الف) حالت مدار سری

۱. خازن $C = 4.7\ \mu F$، مقاومت $R = 100\ \Omega$ و سیم‌پیچ ۱۰۰۰دور را به طور سری به منبع متناوب مولد موج با شاخص ۶ ولت وصل کنید. دو سر مقاومت را به یک کانال اسیلوسکوپ متصل می‌کنیم.(شکل۹)

[1] - bandstop filter circuit



شکل (۹): مدار RLC سری

توجه! با توجه به ولتاژ بالای ایجاد شده ناشی از تشدید در سیم‌پیچ و خازن در مدار، استفاده از یک مقاومت در مدار ضروری است.

۲. ابتدا مولد موج را به شکل سینوسی و روی 100 Hz قرارداده. بیشینه ولتاژ را با استفاده از شاخص مولد موج به روی $U_{E=۶}$ V تنظیم کنید.

۳. در حین آزمایش مبنای زمانی اسیلوسکوپ باید با توجه به تنظیمات فرکانس به طور مناسب انتخاب گردد.

۴. فرکانس را به آهستگی افزایش داده تا ولتاژ U_R به **بیشینه** مقدار خود برسد.

۵. مقدار فرکانس را از روی اسیلوسکوپ خوانده و در جدول (۱) وارد کنید.

۶. آزمایش را با ترکیب‌های دیگر سیم‌پیچ و خازن تکرار کنید.

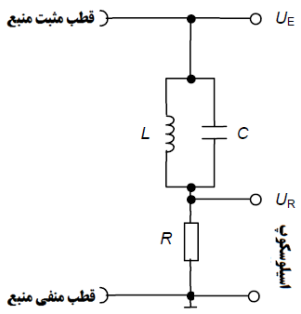
۷. با استفاده از مقادیر دقیق ضریب خودالقایی سیم‌پیچ ها و ظرفیت خازن‌های مورد استفاده در آزمایش، مقادیر تئوری فرکانس تشدید را به کمک رابطه (۲۲) محاسبه کرده و در جدول (۱) وارد کنید.

جدول (۱): فرکانس‌های تشدید در مدار RLC سری

C / L	$C = 1\mu F$		$C = 4.7\,\mu F$	
	مقدار تجربی فرکانس تشدید	مقدار تئوری فرکانس تشدید	مقدار تجربی فرکانس تشدید	مقدار تئوری فرکانس تشدید
۵۰۰ دور				
۱۰۰۰ دور				

ب) حالت مدار موازی

۱. مطابق شکل (۱۰)، خازن $C = 4.7\ \mu F$ و سیم‌پیچ 1000دور را به صورت موازی به یکدیگر بسته و سپس ترکیب حاصل را با مقاومت $R = 100\ \Omega$ به طور سری به منبع متناوب مولد موج با شاخص ۶ ولت وصل کنید. سپس دو سر مقاومت را به یک کانال اسیلوسکوپ متصل کنید.



شکل (۱۰): مدار RLC موازی

۲. در این حالت نیز فرکانس را افزایش داده تا ولتاژ U_R به **کمینه** مقدار خود برسد.

۳. مقدار فرکانس را در جدول (۲) وارد کنید.

۴. آزمایش را با ترکیب‌های دیگر سیم‌پیچ و خازن تکرار کنید.

۵. با استفاده از مقادیر دقیق ضریب خودالقایی سیم‌پیچ‌ها و ظرفیت خازن‌های مورد استفاده در آزمایش، مقادیر تئوری فرکانس تشدید را به کمک رابطه (۲۳) محاسبه کرده و در جدول (۲) وارد کنید.

جدول (۲): فرکانس‌های تشدید در مدار RLC موازی

C / L	$C = 1\mu F$		$C = 4.7\mu F$	
	مقدار تجربی فرکانس تشدید	مقدار تئوری فرکانس تشدید	مقدار تجربی فرکانس تشدید	مقدار تئوری فرکانس تشدید
۵۰۰ دور				
۱۰۰۰ دور				

۲) تعیین مقاومت ظاهری

الف) ترکیب سری

۱. مطابق شکل (۹)، خازن $C = 1\ \mu F$ و سیم‌پیچ ۱۰۰۰دور را با مقاومت $R = 100\ \Omega$ به طور سری بسته و به منبع متناوب مولد موج با شاخص ۶ ولت وصل کنید.

۲. مطابق جدول (۳) فرکانس منبع متناوب را از ۵۰ هرتز تا ۲۰۰۰۰ هرتز مطابق جدول (۳) افزایش داده و در هر مرحله مقدار ولتاژ بیشینه‌ی دو سر مقاومت را در جدول (۳) یادداشت کنید.

۳. با استفاده از رابطه‌ی نمایش داده‌شده در جدول (۳) داشتن مقدار ولتاژ کل منبع، مقدار مقاومت ظاهری مدار RLC را به صورت تجربی محاسبه کنید. به کمک رابطه (۲۳) و با استفاده از اطلاعات مربوط به سیم‌پیچ ، خازن و فرکانس مورد استفاده در مدار سری، مقاومت ظاهری مدار RLC را به صورت تئوری نیز بدست آورده و با مقدار تجربی مقایسه نمایید.

جدول (۳): تعیین مقاومت ظاهری ترکیب سری مدار RLC

	$R=100\Omega$	$R=100\Omega$	$Z_{theo}=\left\lvert 2\pi fL-\frac{1}{2\pi fC}\right\rvert$
f (Hz)	U_R (v)	$Z=\frac{U_E-U_R}{U_R}R$	
۵۰			
۲۰۰			
۵۰۰			
۱۰۰۰			
۲۰۰۰			
۳۰۰۰			
۴۰۰۰			
۵۰۰۰			
۶۰۰۰			
۷۰۰۰			
۱۰۰۰۰			
۲۰۰۰۰			

ب) ترکیب موازی

۱. مطابق شکل (۱۰)، خازن $C = 1\ \mu F$ و سیم‌پیچ ۱۰۰۰دور را به صورت موازی با یکدیگر بسته و سپس ترکیب حاصل را با مقاومت $R = 100\ \Omega$ به طور سری به منبع متناوب مولد موج با شاخص ۶ ولت وصل کنید.

۲. فرکانس منبع متناوب را از ۵۰ هرتز تا ۲۰۰۰۰ هرتز مطابق جدول (۴) افزایش داده و در هر مرحله مقادیر فرکانس و ولتاژ بیشینه را در جدول (۴) یادداشت کنید.

۳. با استفاده از رابطه‌ی نمایش داده‌شده در جدول (۳) و داشتن مقدار ولتاژ کل منبع، مقدار مقاومت ظاهری مدار RLC را به صورت تجربی محاسبه کنید.با استفاده از مقادیر ولتاژ بیشینه‌ی دوسر مقاومت اندازه گیری شده در هر فرکانس، مقاومت مورد استفاده و مقدار ولتاژ کل منبع، مقدار مقاومت ظاهری مدار RLC را در حالت تجربی با استفاده از رابطه نمایش داده شده در جدول (۴) محاسبه کنید. به کمک رابطه (۵) و با استفاده از اطلاعات مربوط به سیم‌پیچ ، خازن و فرکانس مورد استفاده در مدار موازی، مقاومت ظاهری مدار RLC را به صورت تئوری نیز بدست آورده و با مقدار تجربی مقایسه نمایید.

جدول (۴): تعیین مقاومت ظاهری ترکیب موازی مدار RLC

	$R=100\Omega$	$R=100\Omega$	$Z_{theo}=\frac{1}{\left\lvert\frac{1}{2\pi fL}-2\pi fC\right\rvert}$
f (Hz)	U_R (v)	$Z=\frac{U_E-U_R}{U_R}R$	
۵۰			

۲۰۰			
۵۰۰			
۱۰۰۰			
۲۰۰۰			
۳۰۰۰			
۴۰۰۰			
۵۰۰۰			
۶۰۰۰			
۷۰۰۰			
۱۰۰۰۰			
۲۰۰۰۰			

۳) بررسی کیفی اختلاف فاز

الف) ترکیب سری

ابتدا مطابق شکل (۹)، چیدمان آزمایش را با ترکیبی از خازن $C = 1\ \mu F$ و سیم‌پیچ ۱۰۰۰دور و مقاومت $R = 100\ \boldsymbol{\Omega}$ به صورت سری تنظیم کنید.

فرکانس منبع را روی فرکانس تشدید تنظیم نمایید سپس دو سر مقاومت و منبع را به کانالهای یک و دو اسیلوسکوپ متصل نموده و اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ مدار را مشاهده کنید.

رفتار اختلاف فاز را با افزایش و کاهش فرکانس بررسی کنید.

ب) ترکیب موازی

مطابق شکل (۱۰)، خازن $C = 1\ \mu F$ و سیم‌پیچ ۱۰۰۰دور را به صورت موازی با یکدیگر بسته و سپس ترکیب حاصل را با مقاومت $R = 100\ \boldsymbol{\Omega}$ به طور سری به منبع متناوب مولد موج با شاخص ۶ ولت وصل می‌کنیم.

مانند قسمت قبل فرکانس منبع را روی فرکانس تشدید تنظیم نمایید. سپس دو سر مقاومت و منبع را به کانالهای یک و دو اسیلوسکوپ متصل نموده و اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ مدار را مشاهده کنید.

رفتار اختلاف فاز را با افزایش و کاهش فرکانس بررسی کنید.

پرسش ها:

۱- کاربرد مدارهای RLC را نام برده و یکی را به دلخواه تشریح کنید.

۲- خطای مطلق و نسبی کمیت‌های اندازه گیری شده در جداول (۱) تا (۴) را محاسبه نمایید.

۳- نمودار مقاومت ظاهری تجربی بر حسب فرکانس برای مقاومت ۱۰۰ اهمی رارسم کرده و از روی آن مقدار فرکانس تشدید را محاسبه نمایید.

آزمایش شماره (۸)

بررسی رفتار القاگر[1]ها (سیم پیچ[2]) در مدارات موازی و سری

➢ هدف آزمایش:

تحقیق قوانین بهم بستن القاگرها به صورت سری و موازی در مدارهای جریان مستقیم و متناوب و محاسبه مقاومت ظاهری القاگر[3] معادل آن‌ها

➢ وسایل مورد نیاز

۱- مولد موج[4] S_{12}، ۲-منبع تغذیه، ۳-دو مولتی‌متر دیجیتال، ۴-القاگر ۱۰۰۰ دور، ۵-القاگر ۵۰۰ دور، ۶-برد A4، ۷-سیم‌های رابط.

➢ تئوری آزمایش:

همانگونه‌که در آزمایش ۷ ذکر شد مقاومت القاگرها شامل دو بخش مقاومت اهمی R_L و مقاومت ظاهری القایی X_L است، که از رابطهٔ (۱۳) بخش(ب) از آزمایش ۷ پیروی می‌کنند. همانگونه‌که با به هم بستن مقاومت‌های اهمی به یکدیگر به صورت سری و موازی مقدار مقاومت اهمی مدار تغییر می‌کند، در صورت استفاده از ترکیب سری و موازی القاگرها، مقدار مقاومت اهمی و میزان خاصیت القایی آن‌ها تغییر می‌کند.

یکی از روش‌های اندازه‌گیری القاییدگی[5] L و مقاومت اهمی القاگرها R_L در مدار استفاده از منبع متناوب AC و منبع مستقیم DC در دو مرحله در سیستم اندازه‌گیری است. اگر القاگری در مدار مستقیم DC قرار بگیرد، از آنجاکه مقدار فرکانس صفر $f = 0$ است، رابطه $Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2}$ تبدیل به رابطه‌ای حقیقی و متشکل از مقاومت اهمی می‌شود.

$$Z_L = \sqrt{R_L^2 + X_L^2} \qquad \rightarrow f = 0 \rightarrow \quad Z_L = R_L$$

هنگامی‌که القاگر در مدار متناوب AC قرار می‌گیرد، میزان مقاومت ظاهری[6] کل مدار Z_L اندازه‌گیری می‌شود، که با توجه به اندازه‌گیری R_L در مدار مستقیم مقدار L از رابطه زیر حاصل می‌شود:

[1] Inductor
[2] Coil
[3] Inductive Reactance
[4] Function Generator
[5] Inductance
[6] Impedance

$$Z_{L=}\sqrt{R_L^2 + X_L^2} \quad \rightarrow X_L = 2\pi f L \rightarrow \quad L = \frac{\sqrt{Z_L^2 - R_L^2}}{2\pi f} \qquad (۱)$$

لازم به ذکر است که جهت اندازه‌گیری R و L به ترتیب در مدار مستقیم و متناوب، ولتاژ و جریان اندازه‌گیری شده و با استفاده از روابط زیر مقادیر مربوطه محاسبه می‌شود.

$$R = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \qquad (۲)$$

$$Z = \frac{V_{AC}}{I_{AC}} \qquad (۳)$$

➢ روش انجام آزمایش

۱- کانال(۳) منبع ولتاژ DC به القاگر ۱۰۰۰ دور و ۵۰۰ دور و آمپرمتر سری کنید.

۲- مقدار ولتاژ دو سر هر کدام از القاگرها و دو سر کل مدار را به همراه جریان گذرنده از مدار اندازه‌گیری و در جدول(۱) ثبت کنید.

۳- مولدموج را بر روی فرکانس ۵۰ هرتز و شاخص ولتاژ ۶ تنظیم نموده و به جای منبع DC در مدار قرار دهید.

۴- ولتاژ دو سر هر کدام از القاگرها و ولتاژ دو سر کل مدار را به همراه جریان گذرنده اندازه‌گیری نموده و جدول(۱) را تکمیل کنید.

۵- محاسبات مربوطه را طبق روابط(۱) تا (۳) انجام دهید.

جدول(۱): مقادیر اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده در چیدمان به هم بستن سری القاگرها

نوع القاگر	$V_{DC}(V)$	$I_{DC}(A)$	$R(\Omega)$	$V_{AC}(V)$	$I_{AC}(A)$	$Z(\Omega)$	$L(mH)$
القاگر ۱۰۰۰ دور							
القاگر ۵۰۰ دور							
دو القاگر سری							

۶- آزمایش را برای چیدمان موازی دو القاگر ۱۰۰۰ دور و ۵۰۰ دور تکرار نموده و جدول(۲) را تکمیل نمایید.

جدول(۲): مقادیر اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده در چیدمان به هم بستن موازی القاگرها

نوع القاگر	$V_{DC}(V)$	$I_{DC}(A)$	$R(\Omega)$	$V_{AC}(V)$	$I_{AC}(A)$	$Z(\Omega)$	$L(mH)$
القاگر ۱۰۰۰ دور							
القاگر ۵۰۰ دور							
دو القاگر موازی							

➢ سوالات:

۱- روابط مربوط به القاگرهای سری و موازی را استخراج کنید.

۲- درصد خطای مربوط به محاسبات جدول(۱) و (۲) را تعیین نمایید.

۳- به چه دلیلی القاگرها در پیکربندی سری و موازی در مدار به کار می‌روند؟

آزمایش شماره (۹)

تبدیل ولتاژ و جریان با استفاده از یک ترانسفورماتور

➢ اهداف آزمایش

۱. اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه یک ترانسفورماتور به صورت تابعی از ولتاژ اولیه برای سیم‌پیچ‌های اولیه به ثانویه‌ی مختلف

۲. اندازه‌گیری جریان ثانویه‌ی یک ترانسفورماتور به صورت تابعی از جریان اولیه سیم‌پیچ اولیه به ثانویه‌ی مختلف

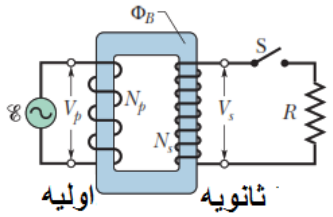
۱. وسایل مورد نیاز

۱-دو مولتی‌متر دیجیتال، ۲-سیم‌پیچ‌های ۶۰۰ دور و ۱۲۰۰ دور، ۳-منبع ولتاژ متناوب متغیر ۵۰ هرتز با جریان بسیار پایین ۴-سیم‌های رابط.

۲.تئوری آزمایش

به دلیل طولانی بودن مسیرخطوط انتقال انرژی الکتریکی بین شهرها و روستاها مقدار زیادی از انرژی الکتریکی اولیه به صورت انرژی گرمایی ناشی از مقاومت سیم های حامل جریان تلف می شود. برای کاهش اتلاف انرژی در مسیر خطوط انتقال از ترانسفورماتور استفاده می‌شود. این ترانسفورماتورها ولتاژ را به حدکثر و جریان را به حداقل می رسانند تا جریان کمتری در سیم‌های انتقال انرژی الکتریکی تلف شود.

یک ترانسفورماتور شامل دو سیم‌پیچ است که در اثر القاء متقابل و توسط هسته‌ای آهنی به یکدیگر مرتبط شده‌اند (شکل (۱)). ترانسفورماتورها برای تغییر مقدار ولتاژ و جریان‌های متناوب به‌کار می‌روند، بطوریکه حاصل ضرب ولتاژ در جریان ثابت بماند. فرکانس ولتاژ در این تبدیل نیزبدون تغییر باقی می‌ماند.



شکل ۱- یک ترانسفورماتور ایده آل. منبع Ac در سیم‌پیچ سمت چپ جریانی را ایجاد می کند.
سیم پیچ سمت راست به مقاومت R متصل است. سیم پیچ ها بدور یک هسته آهنی پیچیده شده اند.

جریان متناوب در سیم‌پیچ اولیه شار مغناطیسی متناوبی را ایجاد می‌کند که در هسته آهنی فرومغناطیس شارش می‌یابد و طبق قانون القای فارادی یک نیروی محرکه القایی را در سیم‌پیچ ثانویه القاء می‌کندکه از رابطه‌ی (۱) به‌دست می‌آید.

$$\varepsilon_L = \frac{d\phi_B}{dt} \qquad (۱)$$

در این رابطه ε_L نیروی محرکه القایی در هر حلقه است. اگر سیم‌پیچ N حلقه داشته باشد آنگاه ε_{ind} نیروی محرکه القایی در N حلقه از رابطه زیر به دست می آید:

$$\varepsilon_{ind} = N\frac{d\phi_B}{dt} = N\varepsilon_L \qquad (۲)$$

پس طبق شکل (۲) $V_p = \varepsilon_{ind} = N_p\varepsilon_L$ نیروی محرکه القایی برای سیم پیچ اولیه با ، N_p دور است. و $V_s = \varepsilon_{ind} = N_s\varepsilon_L$ نیروی محرکه القایی برای سیم پیچ ثانویه با ، N_s دور است اگر ترانسفورماتور ایده‌آل باشد، دراینصورت مقاومت سیم‌پیچ اولیه و ثانویه صفر خواهد بود و نیروی محرکه هر حلقه در سیم پیچ اولیه و ثانویه برابر خواهند شد: $\varepsilon_{LP} = \varepsilon_{LS}$. بنابراین داریم.

$$\frac{V_s}{N_s} = \frac{V_p}{N_p} \qquad (۳)$$

اگر $N_s > N_p$ باشد ولتاژ ثانویه از ولتاژ اولیه بیشتر خواهد شد و ترانسفورماتور را افزاینده نامند. بر عکس اگر $N_s < N_p$ باشد ترانسفورماتور کاهنده خواهد بود.

برای اینکه رابطه‌ی بین I_p و I_s را بیابیم از قانون بقای انرژی استفاده می کنیم. آهنگ انتقال انرژی از منبع به سیم‌پیچ اولیه ($P = I_pV_p$)، برابر است با آهنگ انتقال انرژی از سیم‌پیچ اولیه به سیم‌پیچ ثانویه.

$$I_pV_p = I_sV_s \qquad (۴)$$

بنابراین:

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \qquad (۵)$$

این رابطه نشان می‌دهد که جریان در مدار اولیه و ثانویه یکسان نیستند.

➢ **نکات ایمنی**

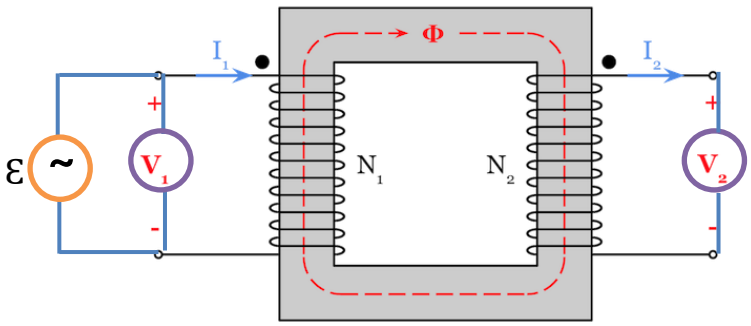
۱- برای رسیدن به ولتاژ AC متصل به سیم‌پیچ را به تدریج افزایش دهید، (خطر آسیب جدی دستگاه‌های اندازه‌گیری وجود دارد).

۲- از گرم شدن بیش از حد سیم‌پیچ‌ها جلوگیری کنید. بیشینه ولتاژها و جریان‌هایی که بر روی سیم‌پیچ ها ثبت شده‌است، را در نظر داشته باشید.

- **بیشینه ولتاژ AC مجاز برای سیم‌پیچ‌ها کمتر از ۵ ولت است.**
- **بیشینه توان مصرفی مجاز بر روی سیم‌پیچ ها نوشته شده است.**

۳.نحوهٔ انجام آزمایش

الف) تبدیل ولتاژ



شکل ۲- چیدمان آزمایش اول

➢ روش انجام آزمایش:

۱- منبع ولتاژ متناوب ε و ولت‌مترهای V_1 و V_2 را همان‌گونه‌که در شکل(۲) نشان داده شده‌است به سیم‌پیچ های N_1 و N_2 متصل نمایید.

۲- ولتاژ منبع را بین صفر ولت تا حداکثر ۵ ولت، تا هشت پله تغییر دهید و ولتاژ V_2 را اندازه‌گیری نموده و در جدول(۱) ثبت نمایید. (پله‌های ولتاژ را با توجه به مقدار حدکثری که کمتر از ۵ ولت است به دلخواه انتخاب کنید.

۳- آزمایش را با نسبت تعداد دورهای اولیه به ثانویه متفاوت، تکرار نموده و ستون مربوطه در جدول(۱) را تکمیل نمایید.

جدول(۱): ولتاژ V_2 و V_1 برای تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه به ثانویه متفاوت

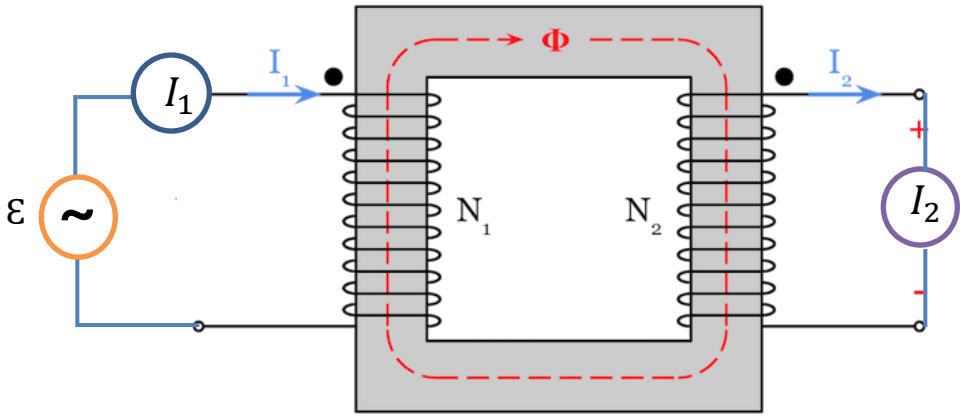
	V_1	$V_2(N_2 > N_1)$	V_1	$V_2(N_2 = N_1)$	V_1	$V_2(N_2 < N_1)$
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						
۷						
۸						

۴- نمودار V_2 بر حسب V_1 را برای مقادیر مختلف N_1/N_2 رسم نمایید.

۵- شیب نمودار حاصل را به‌دست آورید.

۶- آیا رابطه‌ای بین $\frac{N_1}{N_2}$ و $\frac{V_1}{V_2}$ مشاهده می‌شود؟ اگر رابطه‌ای وجود دارد آن را به‌دست آورید.

ب) تبدیل جریان



شکل ۳- چیدمان آزمایش دوم

➢ روش انجام آزمایش:

۱- مانند شکل(۳) منبع ولتاژ متناوب پایین ε و آمپرمترهای I_1 و I_2 ت به سیم‌پیچ های N_1 و N_2 متصل نمایید.

۲- جریان I_1 را بین صفر آمپر تا حداکثر ۲ آمپر،تا هشت پله تغییر دهید و جریان I_2 را اندازه‌گیری نموده و در جدول(۲) ثبت نمایید. (پله‌های جریان را با توجه به مقدار حدکثری که کمتر از ۱ آمپر است به دلخواه انتخاب کنید)

۳- آزمایش را با نسبت تعداد دورهای اولیه به ثانویه متفاوت، تکرار نموده و ستون مربوطه در جدول(۲) را تکمیل نمایید.

جدول(۲): ولتاژ I_2 و I_1 برای تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه به ثانویه متفاوت

	I_1	$I_2(N_2 > N_1)$	I_1	$I_2(N_2 = N_1)$	I_1	$I_2(N_2 < N_1)$
۱						
۲						
۳						
۴						
۵						
۶						
۷						
۸						

۴- نمودار $I_2(A)$ بر حسب $I_1(A)$ را برای مقادیر مختلف N_1/N_2 رسم نمایید.

۵- شیب نمودار حاصل را به‌دست آورید.

۶- آیا رابطه‌ای بین $\frac{N_1}{N_2}$ و $\frac{I_1}{I_2}$ مشاهده می‌شود؟ اگر رابطه‌ای وجود دارد آن را به‌دست آورید.

➢ سوالات:

۱- در چیدمان آزمایشگاهی چه راهی را برای تبدیل ولتاژ ۲۲۰ ولت شهر به ولتاژی مناسب برای روشن نمودن ۱۲ ال‌ای‌دی ۳ ولتی سری پیشنهاد می‌دهید؟ لازم به ذکر است این ال ای‌دی‌ها با بیشینه جریان ۳۵۰ میلی‌آمپر طراحی شده‌اند.

۲- در مورد ترانسفورماتورهای خودکار[1] تحقیق کنید و بیان کنید در چه حوزهٔ صنعتی استفاده می‌شوند؟

۳- کاربرد ترانسفورماتورهای جریان در چه حوزهٔ صنعتی است؟ کاربردهای آنها را با ذکر مثال توضیح دهید.

[1] autotransformer

آزمایش شماره (۱۰)

تعیین مقاومت خازنی[1] با استفاده از پل اندازه‌گیری وین[2]

➢ اهداف آزمایش

۱- تعیین ظرفیت خازن‌ها با استفاده از پل اندازه‌گیری وین

۲- نمایش عدم وابستگی موقعیت تعادل به فرکانس ولتاژ AC

➢ وسایل مورد نیاز

۱- دو عدد خازن ۱ میکروفاراد به عنوان خازن‌های معلوم، ۲ - دو عدد خازن به عنوان خازن‌های مجهول، ۴- برد A_4، ۵- مقاومت ۱۰۰ اهم ۶- جعبه مقاومت متغیر ۷- مجموعه‌ی ده تایی پل اتصالی برد $A4$ ۸- مولد موج[3] ۹- مولتی‌متر دیجیتال ۸- سیم‌های رابط.

➢ تئوری آزمایش:

همانطور که در گذشته دیدیم مدار اندازه‌گیری وتستون برای تعیین مقاومت اهمی در مدارات AC و DC مورد استفاده قرارمی‌گیرد. به صورت مشابه می‌توان با مدار پلی مشابه به نام پل وین (شکل۱) مقدار مقاومت یک خازن را تعیین کرد. این پل اندازه‌گیری از سه بخش تشکیل شده‌است: بخش اول شامل چهار بازوی پل غیرفعال است که بر روی یک مربع به یکدیگر متصل شده‌اند، بخش دوم یک بازوی شاخص[4] با نشان‌دهنده‌ی تعادل[5] می‌باشد و بخش سوم یک بازوی منبع با منبع ولتاژ متناوب است که در مدار قرار دارد. تنظیم عناصر متغیر، جریان در بازوی شاخص پل وین صفر می‌شود. در حالت کلی هنگامی‌که بر روی چهار بازوی پل غیرفعال خازن و یا القاگر[6] (سیم پیچ[7]) گیرد مقاومت ظاهری مختلط[8] شرط تعادلی پایه را تامین خواهد کرد:

$$Z_1 = Z_2 \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \qquad (۱)$$

از این معادله کمیت Z_1 محاسبه می‌شود، که درآن Z_2 مقاومت مرجع خازنی، Z_3 مقاومت اهمی ثابت، Z_4 مقاومت اهمی متغیر است. اگر در بازوی شماره یک پل فقط خازن قرار گرفته باشد، کمیت Z_1 از رابطهٔ زیر پیروی می‌کند:

$$Z_1 = \frac{1}{i \cdot 2\pi f \cdot C_1} \qquad (۲)$$

1- Capacitive Reactance
2 - Wien measuring bridge
3 -Function Generator
4- Indicator arm
5- Balance indicator
6 -Inductor
7 -coil
8 - Complex reactance

که در آن C_1 ظرفیت خازن مجهول و f فرکانس ولتاژ متناوب اعمالی می‌باشد. کمیت‌های دیگر معادله(۱)، بنابراین می‌توان نوشت:

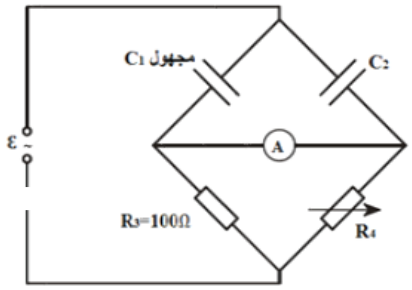
$$Z_2 = \frac{1}{i \cdot 2\pi f \cdot C_2} \qquad (۳)$$

و $Z_3 = R_3$ و $Z_4 = R_4$

هستند. در حالت تعادل صفر، رابطهٔ (۲) به صورت زیر ساده می‌شود:

$$C_1 = C_2 \cdot \frac{R_4}{R_3} \qquad (۴)$$

صرفنظر از مقدار فرکانس f رابطه فوق همواره برقرار است. در این آزمایش به جای مولتی‌متر دیجیتال می‌توان از بلندگو یا اسیلوسکوپ به عنوان نشان‌دهندهٔ تعادل استفاده نمود.



شکل(۱): نحوه چیدمان یک پل اندازه‌گیری وین به منظور اندازه‌گیری مقاومت خازنی Z_1

➢ روش انجام آزمایش

❖ چیدمان آزمایش

چیدمان آزمایش در شکل(۲) نشان داده شده‌است[۱].

۱- مقاومت ثابت ۱۰۰ اهم را به صورت سری به خازن مجهول متصل نمایید.

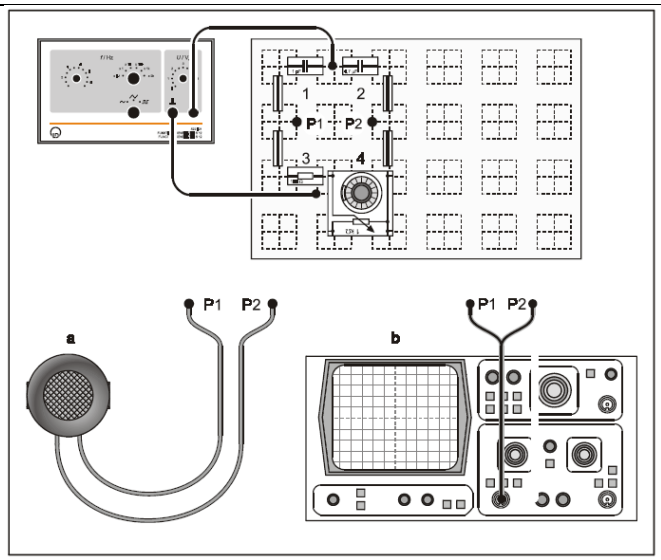
۲- مقاومت متغیر را به صورت سری به خازن معلوم C_2 متصل نمایید.

۳- مانند شکل(۲) نمودار(۱) و (۲) را به صورت موازی به‌هم وصل کنید.

۴- مولد موج را به عنوان منبع ولتاژ AC به بازوی منبع متصل نموده و شاخص ولتاژ خروجی را **دو ولت** و شکل موج سینوسی را انتخاب نمایید. **به دلیل حساسیت قطعات و امکان آسیب‌دیدگی جدی آن‌ها از افزایش ولتاژ مولد موج اکیداً خودداری کنید.**

۵- مولتی‌متر را در بازوی شاخص قرار دهید(در نقاط P_1 و P_2)و رنج آمپرمتر را روی ۲۰ میلی آمپر تنظیم نمایید.

[۱]- به جای مقاومت متغیر یک کیلواهمی یک جعبه مقاومت مورد استفاده قرار گرفته‌است.



شکل(۲): چیدمان آزمایش برای تعیین مقاومت خازنی با استفاده از پل اندازه‌گیری وین

❖ روش انجام آزمایش

اگردر بازوی پل وین از مولتی‌متر شاخص استفاده شود،توصیه می‌شود که به جهت حساسیت خطی مولتی‌متر به فرکانس از بازه‌ی فرکانس زیر ۱۰۰۰ هرتز استفاده می‌شود. در صورت استفاده از بلندگو استفاده از بیشینه فرکانس پیشنهاد می-شود(استفاده از فرکانس بالاتر حساسیت شنوایی کافی را تضمین می‌کند.). در صورت استفاده از اسیلوسکوپ تنظیم صحیح حساسیت سیستم ضروری است.

الف- خازن مرجع ۴/۷ میکروفاراد:

۱- خازن ۱ میکروفاراد را به عنوان خازن مجهول C_1 و خازن ۴/۷ میکروفاراد را به عنوان خازن مرجع C_2 در مدار وارد نمایید.

۲- مولد موج را روشن نموده و فرکانس را بر روی ۵۰ هرتز تنظیم نمایید. فراموش نکنید پیش از اتصال مولد موج به مدار، شاخص ولتاژ را بر روی **۲ ولت** تنظیم کنید.

۳- مقاومت R_4 را به دقت تغییر دهید تا سیگنال در نشان‌دهندهٔ تعادل کمینه(تقریباً) صفر شود.

۴- مقدار مقاومت R_4 را در جدول ثبت نمایید.

۵- مقدار ظرفیت خازنی C_1 را از رابطهٔ(۵) محاسبه نمایید.

۶- آزمایش را برای فرکانس‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز تکرار نموده و جدول(۱) را تکمیل کنید.

جدول(۱): مقادیر اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده در مدار پل وین برایخازن ۱ میکروفاراد به عنوان خازن مجهول

$f\ (Hz)$	$R_3(\Omega)$	$R_4(\Omega)$	$C_2(\mu F)$	$C_1(\mu F)$	درصد خطا
۵۰	۱۰۰		۴/۷		
۱۰۰	۱۰۰		۴/۷		

		۴/۷		۱۰۰	۲۰۰
		۴/۷		۱۰۰	۵۰۰
		۴/۷		۱۰۰	۱۰۰۰

۷- خازن ۱ میکروفاراد و ۴/۷ میکروفاراد را به صورت سری به یکدیگر متصل نموده و جایگزین خازن C_1 کنید، آزمایش قبل را تکرار کرده وجدول(۲) را تکمیل کنید. در ابتدا رابطهٔ خازن‌های سری را محاسبه نمایید. سپس ستون انتهایی جدول را تکمیل نمایید.

جدول(۲): مقادیر اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده در مدار پل وین برای خازن ۱ و ۴/۷میکروفاراد که به صورت سری به بسته شده

$f\ (Hz)$	$R_3(\Omega)$	$R_4(\Omega)$	$C_2(\mu F)$	$C_1(\mu F)$	درصد خطا
۵۰	۱۰۰		۴/۷		
۱۰۰	۱۰۰		۴/۷		
۲۰۰	۱۰۰		۴/۷		
۵۰۰	۱۰۰		۴/۷		
۱۰۰۰	۱۰۰		۴/۷		

۸- خازن ۱ میکروفاراد و ۴/۷ میکروفاراد را به صورت موازی به یکدیگر متصل نموده و جایگزین خازن C_1 کنید، با تکرار و آزمایش جدول(۳) را تکمیل کنید. در ابتدا رابطه‌ی خازن‌های موازی را محاسبه نمایید. سپس ستون انتهایی جدول را تکمیل نمایید.

جدول(۳): مقادیر اندازه‌گیری‌شده و محاسبه‌شده در مدار پل وین برای خازن ۱ و ۴/۷میکروفاراد که به صورت بسته‌شده‌اند

$f\ (Hz)$	$R_3(\Omega)$	$R_4(\Omega)$	$C_2(\mu F)$	$C_1(\mu F)$	درصد خطا
۵۰	۱۰۰		۴/۷		
۱۰۰	۱۰۰		۴/۷		
۲۰۰	۱۰۰		۴/۷		
۵۰۰	۱۰۰		۴/۷		
۱۰۰۰	۱۰۰		۴/۷		

➢ سوالات

۱-آیا دقت اندازه‌گیری پل وین وابسته به فرکانس است؟به طور کامل توضیح دهید.

۲- آیا خازن مرجع را می‌توان با مقاومت اهمی جایگزین نمود؟ جواب خود را به طور کامل توضیح دهید.

۳- آیا دقت اندازه‌گیری در بازهٔ تلرانس[1] شرکت سازنده قرار دارد؟

۴- چه نکاتی را جهت افزایش دقت پل وین برای اندازه‌گیری ظرفیت خازنی پیشنهاد می‌کنید؟

۵-آیا در این آزمایش از منبع ولتاژ مستقیم می‌توان استفاده نمود؟ به طور کامل توضیح دهید.

1 _ Tolerance

آزمایش شماره (۱۱ – الف)

مدلی از یک ترانسفورماتور جریان بالا– کوره القایی

➢ هدف آزمایش

۱- نمایش عملکرد یک کوره القایی

➢ وسایل مورد نیاز

۱- سیم‌پیچ اصلی ۵۰۰ دور ۲- حلقه‌ی ذوب، ۴-چیدمان کامل حلقه U شکل، ۵- ابزار اندازه‌گیری جریان.

➢ روش انجام آزمایش

❖ چیدمان آزمایش

شکل(۱): چیدمان آزمایش

➢ نحوهٔ انجام آزمایش

۱- مانند شکل حلقه ذوب را از هسته‌آهنی عبور دهید.

۲- مدار سیم‌پیچ ۵۰۰ دور را روشن نموده و جریان اولیه را بخوانید، حلقه ذوب را مشاهده کنید.

۳- هنگامی‌که ماده‌ی درون حلقه شروع به ذوب شدن کرد، سیم‌پیچ ۵۰۰ دور را خاموش کنید.

➢ سوالات

۱- به نظر شما جریان سیم‌پیچ دوم چقدر است؟

۲- برای اندازه‌گیری این جریان توسط آمپرمتر چه مقاومت شنتی پیشنهاد می‌کنید؟

آزمایش شماره (۱۱ – ب)

مدلی از یک ترانسفورماتور جریان بالا– ذوب یک میخ

➢ هدف آزمایش

۱- نمایش اثر گرمایش یک ترانسفورماتور جریان بالا

➢ وسایل مورد نیاز

۱- سیم‌پیچ اصلی، ۵۰۰ دور ۲-سیم‌پیچ ۵ دور ۳- میخ آهنی در ابعاد تقریبی($3/1 \times 80mm$)۴-چیدمان کامل حلقه U شکل، ۵-توری سیمی.

➢ روش انجام آزمایش

❖ چیدمان آزمایش

شکل(۲): چیدمان آزمایش

نکته: آزمایش شامل سیم‌پیچی با ۵ دور است که میزان زیادی حرارت تولید می‌کند.

۱- بنابراین ترانسفورماتور جریان بالا را بر روی میز مقاوم در برابر حرارت یا توری سیمی قرار دهید.

۲- زمان آزمایش را به ۳۰ ثانیه محدود کنید.

➢ نحوهٔ انجام آزمایش

۱- میخ آهنی را در محل مربوطه قرار داده و به آرامی آن را محکم کنید.

۴- مدار سیم‌پیچ ۵۰۰ دور را روشن نموده و میخ آهنی را تحت نظر قرار دهید تا شروع به ذوب شدن کند.

۵- هنگامیکه میخ شروع به ذوب شدن کرد، سیم‌پیچ ۵۰۰ دور را خاموش کنید. لازم به ذکر است روشن گذاشتن دستگاه به مدت بیش از ۳۰ ثانیه سبب آسیب دیدن آن و چسبیدن میخ ذوب شده به بدنه‌ی دستگاه می‌شود.

➢ سوالات

۱- به نظر شما مقدار جریان سیم‌پیچ دوم حدوداً چقدر است؟

۲- حرارت تولید شده توسط این سیستم چه مقدار است؟

۳- برای اندازه‌گیری جریان در مدار توسط آمپرمتر چه مقاومت شنتی پیشنهاد می‌کنید؟