



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پردیس شهید رجایی ارومیه
دستور آزمایشگاه فیزیک ۲

مدرس احمد رزم دیده



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



بخش اول:

راهنمای کار در آزمایشگاه فیزیک پایه (۲)



فهرست

عنوان	شماره صفحه
۱- راهنمای نگارش گزارش کار آزمایشگاه	۳
مقدمه	۳
۱-۱ ضرورت نگارش گزارش	۳
۱-۲ برای قالب بندی استاندارد	۳
۱-۳ استفاده از پردازش کامپیوتری بر پایه نرم افزار <i>WORD</i>	۴
۱-۴ زمان مورد نیاز برای نگارش، گزارش کار	۴
۱-۵ ساختار گزارش های مینیک	۵
۱-۶ بازبینی گزارش آزمایشگاه	۱۰
۲- راهنمای دانشجویان برای تحلیل ها	۱۱
۲-۱ دقت، صحت و خطای آزمایش	۱۱
۲-۲ خطای آزمایش	۱۱
۲-۲-۱ خطاهای سیستماتیک	۱۱
۲-۲-۲ خطاهای تصادفی	۱۲
۲-۳ رقم های معنی دار	۱۲
۲-۳-۱ عدم قطعیت	۱۳
۲-۴ تجزیه و تحلیل داده ها	۱۴
۲-۵ میانگین، انحراف از معیار، خطای استاندارد	۱۷
۲-۶ بازه های اطمینان	۱۹
۲-۷ پخش خطا	۲۰
۲-۸ مقایسه نتایج: درصد خطا و درصد تفاوت	۲۱
۲-۹ نمودارها	۲۲
۲-۱۰ متغیرهای وابسته و مستقل	۲۲



۲۲	۲-۱۱- داده‌های ترسیمی به صورت یک خط مستقیم
۲۳	۲-۱۲- خطی نمودن داده‌ها
۲۴	۲-۱۳- تطبیق منحنی
۲۶	۲-۱۴- راهنمای رسم نمودار به کمک نرم‌افزار EXCEL
۳۲	۳-۱- تئوری کوتاه در مورد ابزارها و قطعات مورد استفاده در آزمایشگاه پایه (۲)
۳۳	۳-۲- آشنایی با انواع قطعات الکترونیکی
۳۳	۳-۱-۱- مقاومت
۳۸	۳-۱-۲- خازن
۴۰	۳-۱-۳- سلف
۴۳	۳-۲- آشنایی با میز کار آزمایشگاه فیزیک پایه (۲)
۴۴	۳-۳- منابع تغذیه الکترونیکی
۴۴	۳-۳-۱- اصول عملکرد منابع تغذیه آزمایشگاه
۴۵	۳-۳-۱- الف- منبع تغذیه DC
۴۶	۳-۳-۱- ب- منبع تغذیه AC
۴۷	۳-۳-۱- ج- فانکشن ژنراتور
۵۱	۳-۴- ابزارهای اندازه‌گیری
۵۲	۳-۴-۱- مولتی‌متر دیجیتال
۵۷	۳-۴-۲- اسیلوسکوپ



راهنمای نگارش گزارش کار آزمایشگاه

مقدمه:

این راهنما به گونه‌ای 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 ضوابط 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- ضرورت نگارش گزارش

طبق بررسی‌های جهانی، مهندسان و دیگر متخصصان علوم حداقل ۵۰ درصد زمان خود را صرف نوشتن گزارش‌ها و یادداشت‌های خود می‌کنند. کیفیت گزارش‌های شفاهی و کتبی متخصصان یکی از ملاک‌های ارزشیابی توسط افراد مافوق است، بنابراین بهبود کیفیت و توانمندی نگارش گزارشی خوب و با کیفیت حرفه‌ای ضروری و مهارتی قابل عرضه در بازار است. به همین دلیل، تعدیم و تمرین در نگارش گزارش از بخش‌های مهم تحصیل شما است.

۱-۲- مزایای قالب‌بندی استاندارد

متخصصان علمی و مهندسان چندین نوع گزارش آزمایشگاهی می‌سازند. شکل، طول، محتوا و نقطه اتکا توسط گزارش‌گر و مستمعین مشخص می‌شود. علیرغم تفاوت‌های برشمرده شده در نوع گزارش‌ها، ساختار همه آن‌ها یکسان بوده و شامل بخش‌هایی است که اهداف، روش‌ها و طرز عمل، نتایج و جمع‌بندی را در بر می‌گیرد. این قالب‌بندی مدتهاست در عمل به کار برده می‌شود؛ در حالی که قالب‌بندی کامل مفردی وجود ندارد، رهیافت‌های بسیاری وجود دارند که از منظرهای بسیاری شبیه یکدیگر هستند. با استفاده از قالب‌بندی استاندارد، شما می‌توانید تضمین کنید که گزارش نهایی کامل بوده و خوانندگانی با علاقه‌مندی‌ها و نیازهای گوناگون می‌توانند با کمترین تلاش به اطلاعاتی که در این گزارش به دنبال آن می‌گردند، دست یابند. استفاده از قالب‌بندی استاندارد سبب کاهش زمان می‌شود.



۳-۱- استفاده از پردازش کامپیوتری بر پایه نرم افزار WORD

کلیه گزارش‌ها باید با استفاده از پردازش کامپیوتری بر پایه نرم افزار WORD آماده شود. امروزه این یک تمرین استاندارد در اکثر تشکیلات و سازمان‌ها است.

۴-۱- زمان مورد نیاز برای نگارش گزارش کار

اغلب دانشجویان در مورد دروس آزمایشگاهی به دلیل آن که مقدار زمان فراوانی برای آماده‌سازی گزارش‌های آزمایشگاهی مورد نیاز است، شکایت می‌کنند و این به عدم تناسب سرمایه‌گذاری زمانی بازمی‌گردد. در حقیقت دانشجویانی که می‌توانند گزارش فعالیت‌های آزمایشگاهی خود را واضح بنویسند و گزارش‌های سازمان‌یافته‌ای ارائه دهند، نمرات بالاتری از آن‌چه افرادی که این توانمندی را ندارند، دریافت می‌کنند. علیرغم این که نگارش یک گزارش خوب ممکن است زمان زیادی را به خود اختصاص دهد، این زمان صرف فعالیت مفیدی می‌شود زیرا برای دانشجویان فرصتی را فراهم می‌آورد تا توانمندی و مهارت خود در گزارش نویسی را که در مشاغل آینده‌شان بسیار ارزشمند است، بهبود بخشند. تعدادی از راهبردهای گوناگونی برای کاهش زمان نگارش گزارش‌ها وجود دارد. برخی از مسائل مرتبط با نگارش پایان‌نامه با برنامه‌ریزی مناسب کمینه می‌شود. ضروری است که دانشجویان فعالیت هفتگی خود را زمان‌بندی کنند تا زمان کافی برای نگارش گزارش‌های آزمایشگاهی فراهم آورند. زمان موردنیاز برای تکمیل یک گزارش برای هر فردی متفاوت است. زمان موردنیاز با افزایش تجربه افراد کاهش می‌یابد. علاوه بر آن، استفاده از پردازش WORD در یک قالب استاندارد برای تمام دروس آزمایشگاهی، کارآمد شما در تهیه گزارش را افزایش می‌دهد. در گزارش‌های طولانی‌تر، برای افزایش کارایی، توصیه می‌شود برای تهیه یک گزارش کامل، نگارش گزارش در بیش از یک جلسه در طول هفته صورت پذیرد. در ابتدا یک پیش‌نویس اولیه (خام) بنویسید. پیش‌نویس اولیه مجدداً ملاحظه و تصحیح می‌شود و به پس از یک یا چند بار بازنگری به صورت نسخه نهایی آماده می‌گردد. نسخه نهایی باید پیش از ارسال به دقت تصحیح و غلط‌گیری شود. پیش از ارسال نسخه نهایی نیاز است که شما زمان کافی برای نوشتن، ویرایش و غلط‌گیری گزارش‌ها صرف کنید.

شما در مسیری هستید که قرار است متخصصانی شوید که شاغلین موفق هستند که می‌دانند

چگونه گزارش‌های خود را به مافوق خود منتقل نمایند. شروع به تمرین نمایید!



۱-۵- 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 حتماً 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 لیست شده‌است، نوشته شود:

- ۱- صفحه عنوان
- ۲- بیان اهداف
- ۳- تئوری آزمایش
- ۴- توصیف چیدمان آزمایش / لیست اجزای 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 اندازه 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 انجام آزمایش؛
- تاریخ ارائه گزارش؛
- نام دیگر اعضای گروه شما
- نام مدرسان آزمایشگاه

۱- بیان اهداف

اهداف آزمایش باید به اختصار به شکل یک پاراگراف بیان شود. دستور کار یا برگه دستورالعمل در این بخش می-تواند 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 کنند. برای 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 این که 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 شود. این بخش گاهی با بخش مقدمه و پس-زمینه 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 ادواتی که به کار گرفته شده است.

در این بخش، طرح کلی، صحیح و مرتب از چیدمان 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 شود، 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 تکمیل شده در آزمایشگاه بوده و قابل قبول نیست

۶- داده‌ها

تمام داده‌های خامی که در طی آزمایش به دست می‌آیند باید، در این بخش عرضه شوند. این بخش باید تنها حاوی اطلاعات خام باشد، و نه تفسیری که از بررسی و دستکاری داده‌ها استخراج شده‌است. اگر نیاز باشد در مورد دوم جدولی یکسان با آن چه داده‌ها خام بر 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 ... باشد. تمام داده‌های عددی باید به دقت جدول‌بندی شوند. هر جدول، شکل و نمودار در گزارش باید زیرنویس^۱، برچسب^۲ و شماره‌ای داشته باشد که در متن نوشتاری به آن ارجاع داده شود. تمام جدول‌بندی‌ها و رسم‌ها (نمودارها) باید به وضوح با سمبل یا نام تعیین شود. واحدها، هر چه باشند، باید همیشه به وضوح ذکر شوند.

۷- تحلیل داده‌ها

این بخش نشان می‌دهد که چگونه عملیات ریاضی و محاسبات بر روی داده‌های خام اجرا شده‌است. در ضمن معادلات و روش‌های کاری را که مورد استفاده قرار گرفته‌است، ارائه می‌کند. اگر بیش از یک داده مورد استفاده قرار گیرد، تمام معادلات باید دارای شماره‌های متوالی جهت شناسایی باشند تا در هر بخشی که در متن نیاز است 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 دیگر شکل‌ها هستند و می‌تواند برای بحث کردن بر روی نتیجه آزمایش یا پروژه به کار رود.

1 - Caption
2 - Label



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 توضیح دهید (و اینکه تنها مجدداً بیان کنید). در این بخش باید به این سوال پاسخ دهید، ”داده‌ها به من چه می‌گویند؟“. همچنین، همه طرح‌های منطقی بدست 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). در ضمن نتایج به دست 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 یا نوجه 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، 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 در گزارش 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 ...) به-گذاری شده و در جدول محتوا فهرست شود.



۱۲- بازبینه^۱

هدف از طراحی بازبینه کمک به شما است تا گزارشی کامل و با کیفیت حرفه‌ای بنویسید. این چک لیست به شما کمک می‌کند تا تضمین کنید تمام اطلاعات مهم در موقعیت مناسب قرار گرفته و گزارش با قالب‌بندی مناسب آماده شده‌است. استفاده از بازبینه سبب کسب نمره بهتر می‌شود. شما باید بازبینه امضا شده و کامل را با هر گزارش ارسال نمایید. اساتید توجه ویژه به بازبینه دارند. قوانین زیر باید اعمال شود.

- گزارشی که بازبینه در صفحه اول آن الصاق نشده‌است، نمره داده نمی‌شود و هیچ مهلتی برای آن گزارش داده نخواهد شد.
- اگر آیتمی در بازبینه تیک نخورده باشد، به اساتید نشان می‌دهد که آن آیتم در گزارش آدرس‌دهی نشده‌است، و بخش نمره مربوط به آن کم خواهد شد.
- اگر آیتمی چک شده باشد، اما به‌طور جزئی یا نادرست در گزارش پوشش داده شده‌باشد، امتیاز تعلق گرفته وابسته به میزان خطا یا غفلت در آن است.
- اگر آیتمی چک شده باشد، اما در گزارش آدرس‌دهی نشده‌باشد، نمره داده نمی‌شود و مهلتی به آن تعلق نمی‌گیرد. این رفتار، رفتاری غیر اخلاقی، غیر علمی و نادرست است.

۱- ۶- بازبینه گزارش آزمایشگاه

این بازبینه را تکمیل کرده و آن را در بخش ابتدایی هر گزارش آزمایشگاه خود الصاق نمایید.

- ☐ من اطمینان دارم که قالب بندی استاندارد ارائه شده برای این گزارش را رعایت کرده‌ام.
- ☐ تمام اطلاعات مورد نیاز در صفحه عنوان ارائه شده است.
- ☐ تمام معادلاتی که در گزارش مورد استفاده قرار گرفته است، به طور متوالی شماره‌دهی شده است.
- ☐ همه شکل‌ها شماره و زیرنویس دارند.

☐ محورهای همه نمودارها برچسب‌زنی شده‌اند. واحدهای تمام متغیرها ذکر شده‌اند. اگر بیش از یک مجموعه از داده‌ها در یک نمودار رسم شده است، سمبل‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته و فهرست علائم برای شناسایی هر سمبل به کار برده شده است. در صورت ضرورت، منحنی‌های لازم بر داده‌های رسم شده در گراف‌ها تطبیق داده شده است.

☐ تمام داده‌های عددی به طور مرتب جدول‌بندی شده‌اند، هر جدولی شماره و عنوان خود را دارد. همه ستون‌ها با نام متغیری که جدول‌بندی شده، برچسب‌زنی شده‌اند. واحدهای متغیرها ذکر شده‌اند.

☐ تمام بخش‌هایی که طبق راهنما برای این گزارش مورد نیاز است ارائه شده است.

☐ از نظر املا و نگارش پیش‌نویس‌های نهایی این گزارش چک شده است.

☐ تصحیح و غلط‌گیری نسخه نهایی این گزارش انجام پذیرفته است.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ:

۲- راهنمای دانشجویان برای تحلیل داده‌ها

۲-۱- دقت^۱، صحت^۲ و خطای آزمایش^۳

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 هر دو 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 قابل قبول نزدیک است. برای مثال، فرض کنید که جرم یک نمونه معلوم ۵/۸۵ گرم باشد. اندازه‌گیری ۵/۸۱ گرم دقیق‌تر از اندازه‌گیری ۶/۰۵ گرم است. صحت نشان می‌دهد که چه مقدار چندین اندازه‌گیری به یکدیگر نزدیک باشد. هر چه مقادیر اندازه‌گیری‌ها به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، صحت آن‌ها بالاتر است.

اندازه‌گیری‌ها می‌توانند صحیح باشند گرچه دقیق نیستند. مجدداً فرض کنید که نمونه با جرم مشخص ۵/۸۵ گرم است. اندازه‌گیری‌ها صحیح است زیرا همه 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^۴

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 خطای سیستماتیک وجود داشته باشد، اندازه‌گیری نمی‌تواند دقیق باشد.

1 - Accuracy
2 - Precision
3 - Experimental error
4 - Systematic error

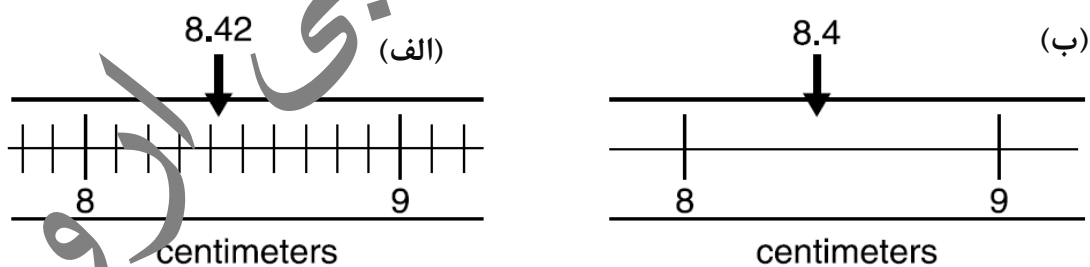
۲-۲-۲- خطاهای تصادفی^۱

خطاهای تصادفی 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.

۳-۲- ارقام معنی‌دار^۲

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. ادوات اندازه‌گیری که شما استفاده می‌کنید تعداد ارقام معنی‌داری که شما باید ثبت نمایید را مشخص می‌کند. اگر شما از ادوات دیجیتال استفاده می‌کنید، مقدار اندازه‌گیری را دقیقاً همان‌گونه که بر روی صفحه نمایش داده می‌شود، ثبت کنید. اگر شما مجبور هستید نتیجه را از تکیاس خط‌کشی شده بخوانید، مقداری که شما ثبت می‌کنید باید شامل همه اعداد قطعی و یک عدد غیرقطعی باشد.

برای مثال، شکل (۱) اندازه‌گیری یکسانی توسط دو مقیاس متفاوت انجام شده‌است را نشان می‌دهد. در شکل (۱-الف)، اعداد ۸ و ۴ قطعی هستند زیرا با نشان‌داری بر روی مقیاس نشان داده شده‌اند، عدد ۲ تخمینی است، پس عدد غیرخطی است. این اندازه‌گیری سه رقم با معنا دارد، ۸/۴۲. مقیاس شکل (۱-ب)، ۸ و ۹ را نشان‌دار ساخته‌است، ۸ قطعی است، اما شما باید عدد ۴ را تخمین بزنید، پس 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 (۱): نمایشی از تشخیص ارقام بامعنا

1 - Random error
2 - Significant figures

۲-۳-۱- عدم قطعیت

عدم قطعیت در اندازه‌گیری‌ها همیشه باید به یک رقم با معنا گرد شود. هنگامی که 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 (۱) نشانه‌گذاری هر $0/1$ سانتی‌متر صورت پذیرفته، بنابراین عدم قطعیت نیمی از آن ($0/05$ سانتی‌متر) است. روش صحیح گزارش این اندازه‌گیری $8/42 \pm 0/05$ سانتی‌متر است. مقیاس شکل (۱-ب) هر یک سانتی‌متر نشانه‌گذاری شده است، بنابراین عدم قطعیت $0/5$ سانتی‌متر است. روش صحیح گزارش این اندازه‌گیری $8/4 \pm 0/5$ سانتی‌متر است. جدول (۱) قوانینی که باید در تعیین ارقامی که با معنا هستند، دنبال شوند را توضیح می‌دهد.

جدول (۱): قوانین تعیین تعداد ارقام با معنا

مثال‌ها	قانون
$4/735 \text{ km}$ چهار رقم با معنا دارد $573/274 \text{ in.}$ شش رقم با معنا دارد	ارقام غیر صفر همیشه با معنا هستند
$0/38 \text{ m}$ دو رقم با معنا دارد $0/02 \text{ in.}$ یک رقم با معنا دارد	صفرهای قبل از اعداد دیگر با معنا نیستند
$42/907 \text{ m}$ پنج رقم با معنا دارد $0/0706 \text{ in.}$ سه رقم با معنا دارد $8/005 \text{ km}$ چهار رقم با معنا دارد	صفرهای بین دیگر اعداد با معنا است
$975/381 \text{ cm}$ هفت رقم با معنا دارد $471/0 \text{ m}$ چهار رقم با معنا دارد	صفرهایی که سمت راست همه اعداد دیگر باشد اگر سمت راست نقطه اعشار باشد، با معنا است.
8700 km حداقل دو رقم با معنا دارد اما عدد دقیق مجهول است 20 in. حقل دو رقم با معنا دارد، اما عدد دقیق مجهول است	تعیین آن که آیا صفرهای سمت راست دیگر اعداد با معنا هستند، اگر اعداد هیچ نقطه اعشاری نداشته باشند، غیرممکن است
$620/0 \text{ km}$ چهار رقم با معنا دارد $510/4 \text{ m}$ پنج رقم با معنا دارد $670/ \text{ in.}$ سه رقم با معنا دارد	اگر یک عدد با نقطه اعشار نوشته شود، صفرهای سمت راست همه اعداد دیگر با معنا است.
$6/02 \times 10^4 \text{ cm}$ سه رقم با معنا دارد	تمام ارقامی که با نماد علمی نوشته می‌شوند، با معنا 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.

هنگامی که 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 زیر 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	$۳/۷\text{ cm} + ۴/۶۰۸۳\text{ cm} = ۸/۳\text{ cm}$
نتیجه دو رقم پس از اعشار دارد چون عدد ۶/۲۸ فقط دو رقم پس از اعشار دارد	$۴۸/۳۵۰۶\text{ m} - ۶/۲۸\text{ m} = ۴۲/۱۰\text{ m}$
نتیجه هیچ عددی پس از اعشار ندارد زیرا عدد ۸ هیچ رقمی پس از اعشار ندارد	$(۸\text{ km} - ۴/۲\text{ km}) + ۱/۹۴\text{ km} = ۶\text{ km}$

توجه کنید که برای 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 زیر 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	$۵/۲۴۶\text{ in.} \times ۲/۳۰\text{ in.} = ۱۲/۱\text{ in.}^2$
نتیجه با دو رقم اعشار با معنا نوشته شده‌است زیرا ۰/۰۳۸ دو رقم با معنا دارد	$۰/۰۳۸\text{ cm} \div ۵/۲۷۳\text{ cm} = ۰/۰۰۷۲$
نتیجه با دو رقم با معنا نوشته شده‌است زیرا ۲/۸ دو رقم با معنا دارد (توجه نمایید که در این مثال استفاده از نماد علمی اجباری است زیرا ۲۱۰ تعداد غیرواضحی از ارقام با معنا دارد)	$۷۶/۳۴\text{ m} \times ۲/۸\text{ m} = ۲/۱ \times ۱۰^{-۲}\text{ m}^2$

هنگامی که 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 سرب به وزن برخورد کرده و بازمی‌گردد یا تعداد امواجی که در یک بازه زمانی از یک نقطه می‌گذرد. همانگونه که در مثالی که به دنبال می‌آید نشان داده شده‌است، اعداد دقیق را هنگامی که ارقام با معنی را در محاسبه تعیین می‌کنید، در نظر بگیرید.

❖ مثال

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

$$q = ne = (3e) \left(1.6 \times 10^{-19} \frac{C}{e} \right) = 4.8 \times 10^{-19} C$$

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

۲-۵- میانگین^۱، انحراف معیار^۲ و خطای استاندارد^۳

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.

۱-۵-۱- میانگین

میانگین یک مجموعه داده جمع همه مقادیر اندازه‌گیری شده تقسیم بر تعداد اندازه‌گیری‌ها است. اگر داده‌های شما نمونه‌ای از یک جمعیت^۴ (بسیار بزرگتر از مجموعه داده‌ها) باشد، میانگینی که شما محاسبه می‌کنید تخمینی از میانگین جمعیت است. میانگین، $\bar{X}$ ، با استفاده رابطه فرمول تعیین می‌شود:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots}{n} \quad (1)$$

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 مقدار 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 گستره 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 اطمینان^۵ را برای نمودار گستره‌های انحراف معیار ببینید).

از آنجا که انحراف معیار مقیاسی از عدم قطعیت است، باید طبق استاندارد آنها یک رقم با معنا در نظر گرفت. انحراف معیار معمولاً با سمبل یونانی سیگما، σ ، برای داده‌هایی که یک نمونه از مجموعه جمعیت را دارد، و با سمبل، S ، برای داده‌هایی که یک نمونه را شکل می‌دهد، نمایش داده می‌شود.

برای محاسبه انحراف معیار از این رابطه استفاده می‌شود:

1 - Mean
2 - Standard Deviation
3 - Standard error
4 - Sample of a population
5- Confidence

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

۲-۵-۳- خطای استاندارد

هنگامی که شما اندازه‌گیری یک کمیت را تکرار می‌کنید، خطای استاندارد، SE ، یک مجموعه داده تخمینی از صحت آن اندازه‌گیری است. خطای استاندارد مقیاسی از عدم قطعیت می‌دهد، اما اگر تعداد زیادی از مقادیر داده‌ها را شامل شود، این موضوع انحراف معیار را کاهش می‌دهد. خطای استاندارد با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

❖ مثال:

فرض کنید شما مقادیر زیر را برای دما یک ماده اندازه‌گیری نمودید:

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

مقدار میانگین داده

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^4 X_i}{4} = \frac{20.5 + 22.0 + 19.3 + 23.0}{4} = 21.2^{\circ}C \quad (4)$$

است. انحراف معیار داده‌ها چنین است:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \Rightarrow S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (X_i - \bar{X})^2}{(4-1)}} = \quad (5)$$

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

(گردشده به یک
رقم با معنا)

خطای استاندارد

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{1.63}{\sqrt{4}} = 0.8$$

(گردشده به یک رقم با معنا)

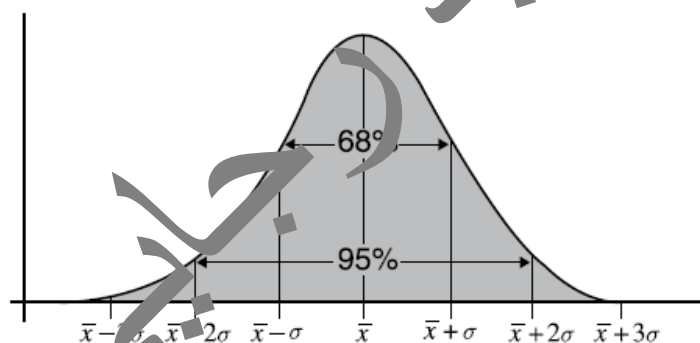
(۶)

با استفاده از انحراف معیار، ما دما را به صورت $21.2 \pm 2^\circ\text{C}$ گزارش می‌دهیم. از آن جا که ما تعداد کمی داده داریم، انحراف معیار 2°C نشان می‌دهد که اغلب مقادیر داده‌ها نزدیک مقدار میانگین هستند. ولی، اگر ما تعداد زیادی از اندازه‌گیری‌ها را انجام دهیم، انحراف معیار نشان می‌دهد که اکثریت مقادیر داده‌ها بین 19.2°C و 23.2°C قرار گرفته‌اند. به همین ترتیب، دما می‌تواند با استفاده از خطای استاندارد، $21.2 \pm 0.8^\circ\text{C}$ گزارش شود.

۲-۶ بازه‌های اطمینان

بازه اطمینان گستره‌ای از مقادیر است که مقدار حقیقی^۱ 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 بازه اطمینان باریک است. یک بازه اطمینان پهن در این حالت بر امکان (احتمال) خطای تصادفی در اندازه‌گیری‌ها دلالت دارد.

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



شکل (۲): نمایش روش معمول تعیین بازه اطمینان در فیزیک

این روش تنها برای داده‌هایی که توزیع نرمال (زنگی شکل)^۲ دارند، به کار می‌رود. میانگین در بیشینه توزیع قرار می‌گیرد. بازه‌های اطمینان در هر دو سمت بیشینه، مضربی از انحراف معیار از میانگین را توصیف می‌کند. درصد مرتبط با هر بازه اطمینان (۶۸٪، ۹۵٪ و ...) با محاسبه سطح زیر منحنی تعیین می‌شود.

گونه‌های متنوعی از انواع داده‌ها در موضوعات مختلف از توزیع منحنی زنگ پیروی می‌کند. در فیزیک، منحنی‌های زنگ در اندازه‌گیری‌های مکرر یک مقدار، همچون اندازه‌گیری زمان واپاشی فلورسانس به کار می‌رود.

1 - True value
2 - Bell- Shaped

! نکته: توزیع زنگی شکل هنگامی که بیش از یک مقدار مرکزی انتظار می‌رود، یا زمانی که تنها تعداد کمی اندازه‌گیری صورت می‌پذیرد، مناسب نیست.

۲-۷- پخش خطا^۱

اگر محاسبات شما شامل نتایج دو یا چند اندازه‌گیری باشد، شما باید عدم قطعیت ترکیبی^۲ اندازه‌گیری را بیان کنید.

عدم قطعیت ترکیبی کمیاتی که با یکدیگر جمع یا تفریق می‌شوند، ریشه دوم جمع مربعات عدم قطعیت-های مجزا است، اگر به عنوان مثال، شما کمیت $K = F + G - H$ را که در آن F ، G و H مقادیر اندازه‌گیری شده‌است محاسبه کنید، عدم قطعیت آن‌ها ΔF ، ΔG و ΔH است که در آن سمبل Δ ، در این حالت، "عدم قطعیت" معنا می‌شود. پس، عدم قطعیت K ،

$$\Delta K = \sqrt{(\Delta F)^2 + (\Delta G)^2 + (\Delta H)^2} \quad (7)$$

است.

❖ مثال

فرض کنید شما جرم دو جسم را $2118 \pm 0.1 \text{ kg}$ و $2184 \pm 0.01 \text{ kg}$ اندازه گرفته‌اید، عدم قطعیت ترکیبی

$$\Delta m_{\text{Combined}} = \sqrt{(\Delta m_1)^2 + (\Delta m_2)^2} = \sqrt{(0.01)^2 + (0.001)^2} = 0.01 \quad (8)$$

است. حاصل جمع دو جرم سه رقم با معنا دارد و عدم قطعیت ترکیبی آن را به صورت $5/36 \pm 0.1 \text{ kg}$ ثبت 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 هنگامی که ضرب یا تقسیم می‌شوند، چنین است:

$$\Delta K = |K| \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta G}{G}\right)^2 + \left(\frac{\Delta H}{H}\right)^2} \quad (9)$$

1- Propagation error
2- Combined Uncertainty

❖ مثال

فرض کنید می‌خواهید اندازه شتاب جسمی را محاسبه کنید. شما نیروی خالص وارد بر جسم را، $F = 1.49 \pm 0.03 \text{ N}$ ، و جرم را $m = 3.42 \pm 0.01 \text{ kg}$ ، اندازه‌گیری نموده‌اید. شتاب بدون عدم قطعیت برابر

$$a = \frac{F}{m} = \frac{1.49 \text{ N}}{3.42 \text{ kg}} = 0.436 \text{ m/s}^2 \quad (10)$$

است. عدم قطعیت ترکیبی

$$\Delta a = |a| \sqrt{\left(\frac{\Delta F}{F}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{m}\right)^2} = |0.436| \sqrt{\left(\frac{0.03}{1.49}\right)^2 + \left(\frac{0.01}{3.42}\right)^2} = 0.009 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (11)$$

شتاب باید به صورت $0.436 \pm 0.009 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ ثبت شود.

۲-۸- نتایج مقایسه: درصد تفاوت و درصد خطا

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:

$$(12) \quad 100 \times \frac{(\text{مقدار دوم} + \text{مقدار اول}) \times 0.5}{(\text{مقدار اول} - \text{مقدار دوم})} = \text{درصد تفاوت}$$

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 قدر مطلق اختلاف مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار قابل انتظار تقسیم بر مقدار مورد انتظار، ضربدر ۱۰۰ توصیف می‌شود:

$$(13) \quad 100 \times \frac{(\text{مقدار موردانتظار} - \text{مقدار اندازه‌گیری شده})}{\text{مقدار موردانتظار}} = \text{درصد خطا}$$

1 - Percent difference

2 - Percent error

توجه کنید که هنگامی که مقدار موردانتظار خیلی کوچک باشد، درصدخطا خیلی بزرگ می‌شود زیرا تقسیم بر یک عدد خیلی کوچک اتفاق می‌افتد. هنگامی که 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^۱ 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 قابل قبولی 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

هنگامی که شما داده‌ها را به صورت نمودار رسم می‌کنید، اغلب متغیر وابسته را بر حسب متغیر مستقل رسم می‌کنید. متغیر مستقل بر روی محور x و متغیر وابسته بر روی محور y رسم می‌شود. یک متغیر مستقل متغیری است که با دیگر متغیرهایی که شما سعی در تغییر اندازه بگیریید 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.

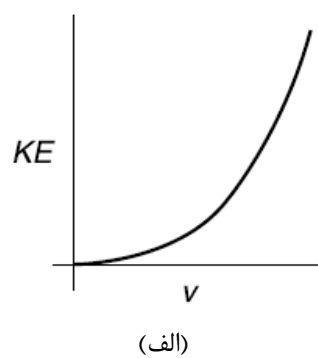
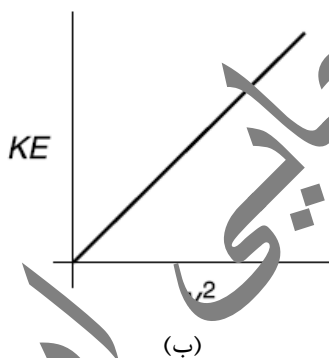
۲-۱۱- داده‌های ترسیمی به صورت یک خط مستقیم

هنگامی که یک نمودار بر روی محورهای x - y رسم می‌شود، ساده‌ترین رابطه‌ای که می‌توان وجود داشته باشد، یک خط راست است. نقاط داده‌های رسم شده به صورت یک خط راست مفید است، زیرا شما به راحتی می‌توانید 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 $y = mx + b$ مشخص نمایید. شیب مقیاسی از آن است که y چگونه با تغییر x 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، رابطه خطی نداشته باشند، شما می‌توانید آن را با تغییر شکل (فرم) متغیرها در نمودار خود به صورت خط راست رسم کنید. یک روش تغییر رابطه به گونه‌ای است که با تغییر شکل متغیر 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 و y 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 حسب سرعت، V ، برای تابع $KE = \frac{1}{2}mV^2$ ، همانند شکل (۳-الف) تابعی سهموی حاصل می‌شود. اما، اگر متغیر محور افقی را با V^2 جایگزین کنید، نمودار خطی خواهد شد، همانند آنچه در شکل (۳-ب) نشان داده شده است.

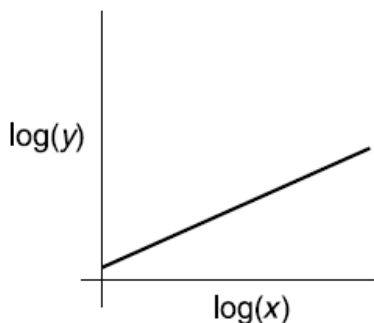


شکل (۳): (الف) نمودار انرژی جنبشی بر حسب سرعت، (ب) نمودار انرژی جنبشی بر حسب مجذور سرعت

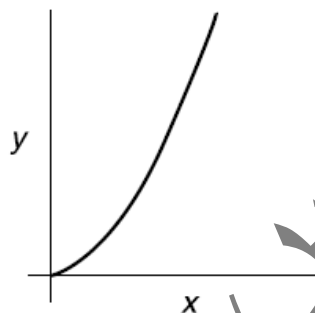
اگر داده‌ها نمایی باشد، به صورت $y = Ae^{bx}$ ، یا اگر توانی از x باشد، به صورت $y = ax^n$ ، از هر دو طرف معادله لگاریتم می‌گیریم تا شکل خطی حاصل شود. برای داده‌های نمایی، معادله‌ای که شما به دست می‌آورید، $\ln(y) = \ln(A) + bx$ است. داده‌ها یک خط با عرض از مبدا $\ln(A)$ و شیب b را تقریب می‌زند.

به‌طور 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 $\log(y)$ را بر حسب $\log(x)$ رسم کنید، داده‌ها یک

خط با عرض از مبدا $\log(a)$ و شیب n را تقریب می‌زند. همانند آن چه در شکل‌های (۴-الف) و (۴-ب) نمایش داده شده‌است.



(ب)

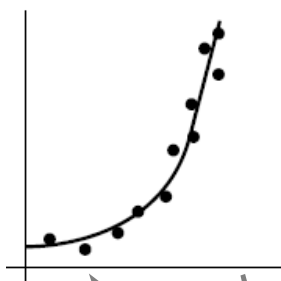


(الف)

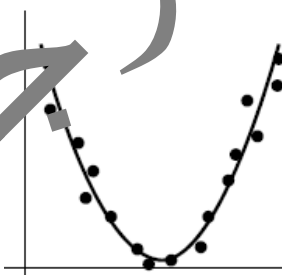
شکل (۴): نمودار تاحی توانی به شکل $y = ax^n$ ، (الف) پیش از خطی‌سازی، (ب) پس از خطی‌سازی

۲-۱۳- تطبیق منحنی^۱

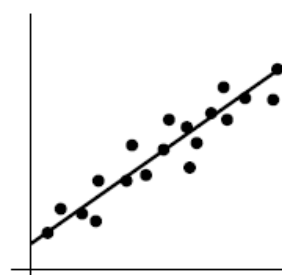
یکی از روش‌های مفید تحلیل داده‌ها تعین آن است که آیا متناظر با مدل ریاضی خاصی است یا خیر؟ اولین قدم، رسم نقاط و دیدن آن است که آیا می‌تواند قابل تشخیصی را همچون یک روند خطی، درجه دوم یا تابع نمایی دنبال می‌کند یا خیر؟ نمودارهای شکل (۵) مثال‌هایی از این انواع را نشان می‌دهند.



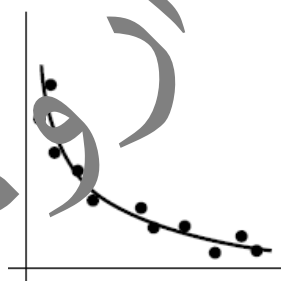
(ب)



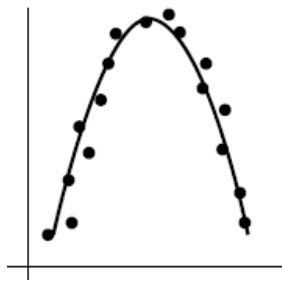
(ب)



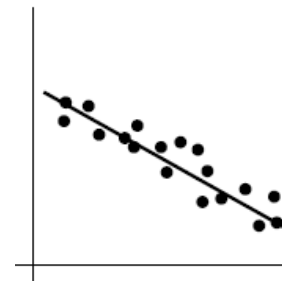
(الف)



(ج)



(ث)



(ت)

شکل (۵): طرحی از رفتار (الف) و (ت) خطی، (ب) و (ث) درجه دو و (پ) و (ج) نمایی داده‌های آزمایش

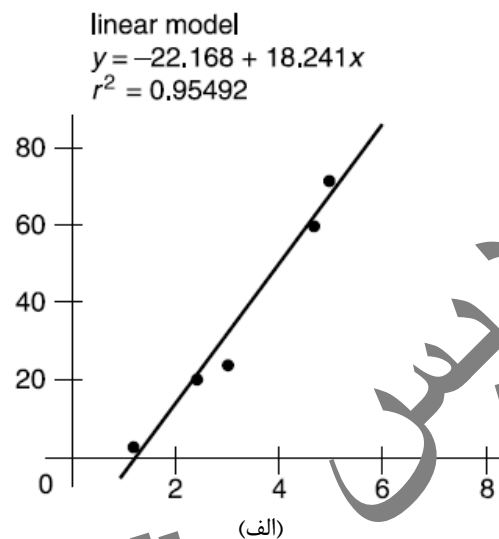
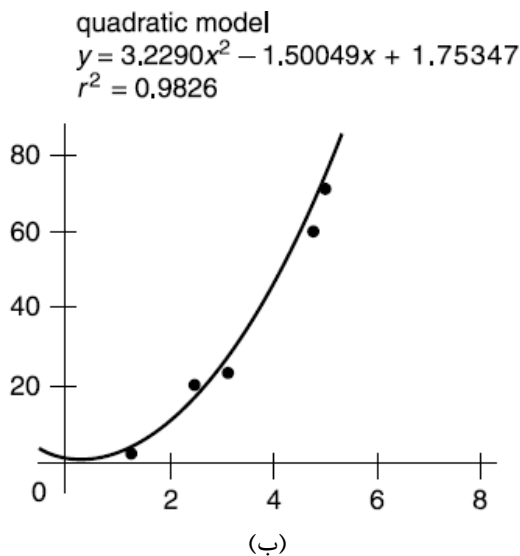
معادله عمومی یک تابع خطی $y = mx + b$ است که در آن m شیب و b عرض از مبدا (محل برخورد خط با محور y) است. برای مثال، یک تابع خطی در فیزیک وابستگی سرعت به زمان برای یک جسم متحرک با شتاب ثابت، $V = V_0 + at$ ، است، که در آن شتاب a ، شیب و سرعت V_0 عرض از مبدا است.

معادله عمومی یک تابع درجه دوم $y = ax^2 + bx + c$ است، که در آن a ، b و c ثوابت دلخواه هستند. یک مثال از تابع درجه دو در فیزیک انرژی پتانسیل فنر، $U = \frac{1}{2}kx^2$ ، است که در آن x فاصله فنری است که از حالت تعادل کشیده شده، k ، ثابت فنر است، در این حالت b و c صفر است. مثال دیگری از یک تابع درجه دو موقعیت به صورت تابعی از زمان برای جسم با شتاب ثابت، $X = \frac{1}{2}at^2 + V_0t + X_0$ ، است که در آن a شتاب، V_0 سرعت اولیه و X_0 موقعیت اولیه است.

معادله عمومی یک تابع نمایی $y = Ae^{bx}$ است، که در آن A و b ثوابت دلخواه هستند. یک مثال تابع نمایی در فیزیک تعداد ذرات رادیواکتیو باقی مانده پس از یک زمان خاص از واپاشی رادیواکتیو $N = N_0 e^{-\lambda t}$ است که در آن N_0 تعداد ذرات اولیه، λ نرخ واپاشی است. اگر الگو به وضوح خطی باشد، یا اگر شما می‌توانید با خطی-سازی داده‌ها را رسم کنید، شما می‌توانید با یک جسم با لبه صاف بهترین خط تطبیق یافته را که تقریباً تعداد نقاط بالا و پایین خط یکسان است رسم کنید. دقت رسم دقیق خط، روش تطبیق حداقل مربعات^۱ را مطالعه نموده و به کار برید.

اگر یک معادله دقیق‌تر مطلوب باشد، یا داده‌ها به وضوح از یک الگوی خطی پیروی نکنند، می‌توانید از کامپیوتر برای تطبیق داده به مدل ریاضی استفاده نمایید (البته در آزمایشگاه 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^۲ 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 (۶-الف) و (۶-ب) داده‌های یکسانی را نشان می‌دهد که مدل خطی و درجه دوم به آن تطبیق یافته‌است. مقدار r^2 ضریب تشخیص^۳ (ضریب تعیین کننده) است. این ضریب دلالت بر تطبیق بهتر دارد. در مثال زیر هر دو مدل تطبیق خوبی بر داده‌ها دارند، اما مقادیر r^2 نشان می‌دهد که مدل معادله درجه دوم تطبیق بهتری دارد.

1 - Least Square fitting
2 - Regression analysis
3 - Coefficient of determination



شکل (۶): تطبیق دو معادله متفاوت (خطی و درجه دو) بر یک مجموعه داده و بررسی دقت تطبیق معادلات بر آنها

در ادامه روش رسم نمودار در نرم افزار EXCEL توضیح داده می شود.

۲-۱۴- راهنمای رسم نمودار به کمک نرم افزار EXCEL

همان گونه که ذکر شد، نرم افزار EXCEL مجموعه نرم افزارهایی است که به کمک آن می توانید محاسبات مورد نیاز و از همه مهم تر رسم نمودارهای مربوط به آزمایشات خود را انجام دهید. در ادامه به اختصار روش رسم نمودار در این نرم افزار توضیح داده می شود. اگر داده های یک آزمایش در اختیار باشند، برای رسم نمودار کافی است مقادیر x و y مربوط به آزمایش را در دو ستون مجزا در خانه های یک صفحه کار اکسل وارد کنید. برای بررسی روش کار در نرم افزار EXCEL از داده های مربوط به رابطه مقاومت خازنی با فرکانس تولیدکننده سیگنال سینوسی استفاده می شود، که داده های مرتبط با آن در جدول (۴) ارائه شده است.

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

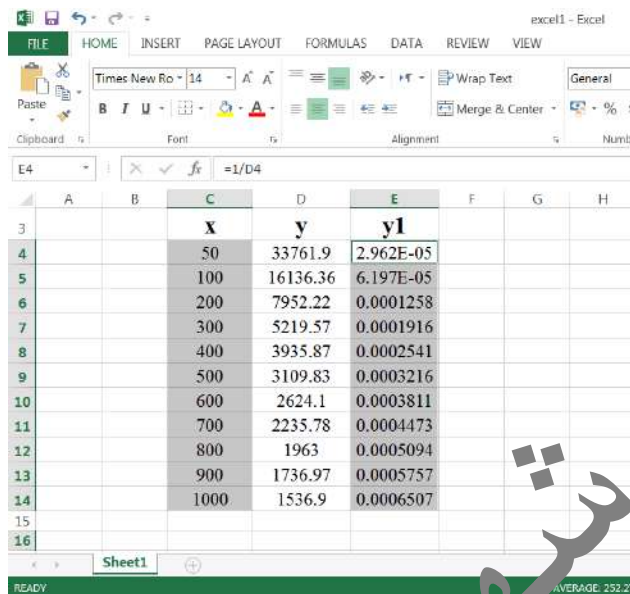
$f \text{ (Hz)}$	$X_c \text{ (}\Omega\text{)}$
۵۰	۳۳۷۶۱/۹۰
۱۰۰	۱۶۱۳۶/۳۶
۲۰۰	۷۹۵۲/۲۲
۳۰۰	۵۲۱۹/۵۷
۴۰۰	۳۹۳۵/۸۷
۵۰۰	۳۱۰۹/۸۳
۶۰۰	۲۶۲۴/۱۰
۷۰۰	۲۲۳۵/۷۸
۸۰۰	۱۹۶۳/۰۰
۹۰۰	۱۷۳۶/۹۷
۱۰۰۰	۱۵۳۶/۹۰

با توجه به این که 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.

	x	y	y1
3			
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 (۷): وارد کردن داده‌ها در صفحه EXCEL

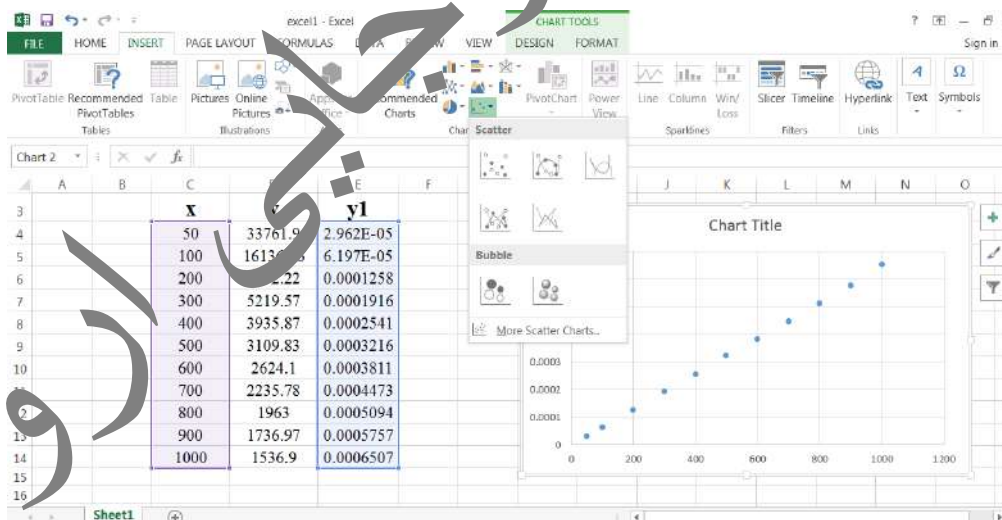
سپس هر دو ستون داده‌ها را (x, y_1) مطابق شکل (۸) انتخاب می‌کنید.



	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

شکل (۸): انتخاب داده‌ها در صفحه EXCEL

حال از منوی بالای صفحه Insert را انتخاب نموده و سپس از زیر منوی Charts بر روی گزینه Scatter کلیک کرده و اولین حالت را انتخاب کنید!

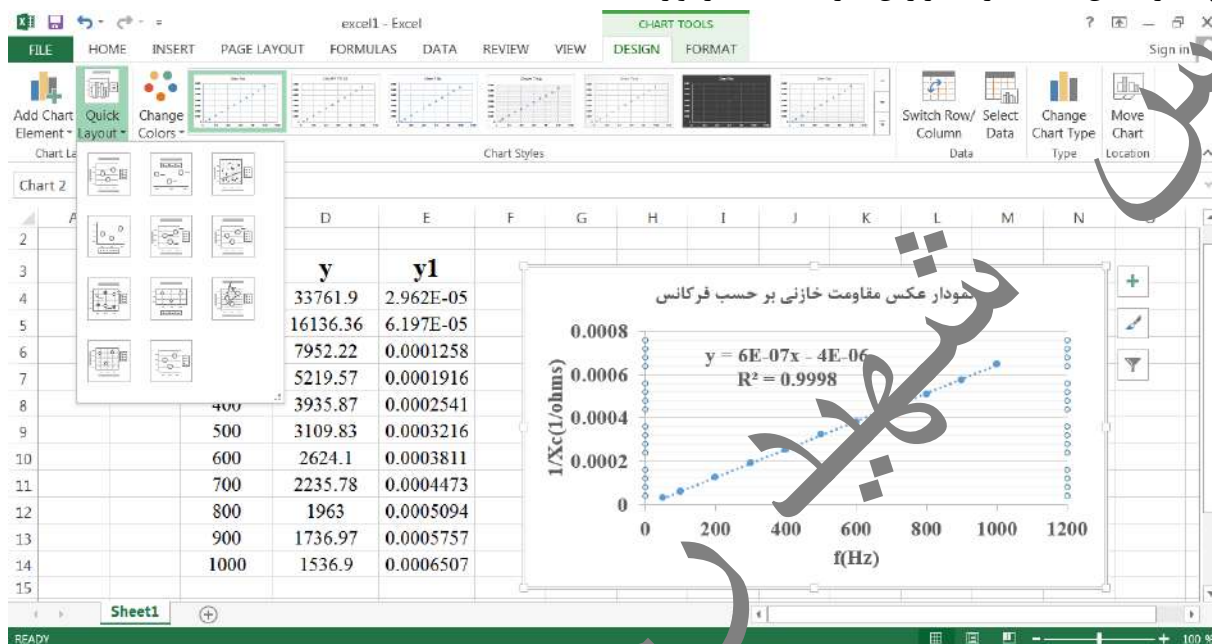


شکل (۹): انتخاب کردن نحوه رسم داده‌ها در صفحه EXCEL

۱- لازم به ذکر است که وابسته به نسخه نرم‌افزار اکسل ممکن است اندکی محل قرار گیری آیکون‌ها متفاوت باشد.

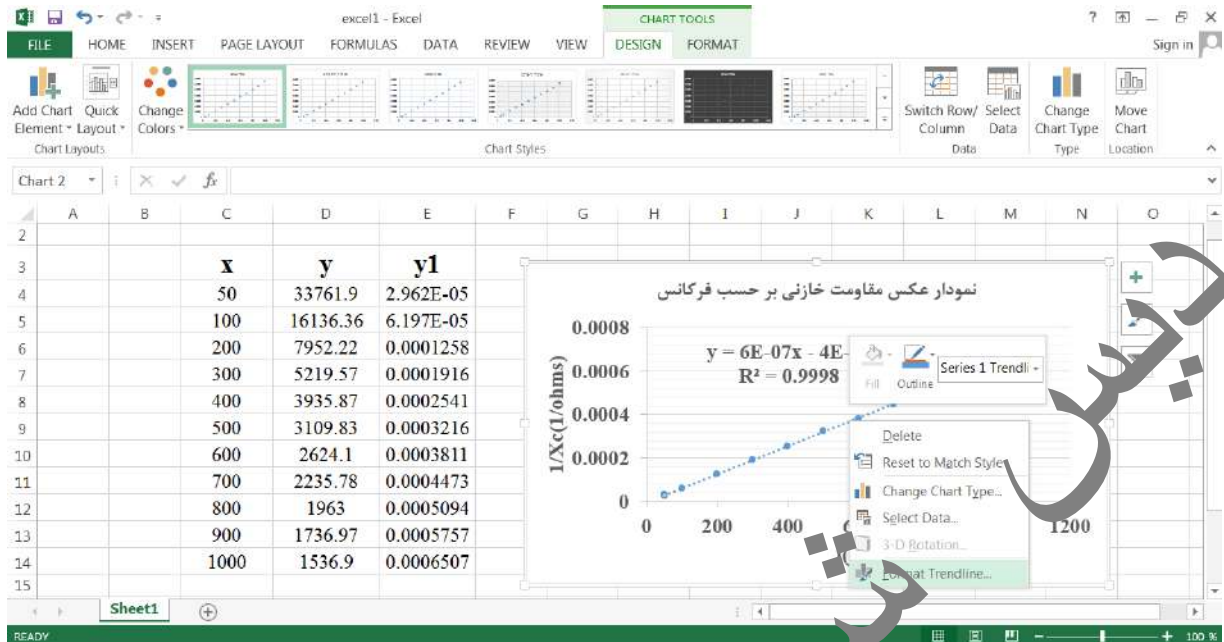
مطابق شکل فوق یک نمودار از نقاط گسسته ظاهر خواهد شد که بیانگر داده‌ها (x, y_1) است.

با کلیک بر روی آیکون *Chart Tools* بخش *Design* می‌توانید بر روی بخش *Quick Layout* کلیک نموده و گزینه مناسب را انتخاب نمایید. گزینه مناسب گزینه‌ای است که اطلاعات کامل را بر روی نمودار ارائه دهد. باید بتوانید عنوان محورها را مشخص نموده و اطلاعات مربوط به عنوان نمودار و آن-چه در بخش آماده‌سازی گزارش کار آمده‌است را وارد کنید.

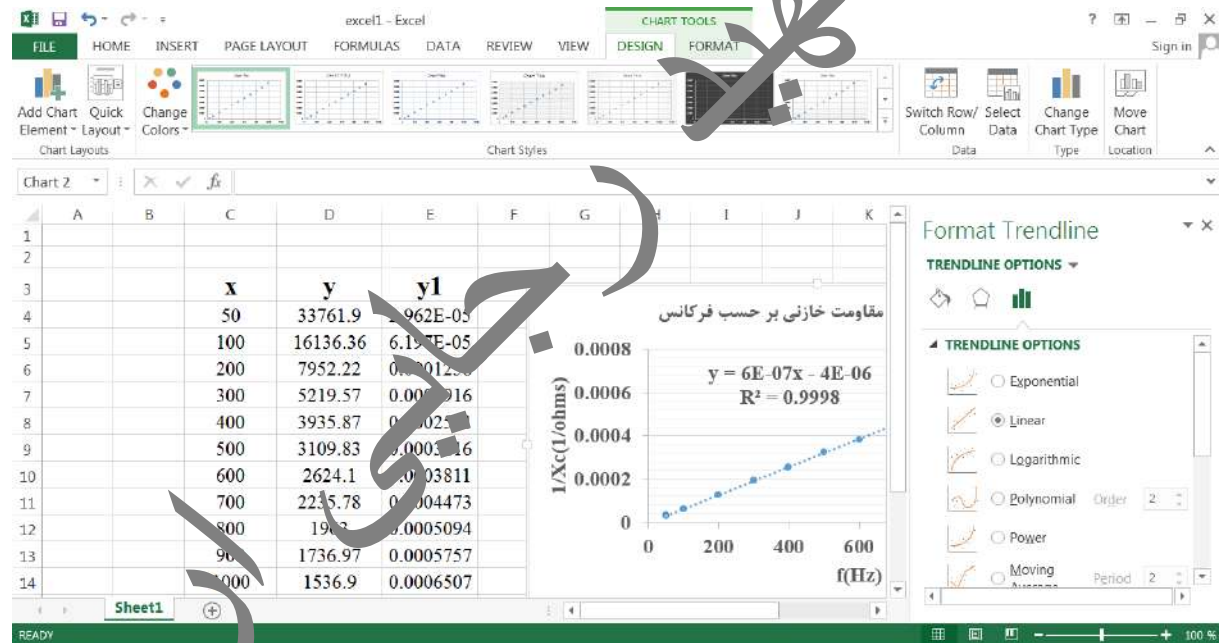


شکل (۱۰): انتخاب نوع مناسب *Layout* در نمودار رسم شده توسط نرم‌افزار EXCEL

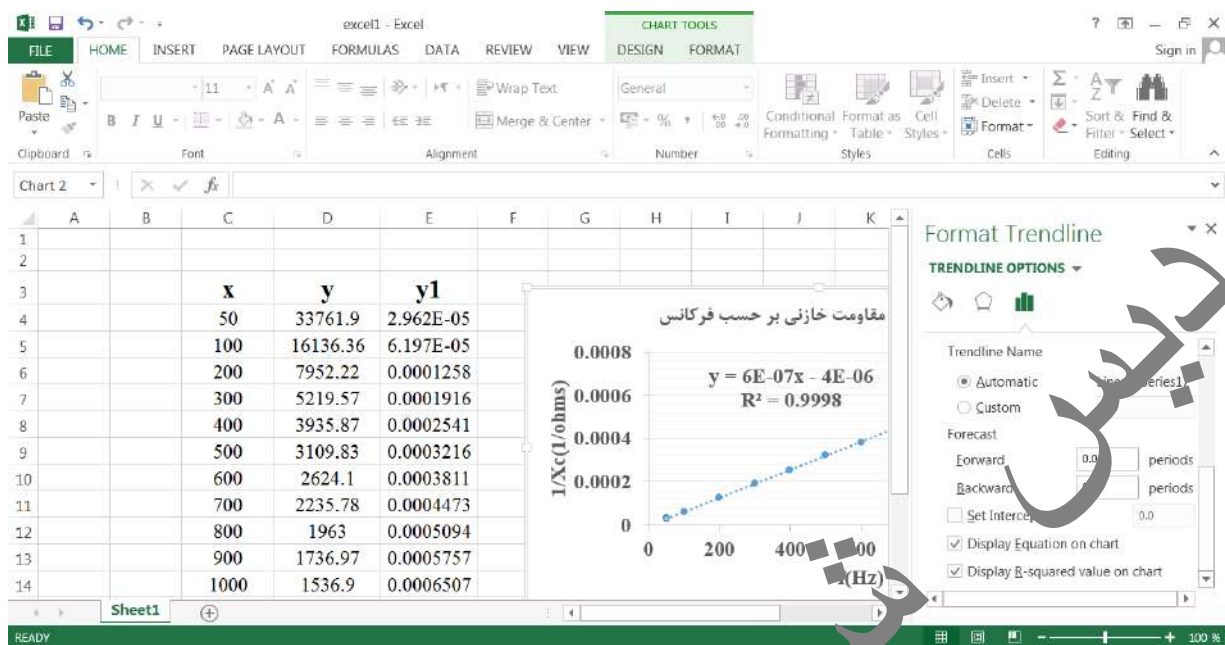
در نرم‌افزارهای نسخه جدید شما می‌توانید پس از کلیک بر روی نمودار و انتخاب گزینه *Trendline* نوع منحنی‌ای که می‌خواهید بر داده‌های خود تطبیق دهد مشخص کنید. شکل (۱۱-الف) مرحله انتخاب گزینه *Format Trendline* و شکل (۱۱-ب) و شکل (۱۱-ج) برخی از گزینه‌های موجود را نشان می‌دهد. در این بخش شما می‌توانید انتخاب کنید که آیا می‌خواهید اطلاعاتی همچون معادله منحنی تطبیق یافته را بر روی شکل داشته باشید یا خیر؟



(الف)



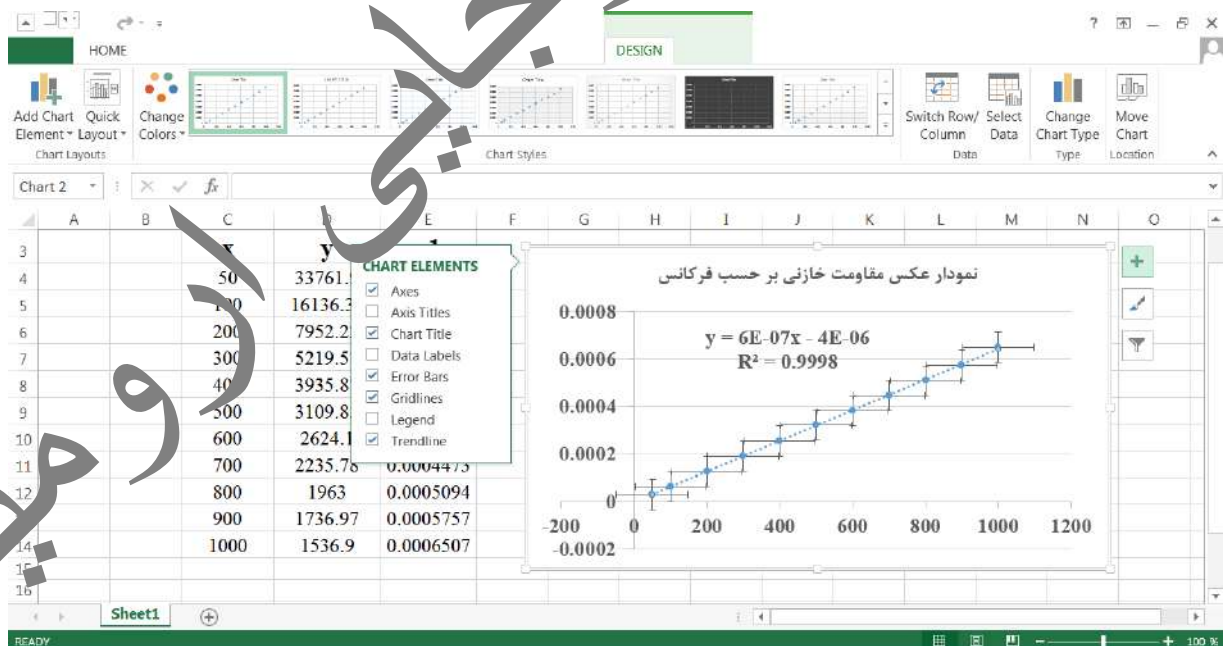
(ب)



(ج)

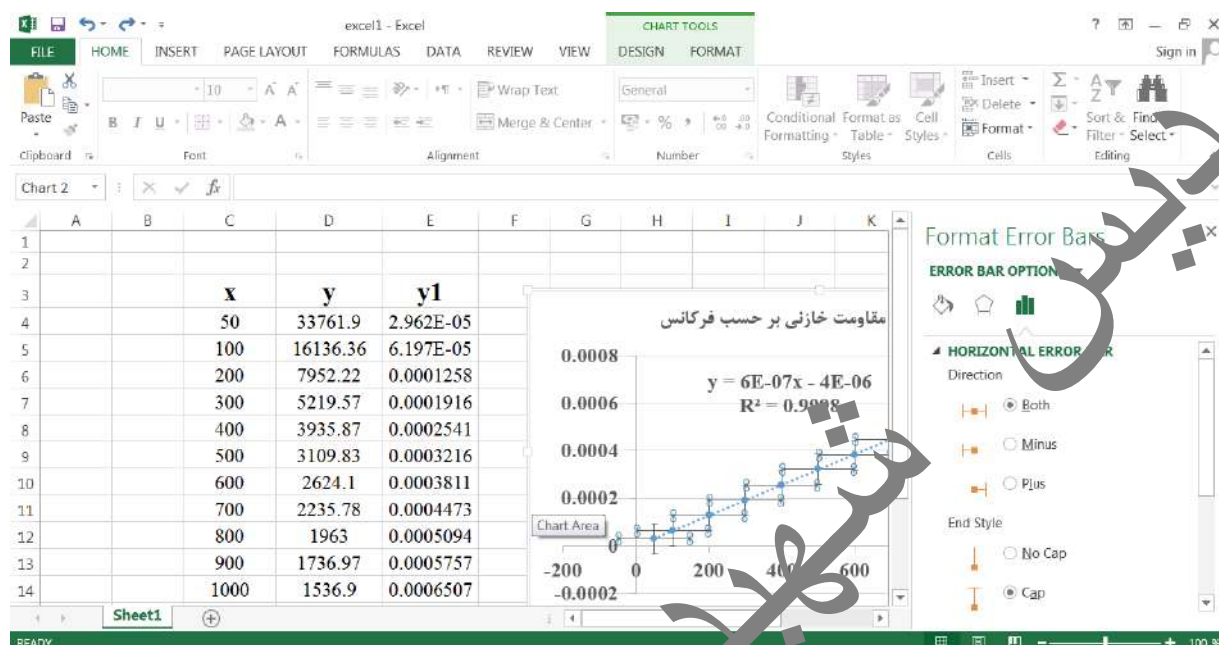
شکل (۱۱): روی انتخاب نوع خط تطبیق یافته بر داده‌های آزمایش

با فشردن علامت + در کنار چارت می‌توانید گزینه‌هایی همچون اضافه نمودن *Error Bars* را نیز وارد نمایید (شکل (۱۲)).



شکل (۱۲): نحوه نمایش *Error Bars* بر روی نمودار

با انتخاب گزینه *Error Bar Options* می‌توانید اطلاعات راستای x و y را به صورت جداگانه وارد نمایید(شکل(۱۳)).



شکل(۱۳): معرفی آیکون *Error Bar Options* و عملکرد آن

شیب خط برابر $6 \times 10^{-7} \mu F$ است، که ظرفیت خازن برابر $0.095 \mu F$ میکروفراد محاسبه خواهد شد. که بر داده‌های تئوری ($C = 0.1 \mu F$) تطبیق دارد.

۳- توصیفی کوتاه در مورد 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 نحوه عملکرد این قطعات، انتخاب می‌شوند. منابع تغذیه، منبع جریان مستقیم^۱، منبع جریان متناوب^۲، منبع تولید سیگنال با شکل موج‌های مختلف(فانکشن ژنراتور)^۳ 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

1 - Direct Current(DC) Source
2 - Alternative Current(AC) source
3 - Function Generator

در مورد منابع تغذیه اعم از آن که بر روی میز کار جای گرفته باشند یا به صورت قابل حمل^۱ باشد، توضیحاتی ارائه می شود و در نهایت وسایل اندازه گیری موجود بر روی میز کار یا قابل حمل معرفی می شوند.

۳-۱- آشنایی با انواع قطعات الکترونیکی

قطعات الکترونیکی که در آزمایشگاه فیزیک پایه (۲) مورد استفاده قرار می گیرند، مقاومت ها، خازن ها و سلف ها هستند که در ادامه این قطعات معرفی می شوند.

۳-۱-۱- مقاومت

مقاومت ها از اصلی ترین اجزایی هستند که در وسایل الکتریکی به کار می روند. مقاومت یک رسانا در برابر عبور جریان الکتریکی را مقاومت الکتریکی گویند. واحد مقاومت اهم است و با نماد $R (\Omega)$ نشان داده می شود. شکل مقاومت در مدارهای الکتریکی به صورت زیر می باشد:

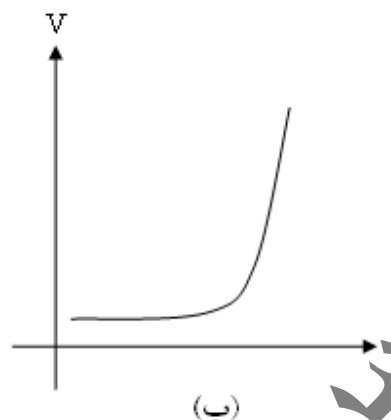
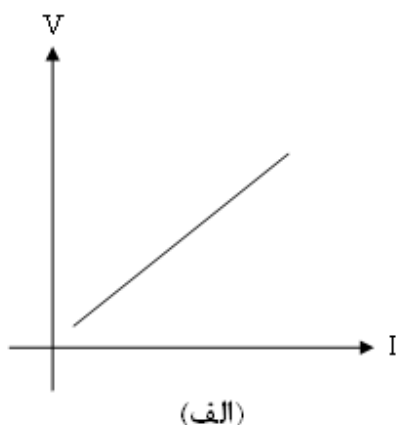


شکل (۱۴): شماتیک مقاومت الکتریکی در مدارها

مقاومت به منظور کاهش دادن جریان به مقدار معین و یا ایجاد تغییر معینی از ولتاژ به کار می رود. مقاومت ها وابسته به رفتار جریان بر حسب ولتاژ اعمالی به دو دسته اهمی و وابسته اهمی تقسیم می شوند. در ادامه به اختصار توضیحاتی در مورد مقاومت اهمی ارائه می شود.

مقاومت اهمی به مقاومتی گفته می شود که نسبت ولتاژ اعمال شده به جریان گرفته شده از آن یک مقدار ثابت باشد. به عبارت دیگر نمودار تغییرات ولتاژ به جریان این مقاومت خطی باشد و از رابطه اهم

$$R (\Omega) = \frac{V (V)}{I (A)} \text{ پیروی کند.}$$



شکل (۱۵): نمودار $V-I$ برای مقاومت اهمی (الف) و غیراهمی (ب)

مقاومت‌های اهمی برای اضافه کردن مقاومت مدارهای الکتریکی به منظور کاهش جریان به مقدار معین و یا افت مقدار معینی از ولتاژ به کار می‌روند. در حقیقت، آنها اجسامی هستند که در مقابل عبور جریان مقاومت زیادی از خود نشان می‌دهند. موادی که غالباً در مقاومت‌ها به کار می‌روند عبارتند از کربن، آلیاژ مخصوص از فلزاتی از قبیل نیکروم و کنستانتن. مقاومت اهمی را طوری به مدار می‌بندند که جریان همان‌طور که از بار الکتریکی و منبع ولتاژ عبور می‌کند، از آن هم بگذرد. در این صورت مقاومت کل مدار مجموع مقاومت‌های بار الکتریکی، منبع ولتاژ، سیم‌های رابط و مقاومت اهمی است. توجه داشته باشید که فقط با اضافه کردن یک مقاومت اهمی مناسب به مدار می‌توان مقاومت کل مدار را به اندازه‌ی دلخواه تغییر داد.

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 الکتریکی.
۴. تطابق ولتاژ بین دو طبقه در تقویت‌کننده‌ها.
۵. تعیین پهنای باند و فرکانس قطع در تقویت‌کننده‌ها، 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، رطوبت و... نیستند. مقاومت‌های ثابت دو سیم رابط دارند که به دو انتهای مقاومت متصل است. مقاومت‌های

رنگی، سرامیکی و آجری از این قبیل‌اند. از مقاومت‌های رنگی در جریان‌های پایین و از مقاومت‌های آجری یا سرامیکی در جریان‌های بالا استفاده می‌شود.



شکل (۱۶) چند نمونه مقاومت رنگی

مشخصه‌های یک مقاومت ثابت عبارتند از:

- مقدار اهم مقاومت: مقدار اهم یا بر روی مقاومت نوشته شده و یا به صورت نوارهای رنگی مشخص شده‌است.
- خطا یا تolerانس^۱: 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 کنند قبل از آنکه تغییر ماهیت بدهند، تحمل حرارتی گویند و در حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ 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^۲ مهم‌ترین عوامل مربوط 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.

1 - Tolerance

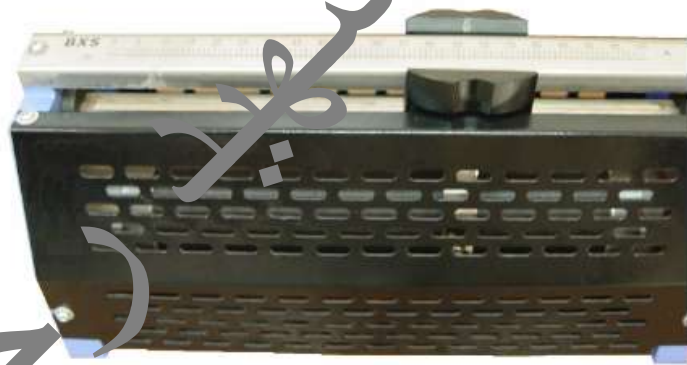
ب) مقاومت‌های متغیر:

در بسیاری از وسایل الکتریکی مقدار بعضی از 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:

گونه اول را می‌توان با تغییر مکان یا تغییر زاویه‌ی محور متحرک آن تنظیم کرد. در این حالت مقاومت متغیر می‌ماند 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. مقاومت‌های سلکتوری و رئوستا از این گونه‌اند.



(الف)

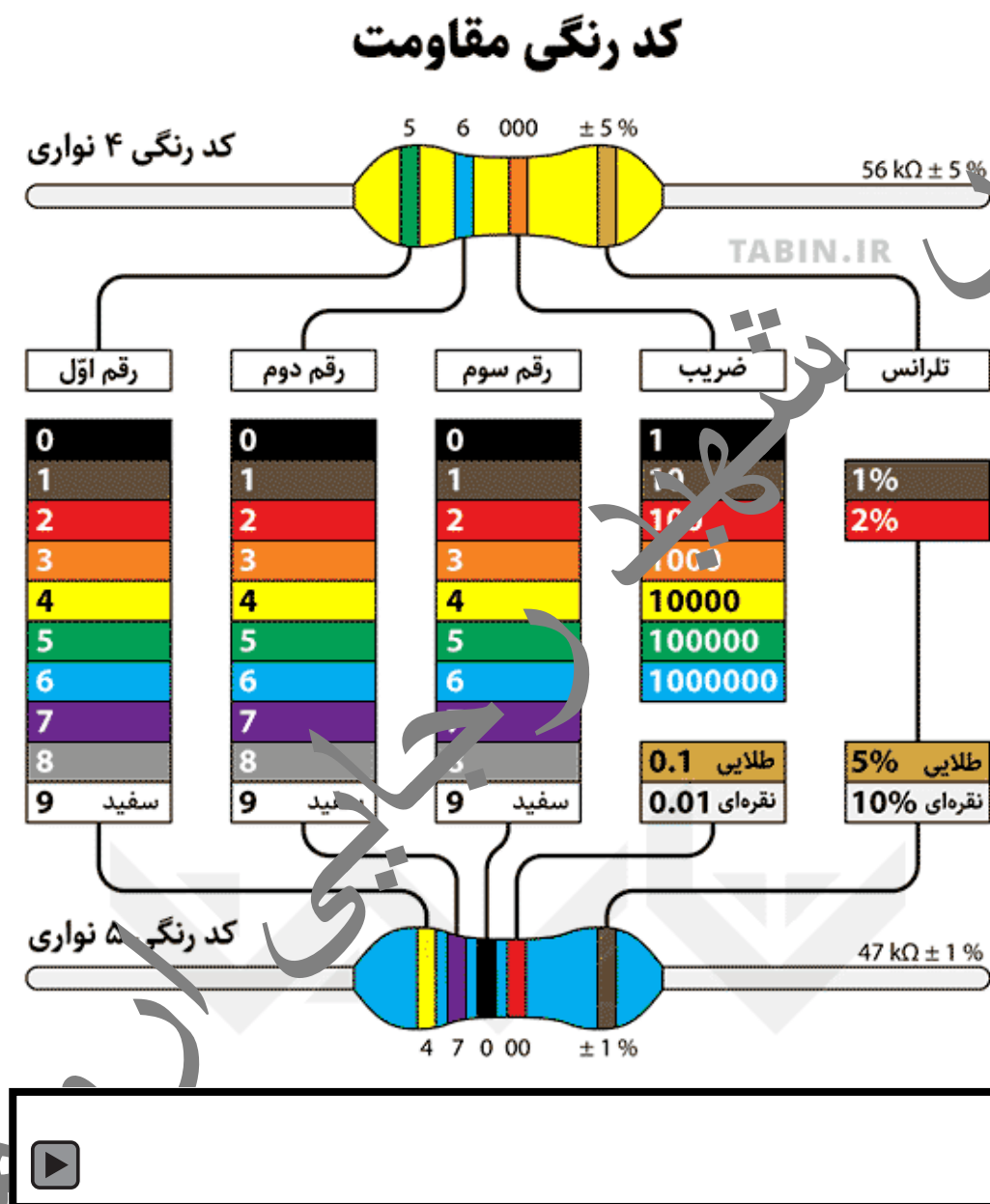


(ب)

شکل (۱۷): چند نمونه مقاومت متغیر. رئوستا (الف) و مقاومت سلکتوری (ب)

رئوستا گونه‌ای از مقاومت‌های متغیر هستند که از خانواده پتانسیومترهای خطی و دارای سه ترمینال می‌باشند. جنس رئوستاها برخلاف پتانسیومترها از سیم بوده و بدین خاطر از توان بالاتری نسبت به مقاومت‌های متغیر کربنی برخوردارند. شکل زیر دو نمونه کاربرد و طریقه اتصال رئوستا در مدار را نشان می‌دهد. البته مقاومت‌هایی از گونه‌های متفاوت وجود دارد که در این درس مورد بحث نیست. نحوه تعیین مقدار مقاومت‌ها از روی 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 (تولرانس) را معین می‌کند. در جدول (۵) معنای این کدهای رنگی ارائه شده است.



شکل (۱۸): طریقه خواندن مقدار مقاومت‌های رنگی

جدول (۵): ضرایب نوارهای رنگی در مقاومت‌ها

رنگ	عدد صحیح	مضرب	تولرانس
سیاه	۰	۱	-
قهوه‌ای	۱	۱۰	-
قرمز	۲	۱۰۰	-
نارنجی	۳	۱۰۰۰	-
زرد	۴	۱۰۰۰۰	-
سبز	۵	۱۰۰۰۰۰	-
آبی	۶	۱۰۰۰۰۰۰	-
بنفش	۷	۱۰۰۰۰۰۰۰	-
خاکستری	۸	۱۰۰۰۰۰۰۰۰	-
سفید	۹	۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰	-
طلایی	-	-	±۵٪
نقره‌ای	-	±۱۰٪	-
بی رنگ	-	-	±۲۰٪

۳-۱-۲- خازن

خازن، قطعه الکتریکی است که انرژی الکتریکی باطری را در خود ذخیره می‌کند. هنگامی که یک عایق پیرامون دو هادی قرار می‌گیرد خازن به وجود می‌آید. خازن‌ها را با شیشه 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 هادی: که به آن جوشن نیز می‌گویند. معمولاً ورق‌های نار از جنس آلومینیوم، روی یا نقره ساخته می‌شوند.
۲. عایق بین صفحات هادی: که به آن دی‌الکتریک نیز گفته می‌شود. معمولاً خازن‌ها از نظر نوع دی‌الکتریک به کار رفته در ساختمان آنها نام‌گذاری و تقسیم‌بندی می‌شوند.

همچنین بر اساس نوع و شکل قرار گرفتن صفحات رسانا در مقابل یکدیگر می‌توان خازن‌های گوناگونی 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 می-شود، ظرفیت می گویند و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$C(F) = \frac{Q(q)}{V(V)} \quad (14)$$

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 می شود.

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

۳- **ضریب حرارتی:** وابستگی ظرفیت خازن به حرارت را ضریب حرارتی خازن می گویند.

۴- **میزان خطا و تلفات:** ضریب تلفات خازن به صورت رابطه زیر تعریف می شود:

$$D = \frac{1}{2\pi fCR} \quad (15)$$

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

۵- **فرکانس بیشینه کار:** خازن در مدارهای متناوب از خود مقاومت ظاهری ای نشان می دهد، که این مقاومت ظاهری با فرکانس رابطه عکس دارد:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (16)$$

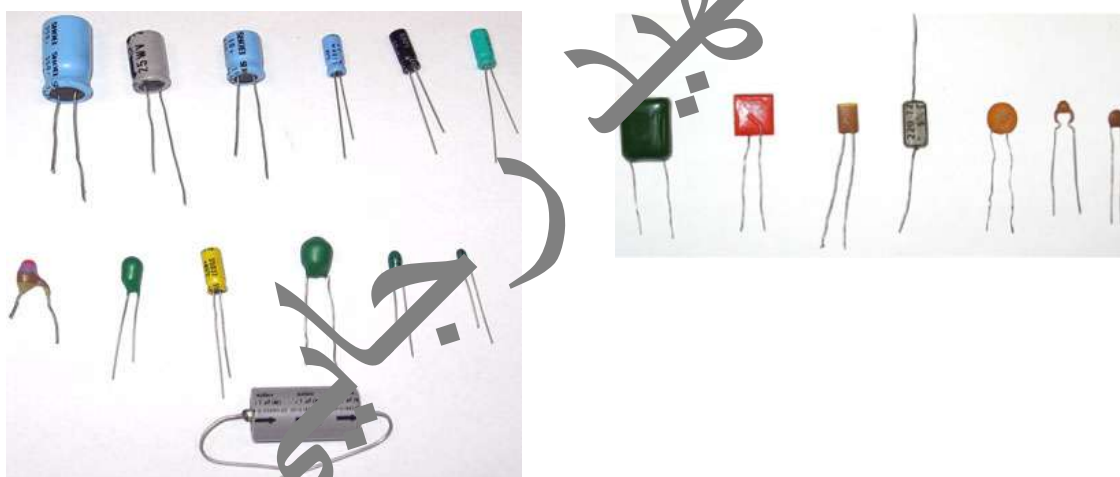
در نتیجه تا جایی که با افزایش فرکانس این امپدانس روند کاهشی داشته باشد خازن درست کار می کند ولی از یک فرکانس مشخص به بالا تغییر خاصیت می دهد، به این حد فرکانسی، حداکثر فرکانس کار خازن می گویند.

حال سوال مهم آن است که چگونه ظرفیت یک خازن را از روی اطلاعات ثبت شده بر روی آن به دست آورید. امروزه سازندگان مختلف، بر روی خازن‌های ساخته شده ظرفیت آن را می‌نویسند و فقط روی بعضی از خازن‌ها مثل خازن عدسی، به جای نوشتن مستقیم ظرفیت یک عدد سه رقمی 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 به دست آمده ظرفیت خازن بر حسب پیکو فاراد (PF) می‌باشد. به عنوان مثال اگر بر روی خازنی عدد ۶۲۳ نوشته شده باشد ظرفیت آن برابر است با:

$$C = 62000 \text{ PF}$$

(۱۷)

چنان‌که بر روی بعضی از خازن‌ها نوارهای رنگی کشیده شده باشد، می‌توانید از روش خواندن مقاومت‌های رنگی استفاده نمایید. ولی عدد حاصل بر حسب پیکو فاراد خوانده می‌شود (که این روش جهت کدگذاری خازن‌ها دیگر رایج نیست). شکل (۱۹) تصاویری از خازن‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل (۱۹): تصاویری از چند خازن

۳-۴-۳- سلف

سلف قطعه‌ای الکترونیکی، کنش‌پذیری (مهندسی) (پسیو) و دو پایه است که به آن سیم‌پیچ یا القاگر نیز می‌گویند. عملکرد اصلی القاگر، مقاومت در برابر تغییرات جریان الکتریکی می‌باشد. این قطعه معمولاً از رسانایی مانند یک سیم که بصورت سیم‌پیچ درآمده و به دور هسته‌ای از جنس آهن یا کربن خاص به نام «فَرِیت» پیچیده شده است، تشکیل می‌شود.

هنگامی که جریانی از سلف بگذرد، یک میدان مغناطیسی درون آن ایجاد می‌شود و انرژی به طور موقت در این میدان مغناطیسی ذخیره می‌شود. 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. مشخصه اصلی سلف، «ضریب خودالقایی» می‌باشد که یکای آن هانری است و با H نشان داده می‌شود. اکثر سلف‌ها هسته‌ای آهنربایی، ساخته شده از آهن یا فریت دارند که سیم‌پیچ به آن‌ها بسته می‌شود و باعث افزایش میدان مغناطیسی و ضریب خودالقایی می‌شوند.

همراه با مقاومت‌ها و خازن‌ها، سلف‌ها یکی از سه عنصر خطی و غیر فعال تشکیل‌دهنده مدارهای الکترونیکی می‌باشند. سلف‌ها بطور گسترده در تجهیزاتی که با برق متناوب (AC) کار می‌کنند، استفاده می‌شود. نمونه دیگری از کاربردهای سلف در تجهیزات رادیویی می‌باشد. از سلف‌ها برای جلوگیری از جریان متناوب نیز استفاده می‌شود؛ زیرا سلف، جریان مستقیم (DC) را می‌گذراند اما مانع از گذر جریان متناوب می‌شود. از دیگر کاربردهای سلف می‌توان به استفاده از آنها در پالایه‌های الکترونیکی در مدارهای تنظیم گیرنده‌های رادیو و تلویزیون نام برد. شکل (۲۰) تصاویری از چند سلف را نشان می‌دهد.



شکل (۲۰): تصاویری از چند سلف 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 خودالقاء القاگر در مشتق جریان نسبت به زمان محاسبه می‌شود.

$$V = L \frac{di}{dt} \quad (20)$$

در این رابطه جریان (i) برحسب آمپر و ضریب خودالقائه (L) برحسب «هائری» محاسبه می‌شود. ضریب خودالقائه یک ویژگی هندسی مدار است که مشخص می‌کند با گذر شدت جریانی معین از سیم‌پیچ، چه مقدار شار مغناطیسی 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 ساخته شده را تقویت کنند. پیچیدن سیم باعث افزایش تعداد خطوط شار مغناطیسی می‌شود که به مدار متصل‌اند و باعث افزایش القائیدگی می‌شود. هرچه تعداد دُورهای سیم‌پیچ بیشتر باشد، خاصیت مغناطیسی نیز بیشتر می‌شود. راه دیگر، افزایش القائیدگی در القاگر، گزینش هسته مناسب می‌باشد؛ برای مثال، استفاده از ماده‌های فرومغناطیس مانند آهن و پیچیدن سیم به دُور آنها باعث افزایش چشمگیر خطوط شار مغناطیسی می‌شود. انتخاب هسته‌ای با توالی مغناطیسی بالا، باعث چندهزار برابر شدن خاصیت القاگری القاگر می‌شود.

در بحث نمایش مدارهای الکترونیکی معمولاً برای همه قطعات یک مدل آرمانی لحاظ می‌شود. در مدل القاگر آرمانی، پیروی دقیق رفتار القاگر معادل (۲۰) مفروض است. القاگر آرمانی، هیچگونه مقاومت الکتریکی و اثر خازنی ندارد و کارمایه را تلف نمی‌کند.

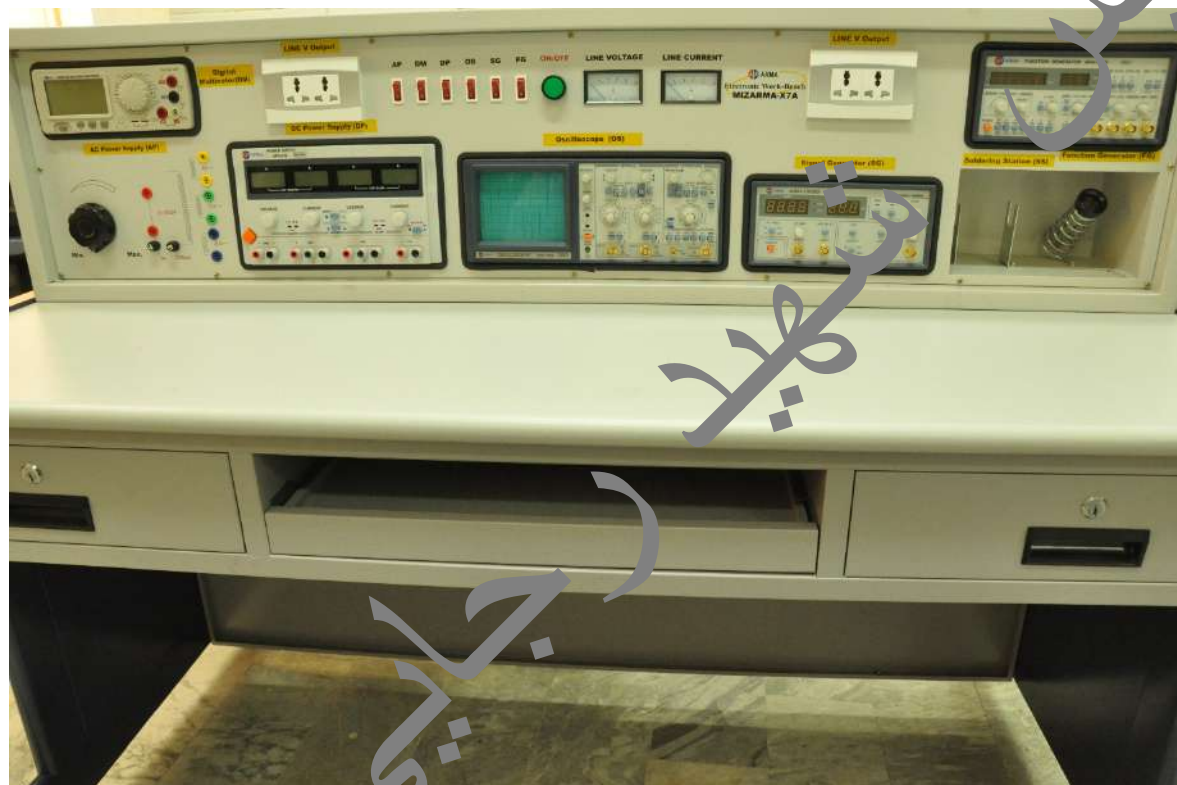
از سوی دیگر، القاگر واقعی تأثیرهای جانبی می‌پذیرد که باعث تغییر رفتارش می‌شوند و از مدل القاگر آرمانی فاصله می‌گیرد. القاگر واقعی، دارای مقاومت داخلی (رون سیم‌پیچ، اثر خازنی بدلیل تشکیل میدان میان سیم-پیچ و اتلاف کارمایه بصورت گرما می‌باشد. در بسامدهای بالا این اثر خازنی تأثیر شدیدی بر رفتار القاگر می‌گذارد و در برخی بسامدها حتی می‌تواند عملکرد القاگر را به یک شدیدگر تبدیل کند.

از القاگرها بطور گسترده در مدارهای آنالوگ و پردازش سیگنال استفاده می‌شود. با ترکیب دو یا چند سیم‌پیچ می‌توان وسیله‌ای به نام ترانسفورماتور ساخت که عضوی بنیادی در تمامی مدارهای تغذیه، انواع شارژکن‌ها و مدارهای مبدل ولتاژ می‌باشد. با استفاده از ترکیب خط‌های شار مغناطیسی میان دو سیم‌پیچی که یکی ثابت و دیگری در حال چرخش است، گشتاور نیرو ایجاد می‌شود که اساس کار موتورهای القایی می‌باشد.

از القاگر در مدارهای تغذیه کلیدزنی بعنوان ذخیره‌گرهای کارمایه الکتریکی و واپایش ولتاژ استفاده می‌شود. همچنین القاگر در سامانه‌های انتقال الکتریسیته مانند، کاهنده ولتاژهای حاصل از صاعقه و محدودگر جریان کاربرد دارد.

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

میز کار آزمایشی که در آزمایشگاه فیزیک پایه ۲ تمامی آزمایش‌ها بر روی آن انجام می‌گیرند، شامل قطعات و دستگاه‌های الکترونیکی‌ای از قبیل: مولتی‌متر دیجیتال، منابع تغذیه DC و AC ، اسیلوسکوپ، مولد سینکال (سیگنال ژنراتور)^۱ و فانکشن ژنراتور، خروجی‌های ولتاژ شهری و کلیدهای روشن و خاموش نمودن مربوط به هر یک از اجزا مذکور است. در شکل زیر یک نمای کلی از این میز کار نشان داده شده است.



شکل (۲۱): 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 هر یک 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 (۲۲) را مشاهده نمایید).

1 - Signal generator



شکل (۲۲) نمایی از کلیدهای تعبیه شده بر روی میز کار الکترونیکی

همان گونه که ذکر شد، بر روی میز کار منابع و ابزار اندازه گیری تعبیه شده است و از سوی دیگر از ابزارهای قابل حمل نیز استفاده می شود. در ادامه موارد مذکور معرفی خواهند شد.

۳-۳- منابع تغذیه الکترونیکی

یکی از ابزار ضروری برای استفاده در آزمایشگاه فیزیک (۲)، انواع منابع تغذیه آزمایشگاهی می باشد. از این ابزار برای تأمین انرژی الکتریکی استفاده می شود. برای انتخاب این وسیله باید ویژگی هایی از قبیل ولتاژ خروجی، حداکثر جریان خروجی، شکل موج خروجی و در عین حال اندازه مشخصات خروجی دقت کرد.

اگرچه مجموعه وسیعی از لوازم الکترونیکی از جمله باتری های سربی - اسیدی، نیکل، هیدرید فلز وجود دارند که می توانند انرژی الکتریکی را ایجاد نمایند، اما دستگاه منبع تغذیه آزمایشگاهی علاوه بر این ویژگی قابلیت تثبیت انرژی بدست آمده را نیز دارا می باشد.

۳-۳-۱- اصول عملکرد منابع تغذیه آزمایشگاهی

خروجی های منبع تغذیه متغیر آزمایشگاهی علاوه بر آن که 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 می گیرد به این شکل که با قرار دادن منبع تغذیه در حالت ولتاژ بیشینه و محدود کردن جریان خروجی، می توان 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.

۳-۱-۳- الف - منبع تغذیه DC

منابع تغذیه DC در آزمایشگاه وابسته به نوع آزمایش می‌تواند، تک کاناله یا چند کاناله باشد. همچنین می‌تواند دارای ثابت یا متغیر داشته باشد. منبع تغذیه مستقیم نصب شده بر روی میز کار در شکل (۲۳) نشان داده شده است.



شکل (۲۳): تصویری از منبع تغذیه مستقیم نصب شده بر روی میز کار الکترونیک

از جافیش‌های 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. همانگونه که مشاهده می‌کنید، هر خروجی شما حداقل دو خروجی مثبت و منفی دارید که وابسته به مدار گاهی انتخاب صحیح جهت شارژ جریان اهمیت پیدا می‌کند. در صورتی که در آزمایشی از منبع مستقیم نصب شده بر روی میز کار استفاده نشود، در مورد منبع تغذیه جایگزین توضیحاتی ارائه خواهد شد.

۳-۳-۱- ب- منبع تغذیه AC

منبع تغذیه AC معمولاً منبع الکتریکی است که ولتاژ ۲۲۰ ولت شهر را با استفاده از مدارات داخلی به ولتاژی کمتری 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 (۲۴) نمای کلی منبع تغذیه AC نشان داده شده است.



شکل (۲۴): نمایی از منابع AC تعبیه شده بر روی میز کار الکترونیکی

همان‌گونه که در شکل نیز پیداست، از جفت جافیش‌های زرد رنگ به منظور ایجاد مقدار ولتاژ متناوب ۶ ولت و از جفت جافیش‌های سبز رنگ و آبی به ترتیب، جهت دسترسی به مقدار ولتاژهای ۱۲ و ۲۰ 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 شده است.

۳-۳-۱ ج- فانکشن ژنراتور

ژنراتورهایی که در گستره فرکانسی 1 Hz تا 1 MHz (AF) شکل موج‌های مختلفی از جمله سینوسی، مربعی، دندان اره‌ای 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 مورد نظر ما می‌باشد و برای وارد کردن به مدار و دیگر کارها آن را به خروجی می‌فرستد.

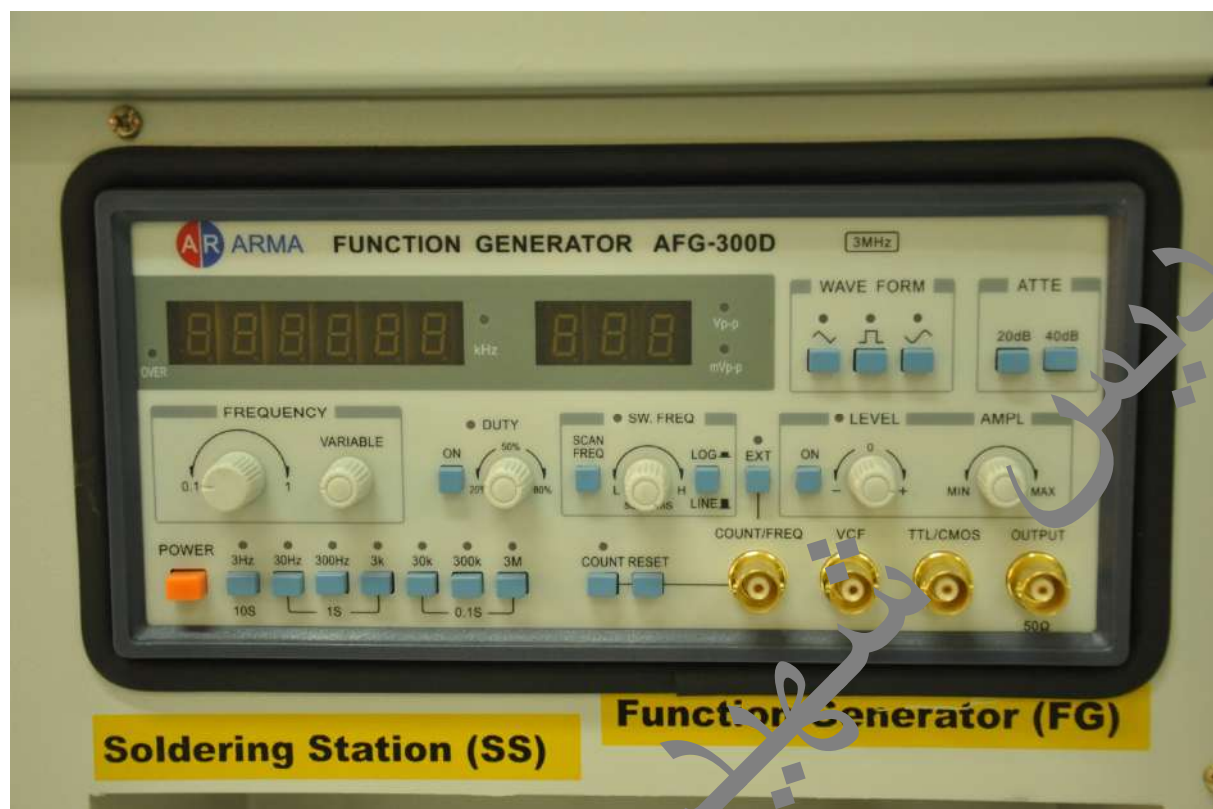
بسیار از افراد فکر می‌کنند فانکشن ژنراتور و سیگنال ژنراتور با هم تفاوتی ندارند. سیگنال ژنراتور و فانکشن ژنراتور از مهم‌ترین دستگاه‌هایی هستند که کاربرد زیادی دارند. می‌توان گفت ماهیت این دو ژنراتور مثل هم است و هر دو سیگنال متناوب تولید می‌کنند. اصلی‌ترین تفاوت این دو مولد در نوع سیگنالی می‌باشند که 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 دامنه 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 $SI2$ ساخت شرکت لیلبد^۱ 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 (۲۵) ارائه خواهد شد.

1 - Leybold

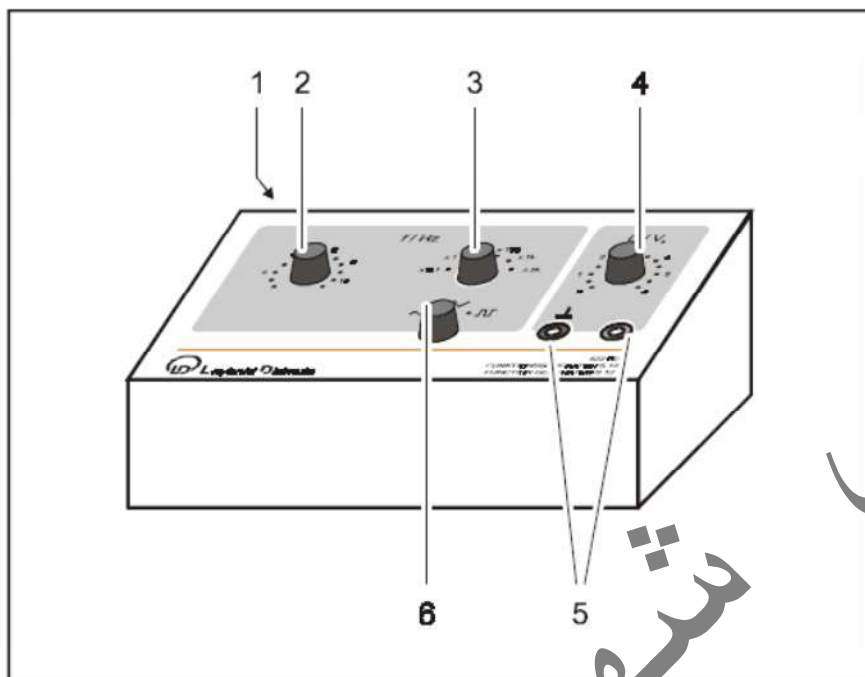


(الف)



شکل (۲۵): الف) تصویری از سیگنال ژنراتور، ب) تصویری از فانکشن ژنراتور

در شکل (۲۶) تصویری از فانکشن ژنراتور $SI2$ 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 ۲۶: تسویری از فانکشن ژنراتور S12

◀ نکات عملکرد

- از منبع توان $230\text{ V}/12\text{ V}$ به عنوان ورودی این فانکشن استفاده نمایید.
- هیچ منبع خارجی را به خروجی متصل ننماید.

◀ دستورالعمل دستگاه

- ۱- سیم‌های خروجی جهت اتصال به منبع 12 VAC
- ۲- دکمه تنظیم فرکانس
- ۳- سوئیچ انتخاب بازه فرکانسی
- ۴- دکمه تنظیم ولتاژ خروجی
- ۵- سوکت‌های 4 mm خروجی فانکشن ژنراتور
- ۶- سوئیچ انتخاب شکل سیگنال

اطلاعات فنی

گستره فرکانسی کل	0.05Hz ... 20KHz
گستره‌های فرکانسی	0.1Hz, 1Hz, 10Hz, 100Hz, 1kHz, 2KHz
گستره تنظیم	گستره فرکانسی $\times 10^{-1}$ - $\times 10^5$
شکل سیگنال	سینوسی، مثلثی متقارن و مربعی
ابعاد	16cm × 12cm × 7cm
وزن	0.5 kg
ضریب اعوجاج ^۱ (سینوسی)	3% < در 1KHz
دوره کار پالس ^۲ (مربعی)	۱:۱
زمان خیز ^۳	2 μs
دامنه ولتاژ خروجی	0 - 6V
بیشینه جریان خروجی	1A
بیشینه توان خروجی	2W در 32Ω
اضافه بار ^۴	توسط یک ابزار ایمنی محافظت حرارتی خاموش می‌شود، به صورت خودکار مجدداً پس از یک دوره زمانی کوتاه خنک‌سازی روشن می‌شود.
اتصال	سوکت ایمنی 4 mm
ولتاژ منبع تغذیه	۱۲ VAC

نحوه عملکرد

- ۱- سیم‌های منبع تغذیه ورودی را به سوکت ولتاژ ۱۲ VAC متصل کنید.
- ۲- شکل سیگنال مطلوب و فرکانس مطلوب را انتخاب کنید.
- ۳- ولتاژ خروجی و فرکانس را تنظیم کنید.

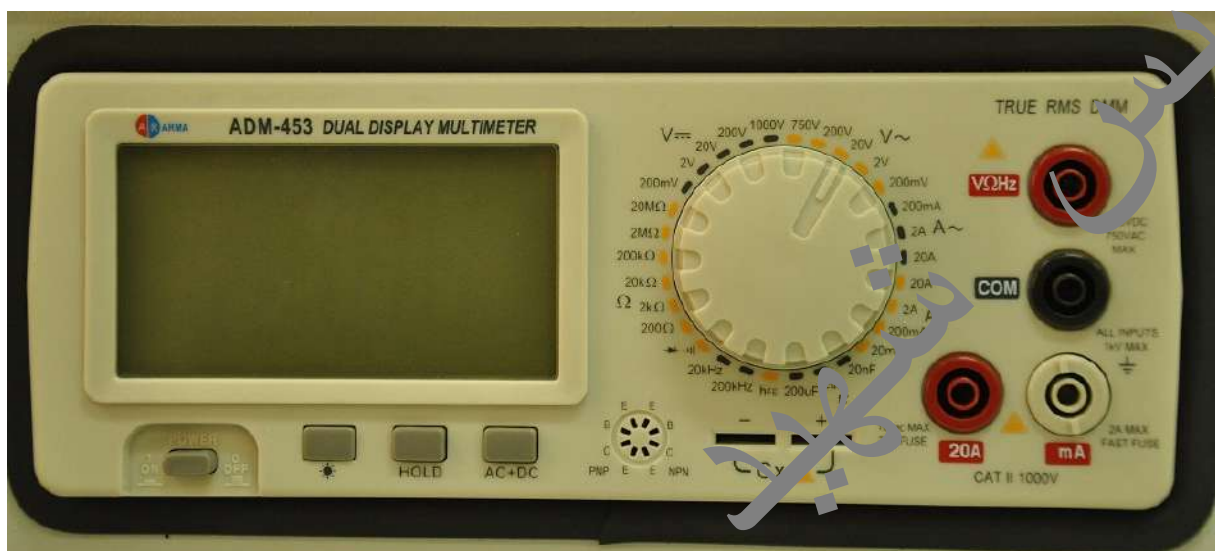
۳-۴- ابزارهای اندازه‌گیری

دستگاه‌های اندازه‌گیری مورد استفاده در آزمایشگاه فیزیک پایه (۲)، مولتی‌متر دیجیتال و اسیلوسکوپ هستند این دو دستگاه در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

1 - Distortion factor
2 - Duty factor
3 - Rise time
4 - Overload

۳-۴-۱- مولتی متر دیجیتال

مولتی متر یا تست کننده چندگانه ابزار الکترونیکی اندازه گیری می باشد که چندین تابع اندازه گیری را در یک واحد ترکیب نموده است. یک مالتی متر توانایی اندازه گیری ولتاژ، جریان یا مقاومت را دارد. شکل (۲۷) تصویری از مولتی متر دیجیتال نصب شده بر روی میز کار را نشان می دهد.



شکل (۲۷): تصویری از مولتی متر نصب شده بر روی میز الکترونیکی

اطلاعات مربوط به سیستم فوق به قرار زیر است:

❖ صفحه نمایش:

وابسته به دقت ۴ رقم و محل مربوط به علامت اعشار و نشانگر باریته، نشانگر کاهش قدرت باتری، نمایشگر مقدار اندازه گیری شده، و واحد اندازه گیری و آنکه AC و DC انتخاب شده است (بالی اندازه گیری جریان و ولتاژ) را در بر می گیرد.

❖ گزینشگر تابع اندازه گیری

—V
.....
~V
—A
.....
~A

Voltage (DC)
Voltage (AC)
Current (DC)
Current (AC)

❖ قسمت ترمینال ورودی

- ترمینال مشترک و زمین Com
- ترمینال اندازه‌گیری ولتاژ، مقاومت و فرکانس $V \Omega Hz$

به صورت مشترک با ترمینال Com و به صورت موازی در مدار متصل می‌شود.

ترمینال اندازه‌گیری جریان $20 mA, 200 mA, 2A, 20 A$

با ترمینال Com به صورت سری در مدار قرار می‌گیرد.

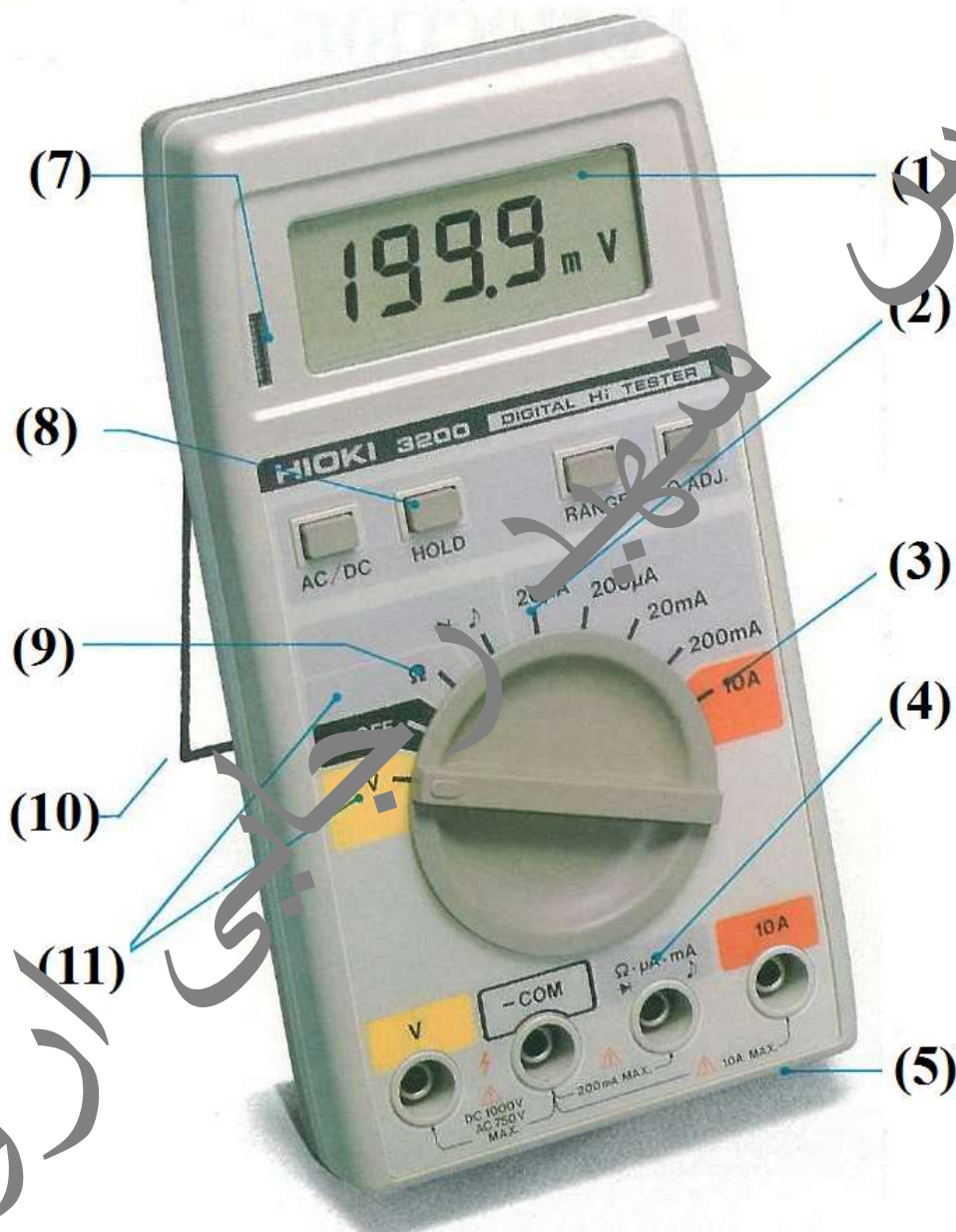
این دستگاه می‌تواند مقاومت (Ω)، ولتاژ (V) و جریان (آمپر متر A) را اندازه‌گیری نماید. در قسمت پایین چپ سیستم دکمه ON/OFF روشن و خاموش دستگاه می‌باشد. سلکتور بالای سمت راست صفحه نمایشگر، کلید تعویض عملکرد دستگاه می‌باشد. بوسیله این کلید، دستگاه مولتی‌متر در حالت‌های مختلف مانند آمپر متر، اهم متر و ولت متر قرار می‌گیرد. هنگامیکه سلکتور روی ناحیه A تنظیم شده باشد، دستگاه جریان مستقیم را اندازه‌گیری می‌نماید و در صفحه مانیتور علامت DC ظاهر می‌شود. در شرایطی که سلکتور مقابل ناحیه $A \sim$ قرار دارد، دستگاه در حالت اندازه‌گیری جریان AC بوده و در صفحه مانیتور علامت AC ظاهر می‌شود. اگر کلید سلکتور را بچرخانید و روی علامت V (ولت متر) قرار دهید، دستگاه برای تعیین مقدار ولتاژ DC آماده می‌شود. در سمت چپ دستگاه چهار محل اتصال سیم (ترمینال) قرار دارد، که ترمینال مشکی رنگ (Com) بصورت مشترک در تمام موارد فوق مورد استفاده قرار می‌گیرد. ترمینال V ای تعیین ولتاژ به کار می‌رود و ترمینال $20 A$ و mA برای اندازه‌گیری جریان به ترتیب در گستره میلی آمپر و تا حد ۲۰ آمپر می‌باشند.

در آزمایشگاه اغلب مولتی‌متر دیجیتال $Hiki 3200 Digital HiTester$ استفاده خواهید کرد. به اختصار توضیحی در مورد این سیستم ارائه می‌کنیم. (شکل ۲۸) تصویری از این مولتی‌متر را نشان می‌دهد.

❖ نکاتی اولیه در مورد این سیستم

- ۱- تست دستگاه نشان داده‌است که در مقابل افتادن از ارتفاع حدود ۱ متر مقاومت می‌کند، با احتیاط توجه بفرمایید که از این دستگاه با دقت کافی محافظت فرمایید.
- ۲- مدار داخلی در مقابل ورود گرد و غبار مهر و موم شده‌است.
- ۳- محافظت در مقابل ولتاژ اضافی تا $VAC 250$ (گستره $mA \mu A / \Omega$) است.
- ۴- نشانگر لامپ نئون ولتاژ اضافی (گستره $\Omega / \rightarrow$) را گزارش می‌دهد.

- ۵- ترمینال‌های فیوز، بیشینه محافظت را در مقابل شوک الکتریکی دارند.
- ۶- تمام کنترل‌ها و ترمینال‌ها بر پایه مطالعات مهندسی^۱ صورت گرفته و هر احتمال خطای انسانی را کمینه نموده‌است.



شکل (۲۸): تصویری از مولتی‌متر دیجیتال هایوکی ۳۲۰۰

عملکرد هر بخش بر اساس شماره‌گذاری در زیر ارائه شده‌است:

۱- مطالعه‌ای مربوط به طراحی محصولاتی که برای استفاده انسان‌ها آسان‌تر و راحت‌تر است.

(۱) صفحه نمایش LCD بزرگ ۱۳ میلی متری

با این صفحه نمایش خواندن متر واضح و آسان است.

(۲) قدرت تفکیک در بازه جریان

کمترین بازه جریان AC و DC ، $20 \mu A$ است. قدرت تفکیک در این بازه به مقدار $10 nA$ است.

(۳) قابلیت جریان بالا

اندازه گیری جریان تا $10 A$ امکان پذیر است.

(۴) محافظت ولتاژ تا $250 V$ میسر در گستره های جریان و مقاومت

فیوز این دستگاه محافظت کامل را در وقایع تصادفی ورودی ولتاژ به گستره جریان و اهم (به جز $10 A$) فراهم می نماید.

(۵) ساختاری مقاوم در مقابل افتادن از سطح

مولتی متر در مقابل افتادن بر روی سطحی از بتن از ارتفاع یک متر مقاوم است.

(۶) لامپ گزارش ولتاژ اضافی در گستره اهم و Ω .

ولتاژ اضافی اعمالی بر روی گستره اهم یا Ω با روشن شدن لامپ نشان گزارش داده شده و شارش جریان در مدار برای ایمنی محدود می شود.

(۷) تثبیت صفحه نمایش

قرائت صفحه نمایش می تواند با فشار ساده این دکمه متوقف شود. برای اندازه گیری در شرایطی که رسیدن به موقعیت مربوطه و ثبت آن سخت است، مناسب می باشد.

(۸) اهم توان پایین

این بخش امکان اندازه گیری مقاومت در مدار بدون روشن نمودن اتصالات نیمه هادی را فراهم می کند.

(۹) پایه نگهدارنده مناسب

به شما امکان تنظیم موقعیت صفحه نمایش در بهترین حالت را فراهم می کند.

(۱۰) تنظیم بازه خودکار

تابعی با تنظیم کاملاً خودکار (به جز گستره جریان) دستگاه را در گستره صحیح برای ورودی اعمالی نگه می دارد. تنظیم دستی بازه نیز امکان پذیر است.

در جدول (۶) بازه اندازه گیری و دقت مولتی متر ارائه شده است.

جدول (۶): بازه اندازه گیری و دقت مولتی متر (تعیین شده برای $23^{\circ}C \pm 5^{\circ}C$ ، رطوبت کمتر از ۸۰ درصد و پس از تنظیم صفر)

نکته	دقت	قدرت تفکیک	بازه	
مقاومت داخلی $> 1000 \Omega$	$\pm 0.35\%rdg. \pm 1dgt.$	$100 \mu V$	$200 mV$	D C V
مقاومت داخلی تقریباً $12 M \Omega$	$\pm 0.5\%rdg. \pm 1dgt.$	$1 mV$	$2V$	
مقاومت داخلی تقریباً $11 M \Omega$	$\pm 0.5\%rdg. \pm 1dgt.$	$10 mV$	$20V$	
مقاومت داخلی تقریباً $11 M \Omega$	$\pm 0.5\%rdg. \pm 1dgt.$	$0.1V$	$200V$	
مقاومت داخلی تقریباً $11 M \Omega$	$\pm 1.0\%rdg. \pm 1dgt.$	$1V$	$1000V$	
مقاومت داخلی تقریباً $10 K \Omega$	$\pm 1.0\%rdg. \pm 1dgt.$	$10 nA$	$20 \mu A$	D C A
مقاومت داخلی تقریباً $1 K \Omega$	$\pm 1.0\%rdg. \pm 1dgt.$	$100 nA$	$200 \mu A$	
مقاومت داخلی تقریباً 10Ω	$\pm 1.0\%rdg. \pm 1dgt.$	$10 \mu A$	$20 mA$	
مقاومت داخلی تقریباً 1Ω	$\pm 1.2\%rdg. \pm 1dgt.$	$100 \mu A$	$200 mA$	
مقاومت داخلی تقریباً $< 15 m\Omega$	$\pm 1.2\%rdg. \pm 1dgt.$	$10 mA$	$10 A$	
مقاومت داخلی تقریباً $10 K \Omega$ $40 - 500 Hz$	$\pm 1.5\%rdg. \pm 4dgt.$	$10 nA$	$20 \mu A$	A C A
مقاومت داخلی تقریباً $1 K \Omega$ $40 Hz - 1 KHz$	$\pm 1.2\%rdg. \pm 4dgt.$	$100 nA$	$200 \mu A$	
مقاومت داخلی تقریباً 10Ω $40 Hz - 1 KHz$	$\pm 1.2\%rdg. \pm 4dgt.$	$10 \mu A$	$20 mA$	
مقاومت داخلی تقریباً 1Ω $40 Hz - 1 KHz$	$\pm 1.2\%rdg. \pm 4dgt.$	$100 \mu A$	$200 mA$	
مقاومت داخلی تقریباً $< 15 m\Omega$ $40 - 500 Hz$	$\pm 1.5\%rdg. \pm 4dgt.$	$10 mA$	$10 A$	

مقاومت داخلی تقریباً $12M\Omega$ $40Hz - 500Hz$	$\pm 1.0\%rdg. \pm 4dgt.$	$1mV$	$2V$	
مقاومت داخلی تقریباً $12M\Omega$ $500Hz - 1KHz$	$\pm 2.0\%rdg. \pm 4dgt.$			
مقاومت داخلی تقریباً $11M\Omega$ $40Hz - 500Hz$	$\pm 1.0\%rdg. \pm 4dgt.$	$10mV$	$20V$	
مقاومت داخلی تقریباً $11M\Omega$ $500Hz - 1KHz$	$\pm 2.0\%rdg. \pm 4dgt.$			
مقاومت داخلی تقریباً $11M\Omega$ $40Hz - 500Hz$	$\pm 1.0\%rdg. \pm 4dgt.$	$0.1V$	$200V$	
مقاومت داخلی تقریباً $11M\Omega$ $500Hz - 1KHz$	$\pm 2.0\%rdg. \pm 4dgt.$			
مقاومت داخلی تقریباً $11M\Omega$ $40Hz - 500Hz$	$\pm 1.0\%rdg. \pm 4dgt.$	$1V$	$750V$	
مقاومت داخلی تقریباً $11M\Omega$ $500Hz - 1KHz$	$\pm 2.0\%rdg. \pm 4dgt.$			
ولتاژ ترمینال باز $0.45V >$	$\pm 0.7\%rdg. \pm 2dgt.$	0.1Ω	200Ω	O H M S
ولتاژ ترمینال باز $0.45V >$	$\pm 0.7\%rdg. \pm 2dgt.$	1Ω	$2K\Omega$	
ولتاژ ترمینال باز $0.45V >$	$\pm 0.7\%rdg. \pm 2dgt.$	10Ω	$20K\Omega$	
ولتاژ ترمینال باز $0.45V >$	$\pm 0.7\%rdg. \pm 2dgt.$	100Ω	$200K\Omega$	
ولتاژ ترمینال باز $0.45V >$	$\pm 1.0\%rdg. \pm 2dgt.$	$1K\Omega$	$2000K\Omega$	
ولتاژ ترمینال باز $0.45V >$	$\pm 2.0\%rdg. \pm 2dgt.$	$10K\Omega$	$20M\Omega$	

۳-۴-۲- اسیلوسکوپ

نوسان‌نما یا اسیلوسکوپ دستگاه الکترونیکی است که امکان مشاهده ولتاژ را فراهم می‌کند. غالباً مقدار ولتاژ به صورت نموداری دوبعدی نمایش داده می‌شود که محور افقی زمان و محور عمودی آن ولتاژ است. از اسیلوسکوپ عموماً برای نمایش دقیق موج استفاده می‌شود. علاوه بر دامنه، معمولاً اسیلوسکوپ‌ها قادر به اندازه‌گیری و نمایش دیگر پارامترها مانند عرض پالس، دوره تناوب و زمان بین دو حادثه (مانند وقوع دو پیک) هستند. اسیلوسکوپ وسیله اندازه‌گیری است، که کار آن نمایش ولتاژ بر حسب زمان است.

اسیلوسکوپ قابلیت آن را دارند که دو یا چند شکل موج ولتاژ در واحد زمان را به طور همزمان روی صفحهٔ اسیلوسکوپ نمایش دهند. همچنین این قابلیت را دارند که یک شکل موج ولتاژ را بر حسب دیگری نمایش دهند. به این مود لیسازور یا $x-y$ می‌گویند.

اسیلوسکوپ‌ها در حقیقت رسام‌های بسیار سریع هستند که سیگنال ورودی را در برابر زمان یا در برابر سیگنال دیگر نمایش می‌دهند. قلم این رسام یک لکه نورانی است که در اثر برخورد یک باریکه الکترون به پردهٔ فلورسانس بوجود می‌آید.

به علت لختی بسیار کم باریکه الکترون می‌توان این باریکه را برای دنبال کردن تغییرات لحظه‌ای (ولتاژهایی که بسیار سریع تغییر می‌کنند، با فرکانس‌های بسیار بالا) به کار برد. اسیلوسکوپ بر اساس ولتاژ کار می‌کند. البته به کمک مدل‌های (ترانزیستورها)، می‌توان جریان الکتریکی و کمیت‌های دیگر فیزیکی و مکانیکی را به ولتاژ تبدیل کرد.

البته مدل‌های جدید اسیلوسکوپ، شکل موج سیگنال را به جای روش‌های پرتوی کاندی که در بالا ذکر شد به صورت دیجیتالی روی صفحهٔ نمایش نشان می‌دهند. این اسیلوسکوپ‌های دیجیتالی علاوه بر تفاوت در نحوهٔ نمایش سیگنال، تفاوت‌های عمده‌ای در زمینه امکانات با انواع آنالوگ دارند که از جملهٔ آن‌ها می‌توان به ذخیره‌سازی شکل موج و تهیه اسکرین‌شات اشاره کرد.

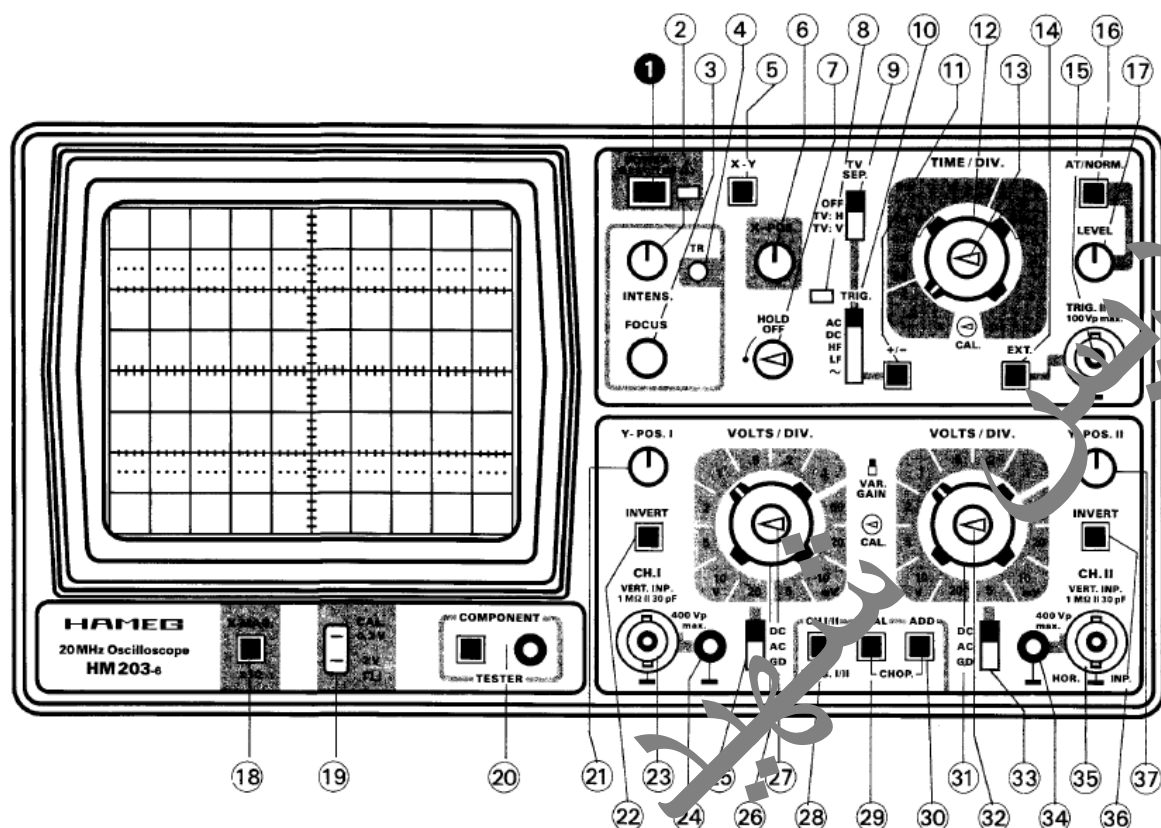
شکل (۲۹) تصویری از اسیلوسکوپ نصب‌شده بر روی میز کار الکترونیک را نشان می‌دهد.



شکل (۲۹): تصویری از اسیلوسکوپ نصب شده بر روی میز کار الکترونیکی

در بسیاری از آزمایش‌های آزمایشگاه فیزیک پایه (۲) از اسیلوسکوپ شرکت *HAMAG* استفاده می‌شود. با توجه به آنکه اصول عملکرد اسیلوسکوپ‌ها یکسان است، در ادامه توضیحاتی مبسوط در مورد این اسیلوسکوپ ارائه خواهد شد.

در شکل (۳۰) صفحه اسیلوسکوپ هامگ (*HAMEG 20 MHz*) را مشاهده می‌کنید. توضیحات لازم با توجه به شماره مربوط به هر قسمت دستگاه در صفحه بعد آورده شده است.



شکل (۱): طرح شماتیک اسیلوسکوپ HM 203-6

۱. کلید اصلی دستگاه *Power On/Off*: جهت روشن و خاموش کردن اسیلوسکوپ در کنار این کلید یک دیود نورانی وضعیت روشن یا خاموش بودن دستگاه را مشخص می کند.
۲. پیچ تنظیم شدت نور *Intens*: جهت تنظیم میزان شدت نور اشعه جاروب کننده صفحه لامپ تصویر.
توجه: هنگام شروع کار با دستگاه این پیچ را در قسمت وسط قرار دهید.
۳. پیچ تنظیم *Focus*: جهت تنظیم و متمرکز کردن اشعه جاروب کننده در یک نقطه در صورتی که اشعه تنظیم نشده باشد، منحنی های تشکیل شده روی صفحه لامپ پهن تر از معمول دیده می شوند.
۴. پیچ تنظیم *TR*: جهت افقی نمودن خط *Ground* اسیلوسکوپ.
توجه: این پیچ توسط آچار دو سو تنظیم می شود.
۵. کلید *x...y*: فشار دادن این کلید به داخل باعث می شود موج جاروب افقی لامپ اسیلوسکوپ به جای سیلاتور موج دندانان اره ای از کانال II دریافت شود.
۶. پیچ *x-Pos*: جهت کنترل موقعیت موج در محور *x* ها.

توجه: هنگام شروع کار این پیچ را در وسط قرار دهید.

۷. پیچ *Hold off*: جهت کنترل نمودن زمان بین موج دندان‌های اره‌ای جاروب افقی به کار می‌رود.

۸. لامپ *TRIG*: اگر موج دندان‌های اره‌ای جاروب افقی بتواند خود را با موج ورودی به کانالهای *I* و *II* اسیلوسکوپ هم‌زمان نماید در این صورت تصویر بدون هیچ حرکتی تشکیل می‌شود و لامپ *TRIG* نیز روشن می‌شود.

۹. لامپ به وضعیتی *TVSEP*: که دارای سه وضعیت به شرح زیر می‌باشد:

OFF: حالت کار عادی اسیلوسکوپ.

V:H: جهت کار در قسمت‌های مربوط به پالسهای هم‌زمانی افقی تلویزیون.

TV:V: جهت کار در قسمت‌های مربوط به پالسهای هم‌زمانی عمودی تلویزیون.

۱۰. کلید پنج وضعیتی *TRIG*: این کلید جهت هم‌زمان کردن موج ورودی با موج دندان‌های داخلی اسیلوسکوپ به کار می‌رود و دارای پنج وضعیت به شرح زیر می‌باشد:

AC: برای تریگر کردن موج *AC* *DC*: برای تریگر کردن موج *DC*

HF: برای تریگر کردن موج *HF* *LF*: برای تریگر کردن موج *LF*

~: حالت تریگر خط داخلی

۱۱. کلید *+/-*: جهت انتخاب شیب سیگنال نمایش داده شده

+: شروع موج با سه بالا روند (نیم سیکل مثبت)

-: شروع موج با سه پایین رونده (نیم سیکل منفی)

۱۲. کلید سلکتور *Time / Div*: جهت تنظیم فرکانس موج دنده اره‌ای جاروب افقی دارای رنجهای μs الی یک ثانیه.

۱۳. پیچ تنظیم $\odot$: این پیچ در قسمت مرکزی سلکتور *Time / Div* قرار دارد و برای تنظیم‌های فرکانس موج دنده اره‌ای جاروب افقی به کار می‌رود.

توجه: این پیچ در حالت کار عادی باید در وضعیت $\odot$ قرار گیرد.

۱۴. کلید *Ext*: جهت انتخاب حالت تریگر نمودن موج، در حالت خارج به وسیله موج داخلی و در حالت داخل به وسیله موج خارجی تریگر می‌شود.

۱۵. اتصال *TRIGINP*: جهت اعمال موج تریگر خارجی است، برای اعمال موج تریگر خارجی کلید شماره ۴ باید در حالت داخل باشد.

۱۶. کلید $AT/NORM$: جهت انتخاب حالت اتوماتیک یا نرمال تریگر است، کلید در حالت خارج تریگر اتوماتیک می‌باشد و در حالت داخل باشد عمل تریگر توسط پیچ شماره ۱۷ انجام می‌شود.

۱۷. پیچ $Level$: در صورتی که کلید ۱۶ در حالت داخل باشد عمل تریگر توسط این پیچ انجام می‌شود.

۱۸. کلید $10 \times X-Mag$: توسط فشار دادن این کلید موج نمایش داده‌شده در جهت محور x ها، ۱۰ برابر انبساط پیدا می‌کند و برای اندازه‌گیری فرکانس تا 50 MHz به کار می‌رود.

۱۹. سال $CAL\ 0.2V-2V$: عمل کنترل کالیبراسیون اسیلوسکوپ را انجام می‌دهد.

۲۰. کلید $Component\ Tester$: این کلید در حالت کار عادی باید در وضعیت خارجی قرار گیرد در صورتی که این کلید فشار داده‌شود خطی افقی روی صفحه اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود و در صورت وصل نمودن جک مربوط به زمین این خط تبدیل به خط عمودی می‌شود.

۲۱. پیچ $y-Pos-1$: جهت کنترل عمودی تصویر کانال I

۲۲. کلید $Invert\ ChI$: با فشار دادن این کلید موج نمایش داده‌شده روی صفحه معکوس می‌شود.

۲۳. اتصال $CH-I$: ورودی کانال I با امپدانس داخلی $30\ PF\ ||\ 1M\ \Omega$.

۲۴. اتصال (جک) زمین: این اتصال از داخل به زمین دستگاه متصل می‌باشد.

۲۵. کلید $AC/DC/GD$: به وسیله این کلید حالت کار دستگاه به شرح زیر تعیین می‌شود.

DC : در این حالت هم مقدار DC و هم مقدار AC موج نمایش داده می‌شود.

AC : در این حالت مقدار DC موج حذف شده و تنها مقدار AC نمایش داده می‌شود.

GD : در این حالت یک خط مستقیم بر روی صفحه اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود.

۲۶. کلید سلکتور $Volts / Div$: جهت تنظیم دامنه موج نمایش داده‌شده روی صفحه لامپ تصویر اسیلوسکوپ می‌باشد.

۲۷. پیچ تنظیم $\odot$: این پیچ در قسمت مرکزی سلکتور $Volts / Div$ قرار دارد و برای افزایش رنج اندازه‌گیری ولتاژ به کار می‌رود.

توجه: این پیچ در حالت کار عادی باید در وضعیت $\odot$ قرار گیرد.

۲۸. کلید $CH\ I/II$: جهت انتخاب کانال ورودی به کار می‌رود. در حالت خارج کانال I و در حالت داخل کانال II نمایش داده می‌شود.

۲۹. کلید $Dual$: در صورتیکه این کلید در حالت خارج باشد تنها موج یک کانال بسته به حالت کلید ۲۸ نمایش داده می‌شود و در حالت داخل هر دو موج روی صفحه ظاهر می‌شوند.

۳۰. کلید *ADD*: توسط این کلید می‌توانیم موجهای ورودی به کانالهای *I* و *II* را روی صفحه نمایش با هم جمع جبری کنیم.

۳۱. کلید سلکتور *Volt s/Div*: مانند کلید شماره ۲۶ می‌باشد.

۳۲. پیچ تنظیم : طرز عمل این پیچ مانند پیچ شماره ۲۷ می‌باشد.

۳۳. کلید *DC / AC / GD*: طرز عمل این کلید مانند کلید شماره ۲۵ می‌باشد.

۳۴. اتصال (جک) زمین: این اتصال در شماره ۲۴ توضیح داده شده‌است.

۳۵. اتصال *CH 1*: ورودی کانال *II* با امپدانس $30\ PF ||| 1\ M\Omega$

۳۶. کلید *Invert CH 1*: جهت مولکولی کردن موج نمایش داده‌شده کانال *II*

۳۷. پیچ *y-Pos II*: جهت کنترل عمودی تصویر کانال *II*

بخش دوم:

پیشگیری
در جای
ارو حبه

فهرست آزمایش‌های فیزیک پایه (۲)

شماره آزمایش	عنوان آزمایش
۱	بازه فرکانسی یک مالتی‌متر در گستره ولتاژ و جریان
۲	اندازه‌گیری مقدار میانگین و ریشه میانگین مربع شکل موج‌های سیگنال‌های مختلف
۳	بررسی رفتار آمپر متر به عنوان مقاومت اهمی در مدارات الکتریکی
۴	بررسی رفتار ولت متر به عنوان مقاومت اهمی در مدارات الکتریکی
۵	تحقیق قانون اهم و اندازه‌گیری مقاومت‌های ویژه
۶	الف) اصول عملکردی پل وستون ب) تعیین مقاومت‌ها با استفاده از پل وستون و پل تار
۷	تعیین ظرفیت خازن تخت و میزبان بار الکتریکی ذخیره شده در صفحات خازن
۸	الف) ژنراتور قطب داخلی ولتاژ AC تک فاز ب) بررسی شکل کلی ولتاژ متناوب خروجی ژنراتور AC
۹	الف) تعیین راکتانس خازنی با استفاده از پل اندازه‌گیری وین ب) تعیین مقاومت القایی با استفاده از پل اندازه‌گیری ماکسول پ) بررسی رفتار سیم‌پیچ‌ها در مدارات موازی و سری
۱۰	تعیین امپدانس در مدارهای RLC
۱۱	تبدیل ولتاژ و جریان با استفاده از یک ترانسفورماتور
۱۲	الف) موتور ولتاژ متناوب همگام ب) موتور الکترومغناطیسی تک فاز پ) مدلی از یک ترانسفورماتور جریان بالا- کوره القایی ت) مدلی از یک ترانسفورماتور جریان بالا- ذوب یک میخ

آزمایش شماره (۱)

بررسی بازه فرکانسی یک مالتی متر در گستره
ولتاژ و جریان

آزمایش شماره (۱)

عنوان آزمایش

بازه فرکانسی یک مالتی متر در گستره ولتاژ و جریان

اهداف آزمایش

۱- آشنایی با عملکرد مولتی متر (به ویژه بخش آمپر متر و ولت متر)

۲- تعیین نحوه پاسخ دهی آمپر متر و ولت متر

ادوات مورد نیاز

۱- یک مولتی متر دیجیتال

۲- برد A4

۳- مقاومت 100Ω یا 150Ω

۴- ترانس $6V$ ، $12V$ و $30W$

۵- فانکشن ژنراتور SI2

۶- سیم های رابط

تئوری آزمایش

ادوات اندازه گیری، به دلیل طراحی تکنیکی خود وابستگی فرکانسی دارند، این به دلیل مدارات الکترونیکی موجود و قابلیت سوئیچ نمودن المان های الکترونیکی در این ابزار اندازه گیری است. این رفتار به وضوح در اندازه گیری ولتاژ و جریان در فرکانس های مختلف مشهود است. در یک ولتاژ ثابت، آن چه در فرکانس های مختلف توسط ولت متر و آمپر متر اندازه گیری و ثبت می شود، ثابت نیست.

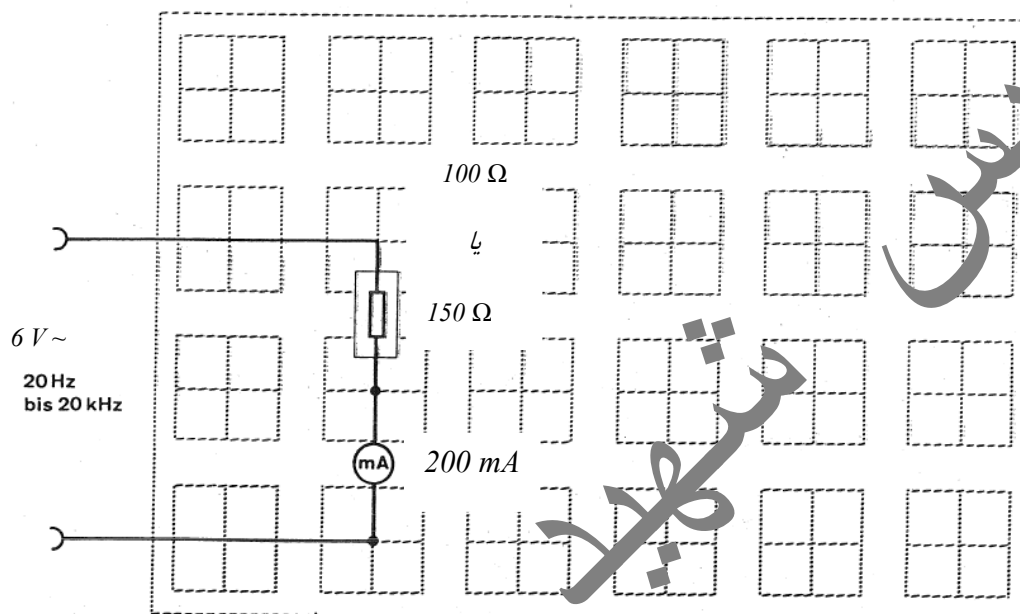
نحوه انجام آزمایش

الف) تعیین رفتار فرکانسی آمپر متر

۱- ابزار اندازه گیری را به صورت سری به مقاومت 100Ω یا 150Ω و فانکشن ژنراتور^۱ متصل نمایید (شکل (۱)).

۱- حتماً مود فانکشن ژنراتور را مود موج سینوسی انتخاب کنید، زیرا مالتی مترها برای موج سینوسی کالیبره شده اند.

- ۲- رنج مولتی متر را 200 mA انتخاب نمایید. حتماً ابزار اندازه گیری را آمپر متر انتخاب کنید.
- ۳- ابتدا فرکانس فانکشن ژنراتور را 1 Hz انتخاب نمایید و قدم به قدم میزان فرکانس را افزایش دهید.
- ۴- در هر مرحله پس از تغییر، اندکی به فانکشن ژنراتور و مولتی متر زمان بدهید تا پایدار شود.



شکل (۱): چیدمان مدار برای ثبت پاسخ فرکانسی در بازه جریان، فرکانس های $20\text{ Hz} - 20\text{ kHz}$

- ۵- در هر مرحله مقدار جریان گذرنده از مدار را بخوانید و در جدول (۱) ثبت نمایید.
- ۶- مقدار جریان گذرنده را در مقدار مقاومت اهمی ضرب نموده و ولتاژ و ولتاژ و سر مقاومت را محاسبه نموده و در جدول (۱) ثبت نمایید.
- ۷- حال یک مولتی متر عقربه ای را جایگزین مولتی متر دیجیتالی نموده، گستره مناسب اندازه گیری را انتخاب نمایید. مشاهدات خود را در حالی که فرکانس را تغییر می دهید، ثبت نمایید.

جدول (۱): مقادیر جریان و ولتاژ اندازه‌گیری شده در فرکانس‌های مختلف

$f \text{ (Hz)}$	$I \text{ (mA)}$	$U \text{ (V)}$
۱		
۵		
۱۰		
۵۰		
۱۰۰		
۲۰۰		
۵۰۰		
۱۰۰۰		
۲K		
۴K		
۶K		
۸K		
۱۰K		
۱۲K		
۱۴K		
۱۶K		
۱۸K		
۲۰K		

ب) تعیین رفتار فرکانسی ولت‌متر

۱- آزمایش بخش (الف) را با اتصال موازی مولتی‌متر به مقاومت ۱۰۰ یه ۱۵۰ اهم و اندازه‌گیری ولتاژ تکرار نمایید.

۲- ارقام اندازه‌گیری شده خود را در جدول (۲) ثبت نمایید.

۳- در یک تصویر، نمودار ولتاژ ناشی از مدار (۱) بر حسب فرکانس به همراه ولتاژ ناشی از مدار (۲) بر حسب فرکانس رسم نمایید (گرافها به صورت نیمه‌لگاریتمی باشد، یعنی محور y خطی و محور x لگاریتمی باشد).

جدول (۲): مقادیر ولتاژ اندازه‌گیری شده در فرکانس‌های مختلف

$f \text{ (Hz)}$	$U \text{ (V)}$
۱	
۵	
۱۰	
۵۰	
۱۰۰	
۲۰۰	
۵۰۰	
۱۰۰۰	
۲K	
۴K	
۶K	
۸K	
۱۰K	
۱۲K	
۱۴K	
۱۶K	
۱۸K	
۲۰K	

سوالات

- ۱- آیا مولتی‌متر در حالت ولت‌متر و آمپر‌متر رفتار یکسانی نسبت به تغییر فرکانس اختیار می‌کند؟
- ۲- آیا به نظر شما تغییر بازه ولتاژ و جریان در پاسخ فرکانسی تأثیر دارد؟
- ۳- با ابزارهای موجود آزمایشی طراحی کنید، که بتوان بر اساس آن پاسخی صحیح و دقیق به سوال (۲) داد.
- ۴- پس از انجام این آزمایش در هنگام خرید مولتی‌متر به چه نکاتی توجه می‌کنید؟

آزمایش شماره (۲)

اندازه‌گیری مقدار میانگین و ریشه میانگین
مربع شکل موج‌های سیگنال‌های مختلف

آزمایش شماره (۲)

عنوان آزمایش:

اندازه‌گیری مقدار میانگین و ریشه میانگین مربع شکل موج‌های سیگنال‌های مختلف

اهداف آزمایش:

۱- آشنایی با عملکرد دستگاه تولید اشکال مختلف موج (فانکشن ژنراتور) و دستگاه نمایشگر موج (اسیلوسکوپ)

۲- اندازه‌گیری میانگین و مقدار ریشه میانگین مربع^۱ شکل موج سینوسی، مثلثی و مربعی سیگنال

ادوات مورد نیاز:

۱- مولتی‌متر دیجیتال

۲- فانکشن ژنراتور

۳- برد $A4$

۴- پراب دو عدد و یا مبدل BNC به همراه سیم رابط

۵- سیم‌های رابط

۶- مقاومت‌های $1K\Omega$ و $10K\Omega$

تئوری آزمایش:

در جریان متناوب^۲ (AC) جهت حرکت (یا جریان) بار الکتریکی به تناوب عکس می‌شود. به عنوان مثال،

بار الکتریکی به جلو، سپس عقب، سپس جلو، سپس عقب و ... حرکت می‌کند، و این حرکت ادامه دارد. در جریان

1 - Root Mean Square (RMS)

2 - Alternating Current (AC)

مستقیم^۳ (DC)، حرکت (یا جریان) بار الکتریکی تنها در یک جهت است. در جریان متناوب دو فاکتور مقدار میانگین و مقدار ریشه میانگین مربع مورد توجه قرار می‌گیرد. این دو مقدار به صورت زیر توصیف می‌شوند:

❖ مقدار میانگین:

مقدار میانگین جریان AC به وسیله جریان DC ثابتی توصیف می‌شود که در یک مدار انتقال پیدا می‌کند و تغییراتی را ایجاد می‌کند که همان جریان AC در یک پریود زمانی ایجاد می‌کند.

❖ مقدار ریشه میانگین مربع:

مقدار RMS جریان متناوب، با جریان DC پایداری توصیف می‌شود که هنگامی که برای زمان مشخص در میان مدار جریان می‌یابد همان حرارت را تولید می‌کند که در زمان یکسان در مدار یکسان جریان متناوب تولید می‌کند. در حالت معمول جریان متناوب هنگامی که $I(t)$ یک جریان سینوسی هستند، رابطه زیر برای مقدار RMS جریان برقرار است:

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

که در آن I_p جریان بیشینه و ω فرکانس زاویه‌ای ($\omega = \frac{2\pi}{T}$ است، که T تناوب موج است) هستند. برای یک ولتاژ سینوسی $V(t) = V_{Peak} \sin(\omega t + \theta)$ ، مقدار V_{RMS} از رابطه زیر حاصل می‌شود:

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

فاکتور $\sqrt{2}$ در این رابطه فاکتور کُرس^۴ نامیده می‌شود. فاکتور کُرس و جریان‌های پیک از ملاقات مهم در انتخاب منبع توان است. فاکتور کُرس به صورت نسبت مقدار پیک به مقدار RMS یک شکل موج است. رابطه (۳):

3 - Direct Current(DC)
4 - Crest factor

$$\text{Crest factor} = \frac{\text{(مقدار بیشینه موج)}}{\text{(مقدار RMS موج)}} \quad (3)$$

برای یک موج مثلثی با مرکز حول صفر

$$\sqrt{3} = \frac{V_{\text{Peak}}}{V_{\text{RMS}}}$$

و برای موج مربعی شکل گرفته حول صفر

$$V_{\text{RMS}} = V_{\text{Peak}} \quad (5)$$

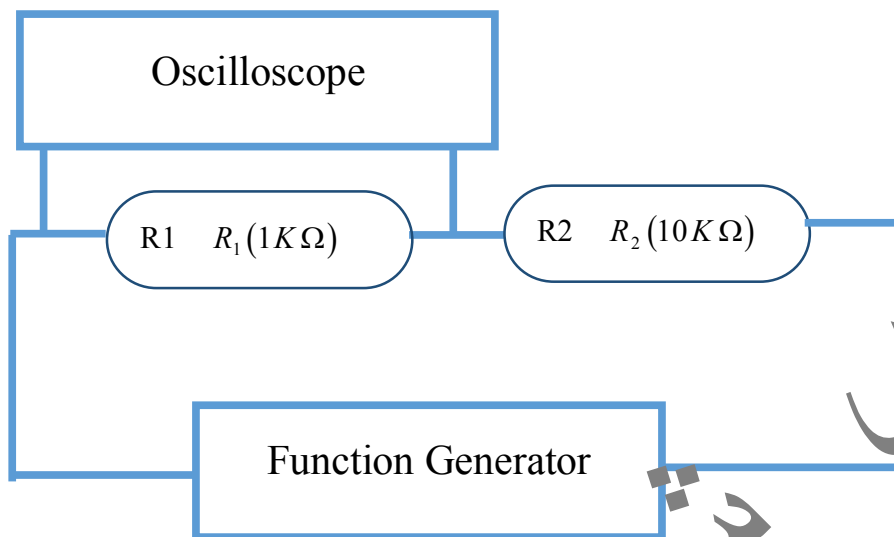
است.

در این آزمایش با استفاده از دو ابزار اندازه گیری (اسیلوسکوپ و مولتی متر) موضوعات فوق مورد بررسی و تحلیل قرار می گیرد. در ادامه روش انجام آزمایش معرفی خواهد شد.

➤ روش انجام آزمایش:

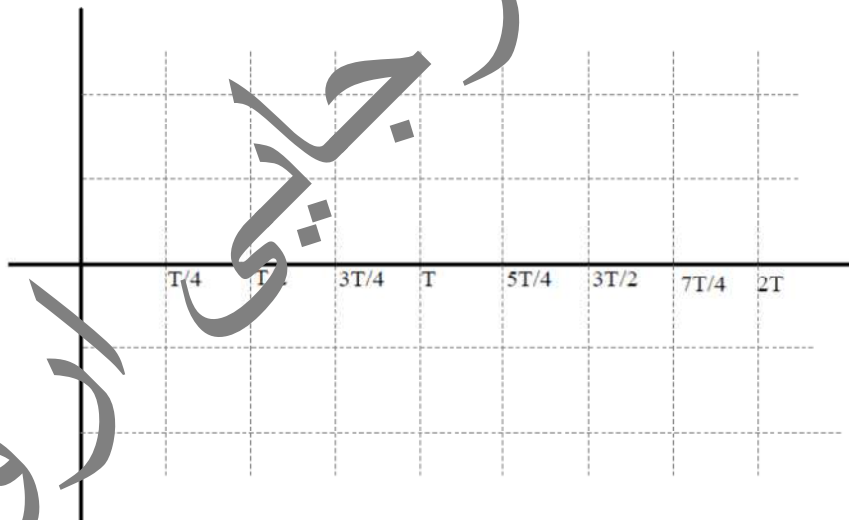
الف – مشاهدات:

- ۱- مقاومت $1\text{ K}\Omega$ و $10\text{ K}\Omega$ را به صورت سری به فانکشن ژنراتور متصل کنید (شکل (۱)).
- ۲- دو سر مقاومت $1\text{ K}\Omega$ را به کانال (۱) اسیلوسکوپ متصل نموده و شاخص فانکشن ژنراتور را بر روی "۳" و فرکانس آن را " 1 KHz " انتخاب کنید.



شکل (۱): دیاگرام مدار آشنایی یا فانکشن ژنراتور و اسیلوسکوپ

۳- شکل موج را در امتداد مقاومت $1\text{ K}\Omega$ برای موج مثلثی، مربعی و سینوسی در شکل (۲) تا (۴) رسم نمائید.



شکل (۲): شکل موج فانکشن ژنراتور (موج سینوسی)

الف) $V_{P-P} =$

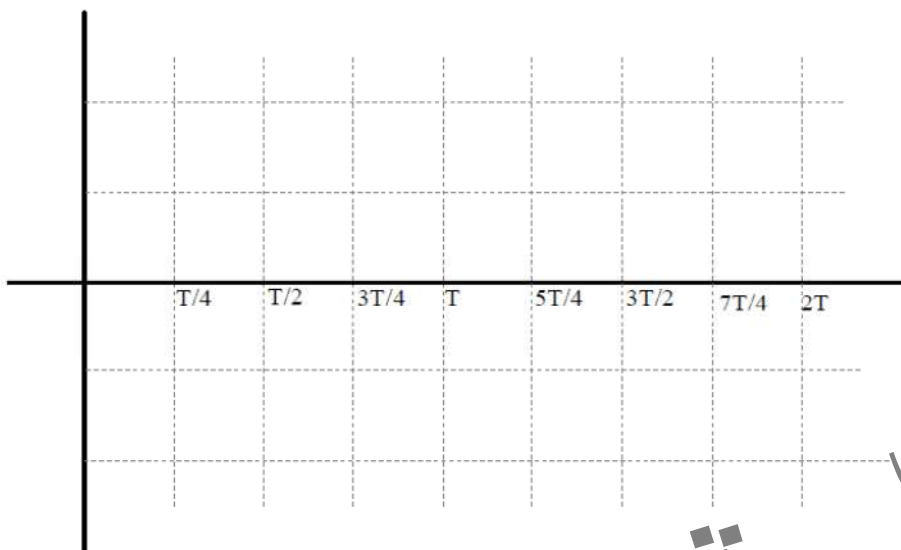
ب) $V_P =$

ج) $V_{avg} =$

د) $V_{rms} =$

و $V_{rms} =$ (از اندازه گیری)

(از محاسبه)



شکل (۳): شکل موج فانکشن ژنراتور (موج مربعی)

الف) $V_{P-P} =$

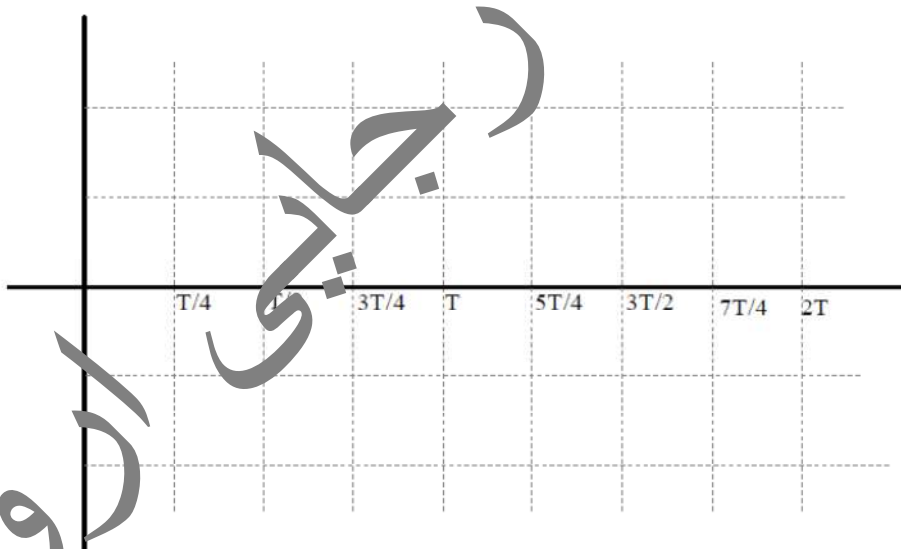
ب) $V_P =$

ج) $V_{avg} =$

د) $V_{rms} =$

$V_{rms} =$ و (از اندازه گیری)

(از محاسبه)



شکل (۴): شکل موج فانکشن ژنراتور (موج مثلی)

الف) $V_{P-P} =$

ب) $V_P =$

ج) $V_{avg} =$

د) $V_{rms} =$

$V_{rms} =$ و (از اندازه گیری)

(از محاسبه)

ب- اندازه‌گیری پارامترهای امواج تولیدی فانکشن ژنراتور با استفاده از اسیلوسکوپ

و مقایسه آن با مولتی‌متر

- ۱- مدار شکل (۱) را ببندید.
 - ۲- مقدار پیکان‌نویسی فانکشن ژنراتور را بر روی 50 Hz تنظیم کنید.
 - ۳- زمین (۱) اسیلوسکوپ را تنظیم کنید و سپس مود آن را DC انتخاب کنید.
 - ۴- دوسر کل مدار را به کانال (۱) را به دوسر مقاومت $1\text{ K}\Omega$ را متصل نمایید.
 - ۵- از انتخاب مود DC اطمینان حاصل موده و شکل موج را مشاهده کنید.
 - ۶- دامنه و زمان تناوب را ثبت نمایید.
 - ۷- مولتی‌متر را بر روی مود AC تنظیم نمایید و ولتاژ دو سر مقاومت $1\text{ K}\Omega$ ثبت نمایید. این مقادیر، مقدار RMS موج سینوسی AC است.
 - ۸- برای اندازه‌گیری ولتاژ میانگین مولتی‌متر را بر روی مود C تنظیم و ولتاژ را اندازه بگیرید.
 - ۹- آزمایش را برای فرکانس‌های جدول (۱) تکرار نمایید.
 - ۱۰- با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری‌شده، جداول (۱) را تکمیل نمایید.
- ! توجه نمایید که مولتی‌متر طراحی شده است که مقدار RMS سیگنال سینوسی را اندازه‌گیری کند و هنگامی که برای سیگنال‌های دیگر به کار گرفته می‌شوند، اندکی خطا دارند.**

⁵ -Ground

جدول (۱): مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده اندازه‌گیری ولتاژ دو سر مقاومت $K\Omega$ ۱ برای میانگین برای سیگنال AC (برای

شاخص ۲ فانکشن ژنراتور)

الف) موج سینوسی

		50 Hz	1000 Hz	5000 Hz
اسیلوسکوپ	$T(ms)$			
	$f(Hz)$			
	$V_{P-P}(V)$			
	$V_{rms} (V)$			
ولت‌متر	$V_{avg} (V)$			
	$V_{rms} (V)$			
	Crest Number			

ب) موج مثلثی

		50 Hz	1000 Hz	5000 Hz
اسیلوسکوپ	$T(ms)$			
	$f(Hz)$			
	$V_{P-P}(V)$			
	$V_{rms} (V)$			
ولت‌متر	$V_{avg} (V)$			
	$V_{rms} (V)$			
	Crest Number			

ج) موج مربعی

		50 Hz	1000 Hz	5000 Hz
اسیلوسکوپ	$T(ms)$			
	$f(Hz)$			
	$V_{P-P}(V)$			
	$V_{rms} (V)$			
ولت‌متر	$V_{avg} (V)$			
	$V_{rms} (V)$			
	Crest Number			

۱۱- مقدار افت ولتاژ دوسر مقاومت $1K\Omega$ را با ولتاژ دوسر مقاومت $10K\Omega$ توسط اسیلوسکوپ بررسی و مقایسه

نمائید ($f=50Hz$). منبع را بر روی موج سینوسی تنظیم نمائید.

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

شاخص منبع	$V_{P-P}(V)(1K\Omega)$	$V_{P-P}(V)(10K\Omega)$
۲		
۴		
۶		

سؤالات:

۱- مقدار ولتاژ RMS را با رهیافت 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 بالاترین V_{RMS} را دارد.

۴- در چه سیگنالی V_{RMS} و V_{avg} می تواند یکسان باشد؟

۵- فاکتور کرست سه نوع موج با مقادیر اندازه گیری شده تطبیق دارد؟ اگر خطایی وجود دارد ناشی از

چیست؟ آن را محاسبه کنید.

۶- مقدار V_{P-P} را بر حسب V_{RMS} برای یک فرکانس و سه نوع موج رسم نمائید. شیب خط نمودار چیست؟

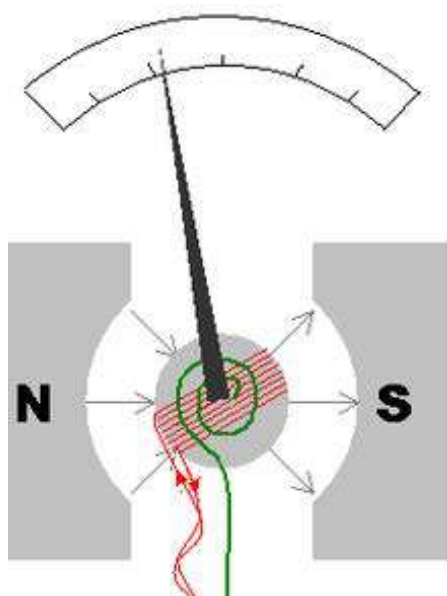
۷- آیا V_{RMS} تابعیت فرکانس دارد؟ آیا مشاهدات شما با نتایج محاسبه همخوانی دارد؟

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



آزمایش شماره (۳)

بررسی رفتار آمپر متر به عنوان مقاومت اهمی
در مدارات الکتریکی



آزمایش شماره (۳)

عنوان آزمایش

بررسی رفتار آمپر متر به عنوان مقاومت اهمی در مدارات الکتریکی

اهداف آزمایش

- ۱- تعیین مقاومت داخلی آمپر متر
- ۲- افزایش اندازه گیری جریان با اتصال یک شنت^۱ به صورت موازی

ادوات مورد نیاز

- ۱- دو مولتی متر دیجیتال
- ۲- برد A4
- ۳- مقاومت $10\ \Omega$ شش عدد
- ۴- مقاومت $100\ \Omega$ یک عدد
- ۵- مجموعه ۱۰ تایی پل های ارتباطی
- ۶- منبع تغذیه DC
- ۷- سیم های رابط

تئوری آزمایش

ادوات اندازه گیری، به دلیل طراحی تکنیکی خود مقاومت اهمی دارند، که به عنوان مقاومت داخلی R_i نیز شناخته می شود. این ادوات اغلب هم برای اندازه گیری جریان و هم برای اندازه گیری ولتاژ در مدارات الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرند.

یک نتیجه مهم قوانین کیرشهف آن است که این مقاومت داخلی بر روی جریان و در نتیجه آن افت ولتاژ مدار الکتریکی تحت مطالعه تأثیر می گذارد. آمپر متر به صورت سری در مدار قرار می گیرد تا مقدار جریان شارش یافته در مدار را اندازه گیری نماید. پس، آمپر متر به دلیل مقاومت داخلی، مقاومت کل مدار را افزایش می دهد. در

نتیجه در مقایسه با یک مدار بدون المان اندازه‌گیری، جریان کمتری از میان آن می‌گذرد. در این آزمایش در ابتدا مقاومت داخلی آمپر متر با اندازه‌گیری افت ولتاژ دو سر آمپر متر در حین اندازه‌گیری جریان، تعیین می‌شود. برای دستیابی به معادله‌ای جهت محاسبه مقاومت داخلی آن، در ابتدا قانون اهم اعمال می‌شود:

$$R_i = \frac{U}{I_{R_i}} \quad (۱)$$

که در آن I_{R_i} جریان گذرنده از میان المان اندازه‌گیری است.

در بخش دوم آزمایش اثر آمپر متر بر مدار الکتریکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این بخش یک مدار الکتریکی ساده متشکل از یک مقاومت اهمی، R و یک آمپر متر مورد استفاده است. مقاومت کل این مدار حاصل جمع مقاومت R و مقاومت داخلی وسیله اندازه‌گیری، $R_{i,1}$ ، است:

$$R_G = R + R_{i,1} \quad (۲)$$

سپس، آمپر متر دوم در مدار قرار داده می‌شود. مقاومت کل مدار به اندازه مقاومت داخلی آمپر متر افزایش می‌یابد.

$$R_G^* = R_G + R_{i,2} \quad (۳)$$

نسبت جریان‌ها چنین به دست می‌آید:

$$\frac{I}{I_{R_i}} = \frac{R_G^*}{R_G} = \frac{R_G + R_{i,2}}{R_G} = 1 + \frac{R_{i,2}}{R_G} \quad (۴)$$

که در آن I جریان قبل از اتصال آمپر متر دوم، I_{R_i} جریان بعد از اتصال آمپر متر دوم، R_G^* مقاومت مدار بعد از اتصال آمپر متر دوم و R_G مقاومت مدار قبل از اتصال آمپر متر دوم می‌باشد.

در بخش پایانی، اگر جریانی که باید اندازه‌گیری شود، از بیشینه بازه اندازه‌گیری المان اندازه‌گیری بیشتر باشد، باید یک مقاومت (شنت) به صورت موازی به آمپر متر متصل شود، تا مقداری از جریان گذرنده از آمپر متر به آن منتقل شود. فاکتوری که مقدار جریان اندازه‌گیری شده، I_{R_i} ، باید در آن ضرب شود تا مقدار حقیقی جریان، I ، به دست آید، با استفاده از قوانین کیرشهف و قانون اهم به دست می‌آید. طبق قانون کیرشهف چنین نوشتن می‌شود:

$$I = I_{R_i} + I_{R_p} \quad (۵)$$

که در آن I جریان کل، I_{R_p} ، جریان گذرنده از میان شنت است. افت ولتاژ در آمپر متر و شنت یکسان است، یعنی:

$$I_{R_p} \cdot R_p = I_{R_i} \cdot R_i \quad (6)$$

$$I_{R_p} = I_{R_i} \cdot \frac{R_i}{R_p} \quad (7)$$

با جایگذاری معادله (۷) در معادله (۵) رابطه زیر حاصل می شود:

$$I = I_{R_i} \cdot \left(1 + \frac{R_i}{R_p} \right) \quad (8)$$

عبارت داخل براکت همان فاکتوری است که جستجو می شده است. هر چه مقاومت شنت نسبت به مقاومت داخلی آمپر متر کوچک تر باشد، این فاکتور بزرگ تر است، یعنی گسترش بازه اندازه گیری بیشتر است.

◀ نحوه انجام آزمایش

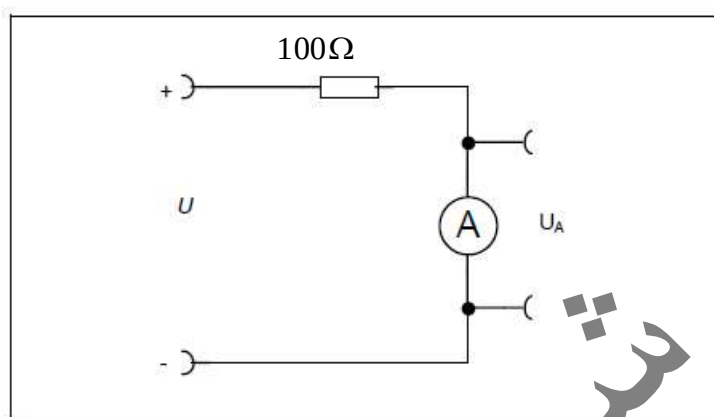
الف) تعیین مقاومت داخلی

- ۱- چیدمان آزمایش را طبق شکل (۱) آماده نمایید.
- ۲- به کمیات مورد اندازه گیری و پلاریته همه ادوات اندازه گیری به کار رفته در آزمایش دقت کنید.
- ۳- بازه اندازه گیری آمپر متر را 20 mA تنظیم کنید.
- ۴- منبع تغذیه را روشن نموده و به دقت ولتاژ را افزایش دهید تا جریانی که توسط آمپر متر اندازه گیری می شود، حدود ۲۰ میلی آمپر شود.
- ۵- افت ولتاژ U_A را توسط ولت متر اندازه گیری نموده و در جدول (۱) ثبت کنید.
- ۶- منبع تغذیه را روی صفر ولت تنظیم نمایید^۲.

۲ - پس از هر آزمایش ولتاژ را به صفر بازگردانید تا بار اضافی بر روی آمپر متر A با سیم کشی جدید جلوگیری نمایید.

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

$I_{R_i} (mA)$	$U_A (V)$	$R_i (M\Omega)$



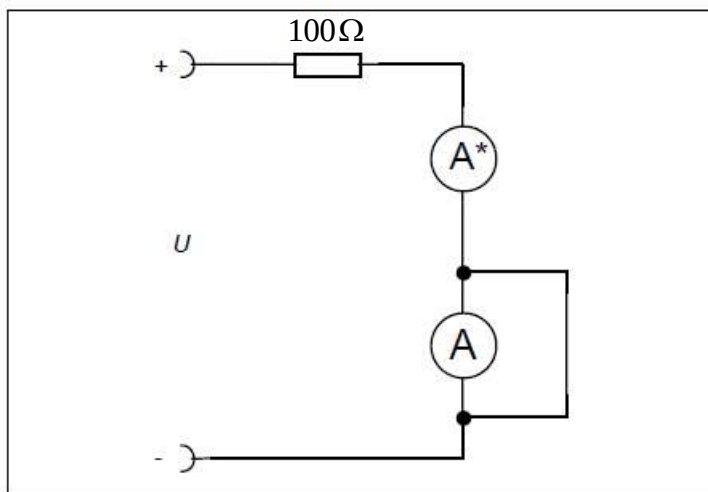
شکل (۱): جان آزمایش اندازه گیری مقاومت داخلی آمپر متر

ب) اثر آمپر متر بر روی جریان مدارات الکتریکی

- ۱- آمپر متر A^* را طبق شکل (۲) به مدار متصل نماید.
- ۲- ابتدا با یک پل ارتباطی آمپر متر A را اتصال کوتاه نمایید.
- ۳- بازه اندازه گیری آمپر متر A^* را بر روی 20 mA تنظیم کنید.
- ۴- ولتاژ را به دقت افزایش دهید تا آمپر متر A^* جریان حدود 20 mA را نشان دهد.
- ۵- پل ارتباطی اتصال کوتاه آمپر متر A را بردارید تا هر دو آمپر متر در مدار بمانند.
- ۶- جریان را اندازه گیری نموده و ثبت کنید.
- ۷- ولتاژ را به صفر بازگردانید.

جدول (۲): مقادیر مربوط به آزمایش بررسی اثر آمپر متر بر روی جریان مدارات الکتریکی

$I (mA)$	$I (mA)$	$I^* (mA)$	$I (mA)$
محاسبه شده از تئوری	پس از اتصال آمپر متر A	پس از اتصال آمپر متر A	قبل از اتصال آمپر متر A

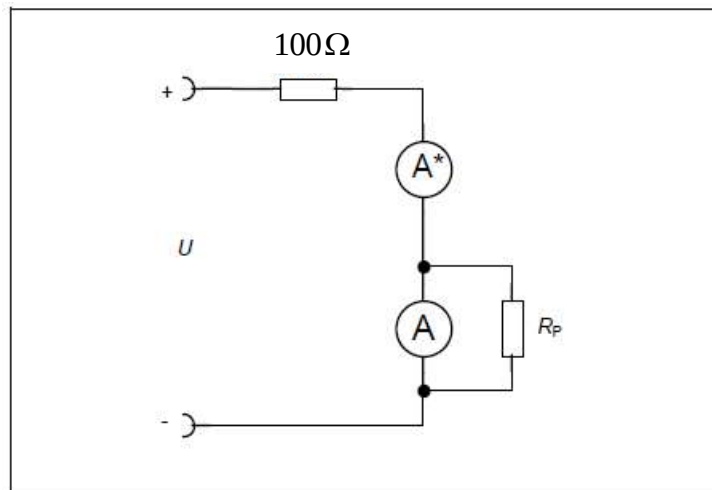


شکل (۲): چیدمان آزمایش بررسی اثر آمپر متر بر جریان مدار الکتریکی تحت اندازه گیری

ج) افزایش بازه اندازه گیری آمپر متر

- ۱- بازه اندازه گیری آمپر متر A^* را بر روی 100Ω تنظیم کنید.
 - ۲- سپس مقاومت شنت را به صورت موازی طبق شکل (۳) به آمپر متر A متصل کنید. ابتدا مقاومت شنت 10Ω را به آمپر متر متصل کنید.
 - ۳- با دقت ولتاژ را افزایش دهید تا آمپر متر A^* جریان حدود 20 mA را نشان دهد.
 - ۴- جریان I بر روی آمپر متر A^* و جریان I_{R_i} بر روی آمپر A را ثبت نمایید.
 - ۵- ولتاژ منبع تغذیه را به صفر بازگردانید.
 - ۶- آزمایش را با دیگر مقاومت های شنت طبق جدول (۳) ادامه دهید. با اتصال سری و موازی مقاومت های موجود مقاومت های زیر را بسازید و جدول را تکمیل نمایید. پس از هر اندازه گیری ولتاژ را به مقدار صفر بازگردانید.
- جدول (۳): آزمایش افزایش بازه اندازه گیری جریان آمپر متر

$R_p (\Omega)$	$I (mA)$	$I_{R_i} (mA)$	$\frac{I}{I_{R_i}}$	$\left(1 + \frac{R_i}{R_p}\right)$
۱۰				
۵				
۳/۳۴				
۲/۵				
۲				
۱/۶۷				



شکل (۳) پیدمان آزمایش افزایش بازه اندازه گیری ولت متر

سوالات

- ۱- در اندازه گیری جریان های با مقدار بسیار بالاتر از گستره آمپر مترهای معمول از چه تکنیکی استفاده می کنند؟ فاکتور افزایش بازه اندازه گیری چه مقدار است؟
- ۲- آیا با تغییر بازه آمپر متر از 20 mA به 200 mA یا 10 A مقاومت داخلی آن تغییر می کند؟
- ۳- دقت اندازه گیری مقاومت داخلی آمپر متر به چه پارامترهایی وابسته است؟ در اندازه گیری مقاومت داخلی اگر از مقاومت $1\text{ k}\Omega$ یا $1\text{ M}\Omega$ استفاده نماییم، آیا دقت بهر حال بد رفت؟
- ۴- می خواهیم جریانی به میزان 100 A را با آمپر متری با بیسینه اندازه گیری 10 A اندازه گیری نماییم، مقدار مقاومت شنت مورد نیاز را محاسبه نمایید؟
- ۵- تغییر دقت اندازه گیری آمپر متر با افزایش بازه اندازه گیری آن را محاسبه نمایید.
- ۶- خطای مربوط به مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر تئوری ناشی از چیست؟ خطای مربوط به آن را محاسبه نمایید.



آزمایش شماره (۴)

بررسی رفتار ولت متر به عنوان مقاومت اهمی
در مدارات الکتریکی



آزمایش شماره (۴)

عنوان آزمایش

بررسی رفتار ولت‌متر به عنوان مقاومت اهمی در مدارات الکتریکی

اهداف آزمایش

- ۱- تعیین مقاومت داخلی ولت‌متر
- ۲- افزایش بهانه اندازه‌گیری ولت‌متر با اتصال یک مقاومت کاهنده^۱ به صورت سری

ادوات مورد نیاز

- ۱- دو مولتی‌متر دیجیتال
- ۲- برد A4
- ۳- مقاومت $1\text{ M}\Omega$ دو عدد
- ۴- مقاومت $100\text{ M}\Omega$ سه عدد
- ۵- مقاومت $10\text{ M}\Omega$ یک عدد
- ۶- مجموعه ۱۰ تایی پل‌های ارتباطی
- ۷- منبع تغذیه DC
- ۸- سیم‌های رابط

تئوری آزمایش

ادوات اندازه‌گیری اغلب هم برای اندازه‌گیری ولتاژ و هم برای اندازه‌گیری جریان در مدارات الکتریکی که مقاومت اهمی دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرند، و همچنین به دلیل طراحی تکنیکی‌شان به عنوان مقاومت داخلی R_i نیز شناخته می‌شوند.

نتیجه مهم قوانین کیرشهف آن است که این مقاومت داخلی بر روی جریان و در نتیجه آن افت ولتاژ مورد مطالعه در مدار تأثیر می‌گذارد. ولت‌متر به صورت موازی به المان تحت اندازه‌گیری متصل می‌شود به گونه‌ای که

1 - Dropping resistor

جریان کمتری از میان آن‌ها می‌گذرد. بنابراین، یک ولت‌متر مقاومت کل مدار الکتریکی را کاهش می‌دهد. بنابراین، در مقایسه با مدار بدون ادوات اندازه‌گیری، جریان بیشتری شارش نموده و در نتیجه آن افت ولتاژ تغییر می‌کند.

بر این آزمایش ابتدا مقاومت داخلی ولت‌متر با اندازه‌گیری جریان گذرنده از میان ولت‌متر در طی اندازه‌گیری ولتاژ تعیین می‌شود. قانون اهم به کار برده می‌شود:

$$R_i = \frac{U_{R_i}}{I_{R_i}} \quad (1)$$

که در آن I_{R_i} جریان گذرنده از میان ولت‌متر، و U_{R_i} افت ولتاژ در ولت‌متر هستند.

در بخش دوم آزمایش تأثیر ولت‌متر بر مدار الکتریکی آشکار می‌شود. این بخش شامل یک مدار الکتریکی ساده متشکل از دو مقاومت R_1 و R_2 ، و اندازه‌گیری افت ولتاژ U در مقاومت R_1 است. افت ولتاژ (بدون ولت‌متر):

$$U = U_G \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

است که در آن U_G ولتاژ کل هست.

اگر یک ولت‌متر به صورت موازی به مقاومت R_1 متصل شود، افت ولتاژ U_{R_i} اتفاق می‌افتد:

$$U_{R_i} = U_G \cdot \frac{R^*}{R^* + R_2} \quad (3)$$

که در آن

$$R^* = \frac{R_1 \cdot R_i}{R_1 + R_i} \quad (4)$$

مقاومت اتصال موازی است. در نتیجه نسبت ولتاژها چنین به دست می‌آید:

$$\frac{U}{U_{R_i}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{(R_1 + R_2) \cdot R_i} + 1 \quad (5)$$

در بخش پایانی، اگر ولتاژی که باید اندازه‌گیری شود، از بیشینه بازه اندازه‌گیری وسیله بیشتر باشد، باید یک مقاومت کاهنده ولتاژ به کار گرفته شود تا افت ولتاژ ایجاد نماید. فاکتوری که مقدار اندازه‌گیری شده ولتاژ U_{R_i} باید در آن ضرب شود تا ولتاژ دقیق U به دست آید، از قوانین کیرشهف و قانون اهم حاصل می‌شود. ولتاژ کل حاصل جمع ولتاژ دو سر ولتمتر و افت ولتاژ مقاومت کاهنده است، که چنین نوشته می‌شود:

$$U = U_{R_V} + U_{R_i} \quad (۶)$$

جریان گذرنده از میان ولتمتر برابر جریان گذرنده از میان مقاومت کاهنده است، یعنی:

$$\frac{U_{R_i}}{R_i} = \frac{U_{R_V}}{R_V} \quad (۷)$$

یا

$$U_{R_V} = U_{R_i} \cdot \frac{R_V}{R_i} \quad (۸)$$

با جایگذاری معادله (۸) در معادله (۶) چنین حاصل می‌شود:

$$U = U_{R_i} \cdot \left(1 + \frac{R_V}{R_i} \right) \quad (۹)$$

عبارت داخل براکت فاکتوری است که جستجو می‌شده است. با انتخاب مقاومت کاهنده بزرگ‌تر نسبت به مقاومت داخلی ولتمتر، این فاکتور بزرگ‌تر می‌شود، یعنی، بازه اندازه‌گیری توسعه بیشتری می‌یابد.

نحوه انجام آزمایش

الف) تعیین مقاومت داخلی

- ۱- چیدمان آزمایش را طبق شکل (۱) آماده نمایید. به کمیات مورد اندازه‌گیری و پلاریته ادوات اندازه‌گیری توجه نمایید. از مقاومت $1 \text{ M}\Omega$ به صورت سری برای محافظت از آمپر متر استفاده نمایید.
- ۲- بازه اندازه‌گیری آمپر متر را $20 \mu A$ انتخاب نمایید.

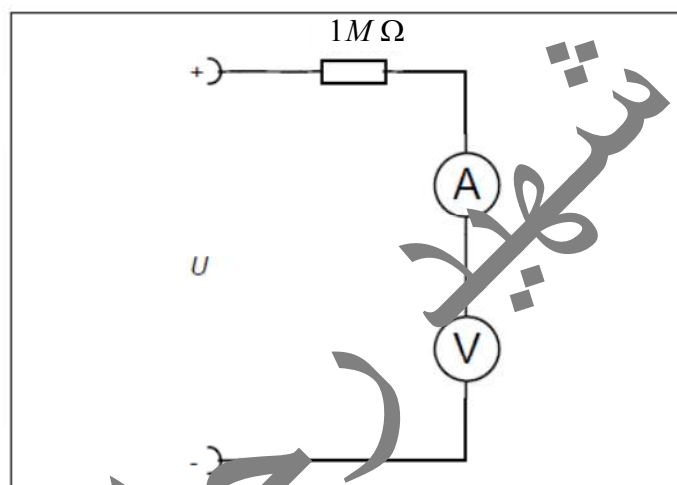
۳- منبع تغذیه را روشن نموده و ولتاژ را افزایش دهید تا ولت‌متر ولتاژ بیست ولت را نمایش دهد.

۴- ولتاژ و جریان را اندازه‌گیری نموده و در جدول (۱) یادداشت کنید.

۵- ولتاژ را به مقدار صفر بازگردانید.

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

$U(V)$		$I(\mu A)$	$R_i(M\Omega)$



شکل (۱): چیدمان آزمایش اندازه‌گیری مقاومت داخلی ولت‌متر

ب) تأثیر ولت‌متر بر اندازه‌گیری ولتاژ

۱- چیدمان آزمایش طبق شکل (۲) است.

۲- ولتاژ را افزایش دهید تا ولت‌متر V^* بیست ولت را نشان دهد.

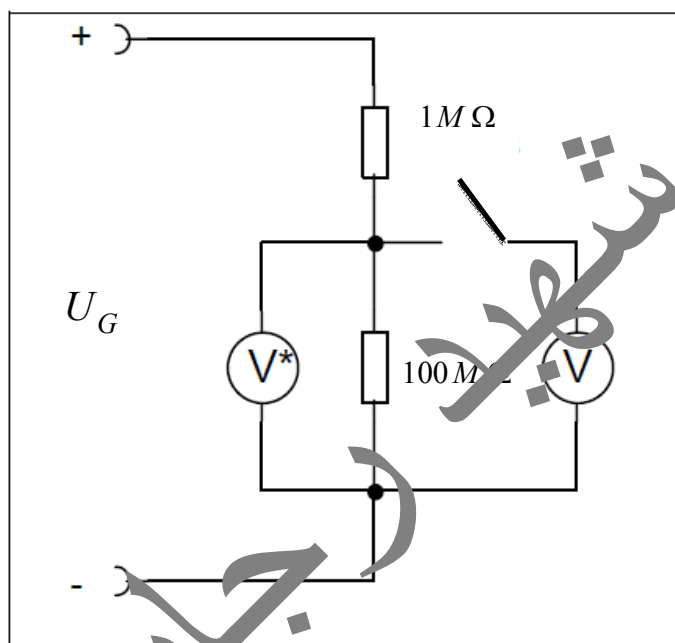
۳- ولت‌متر را به صورت موازی طبق شکل (۲) به مدار بیفزایید و ولتاژ را اندازه‌گیری کنید.

۴- ولتاژ را به صفر بازگردانید.

۵- جدول (۲) را تکمیل نمایید.

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

$U^*(V)$	$U^*(V)$	$U(V)$	$U(V)$
قبل از اتصال ولت‌متر V	پس از اتصال ولت‌متر V	پس از اتصال ولت‌متر V	محاسبه شده از رابطه (۵)



شکل (۲): چیدمان آزمایش بررسی تأثیر ولت‌متر بر مدار الکتریکی

ج) افزایش بازه اندازه‌گیری ولت‌متر

۱- چیدمان آزمایش طبق شکل (۳) است. به کمیات مورد اندازه‌گیری و پلاریته دستگاه‌های اندازه‌گیری دقت کنید.

۲- ابتدا مقاومت کاهنده $10\text{ M}\Omega$ را انتخاب کنید.

۳- ولتاژ را افزایش دهید تا V^* عدد ۲۰ ولت را نمایش دهد.

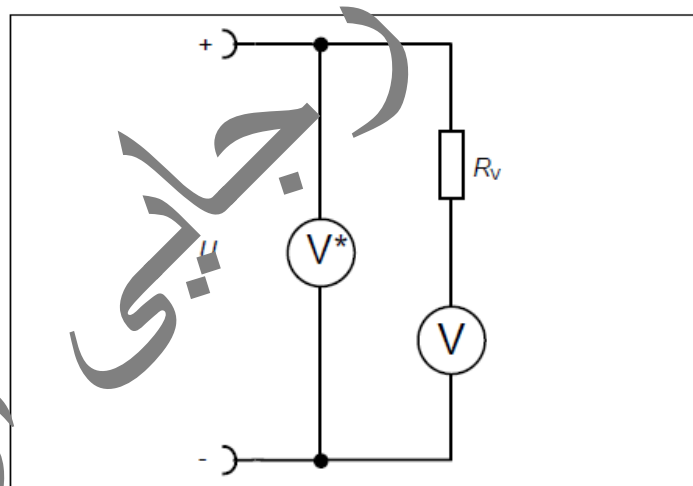
۴- افت ولتاژ V را بخوانید و در جدول (۳) وارد نمایید.

۵- مقاومت‌ها را طبق جدول (۳) تغییر داده و آزمایش را تکرار نمایید.

جدول (۳): افزایش بازه اندازه گیری ولت متر

$R_V (M \Omega)$	$U (V)$	$U_{R_i} (V)$	$\frac{U}{U_{R_i}}$	$\frac{U}{U_{R_i}} = 1 + \frac{R_V}{R_i}$
۱۰				
۱۱				
۳۳/۳				
۵۰				
۱۰۰				
۲۰۰				
۳۰۰				

لازم به ذکر است، در بخش حاضر می توان ولتاژ U_{R_i} اندازه گیری شده، نسبت $\frac{U}{U_{R_i}}$ محاسبه می شود، با استفاده از رابطه (۶)، فاکتور بسط بازه اندازه گیری ولتاژ محاسبه شده و جدول (۳) کامل می شود.



شکل (۳): چیدمان آزمایش افزایش بازه اندازه گیری ولت متر

سوالا

- آیا دقت اندازه گیری مقاومت داخلی با پارامترهایی همچون مقاومت سری، رنج آمپر متر و ... تغییر می کند؟ اگر تغییر می کند نحوه تاثیر گذاری چگونه است؟

۲- با توجه به مقدار مقاومت داخلی ولت‌متر به نظر شما اندازه‌گیری افت ولتاژ دو سر مقاومت 5Ω دقیق‌تر است یا $1000 M\Omega$ و یا $10 M\Omega$ ؟

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

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

۵- تغییر دقت اندازه‌گیری ولت‌متر با افزایش بازه اندازه‌گیری آن را محاسبه نمایید.

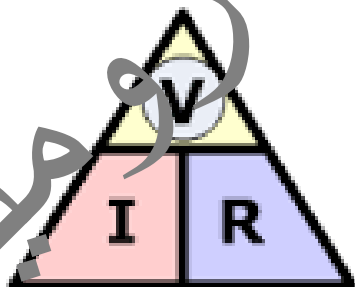
۶- از روش بخش (ج) برای اندازه‌گیری مقاومت داخلی ولت‌متر می‌توان استفاده کرد؟ در صورتی که پاسخ مثبت است، دقت کدام روش اندازه‌گیری بالاتر است؟ با انجام محاسبات و محاسبه میزان خطا پاسخ دهید.

۷- در افزایش بازه اندازه‌گیری ولت‌متر فاکتور دقت اندازه‌گیری چگونه تحت تأثیر قرار می‌گیرد؟ با ارائه روابط و بر اساس محاسبات ریاضی دقیق پاسخ دهید.

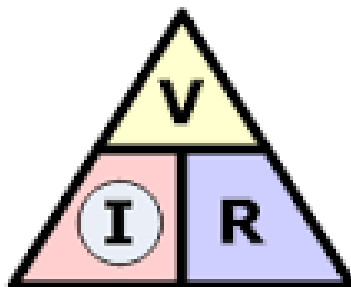
آزمایش شماره (۵)

تحقیق قانون اهم و اندازه گیری مقاومت های

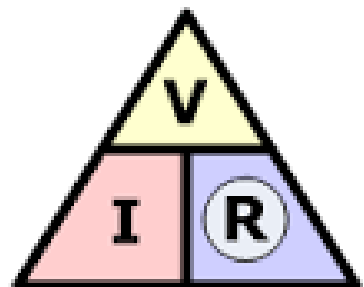
ویژه



$$\textcircled{V} = I \times R$$



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



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

آزمایش شماره (۵)

عنوان آزمایش

تحقیق قانون اهم و اندازه گیری مقاومت های ویژه

اهداف آزمایش

- اندازه گیری ولتاژ و جریان برای چهار سیم کنستانتن^۱ با چهار مساحت سطح مقطع مختلف
- اندازه گیری ولتاژ و جریان برای دو سیم کنستانتن با دو طول مختلف
- اندازه گیری ولتاژ و جریان برای دو سیم کنستانتن و برنج
- تحقیق قانون اهم و تعیین مقاومت ها

ادوات مورد نیاز:

- دستگاهی متشکل از رشته سیم هایی با سطوح مقاطع و جنس های مختلف برای اندازه گیری مقاومت
- منبع ولتاژ
- یک جفت سیم آبی/قرمز به طول یک متر
- سیم اتصال کوتاه ۲ عدد
- مولتی متر دیجیتال ۲ عدد

تئوری آزمایش:

در مداري که از رساناهای فلزی ساخته شده است، ولتاژ U در رسانا، با تقریب خوبی، متناسب با جریان

I شارش کننده در میان رسانا است، یعنی، قانون اهم

$$U = R \cdot I$$

(۱)

۱- آمیزه‌ی مس و نیکل به نسبت ۵۵ و ۴۵ درصد

برقرار است. ثابت تناسب R مقاومت رسانا نامیده می‌شود.

مقاومت یک سیم به طول l و مساحت سطح مقطع A چنین به دست می‌آید:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (2)$$

در آن ρ مقاومت ویژه ماده سیم است.

در این آزمایش، تناسب بین جریان و ولتاژ برای سیم‌های فلزی با ضخامت‌ها و طول‌های مختلف تایید می‌شود.

در این حالت، مقاومت به عنوان ثابت تناسب تعیین می‌شود. وابستگی ثابت تناسب به طول و مساحت سطح-

مقطع بررسی شده و مقاومت ویژه ماده با استفاده از معادله (۱) تعیین می‌شود.

نحوه انجام آزمایش:

چیدمان آزمایشگاهی انداز گیری با آمپرمتر و ولت‌متر در شکل (۱) نشان داده شده است.

۱- ولت‌متر را به صورت سری به سیم کنستانتن به قطر ۱ میلی‌متر متصل نموده و منبع ولتاژ و

آمپرمتر را به صورت سری به این چیدمان وصل کنید.

۲- افت ولتاژ دو سر سیم را بین صفر تا ۱/۲ ولت به گام‌های ۰/۱ ولت تنظیم نموده، در هر مرحله

جریان I و ولتاژ U را ثبت کنید (جدول (۱)).

۳- سیم کنستانتن با قطر ۰/۷ میلی‌متر را متصل نموده و مجموعه اندازه‌گیری‌ها را با گام‌های ۰/۲ ولت

تا ۲/۲ ولت انجام دهید، جدول (۱) را تکمیل نمایید.

۴- مجموعه اندازه‌گیری‌ها را بر روی سیم کنستانتن با قطر ۰/۵ میلی‌متر با گام‌های ۰/۴ ولت تا ۳/۶

ولت تکرار نمایید و گام‌ها را برای سیم کنستانتن به قطر ۰/۳۵ میلی‌متر به گام‌های ۰/۸ ولت تا ۴

ولت انجام دهید.

۵- دو سیم کنستانتن به قطر ۰/۷ میلی‌متر را به صورت سری با استفاده از یک سیم کوتاه به یکدیگر

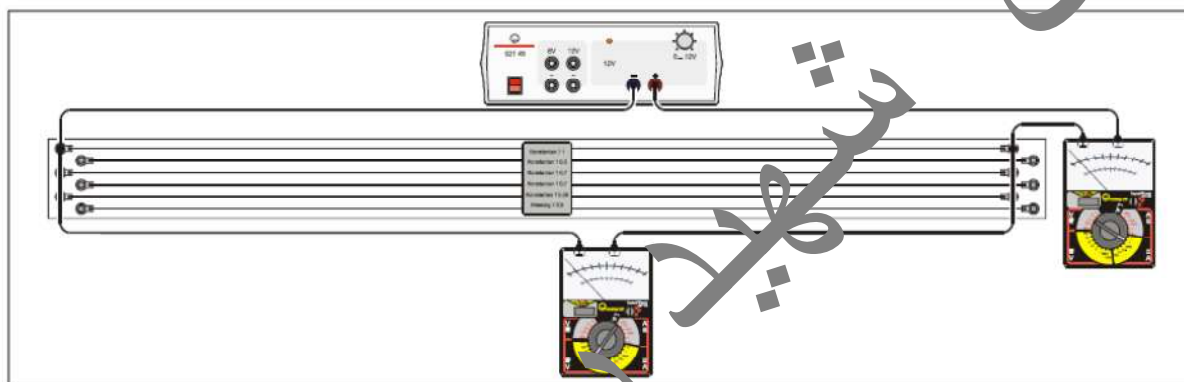
متصل نمایید (طول کل در این حالت ۲ متر خواهد بود).

۶- ولت‌متر را به صورت موازی به دو سر سیم‌های متصل به یکدیگر وصل کنید. آمپر‌متر و منبع ولتاژ را به صورت سری در مدار قرار دهید.

۷- مجموعه اندازه‌گیری‌ها را با گام‌های ۰/۷ ولت تکرار نمایید.

۸- مجموعه اندازه‌گیری‌ها را برای سیم برنجی به قطر ۰/۵ میلی‌متر با گام‌های ۰/۱ ولت تا ۰/۷ ولت

انجام داده و با مجموعه اندازه‌گیری‌های کنستانتن به قطر ۰/۵ میلی‌متر مقایسه نمایید. جدول (۳) را تکمیل کنید.



شکل (۱): چیدمان آزمایشگاهی تحقیق قانون اهم

جدول (۱): سیم‌های کنستانتن با طول یکسان ($l=1\text{ m}$) و ضخامت‌های مختلف

$d = 1.0\text{ mm}$ $A = 0.8\text{ mm}^2$		$d = 0.7\text{ mm}$ $A = 0.4\text{ mm}^2$		$d = 0.5\text{ mm}$ $A = 0.2\text{ mm}^2$		$d = 0.35\text{ mm}$ $A = 0.1\text{ mm}^2$	
$U(V)$	$I(A)$	$U(V)$	$I(A)$	$U(V)$	$I(A)$	$U(V)$	$I(A)$
۰/۱		۰/۲		۰/۴		۰/۸	
۰/۲		۰/۴		۰/۸		۱/۶	
۰/۳		۰/۶		۱/۲		۲/۴	
۰/۴		۰/۸		۱/۶		۳/۲	
۰/۵		۱/۰		۲/۰		۴/۰	
۰/۶		۱/۲		۲/۴			
۰/۷		۱/۴		۲/۸			
۰/۸		۱/۶		۳/۲			
۰/۹		۱/۸		۳/۶			
۱/۰		۲/۰					
۱/۱		۲/۲					
۱/۲							

جدول (۲): سیم‌های کنستانتن با ضخامت یکسان ($d=0.17\text{ mm}$) و ضخامت‌های مختلف

$l = 1\text{ m}$		$l = 2\text{ m}$	
$U(V)$	$I(A)$	$U(V)$	$I(A)$
0.2		0.4	
0.4		0.8	
0.6		1.2	
0.8		1.6	
1.0		2.0	
1.2		2.4	
1.4		2.8	
1.6		3.2	
1.8		3.6	
2.0		4.0	
2.2		4.4	

جدول (۳): سیم‌های برنجی و کنستانتن با ضخامت یکسان ($d=0.15\text{ mm}$) و طول ($l=1\text{ m}$)

$l = 1\text{ m}$		$l = 2\text{ m}$	
$U(V)$	$I(A)$	$U(V)$	$I(A)$
0.1		0.4	
0.2		0.8	
0.3		1.2	
0.4		1.6	
0.5		2.0	
0.6		2.4	
0.7		2.8	
		3.2	
		3.6	

الف - مقایسه کیفی و کمی

الف - ۱ - وابستگی مقاومت به مساحت سطح مقطع سیم

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

شیب خط را برای هر کدام از خطوط به دست آورده و جدول (۴) را تکمیل نمایید.

جدول (۴): مقاومت R سیم کنستانتن به طول ۱ متر به صورت تابعی از مساحت سطح مقطع A ، محاسبه شده از شیب خط منحنی -

های شکل (۲)

$A \text{ (mm}^2\text{)}$	۰/۱	۰/۲		۰/۸
$R \text{ (}\Omega\text{)}$				

۳ - نمودار مقاومت بر حسب مساحت سطح مقطع، $\frac{1}{A} \text{ mm}^{-1}$ ، را رسم کنید. شیب خط را محاسبه نمایید.

الف - ۲ - وابستگی مقاومت به طول سیم

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

تکمیل نمایید.

جدول (۵): مقاومت R سیم کنستانتن با ضخامت ۰/۷ میلی‌متر به صورت تابعی از طول l ، محاسبه شده از منحنی شکل (۳)

$l(m)$	۱	۲
$R \text{ (}\Omega\text{)}$		

الف - ۳ - وابستگی مقاومت به جنس سیم

۱ - نمودار $U(V)$ بر حسب $I(A)$ را برای جدول (۳) رسم نمایید. شیب دو خط را به دست آورده و جدول (۶)

را تکمیل نمایید.

جدول (۶): مقاومت سیم کنستانتن و سیم برنجی، تعیین شده از شیب منحنی شکل (۴)

کنستانتن	برنج	ماده
		$R (\Omega)$

۱- با استفاده از مقادیر جدول (۶) مقدار مقاومت ویژه دو ماده را به دست آورده و جدول (۷) را تکمیل کنید.

جدول (۷): مقاومت ویژه دو ماده مختلف محاسبه شده از مقادیر جدول (۶)

کنستانتن	برنج	ماده
		$\rho (\Omega m^2)$

۳- نمودار $R (\Omega)$ بر حسب $A (mm^2)$ نتایج جدول (۴) را رسم نمایید.

سوالات

- در آزمایشگاه ۱۰ رشته سیم با طول ۱ متر و سطح مقطع ۱ میلی متر مربع از جنس مس موجود است چه روشی برای رسیدن به مقاومت بیشتر این رشته سیم پیشنهاد می کنید؟ اگر بخواهیم مقاومت را کاهش دهیم چه روشی مناسب است؟
- مقاومت ویژه مواد به چه عواملی بستگی دارند؟ آیا وابستگی به شکل سیم یا قطعه وجود دارد؟
- خطای نسبی مقادیر اندازه گیری شده از جدول (۱)، (۲) و (۳) را محاسبه نمایید.
- با توجه به آن که جنس سیم های مشخص است، خطای اندازه گیری مقاومت ویژه و مقاومت اهمی را در هر مرحله محاسبه نمایید.

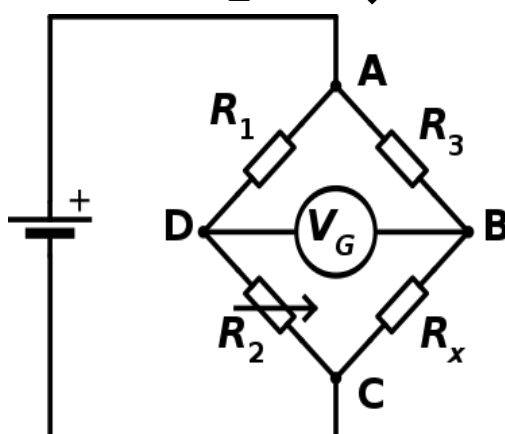


آزمایش شماره (۶)

الف) اصول عملکردی پل وتستون

ب) تعیین مقاومت‌ها با استفاده از پل وتستون و

پل تار



آزمایش شماره (۶)

این آزمایش در دو بخش طراحی شده است.

بخش (الف)

➤ عنوان آزمایش:

اصول عملکردی پل وتستون

➤ اهداف آزمایش

۱- شناخت اصول پایه عملکرد پل وتستون و قوانین کیرشهف

۲- تعیین دقیق مقاومت

➤ وسایل مورد نیاز

۱- برد A_4

۲- مجموعه ۱۰ تایی پل

۳- مقاومت متغیر 220Ω

۴- مقاومت متغیر $1k\Omega$

۵- مقاومت 470Ω

۶- مقاومت 47Ω

۷- مقاومت 100Ω

۸- مقاومت 150Ω

۱۰- مقاومت $1k\Omega$

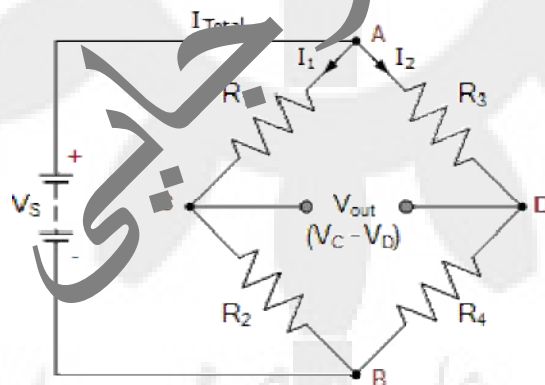
۱۱- منبع تغذیه DC

تئوری آزمایش:

مدار پل توسط چالز وتستون^۱ در سال ۱۸۴۳ به عنوان یک روش برای اندازه گیری مقاومت معرفی شد. در این روش مقدار یک مقاومت مجهول با مقایسه با مقاومت R معلوم (با دقت بالا)، به طور دقیق محاسبه می شود. این ابزار برای کالیبراسیون ابزارهای اندازه گیری، ولت مترها، آمپر مترها، سیم لغزان مقاومتی بلند^۲ نیز بکار می رود.

اگرچه امروزه مولتی مترها راحت ترین راه را برای اندازه گیری یک مقاومت فراهم نموده اند، پل وتستون هنوز برای اندازه گیری مقادیر خیلی بزرگ مقاومت ها تا گستره میلی اهم به کار می رود.

امروزه، مدار پل وتستون (یا پل متون) در کاربردهای بسیاری مورد استفاده قرار می گیرد. پل وتستون چیزی بیش از دو چیدمان ساده سری موازی، مقاومت ها متصل شده به خروجی یک منبع ولتاژ نیست که هنگامی که به تعادل می رسد اختلاف ولتاژ صفر بین دو شاخه موازی ایجاد می کند (شکل (۱)).



شکل (۱): طرح شماتیک مدار پل وتستون

در این حالت:

$$V_{OUT} = (V_C - V_D) = (V_{R_2} - V_{R_4}) = 0, \quad R_C = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \& \quad R_D = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \quad (1)$$

1 - Charles Wheatstone
2 - Long resistive slide wire

با توجه به اینکه در حالت تعادل $R_D = R_C$ است چنین خواهیم داشت:

(۲)

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \Rightarrow R_2(R_3 + R_4) = R_4(R_1 + R_2) \Rightarrow R_2R_3 + R_2R_4 = R_1R_4 + R_2R_4$$

حاصل این

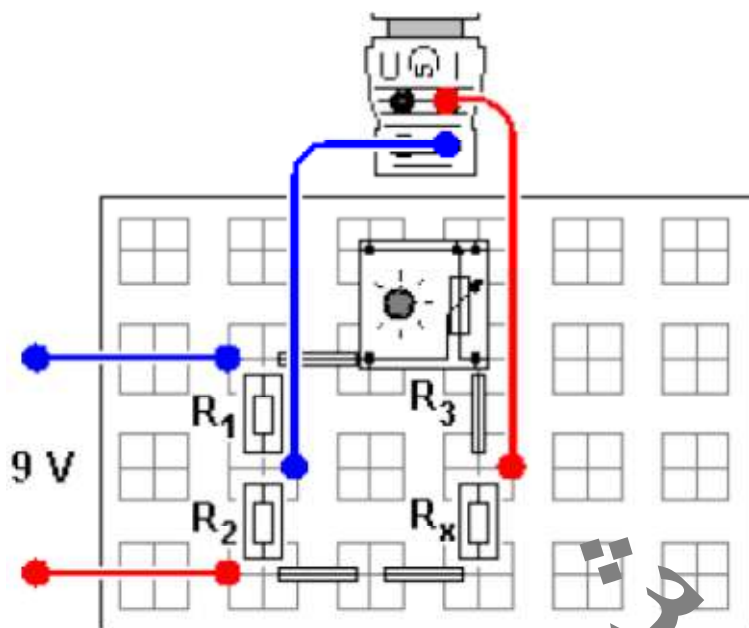
$$R_4 = \frac{R_2R_3}{R_1}$$

(۳)

رابطه (۳) نشان می‌دهد که در صورتی که سه مقاومت معلوم (دو مقاومت ثابت و یک مقاومت متغیر) در مدار وجود داشته باشد، مقاومت مجهول قابله اندازه‌گیری است.

➤ روش انجام آزمایش

- ۱- مقاومت 220Ω و 470Ω را به صورت سری به یکدیگر وصل کنید.
- ۲- مقاومت 47Ω را به عنوان مقاومت مجهول (مانند شکل (۲)) به مقاومت متغیر 220Ω متصل نمائید.
- ۳- آمپر متر را بین نقطه A و B متصل نمائید.
- ۴- پتانسیومتر را تغییر دهید تا آمپر متر عدد صفر را نشان دهد.
- ۵- پتانسیومتر را به آهستگی از محل خود خارج کنید و بر روی فضایی مستقل از مدار بر روی برد A_4 نصب کنید. با استفاده از اهم‌متر مقدار مقاومت بین دو پایه متغیر را ثبت نمائید.
- ۶- مقدار مقاومت متغیر اندازه‌گیری شده را در جدول (۱) ثبت نموده و مقدار R_X را بدست آورید.
- ۷- آزمایش را برای مقاومت‌های 150Ω ، 100Ω و 1 کیلو اهم تکرار نمایید.



شکل (۲): تصویری از مدار پل وتستون

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

$R_1(\Omega)$	$R_2(\Omega)$	$R_{variable}(\Omega)$	$R_x(\Omega)$
۲۲۰	۴۷۰		
۲۲۰	۴۷۰		
۲۲۰	۴۷		
۲۲۰	۲۷۰		

سوالا

۱- آیا اندازه‌گیری مقاومت $1k\ \Omega$ با مقاومت متغیر $220\ \Omega$ اهمی متغیر امکان‌پذیر است؟ در مورد این پدیده توضیحات کامل بدهید.

۲- خطای روش اندازه‌گیری فوق را برای هر چهار مقاومت محاسبه نموده و با اعداد پیش‌بینی شده مقایسه سازندگان مقاومت‌ها مقایسه نمایید.

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

۴- چرا پل وتستون برای اندازه‌گیری مقاومت‌های کوچک در بازه کوچک‌تر از چند اهم مناسب‌تر از استفاده از مولتی‌متر است؟

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

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

بخش (ب)

◀ عنوان آزمایش:

تعیین مقاومت‌ها با استفاده از پل وستون و پل تار

◀ اهداف آزمایش

۱- فهم مدل تهی برای پل وتستون

۲- تعیین دقیق مقاومت‌ها

◀ وسایل مورد نیاز

۱- پل تار به طول یک متر

۲- مقاومت $10\ \Omega$ برای اندازه‌گیری به عنوان مقاومت مجهول

۳- مقاومت $100\ \Omega$ برای اندازه‌گیری به عنوان مقاومت مجهول

۴- جعبه مقاومت متغیر با دقت حداقل یک اهم

۵- منبع ولتاژ DC

۶- سیم‌های رابط

تئوری آزمایش:

همان گونه که در بخش پیشین ذکر شد، مدار پل در سال ۱۸۴۳ توسط چالز وتستون معرفی شد و امکانی برای اندازه گیری مقاومت را فراهم نمود. در این روش مقدار مقاومت مجهول، R_X ، با مقایسه با مقاومت R (که با دقت زیادی مشخص است)، به دقت تعیین می شود. در آزمایش، ولتاژ U بر سیم به طول یک متر با ضخامت ثابت اعمال می شود. یک انتهای سیم به مقاومت مجهول R_X به صورت سری متصل شده و دیگری به مقاومت R که متغیر است، اما با دقت خوبی مشخص شده، متصل است.

کنتاکتی لغزان^۳ سیم را از نظر سیم بندی به دو بخش S_1 و S_2 تقسیم می کند. کنتاکت لغزشی به زوج اتصال^۴ بین R_X و R با استفاده از یک آمپر متر متصل می شود. این آمپر متر به عنوان نمایشگر صفحه به کار می رود. اگر جریان صفر شود، سپس:

$$R_X = \frac{S_1}{S_2} R \quad (1)$$

بنابراین، اندازه گیری مقاومت، با تعادل صفر، مستقل از جریان اعمالی است و می تواند بدون نیاز به منابع توانی تثبیت شده صورت پذیرد.

بهترین دقت اندازه گیری برای این چیدمان آزمایشگاهی با تقارن در مونتاژ حاصل می شود، یعنی کنتاکتی لغزشی در میانه سیم قرار گیرد، به قسمی که S_1 و S_2 طولی برابر داشته باشند. پس:

$$R_X = R \quad (2)$$

بنابراین، مقاومت مشخص R ، باید اندازه گیری با دقت کافی داشته باشد که مقاومت R_X با همان دقت

تعیین شود.

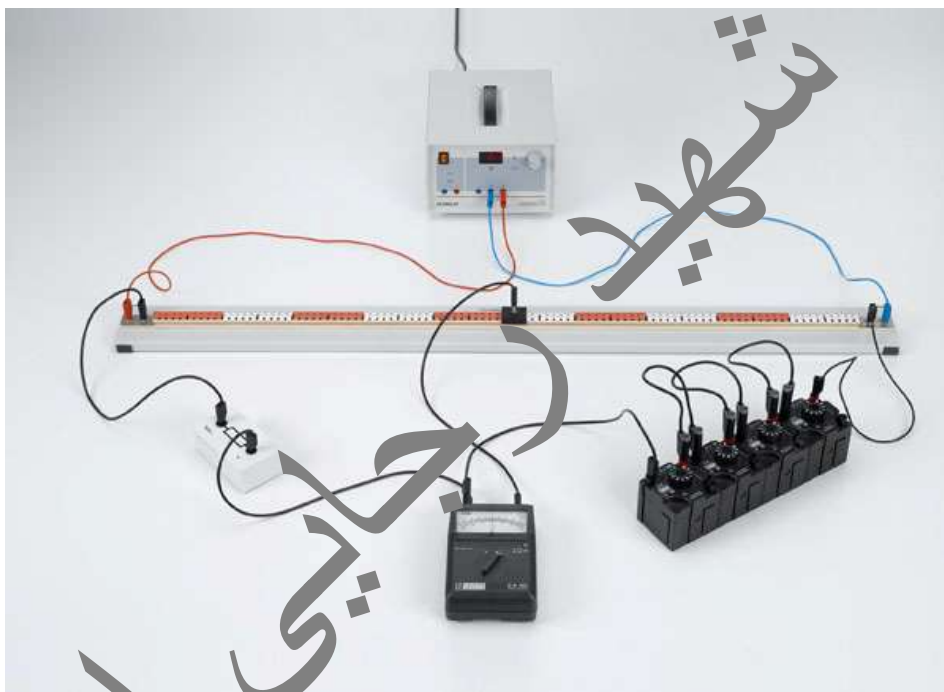
3 - Sliding contact

4 - Crosspoint

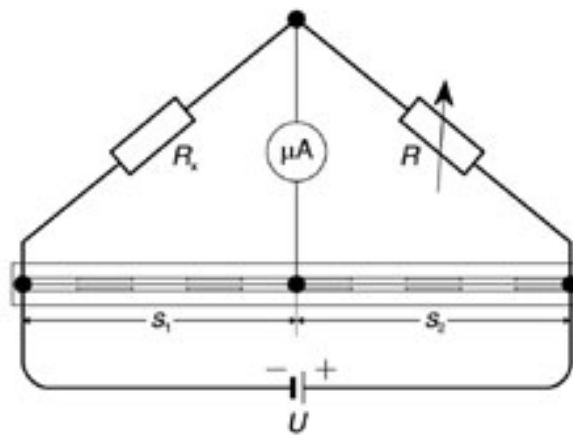
به طور جایگزین، با استفاده از معادله (۲)، به طور مستقیم مقاومت نامشخص می‌تواند محاسبه شود. در این حالت در حالی که کنتاکت لغزشی در ابتدا در میانه قرار گرفته‌است، مقاومت متغیر متعاقباً به گونه‌ای تنظیم می‌شود که آمپر متر صفر را نشان دهد. در نتیجه، مقدار مقاومت متغیر R ، مستقیماً متناظر با مقدار R_X است.

روش انجام آزمایش

چیدمان آزمایش مطابق شکل (۱) و (۲) تنظیم می‌شود. مقاومت $10\ \Omega$ را برای اندازه‌گیری به عنوان مقاومت مجهول متصل کنید. ولتاژ منبع تغذیه را حدود $\pm 1V$ تنظیم نمایید و مقدار جریان باید زیر 200mA باشد.



شکل (۱): چیدمان آزمایش



شکل (۲): دیاگرام مدار

الف) ایجاد تعادل با تنظیم S_1 و S_2

۱- در مقاومت متغیر، مقداری $R \approx \frac{1}{2} R_x$ انتخاب کنید. پیشنهاد می‌شود که از حدود ۳ اهم شروع نمائید.

۲- منبع DC را روشن کرده و ولتاژ آن را روی $1V$ تنظیم کنید (بهتر است مدار را قطع کرده و سپس تنظیم نمائید تا آسیبی بر سیم نرسد و داغ نشود تا طول آن تغییر نکند).

۳- طول S_1 و S_2 را به گونه‌ای تنظیم نمائید که آمپر متر مقدار $I=0A$ را در رنج $20mA$ نشان دهد. مقدار R_x ، R ، S_1 و S_2 را در جدول (۱) ثبت نمائید.^۵

۴- به تدریج مقدار R را افزایش داده و آزمایش را تکرار کنید.

۵- مراحل مذکور را برای مقاومت 100Ω تکرار نموده و به ترتیب جدول (۲) را تکمیل نمائید.

۵- توصیه می‌شود پس از آنکه آمپر متر 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.

جدول (۱): اندازه‌گیری مقاومت 10Ω

$R_X(\Omega)$	$R(\Omega)$	$S_1(cm)$	$S_2(cm)$	$R_X = \frac{S_1}{S_2} R(\Omega)$
10Ω	۳			
	۵			
	۱۰			
	۱۵			
	۲۰			
	۳۰			

جدول (۲): اندازه‌گیری مقاومت 100Ω

$R_X(\Omega)$	$R(\Omega)$	$S_1(cm)$	$S_2(cm)$	$R_X = \frac{S_1}{S_2} R(\Omega)$
100Ω	۳۰			
	۵۰			
	۱۰۰			
	۱۵۰			
	۲۰۰			

(ب) ایجاد تعادل با تطبیق مقاومت متغیر

۱- طول سیم S_1 و S_2 را دقیقاً روی 50 cm تنظیم نمائید.

۲- مقاومت 10Ω را وصل کرده و مقاومت متغیر را نیز متصل نمائید.

۳- مقدار ولتاژ منبع را $0/1$ ولت انتخاب نمائید.

۴- مقاومت متغیر را به گونه‌ای تنظیم کنید که آمپر متر در رنج 20 mA مقدار صفر را نشان دهد. مقدار R_X و

را در جدول (۳) وارد نمائید.

۵- آزمایش را با مقاومت‌های مختلف 100Ω تکرار نمائید.

جدول (۳): اندازه‌گیری مقاومت استفاده از مقاوت متغیر

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

سوالا

با توجه به آزمایشات و محاسبات روش پل تار جواب دقیق‌تری می‌دهد یا روش پل وستون؟

۲- عوامل مؤثر در افزایش دقت پل تار چیست؟

۳- خطای اندازه‌گیری‌های جدول (۱) و (۲) را محاسبه نمایید.

آزمایش شماره (۷)

تعیین ظرفیت خازن تخت و میزان بار الکتریکی
ذخیره شده در صفحات خازن

آزمایش شماره (۷)

عنوان آزمایش:

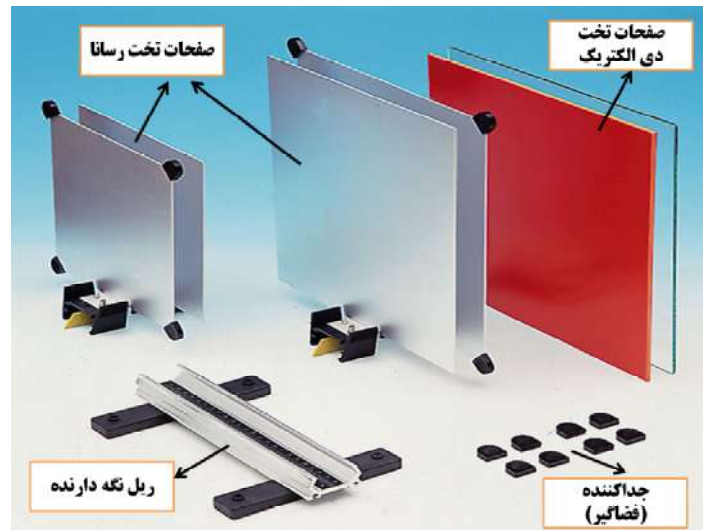
تعیین ظرفیت خازن تخت و میزان بار الکتریکی ذخیره شده در صفحات خازن

اهداف:

- ۱- اندازه گیری بار Q ذخیره شده بر روی صفحات خازن به عنوان تابعی از ولتاژ به کار رفته U
- ۲- تعیین ظرفیت خازن C به عنوان تابعی از مساحت صفحات خازن A
- ۳- تعیین ظرفیت خازن C با قرار دادن دی الکتریک مابین صفحات خازن
- ۴- تعیین ظرفیت خازن C به عنوان تابعی از فاصله بین صفحات خازن d

وسایل آزمایش:

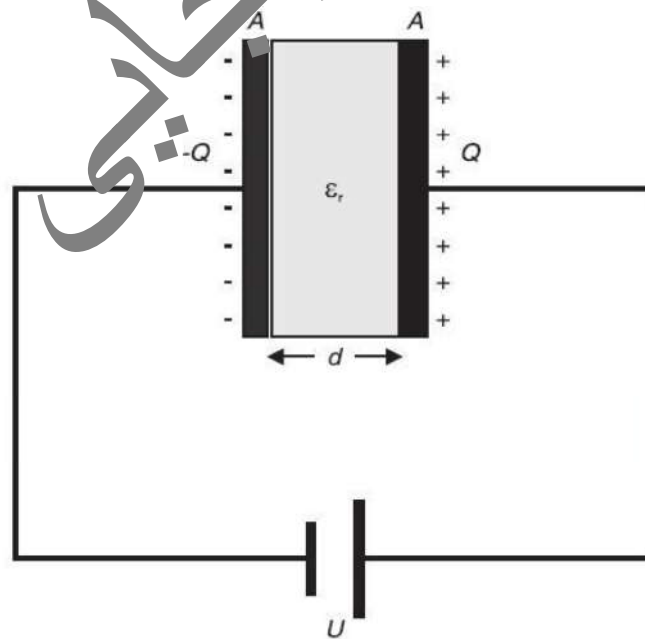
- ۱- خازن قابل تنظیم با صفحاتی با سطح مقطع 400cm^2 و 800cm^2
- ۲- منبع تغذیه جریان مستقیم ۰-۳۰۰ ولت
- ۳- دستگاه تقویت کننده جریان
- ۴- ولتمتر
- ۵- اهم متر
- ۶- گالوانومتر
- ۷- کلید قطع و وصل
- ۸- صفحه پلی استایرن
- ۹- ریل نگه دارنده
- ۱۰- سیم رابط



شکل (۱) مجموعه لوازم مورد نیاز جهت ساخت خازن تخت قابل تنظیم

تئوری آزمایش:

خازن المانی الکتریکی است که می تواند انرژی الکتریکی را توسط میدان الکتروستاتیکی در خود ذخیره کند. انواع مختلفی از خازن در مدارهای الکتریکی به کار می روند. خازن را با حرف C که ابتدای کلمه capacitor است نمایش می دهند.



شکل (۲): خازن تخت به همراه دی الکتریک مابین صفحات خازن

ساده‌ترین نوع خازن، خازن تخت می‌باشد. نسبت مقدار باری که روی صفحات خازن انباشته می‌شود Q بر اختلاف پتانسیل دو سر منبع U را ظرفیت خازن C گویند. یعنی:

Q : بار ذخیره شده بر روی صفحات خازن

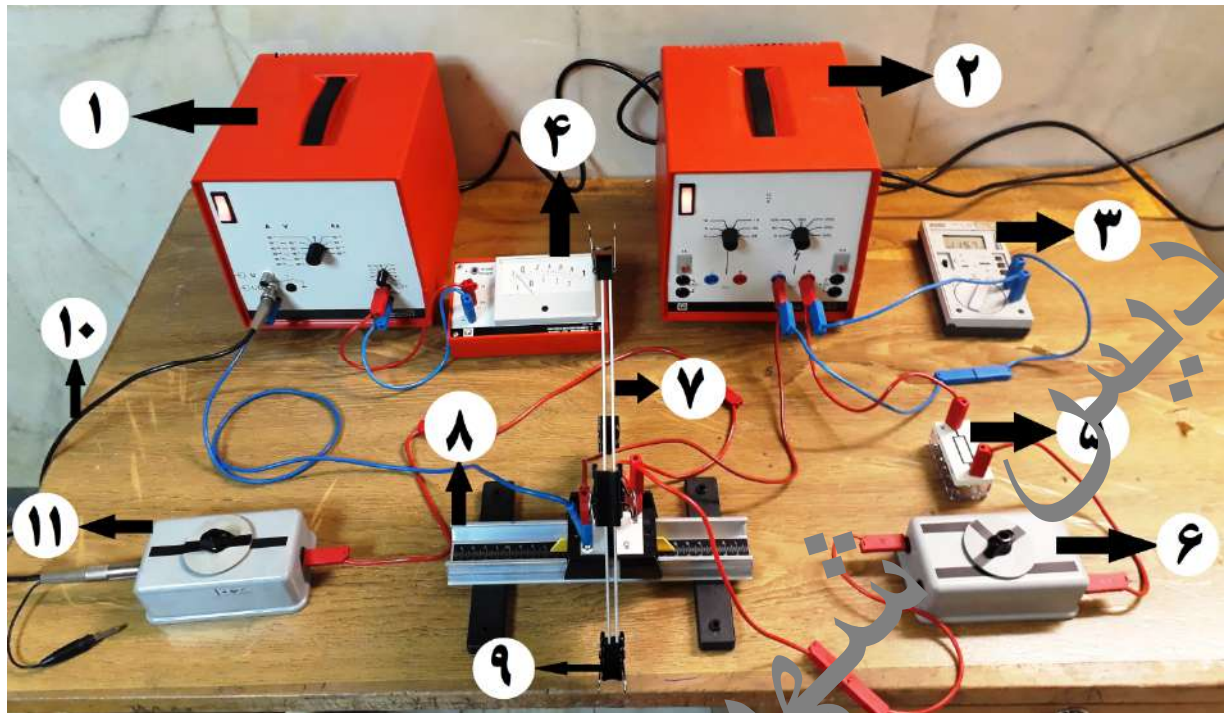
U : ولتاژ کاربردی

در خازن‌های تخت که دو صفحه‌ی خازن، دو صفحه رسانای موازی با مساحت A است که به فاصله d از یکدیگر قرار گرفته‌اند ظرفیت برابر است با

در این رابطه $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{As}{V.m}$ ضریب گذردهی الکتریکی خلأ است و k ثابت دی‌الکتریک است که متناسب با جنس دی‌الکتریک استفاده شده در خازن می‌باشد و تقریباً برای هوا و خلأ $k=1$ است و برای محیطه‌های دیگر مانند آب $k=80$ است. هدف ما در این آزمایش بدست آوردن ظرفیت خازن و بررسی رابطه ظرفیت خازن و تاثیر تغییرات پارامترهای دخیل در ظرفیت خازن تخت می‌باشد.

روش انجام آزمایش:

چیدمان آزمایش در شکل (۳) نمایش داده شده است که شامل: - دستگاه تعویض کننده جریان، ۲- منبع تغذیه جریان مستقیم، ۳- ولت‌متر، ۴- گالوانومتر، ۵- مقاومت $1M\Omega$ ، ۶- سبید قطع و وصل، ۷- صفحات تخت رسانا، ۸- ریل نگه دارنده، ۹- فضاگیر، ۱۰- سیم رابط، ۱۱- کلید قطع و وصل می‌باشد. ابتدا صفحات تخت فلزی را به کمک فضاگیرها و گیره‌های مربوطه (جهت تسهیل فواصل صفحات خازن به شکل (۴) مراجعه شود) در فاصله $4mm$ از یکدیگر بر روی ریل قرار می‌دهیم. جهت سوار کردن خازن به کمک سیم‌های رابط خازن تخت ایجاد شده را بطور سری با یک مقاومت $1M\Omega$ و یک کلید قطع و وصل به منبع تغذیه جریان مستقیم (که یک ولت‌متر به منظور کنترل ولتاژ اعمالی به طور موازی به آن بسته شده است) متصل می‌کنیم.

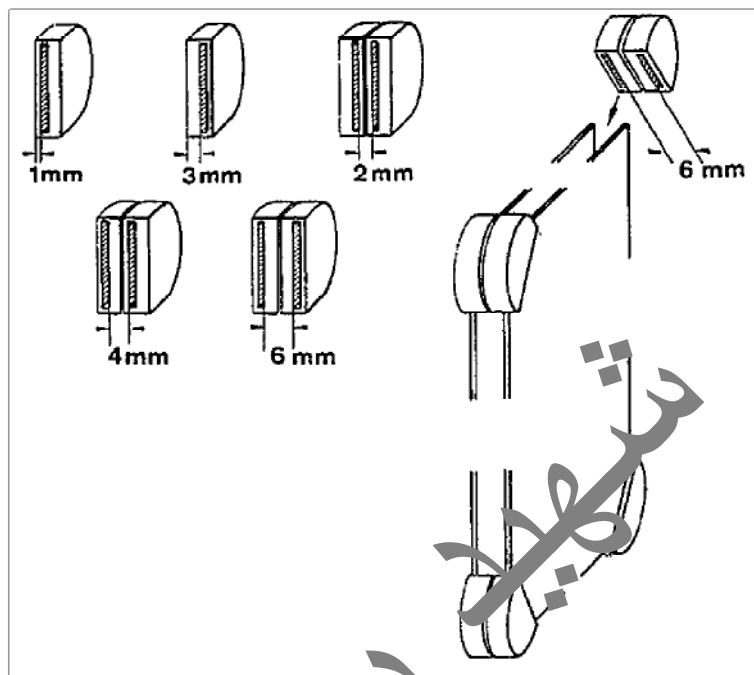


شکل (۳): چیدمان آزمایش بررسی عوامل موثر در ظرفیت خازن تخت

در این آزمایش برای اندازه‌گیری مقدار بار ذخیره شده از دست دادن کننده جریان (الکترومتر) به همراه یک گالوانومتر (به طور موازی) استفاده می‌شود که به کمک سیم‌های وصل و یک کلید قطع و وصل به طور موازی به صفحات خازن متصل می‌گردد. با توجه به شرایط آزمایش، سلکتور دستگاه تقویت کننده را روی مقدار مناسب و گالوانومتر آن را نیز روی بازه ولتاژ مناسب ($0 \sim 1V$ یا $0 \sim 3V$) تنظیم می‌کنیم. با یک سیم رابط ترمینال زمین دستگاه تقویت کننده را به صفحه منفی خازن اتصال می‌دهیم. کلید (۱۱) را در وضعیت قطع قرار داده و کلید (۶) را تقریباً به مدت ۱۰ ثانیه در وضعیت وصل قرار می‌دهیم تا خازن با ولتاژ مورد نظر شارژ شود. سپس کلید (۶) را در وضعیت قطع و کلید (۱۱) را در وضعیت وصل قرار می‌دهیم تا بار ذخیره شده در داخل تقویت کننده منتقل گردد. اندازه بار الکتریکی از حاصلضرب عدد گالوانومتر در ضریب تقویت دستگاه تدریجاً به دست می‌آید. لازم به ذکر است که جهت بالابردن دقت اندازه‌گیری مقدار بار ذخیره شده، حتماً قبل از شارژ خازن در هر مرحله از تخلیه بودن آن اطمینان حاصل شود.

با توجه به اهمیت تخلیه خازن قبل از هر مرحله، با استفاده از اتصال اهم‌تر به دو صفحه خازن، بارهای ذخیره شده بر روی صفحات آن تخلیه می‌گردد. برای اطمینان حاصل کردن از تخلیه کامل خازن، دو صفحه خازن به آمپرتر اتصال یافته و عدم جریان بین دو صفحه مشاهده گردد. همچنین در هر مرحله از آزمایش، می‌توان با

فشاردن دکمه تخلیه (اتصال به زمین) دستگاه تقویت کننده و بررسی نشانگر گالوانومتر آن (که در حالت تخلیه کامل باید منطبق بر صفر باشد) از تخلیه خازن اطمینان حاصل نمود.



شکل (۴): نحوه تنظیم فواصل بین صفحات تخت به کمک فضاگیرها

الف) اندازه گیری میزان بار ذخیره شده در صفحات خازن تخت با مساحت های متفاوت به ازای اعمال ولتاژهای مختلف (تحقیق رابطه خطی بین بار ذخیره شده و ولتاژ اعمالی در خازن تخت)

۱- چیدمان آزمایش را مطابق شکل (۳) برای صفحات تخت رسانا با مساحت 100 cm^2 بدون دی الکتریک و فاصله $d=4\text{mm}$ برقرار کنید.

۲- ولتاژ منبع تغذیه را به کمک ولت متر روی ۵۰ ولت تنظیم نمایید.

۳- مطابق روش ذکر شده در بالا پس از شارژ خازن مقدار بار ذخیره شده در خازن را به ازای ولتاژ اعمالی اندازه گرفته و ظرفیت خازن را محاسبه نموده در جدول (۱) یادداشت کنید.

۴- خازن را به طور کامل تخلیه نمایید.

- ۵- اندازه‌گیریهای بار ذخیره شده را به ازای اعمال ولتاژهای دیگر تکرار کنید.
- ۶- به کمک جدول (۱)، منحنی تغییرات بار ذخیره شده بر حسب ولتاژهای اعمالی را رسم کرده و با تحقیق رابطه خطی بین بار ذخیره شده و ولتاژ اعمالی، شیب این نمودار (ظرفیت خازن) را محاسبه کنید.

جدول (۱): مقادیر بار ذخیره شده به ازای ولتاژهای اعمالی مختلف به صفحات خازن تخت برای دو مساحت متفاوت

ولتاژ اعمالی U (v)	بار ذخیره شده ($A=800\text{cm}^2$) Q (nAs)	ظرفیت ($A=800\text{cm}^2$) C (pF)
۵۰		
۱۰۰		
۱۵۰		
۲۰۰		
۲۵۰		
۳۰۰		

ب) اندازه‌گیری میزان بار ذخیره شده در بین صفحات خازن تخت در حضور دی‌الکتریک به ازای اعمال ولتاژهای مختلف (تحقیق اثر حضور دی‌الکتریک در میزان بار ذخیره شده و ظرفیت خازن در خازن تخت)

- ۱- چیدمان آزمایش را مطابق شکل (۳) برای صفحات تخت رسانا با مساحت 800 cm^2 در حضور صفحه دی‌الکتریک پلی‌استایرن و فاصله $d=4\text{mm}$ برقرار کنید.
- ۲- ولتاژ منبع تغذیه را به کمک ولتمتر روی ۵۰ ولت تنظیم نمایید.
- ۳- مطابق روش ذکر شده در بالا پس از شارژ خازن مقدار بار ذخیره شده در خازن را به ازای ولتاژ اعمالی اندازه گرفته و سپس ظرفیت خازن را محاسبه نموده در جدول (۲) یادداشت کنید.
- ۴- خازن را به طور کامل تخلیه نمایید.
- ۵- اندازه‌گیریهای بار ذخیره شده را به ازای اعمال ولتاژهای دیگر تکرار کنید.
- ۶- به کمک جدول (۲)، منحنی تغییرات بار ذخیره شده بر حسب ولتاژهای اعمالی را رسم کرده و با تحقیق رابطه خطی بین بار ذخیره شده و ولتاژ اعمالی و محاسبه شیب این نمودار (ظرفیت خازن)، اثر حضور دی‌الکتریک بر مقدار بار ذخیره شده را بررسی نمایید.

جدول (۲): مقادیر بار ذخیره شده به ازای ولتاژهای اعمالی مختلف به صفحات خازن تخت در حضور دی-الکتریک

ولتاژ اعمالی U (v)	بار ذخیره شده برای دی الکتریک (polystyrene) Q (nAs)	ظرفیت برای دی الکتریک (polystyrene) C (pF)
۵۰		
۱۰۰		
۱۵۰		
۲۰۰		
۲۵۰		
۳۰۰		

پ) اندازه گیری میزان بار ذخیره شده به ازای فواصل صفحات تخت مختلف (تحقیق رابطه بین بار ذخیره شده و فاصله بین صفحات خازن تخت)

۱- چیدمان آزمایش را مطابق شکل (۳) برای صفحات تخت رسانا با مساحت 800 cm^2 بدون دی الکتریک و فاصله $d=6\text{mm}$ برقرار کنید.

۲- ولتاژ منبع تغذیه را به کمک ولت متر روی ۳۰۰ ولت تنظیم نمایید.

۳- مطابق روش ذکر شده در بالا پس از شارژ خازن مقدار بار ذخیره شده در خازن را به ازای ولتاژ اعمالی اندازه گرفته در جدول (۳) یادداشت کنید.

۴- خازن را به طور کامل تخلیه نمایید.

۵- با کاهش فاصله بین صفحات از $d=6\text{mm}$ تا $d=1\text{mm}$ به کمک کمک فضاگیرها و گیره های مربوطه جهت تنظیم فواصل صفحات خازن به شکل (۴) مراجعه شود، مراحل (۱) تا (۴) را تکرار کرده و جدول (۳) را کامل کنید.

۶- در مرحله ظرفیت خازن را محاسبه کرده در جدول (۳) یادداشت نمایید.

۷- به کمک جدول (۳)، منحنی تغییرات بار ذخیره شده بر حسب فواصل مختلف d و $1/d$ را رسم کرده با محاسبه شیب این نمودار ظرفیت خازن را محاسبه کنید.

جدول (۳): مقادیر بار ذخیره شده و ظرفیت خازن به ازای فواصل مختلف بین صفحات تخت رسانا در خازن

ظرفیت خازن C (pF)	بار ذخیره شده Q (nAs)	d (mm)
		۱
		۲
		۳
		۴
		۶

سوالات:

- ۱- با استفاده از داده‌های جداول (۱ تا ۶) و مفهوم خطای دیفرانسیلی، خطای مطلق (ΔC) ظرفیت‌های خازن محاسبه شده را محاسبه نموده و در جداول مربوطه گزارش کنید.
- ۲- با استفاده از داده‌های جداول (۱ تا ۶) میانگین ظرفیت‌های خازن محاسبه شده را برای هر جدول محاسبه کرده و سپس انحراف معیار و خطای مطلق بین مقدار میانگین و مقدار بدست آمده از شیب نمودار را در هر حالت را بدست آورید.
- ۳- نسبت تغییرات ظرفیت خازن در حالت‌های حضور و عدم حضور صفحات دی‌الکتریک را محاسبه کرده و نتایج را تحلیل نمایید.
- ۴- به کمک مقادیر اندازه‌گیری شده در جدول (۲) و رابطه ظرفیت خازن، ثابت دی‌الکتریک برای شیشه و پلی-استایرن محاسبه کنید.

آزمایش شماره (۸)

الف) ژنراتور قطب داخلی ولتاژ AC تک فاز

ب) بررسی شکل کلی ولتاژ متناوب خروجی از

ژنراتور AC

آزمایش شماره (۸ الف)

عنوان آزمایش:

ژنراتور قطب داخلی ولتاژ AC تک فاز

هدف:

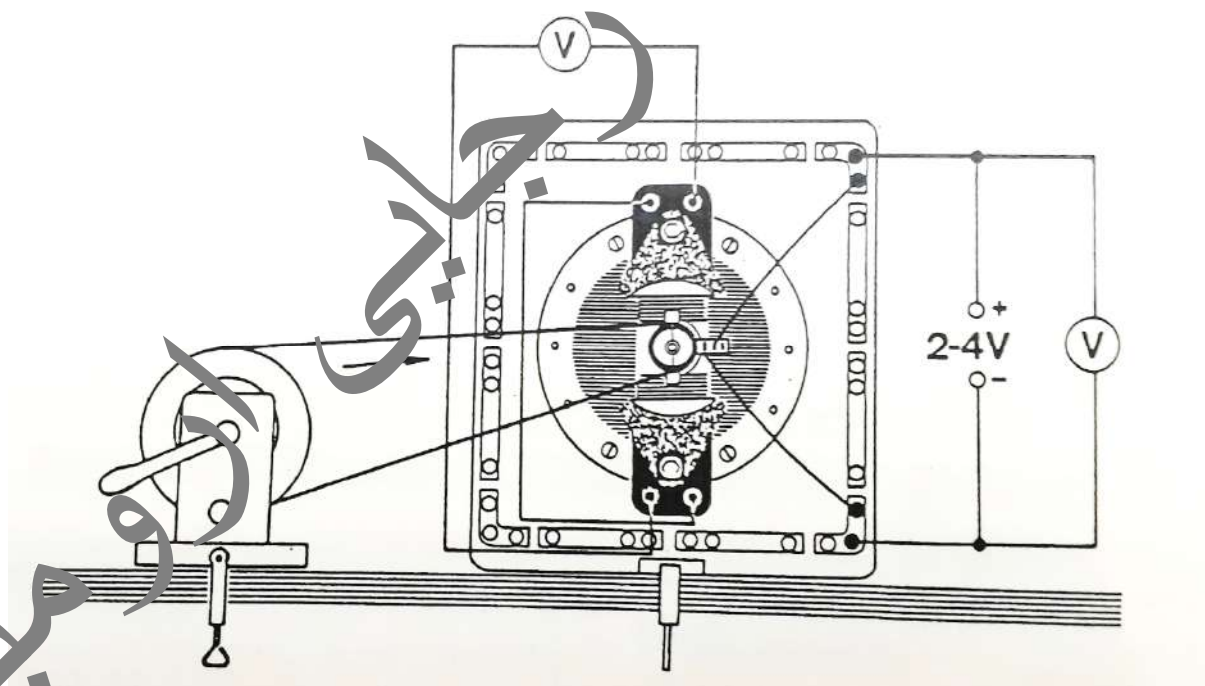
- ۱- تولید ولتاژ متناوب (AC) تک فاز با استفاده از ژنراتور قطب داخلی
- ۲- بررسی وابستگی مقدار ولتاژ تولید شده به ولتاژ محرک

مواد و ابزار مورد نیاز:

- ۱- صفحه پایه فلزی به همراه نگه دارنده عمودی آن
- ۲- ۲ عدد سیم پیچ (کوئل) ۲۵۰
- ۳- دیرک‌های پهن جهت اتصال سیم پیچ‌ها به صفحه پایه فلزی
- ۴- نگهدارنده کابل
- ۵- دیسک مرکزی جهت در مرکز قرار دادن چرخنده روی صفحه پایه فلزی
- ۶- چرخنده (روتور) دو قطبی
- ۷- آچار آلن
- ۸- ۲ عدد کابل با یک سر کربن سخت
- ۹- محفظه روغن
- ۱۰- منبع تغذیه ولتاژ متناوب
- ۱۱- سیم رابط
- ۱۲- گیره ساده رومیزی
- ۱۳- ماشین با هندل دستی و تسمه محرک



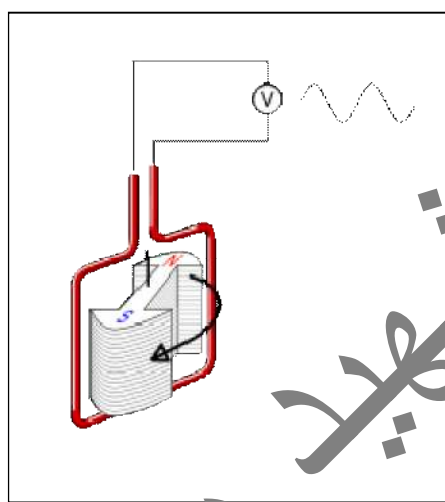
شکل (۱): وسایل آزمایش ژنراتور ولتاژ AC تک فاز



شکل (۲): چیدمان آزمایش ژنراتور ولتاژ AC تک فاز (قطب داخلی)

تئوری آزمایش:

ژنراتور دستگاهی است که انرژی مکانیکی را به انرژی الکتریکی تبدیل و در نهایت تولید برق می نماید که این کار معمولاً از طریق القای الکترومغناطیسی صورت می گیرد. القای الکترومغناطیسی با حرکت روتور در اطراف استاتور فراهم می شود که میدان الکتریکی، از طریق یک آهنربای دائم و یا آهنربای مغناطیسی می باشد. این انرژی مکانیکی توسط موتوری که به ژنراتور متصل یا به اصطلاح کوپل شده تولید می شود که مجموع این دو دستگاه را موتور ژنراتور یا generating set نامیده می شود.



شکل (۳): ژنراتور ساده با هسته مغناطیسی دوار (روتور) - سیم ثابت (استاتور)، نشان دهنده جریان ایجاد شده در استاتور توسط میدان مغناطیسی چرخشی روتور.

➤ استاتور

ایستانه یا استاتور (Stator) بخش ثابت یک دستگاه یا ماشین چرخنده است. بخش چرخنده دستگاه که چرخانه یا روتور نامیده می شود معمولاً چرخش خود را در درون ایستانه می دهد. از اینگونه دستگاهها می توان برای نمونه از تلمبه ها و موتورهای نام برد. البته به طور ویژه این وسیله در مورد ماشین الکتریکی اعم از الکتروموتورها یا مولدها در جریان های DC و AC استفاده می شود.

➤ روتور

چرخانه یا روتور به بخش چرخنده یک دستگاه یا ماشین می گویند. روتور از چندین بخش جدای باریک فولادی که میانشان میله هایی از مس یا آلومینیوم پیش بینی شده ساخته شده است.

روتور موتورهای القایی به دو صورت است:

✓ روتور قفس سنجابی

✓ روتور سیم پیچی شده

این چرخانه‌ها را می‌توان در دستگاه‌هایی مانند موتور، تلمبه یا بالگردها دید.

➤ تفاوت نقش استاتور در موتورهای مولدها

نکته‌ای که دربارهٔ استاتور و روتور در مولد برق و الکتروموتور وجود دارد، این است که به طور معمول، سیم پیچ استاتور در الکتروموتورها به منبع انرژی برق وصل می‌شود و با عبور جریان برق از سیم پیچی استاتور، میدان مغناطیسی ایجاد شده به چرخانه یا روتور، انرژی الکتریکی را القاء می‌نماید؛ و این انرژی در چرخانه به انرژی مکانیکی تبدیل شده و موجب گردش آن و بار مکانیکی (مثل یک تلمبه یا پروانه) متصل به آن می‌گردد؛ ولی در مولدها که خودشان منبع انرژی برق هستند، چرخانه حامل جریان برق DC و میدان مغناطیسی بوده و توسط یک وسیله مکانیکی مانند یک توربین بخار به چرخش درآورده می‌شود. میدان مغناطیسی چرخانه به دلیل چرخش می‌تواند در سیم پیچ استاتور انرژی الکتریکی را به صورت ولتاژی که در دو سر آن ظاهر می‌شود، القاء نماید؛ بنابراین در مولدها از سیم پیچ استاتور، برق گرفته می‌شود. در حالیکه در الکتروموتورها به سیم پیچی استاتور برق داده می‌شود.

➤ تفاوت روتورهای قطب داخلی و خارجی

قطب‌های مغناطیسی روتور می‌توانند ساختمان جبهه (قطب خارجی) یا صاف (قطب داخلی) داشته باشند. در نمونه‌های اولیه مانند ماشین جریان مستقیم، روی آرمیچر گردان یک یا دو جفت سیم پیچ وجود داشت که انتهای آنها به حلقه‌های لغزان متصل می‌شد و قطب‌های ثابت روی استاتور، میدان تحریک را تامین می‌کردند. به این طرح اصطلاحاً قطب خارجی می‌گفتند.

۱. انواع ژنراتور

عموماً ژنراتورهای به دو گروه تقسیم می‌شوند که عبارتند از: ژنراتور جریان مستقیم (DC) و ژنراتور جریان متناوب (AC)

۱. ژنراتور جریان مستقیم (DC)

از مولدهای جریان مستقیم بیشتر به عنوان منبع انرژی برای تحریک مولدهای نیروگاهی و ماشینهای خودکار، هواپیماها، جوشکاری با قوس الکتریکی، قطارهای راه آهن، اتوبوسهای برقی، زیر دریاییها و غیره استفاده می‌نمایند بدین ترتیب کاربرد مولدهای جریان مستقیم زیاد و متنوع است و لذا مولدهای جریان مستقیم با توان‌ها و دوره‌های مختلف ساخته می‌شوند.

۲. ژنراتور جریان متناوب (AC)

یکی از دسته بندی های معمول ژنراتورهای جریان متناوب با استفاده از تعداد فازهای ولتاژ خروجی است که عبارتند از: مولدهای تک فاز single phase و مولدهای چند فاز polyphas (که متداول ترین مولد این دسته، مولدهای سه فاز هستند). ژنراتورهای جریان متناوب بر اساس سرعت چرخشها به دو نوع تقسیم می شوند، که عبارتند از:

۱. مولدهای غیرهمزمان یا ژنراتورهای اسنکرون (Asynchronous Generator)

۲. مولدهای همزمان یا ژنراتورهای سنکرون (Synchronous Generator)

ژنراتورهای سنکرون، همانطور که از نامشان پیداست ماشین های همزمانی هستند که برای تبدیل توان مکانیکی به جریان الکتریکی متناوب به کار می روند و سرعت چرخش میدان دوار استاتور و روتور با هم همیشه (حتی زیر بار) برابر هستند در حالیکه در ژنراتورهای اسنکرون سرعت چرخش ها نابرابر است.

ماشین سنکرون سه راه یکی از مهمترین عناصر شبکه قدرت بوده و نقش کلیدی در تولید انرژی الکتریکی و انرژی مکانیکی کاربردهای خاص دیگر ایفاء کرده است. ساخت اولین نمونه ماشین سنکرون به انتهای قرن ۱۹ میلادی بازمی گردد.

در جهت افزایش ولتاژ، ابداع ساورمر در انتهای قرن بیستم توانست سقف ولتاژ تولیدی را تا حدود سطح ولتاژ انتقال افزایش دهد به نحوی که برخی محققان معتقدند در سالهای نه چندان دور، دیگر نیازی به استفاده از ترانسفورماتورهای افزایش دهنده نیروگاهی نیست.

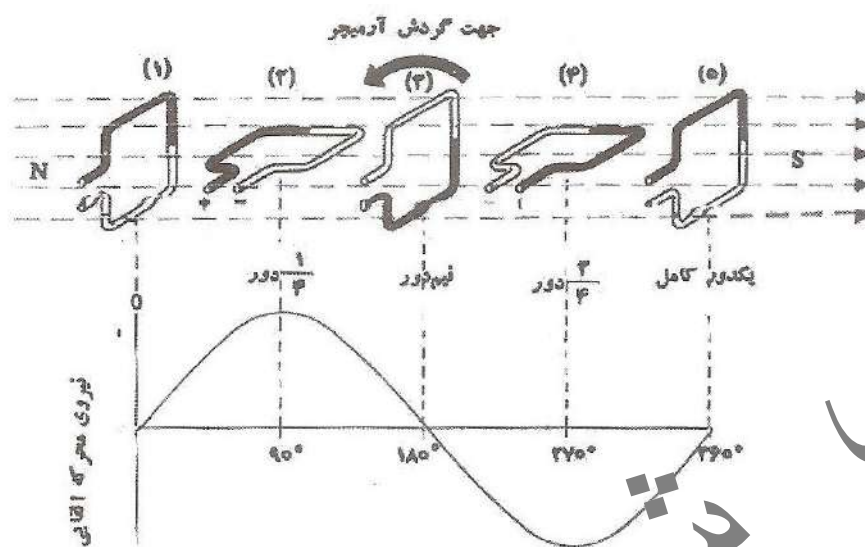
۳. تولید جریان متناوب تک فاز AC (Alternating current)

برای بررسی اصول کار ژنراتورهای تک فاز و تولید جریان متناوب می توان از قانون بیوساوار یا القای فارادی استفاده نمود. براساس این قانون در صورتی که یک هادی را در یک میدان مغناطیسی به گونه ای حرکت دهیم که خطوط میدان قطع شوند و یا برعکس میدان مغناطیسی ثابت (آهنربا) را در داخل یک هادی به گونه ای حرکت دهیم که هادی توسط میدان مغناطیسی قطع شود. در هر دو حالت ذکر شده در هادی ولتاژی القا خواهد شد که مقدار آن به صورت زیر قابل محاسبه خواهد بود:

$$E = BLV \sin \alpha$$

در رابطه فوق E ولتاژ القا شده بر حسب ولت، B چگالی میدان بر حسب تسلا (و بر متر مربع)، L طول موثر هادی بر حسب متر، V سرعت حرکت هادی یا میدان مغناطیسی بر حسب متر بر ثانیه و

α زاویه بین امتداد حرکت هادی و میدان می باشد. شکل زیر تولید ولتاژ در یک دور کامل هادی در داخل میدان مغناطیسی را نشان می دهد.



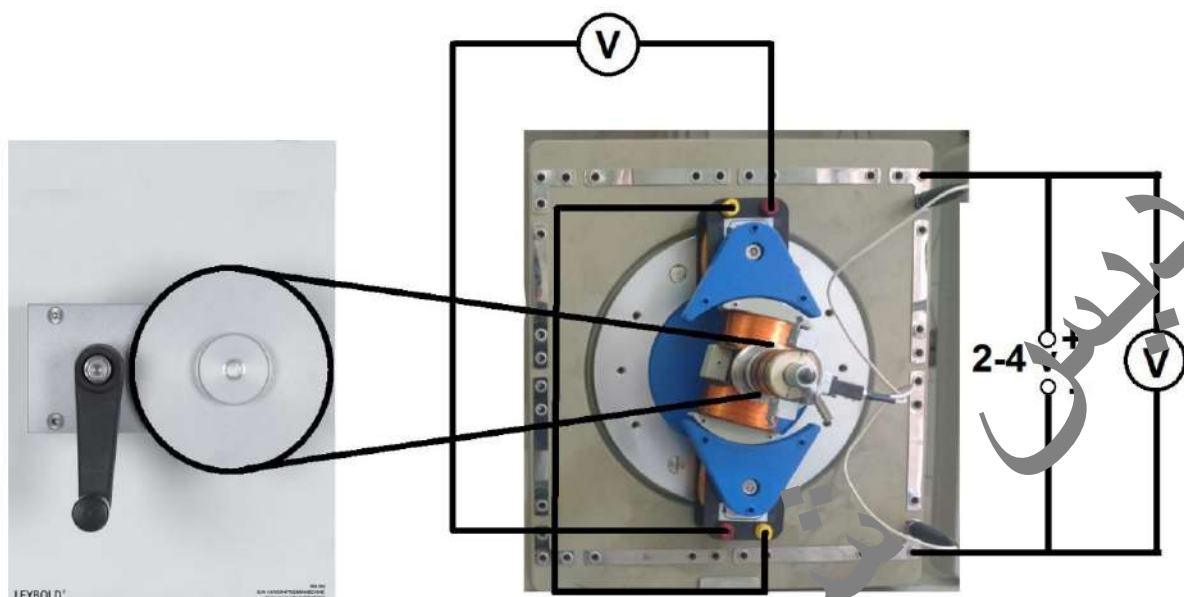
شکل (۴): تولید ولتاژ در چرخش کامل یک هادی در میدان مغناطیسی

برای افزایش ولتاژ خروجی باید تعداد هادی ها را افزایش داد و با هم سری نمود که در این حالت ولتاژ تولیدی از رابطه $E = BLV \sin \alpha$ قابل محاسبه می باشد. N تعداد دور کل سیم پیچی آرمیچر و L طول آرمیچر یا طول هر هادی می باشد.

خروجی ژنراتور در حالت شکل بالا از طریق حلقه های لغزنده به مصرف کننده منتقل می شود که یکی از ترمینال ها را با حرف L (Live) یعنی فاز و دیگری را با حرف N (Neutral) یعنی نول یا مبنا نشان می دهند.

چیدمان آزمایش:

ابتدا صفحه پایه فلزی را روی یک میز با سطح صاف ثابت می کنیم. سپس دیسک مرکزی را جهت در مرکز قرار دادن چرخنده روی صفحه پایه فلزی قرار می دهیم. مطابق شکل (۵)، سیم پیچ های ۲۵۰ دوری را به همراه دیرک های مغناطیسی پهن روی صفحه پایه فلزی قرار داده و به کمک پیچ مخصوص و آچار آلن روی صفحه پایه محکم می بندیم. بعد از اطمینان از اتصال و در مرکز قرار گرفتن مجموعه، دیسک مرکزی را از محور صفحه پایه فلزی خارج کرده و چرخنده یا روتور دو قطبی را وارد محور صفحه پایه می کنیم. سپس تسمه محرک را بر روی تسمه نقاله قرار داده و کابل های با سوکت های کربنی، منبع تغذیه متناوب و ولت متر را با استفاده از سیم های رابط به صورت چیدمان زیر کامل می کنیم.



شکل (۵): ژنراتور AC تک فاز

روش انجام آزمایش:

۱- منبع تغذیه را روی ولتاژ شاخص ۲ تا ۴ ولت تنظیم کرده و به ژنراتور اعمال می‌کنیم. سپس با نگهداشتن دست بر روی یکی از قرقره‌های ماشین دستی، به آرامی هندل ماشین دستی را می‌چرخانیم. با زیر نظر قرار دادن جایگاه چرخنده نسبت به سیم پیچ‌ها، به ولتمتر توجه کرده و مشاهدات خود را یادداشت می‌کنیم.

۲- منبع تغذیه را روی ولتاژهای شاخصی که در جدول (۱) مشخص شده است، تنظیم کرده و به ژنراتور اعمال می‌کنیم. سپس با نگهداشتن دست بر روی یکی از قرقره‌های ماشین دستی، به آرامی هندل ماشین دستی را می‌چرخانیم. در هر مرحله مقدار ولتاژ اندازه‌گیری شده توسط ولتمتر به عنوان ولتاژ خروجی را، در جدول یادداشت می‌کنیم.

جدول (۱): جدول اندازه‌گیری ولتاژ خروجی

ولتاژ محرک	0 V	1V	2V	3V	4V	5V
ولتاژ خروجی						

با استفاده از داده‌های جدول (۱)، وابستگی ولتاژ خروجی به ولتاژ محرک را با استفاده از نمودار تحقیق نمایید.

آزمایش شماره (۸ ب)

عنوان آزمایش:

بررسی شکل کلی ولتاژ متناوب خروجی از ژنراتور AC

هدف:

بررسی شکل موج سینوسی ولتاژ AC:

- ۱- با استفاده از یک لامپ رشته ای
- ۲- با استفاده از یک ابزار اشاره گر

وسایل مورد نیاز:

- ۱- صفحه پایه فلزی به همراه نگه دارنده مسودی آن
- ۲- ۲ عدد سیم پیچ (کوئل) ۲۵۰ دور
- ۳- دیرک های پهن جهت اتصال سیم پیچ ها به صفحه پایه فلزی
- ۴- نگهدارنده کابل
- ۵- دیسک مرکزی جهت در مرکز قرار دادن چرخنده روی صفحه پایه فلزی
- ۶- چرخنده (روتور) دو قطبی
- ۷- آچار آلن
- ۸- ۲ عدد کابل با یک سر کربن سخت
- ۹- محفظه روغن
- ۱۰- منبع تغذیه ولتاژ متناوب
- ۱۱- سیم رابط
- ۱۲- گیره ساده رومیزی

۱۳- ماشین با هندل دستی و تسمه نقاله

۱۴- ولت‌متر

۱۵- سربیس لامپ

۱۶- لامپ رشته‌ای ۶ولت، ۳ وات

۱۷- کلید- سوئیچ



شکل (۱): وسایل آزمایش شکل ولتاژ خروجی رنراتور AC

تئوری آزمایش:

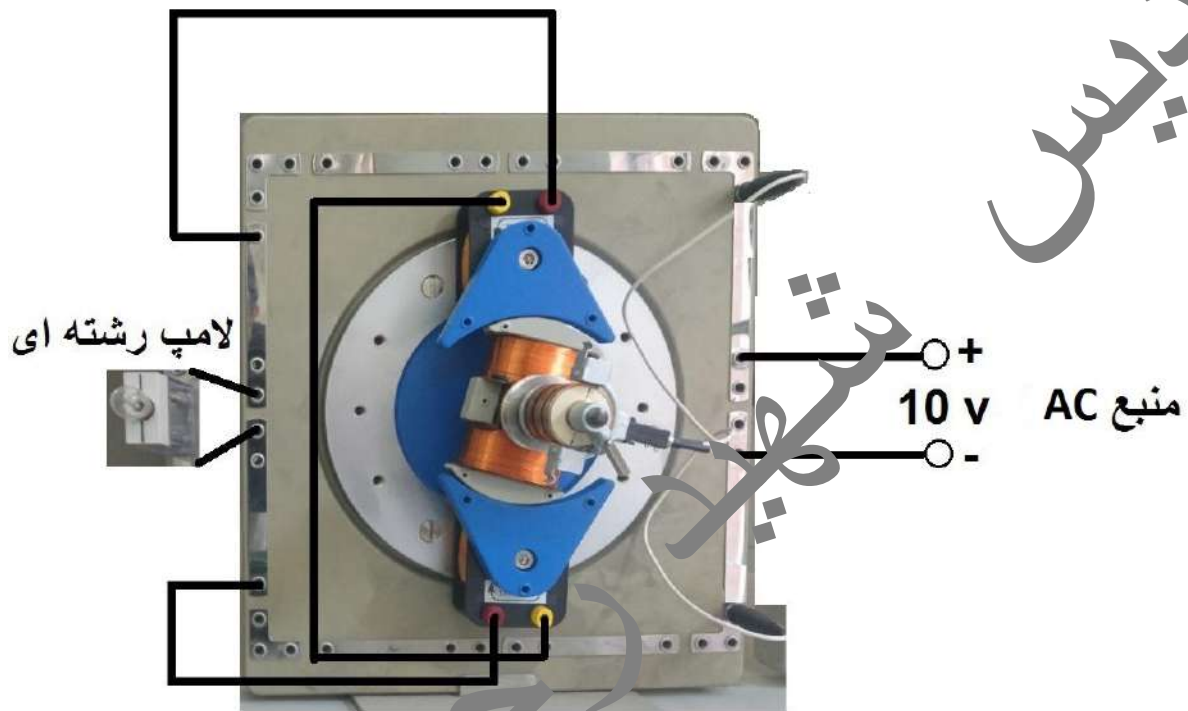
روتور با ولتاژ متناوب کار می‌کند. ولتاژ ثانویه ای به علت اثر ترانسفورماتوری به سیم پیچ های استاتور القا می‌شود.

ولتاژ متناوب در داخل سیم پیچ های استاتور به علت آشفتگی در مدار تحریک، ایجاد می‌شود. مقدار این ولتاژ به زاویه ی بین روتور و سیم پیچ و برخی موارد دیگر بستگی دارد. مقدار اندازه گیری شده در طی این آزمایش در جدولی نوشته خواهد شد.

➤ روش انجام آزمایش :

آزمایش (ب) (۱) :

✓ مطابق شکل (۲) ادوات آزمایش را کنار هم بچینید.



شکل (۲): چیدمان آزمایش (الف)، تاثیر منبع AC روی روشنایی لامپ

✓ موقعیت سیم پیچ‌ها را با استفاده از دیسک مرکزی تنظیم کنید.

✓ کابل با سری کربنی را در داخل نگهدارنده قرار دهید.

✓ کابل‌ها را به منبع تغذیه وصل کرده و روی 10 V AC قرار دهید.

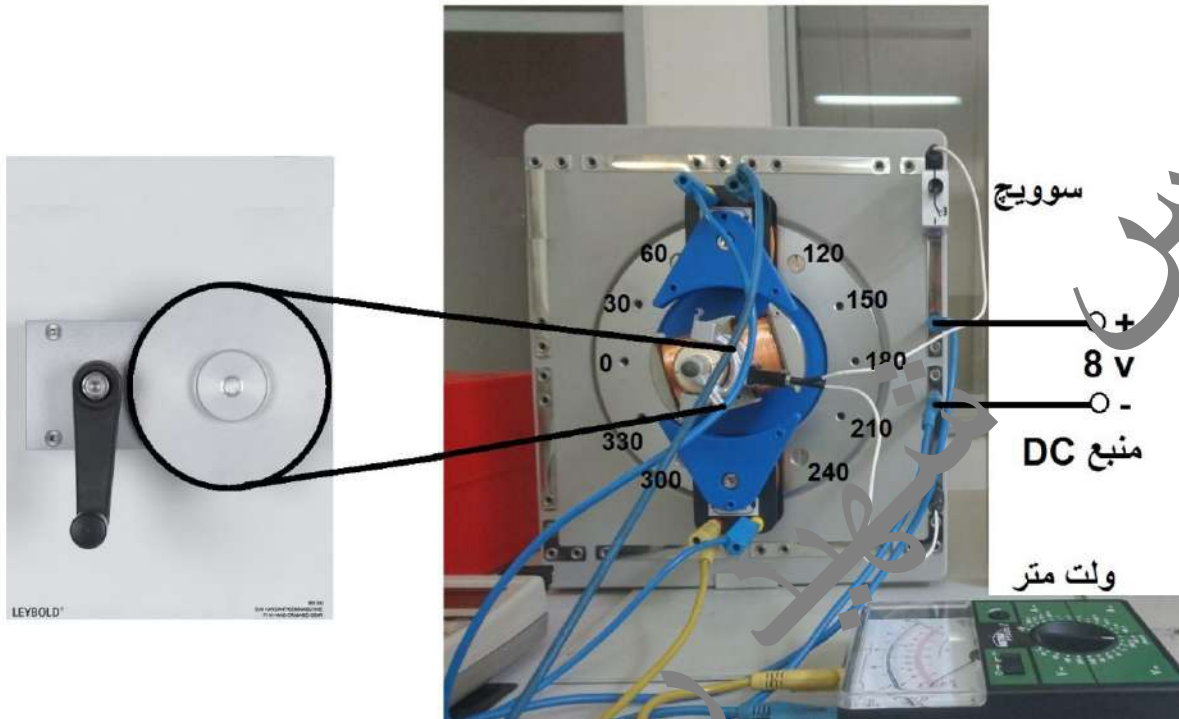
✓ روتور را بصورت دستی در زوایای مختلف قرار داده و روشنایی لامپ را مشاهده کنید.

✓ با دست به آرامی روتور را در زوایای مختلف از ۰ تا ۳۶۰ درجه بچرخانید و لامپ رشته ای را مشاهده کنید.

✓ مشاهدات خود را یادداشت کنید.

آزمایش (ب) (۲):

✓ مطابق شکل (۳) ادوات آزمایش را کنار هم بچینید.



شکل (۳): چیدمان آزمایش (ب)، بر روی موتور AC در زوایای مختلف

- ✓ موقعیت قطب ها را تنها با استفاده از دیسک مرکزی تنظیم کنید.
- ✓ حلقه ای را که دارای مقوای طرح دار هست و در شکل (۳) نشان داده شده است بوسیله نوار چسب دوطرفه دور قطب ها انداخته و محکم کنید.
- ✓ کابل با سر کربنی را در داخل نگهدارنده قرار دهید.
- ✓ تسمه نقاله را از قرقره های روتور و دستگاه چرخشی دستی عبور داده و آن را سفت کنید.
- ✓ کابل ها را به منبع تغذیه وصل کرده و روی مقدار تقریبی 8 V DC تنظیم کنید.
- ✓ سیم پیچ ها را به ابزار اندازه گیری وصل کرده و رنج آن را 1 V DC قرار دهید.
- ✓ با استفاده از ماشین همدل دستی، روتور را در زوایای مختلف ثابت کنید.
- ✓ در هر زاویه ای که روتور را ثابت نگه داشتید، با استفاده از کلید-سوئیچ یک ولتاژ متناوب لحظه ای را به روتور اعمال کنید.
- ✓ تغییرات ولتاژ را بخوانید و در یک جدول یادداشت کنید.

جدول (۱): جدول تغییرات ولتاژ در زوایای مختلف

$\alpha/0$	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۱۰	۲۴۰	۲۷۰	۳۰۰	۳۳۰
Div												

با استفاده از داده های جدول (۱)، وابستگی ولتاژ خروجی به ولتاژ محرک را با استفاده از نمودار
تأیید نمایید.

تأیید
در جای
ارو میله

آزمایش شماره (۹)

الف) تعیین راکتانس خازنی با استفاده از پل

اندازه‌گیری وین

ب) تعیین مقاومت القایی با استفاده از پل اندازه-

گیری ماکسول

پ) بررسی رفتار سیم‌پیچ‌ها در مدارات موازی و

سری

آزمایش شماره (۹)

این آزمایش در سه بخش طراحی شده است.

بخش (الف)

توان آزمایش:

تعیین راکتانس خازنی^۱ با استفاده از پل اندازه گیری وین^۲

اهداف آزمایش

- ۱- تعیین ظرفیت خازن ها با استفاده از پل اندازه گیری وین
- ۲- نمایش عدم وابستگی موقعیت ترمینال به فرکانس ولتاژ AC

وسایل مورد نیاز

- ۱- یک عدد خازن ۱ میکروفاراد به عنوان خازن مرجع
- ۲- یک عدد خازن ۴/۷ میکروفاراد به عنوان خازن مرجع
- ۳- دو عدد خازن به عنوان خازن مجهول
- ۴- برد A_4
- ۵- مقاومت ۱۰۰ اهم
- ۶- جعبه مقاومت متغیر
- ۷- مجموعه ده تایی پل اتصالی برد A_4
- ۸- فانکشن ژنراتور
- ۹- مولتی متر دیجیتال

1- Capacitive reactance
2 - Wien measuring bridge

تئوری آزمایش:

مدار اندازه‌گیری و تستون برای تعیین مقاومت اهمی در مدارات AC و DC مورد استفاده قرار می‌گیرد. به سبب شباهت مدارهای پل، با استفاده از پل اندازه‌گیری وین (شکل (۱))، مقدار مقاومت خازنی تعیین می‌شود. این پل اندازه‌گیری شامل سه بخش، بخش اول چهار بازوی پل غیرفعال که بر روی یک مربع به یکدیگر متصل شده‌اند، بخش دوم یک بازوی شاخص^۳ با نشان‌دهنده تعادل^۴ و بخش سوم یک بازوی منبع با منبع ولتاژ متناوب که به آن‌ها متصل شده‌اند، است. با تنظیم المان‌های متغیر، جریان در بازوی شاخص پل وین صفر می‌شود. پس، راکتانس مختلط^۵ شرط تعادلی پل را ارضا می‌کند:

$$Z_1 = Z_2 \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \quad (۱)$$

که از این معادله کمیت Z_1 محاسبه می‌شود. کمیت Z_1 از رابطه زیر پیروی می‌کند:

$$Z_1 = \frac{1}{i \cdot 2\pi f \cdot C_1} \quad (۲)$$

که در آن C_1 ظرفیت خازن مجهول، f فرکانس ولتاژ متناوب اعمال می‌شوند. کمیت‌های دیگر معادله (۱)، Z_2 مقاومت مرجع خازنی، Z_3 مقاومت اهمی ثابت، Z_4 مقاومت اهمی متغیر است. بنابراین،

$$Z_2 = \frac{1}{i \cdot 2\pi f \cdot C_2} \quad (۳)$$

و

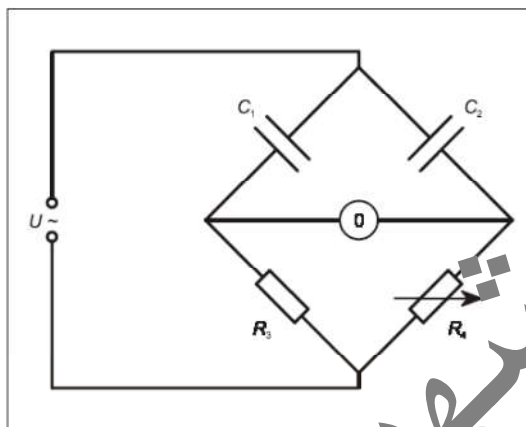
$$Z_3 = R_3 \text{ و } Z_4 = R_4 \quad (۴)$$

هستند. در حالت تعادل صفر، رابطه (۲) به صورت زیر ساده می‌شود:

3- Indicator arm
4- Balance indicator
5 - Complex reactance

$$C_1 = C_2 \cdot \frac{R_4}{R_3} \quad (5)$$

این رابطه مستقل از آن که فرکانس f چه مقداری انتخاب شود، برقرار است. در این آزمایش به جای مولتی متر دیجیتال می توان از بلندگو یا اسیلوسکوپ به عنوان نشان دهنده تعادل استفاده نمود.



شکل (۱): دیاگرام یک پل اندازه گیری وین به منظور اندازه گیری مقاومت خازنی Z_I

روش انجام آزمایش

چیدمان آزمایش

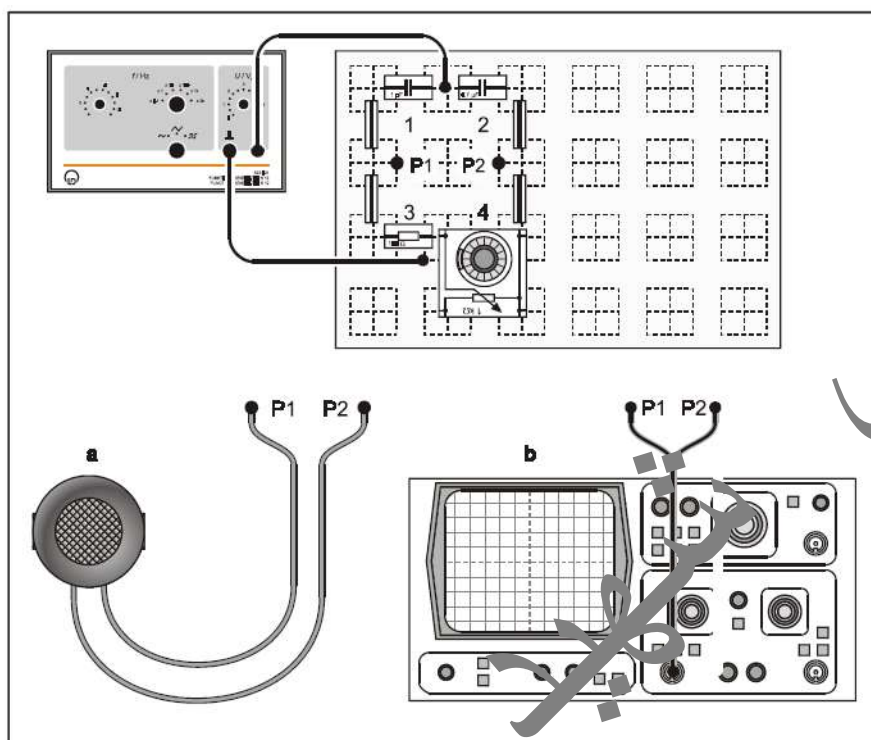
چیدمان آزمایش در شکل (۲) نشان داده شده است.

- ۱- مقاومت ثابت ۱۰۰ اهم را به صورت سری به خازن مجهول متصل نمایید.
- ۲- مقاومت متغیر را به صورت سری به خازن معلوم متصل نمایید.
- ۳- دو شاخه اتصال سری بخش (۱) و (۲) را به صورت موازی طبق شکل (۲) متصل نمایید.
- ۴- فانکشن ژنراتور را به عنوان منبع ولتاژ AC در بازوی منبع متصل نموده و ولتاژ خروجی را دو ولت با شکل موج سینوسی انتخاب نمایید. به دلیل حساسیت قطعات و امکان آسیب دیدگی جدی آن ها

از افزایش ولتاژ فانکشن ژنراتور اکیداً خودداری کنید.

۶- به جای مقاومت متغیر یک کیلو اهمی یک جعبه مقاومت مورد استفاده قرار گرفته است.

۵- مولتی متر را در بازوی شاخص قرار دهید.



شکل (۲): چیدمان آزمایش برای تعیین مقاومت خازنی با استفاده از پل اندازه گیری وین

❖ نحوه انجام آزمایش

اگر در پل وین از مولتی متر در بازوی شاخص استفاده شود، فرکانس زیر ۱۰۰۰ هرتز به جهت حساسیت خطی مولتی متر به فرکانس در این بازه فرکانسی توصیه می شود. در صورت استفاده از بلندگو استفاده از بیشینه فرکانس پیشنهاد می شود (استفاده از فرکانس بالاتر حساسیت شنوایی کاربر را تضمین می کند). 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- فانکشن ژنراتور را روشن نموده و فرکانس را بر روی ۵۰ هرتز تنظیم نمایید. فراموش نکنید پیش از اتصال

فانکشن ژنراتور به مدار ولتاژ را بر روی دوولت تنظیم کنید.

۳- مقاومت R_4 را به دقت تغییر دهید تا سیگنال در نشان‌دهنده تعادل کمینه (تقریباً) صفر شود.

۴- مقدار مقاومت R_4 را در جدول ثبت نمایید.

۵- مقدار ظرفیت خازنی C_1 را از رابطه (۵) محاسبه نمایید.

۶- آزمایش را با فرکانس‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز تکرار نموده و جدول (۱) را تکمیل کنید.

جدول (۱): مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده مدار پل وین خازن ۱ میکروفاراد به عنوان خازن مجهول

درصد خطا	$C_1 (\mu F)$	$C_2 (\mu F)$	$R_4 (\Omega)$	$R_3 (\Omega)$	$f (Hz)$
		۴/۷		۱۰۰	۵۰
		۴/۷		۱۰۰	۱۰۰
		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، جدول (۲) را تکمیل کنید. در ابتدا رابطه خازن‌های سری را محاسبه نمایید. سپس ستون انتهایی

جدول را تکمیل نمایید.

جدول (۲): مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده مدار پل وین خازن ۱ و ۴/۷ میکروفاراد به صورت سری به عنوان خازن مجهول

درصد خطا	$C_1 (\mu F)$	$C_2 (\mu F)$	$R_4 (\Omega)$	$R_3 (\Omega)$	$f (Hz)$
		۴/۷		۱۰۰	۵۰
		۴/۷		۱۰۰	۱۰۰
		۴/۷		۱۰۰	۲۰۰

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، جدول (۳) را تکمیل کنید. در ابتدا رابطه خازن‌های موازی را محاسبه نمایید. سپس ستون انتهایی جدول را تکمیل نمایید.

جدول (۳): تقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده مدار پل وین خازن ۱ و ۴/۷ میکروفاراد به صورت موازی به عنوان خازن مجهول

درصد خطا	$C_1 (\mu F)$	$C_2 (\mu F)$	$R_4 (\Omega)$	$R_3 (\Omega)$	$f (Hz)$
		۴/۷		۱۰۰	۵۰
		۴/۷		۱۰۰	۱۰۰
		۴/۷		۱۰۰	۲۰۰
		۴/۷		۱۰۰	۵۰۰
		۴/۷		۱۰۰	۱۰۰۰

الف - خازن مرجع ۱ میکروفاراد:

۱- خازن ۴/۷ میکروفاراد را به عنوان خازن مجهول C_1 و خازن ۱ میکروفاراد را به عنوان خازن مرجع C_2 در مدار وارد نمایید.

۲- فانکشن ژنراتور را روشن نموده و فرکانس را بر روی ۵۰ هرتز تنظیم نمایید. فراموش نکنید پیش از اتصال فانکشن ژنراتور به مدار ولتاژ را بر روی دوولت تنظیم کنید.

۳- مقاومت R_4 را به دقت تغییر دهید تا سیگنال در نشان‌دهنده تعادل کمینه (تقریباً برابر صفر) شود.

۴- مقدار مقاومت R_4 را در جدول ثبت نمایید.

۵- مقدار ظرفیت خازنی C_1 را از رابطه (۵) محاسبه نمایید.

۶- آزمایش را با فرکانس‌های ۱۰۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ هرتز تکرار نموده و جدول (۴) را تکمیل کنید.

جدول (۴): مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده مدار پل وین خازن ۴/۷ میکروفاراد به عنوان خازن مجهول

درصد خطا	$C_1 (\mu F)$	$C_2 (\mu F)$	$R_4 (\Omega)$	$R_3 (\Omega)$	$f (Hz)$
		۱		۱۰۰	۵۰
		۱		۱۰۰	۱۰۰
		۱		۱۰۰	۲۰۰
		۱		۱۰۰	۵۰۰
		۱		۱۰۰	۱۰۰۰

۷- خازن ۱ میکروفاراد و ۴/۷ میکروفاراد را به صورت سری به یکدیگر متصل نموده و جایگزین خازن C_1

کنید، جدول (۵) را تکمیل کنید. طبق رابطه خازن‌های سری، ستون انتهایی جدول را تکمیل نمایید.

جدول (۵): مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده مدار پل وین خازن ۱ و ۴/۷ میکروفاراد به صورت سری به عنوان خازن مجهول

درصد خطا	$C_1 (\mu F)$	$C_2 (\mu F)$	$R_4 (\Omega)$	$R_3 (\Omega)$	$f (Hz)$
		۱		۱۰۰	۵۰
		۱		۱۰۰	۱۰۰
		۱		۱۰۰	۲۰۰
		۱		۱۰۰	۵۰۰
		۱		۱۰۰	۱۰۰۰

۸- خازن ۱ میکروفاراد و ۴/۷ میکروفاراد را به صورت موازی به یکدیگر متصل نموده و جایگزین خازن C_1

کنید، جدول (۶) را تکمیل کنید. طبق رابطه خازن‌های موازی سپس ستون انتهایی جدول را تکمیل

نمایید.

جدول (۶): مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده مدار پل وین خازن ۱ و ۴/۷ میکرو فاراد به صورت موازی به عنوان خازن مجهول

درصد خطا	$C_1 (\mu F)$	$C_2 (\mu F)$	$R_4 (\Omega)$	$R_3 (\Omega)$	$f (Hz)$
		۱		۱۰۰	۵۰
		۱		۱۰۰	۱۰۰
		۱		۱۰۰	۲۰۰
		۱		۱۰۰	۵۰۰
		۱		۱۰۰	۱۰۰۰

سوالات

- ۱- آیا دقت اندازه‌گیری پل وین وابسته به فرکانس است؟ پاسخ را به طور مبسوط توضیح دهید.
- ۲- آیا دقت اندازه‌گیری تحت تأثیر خازن مرجع قرار می‌گیرد؟
- ۳- آیا خازن مرجع را می‌توان با مقاومت اهمی جایگزین نمود؟ جواب خود را به صورت کامل و مبسوط توضیح دهید.
- ۴- دقت اندازه‌گیری آیا در بازه تلرانس^۷ شرکت سازنده قرار دارد؟
- ۶- چه نکاتی را جهت افزایش دقت پل وین برای اندازه‌گیری ظرفیت - انی پیشنهاد می‌کنید؟
- ۷- آیا می‌شود در این آزمایش از منبع مستقیم استفاده نمود؟ به صورت مبسوط توضیح دهید.

بخش (ب)

◀ عنوان آزمایش:

تعیین مقاومت القایی^۸ با استفاده از پل اندازه‌گیری ماکسول^۹

◀ اهداف آزمایش

۱- تعیین اندوکتانس^{۱۰} و مقاومت اهمی یک سیم‌پیچ هوا به صورت تابعی از تعداد دورها با تنظیم پل اندازه‌گیری ماکسول

۲- نمایش آن‌که موقعیت تعادل مستقل از فرکانس ولتاژ AC است.

۳- مقایسه مقدار اندازه‌گیری شده با ولتاژ محاسبه‌شده از داده‌های هندسی سیم‌پیچ

◀ وسایل مورد نیاز

۱- سیم‌پیچ ۵۰۰ دور یک عدد

۲- سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دور یک عدد

۳- برد A_4

۴- مقاومت 100Ω یک عدد

۵- جعبه مقاومت متغیر دو عدد

۶- خازن $4/7$ میکروفاراد یک عدد

۷- مجموعه ده‌تایی پل اتصال یک عدد

۸- فانکشن ژنراتور S_{12}

۹- سیم ارتباطی

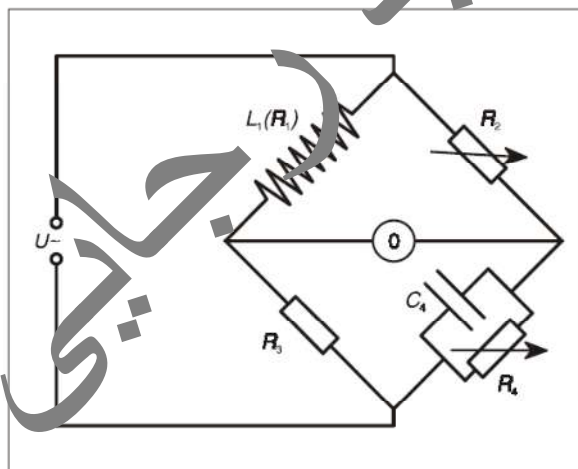
8- Inductive reactance
9 - Maxwell measuring bridge
10- Inductance

تئوری آزمایش:

همان گونه که در بخش پیشین ذکر شد، پل اندازه گیری وتستون برای تعیین مقاومت اهمی در مدارهای AC و DC به کار می رود. به صورت مشابه با مدار پل وتستون و پل وین، با استفاده از پل اندازه گیری ماکسول (شکل (۱))، می توان راکتانس القائی را اندازه گیری نمود. این پل اندازه گیری نیز دارای چهار بازوی غیر متعادل است. به صورت مربعی به یکدیگر متصل شده اند، یک بازوی شاخص با یک نشان دهنده تعادل و یک بازوی منبع با منبع ولتاژ AC هستند. جریان در بازوی شاخص تنظیم المان های متغیر در بازوی پل صفر می شود. پس، مقاومت های مختلط موجب شرط تعادل پایه را ارضا می نماید:

$$Z_1 = Z_2 \cdot \frac{Z_3}{Z_4} \quad (1)$$

که در آن Z_1 کمیت مجهول است، نه بر اساس کمیت های اندازه گیری شده و معلوم به دست می آید.



شکل (۱): دیاگرام پل اندازه گیری ماکسول برای تعیین مقاومت القائی Z_1

Z_1 کمیتی مختلط به شکل زیر است:

$$Z_1 = R_1 + i \cdot 2\pi \cdot f \cdot L_1 \quad (2)$$

که در آن L_1 اندوکتانس، R_1 مقاومت اهمی و f فرکانس ولتاژ AC اعمالی است، که می تواند به روش فوق تعیین شود، i برابر $\sqrt{-1}$ است.

از آن جا که هم بخش اهمی و هم بخش القائی Z_1 باید به تعادل برسد، این مدار کمی پیچیده تر از پل اندازه گیری و تستون و حتی پل اندازه گیری وین است. Z_2 مقاومت اهمی متغیر و Z_3 مقاومت اهمی ثابت و

Z_4

مقاومت موازی با راکتانس خازنی و یک مقاومت اهمی متغیر به عنوان امپدانس^{۱۱} مرجع است.

بنابراین

$$Z_3 = R_3 \text{ و } Z_2 = R_2 \quad (۳)$$

و

$$\frac{1}{Z_4} = \frac{1}{R_4} + i \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_4 \quad (۴)$$

در حالت تعادل صفر، بخش اهمی Z_1 برابر

$$R_1 = R_2 \cdot R_3 \cdot \frac{1}{R_4} \quad (۵)$$

و

بخش خالص القائی

$$L_1 = R_2 \cdot R_3 \cdot C_4 \quad (۶)$$

مستقل از فرکانس است.

در این آزمایش، اندوکتانس ها و مقاومت های اهمی دو سیم پیچ هوا با ابعاد یکسان، اما تعداد دورهای مختلف تعیین و با یکدیگر مقایسه می شوند. به عنوان نشان دهنده تعادل به جای مولتی متر می توانید از بلندگو یا اسیلوسکوپ استفاده نمایید.

اندوکتانس سیم پیچ هوا طبق رابطه زیر به دست می آید:

$$L = \mu_0 N^2 \cdot K \cdot \frac{a^2}{d} \quad (۷)$$

که در آن $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{VS}{Am}$ ثابت مغناطیسی، N تعداد دورها و d طول سیم پیچ، a طول لبه میانگین سطح مقطع مربعی آن است. در سیم پیچ های این آزمایش، $d = 3.3cm$ ، $a = 2.5cm$ و ضریب مغناطیس-زدایی است که باید برای سیم پیچ هایی به طول محدود در نظر گرفته شود، در این آزمایش این فاکتور برابر 0.7 است.

مقاومت سری حلقه های سیم برابر

$$R = \rho \cdot \frac{S}{q} = \rho \cdot \frac{N \cdot 4 \cdot a}{q} \quad (8)$$

مقاومت ویژه مس $\rho = 0.017 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$ ، q سطح مقطع سیم و $S = 4 \cdot N \cdot a$ طول سیم است.

روش انجام آزمایش

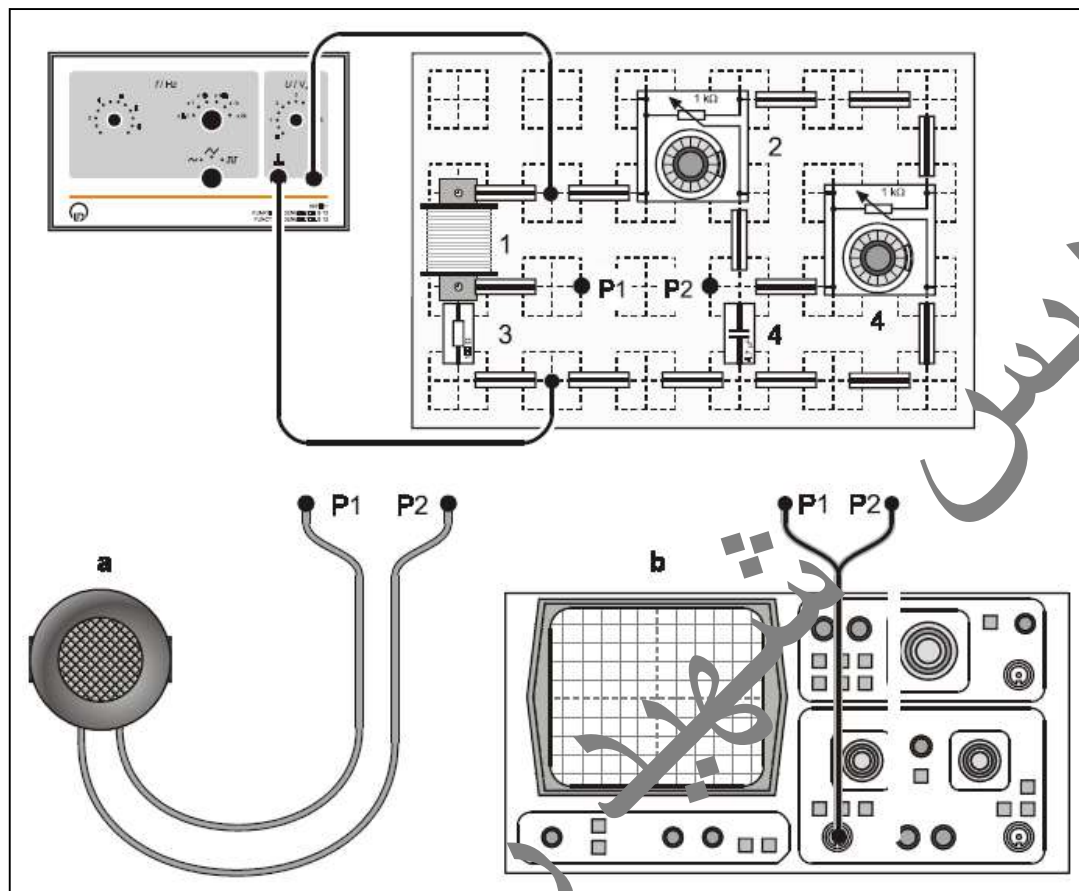
❖ چیدمان آزمایش

چیدمان آزمایش در شکل (۲) نشان داده شده است.^{۱۲}

۱- فانکشن ژنراتور به عنوان منبع AC با بیشینه ولتاژ خروجی در شکل سیگنال سینوسی متصل می شود.

۲- مولتی متر را بر روی حالت آمپر متر وارد کنید، گستره جریان را 10 میلی آمپر انتخاب نمایید. (می توانید از اسیلوسکوپ یا بلندگو در نقاط اتصال نشان دهنده تعادل استفاده کنید).

۱۲- به جای دو مقاومت متغیر یک کیلواهمی دو جعبه مقاومت مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل (۲): چیدمان آزمایشگاهی برای تعیین رکتانس القایی با استفاده از پل اندازه‌گیری ماکسول

نکته: اگر در پل ماکسول از مولتی‌متر در بازوی شاخص استفاده شود، فرکانس زیر ۱۰۰۰ هرتز

به جهت حساسیت خطی مولتی‌متر به فرکانس در این بازه بررسی توصیه می‌شود. در صورت

استفاده از بلندگو استفاده از بیشینه فرکانس پیشنهاد می‌شود (استفاده از فرکانس بالاتر حساسیت

شنوایی کافی را تضمین می‌کند). در صورت استفاده از اسیلوسکوپ استفاده تنظیم صحیح

حساسیت سیستم ضروری است.

الف - اندازه‌گیری پارامترهای سیم پیچ ۱۰۰۰ دور هوا

۱- سیم پیچ ۱۰۰۰ دور را در مدار قرار دهید.

۲- فانکشن ژنراتور را به منبع تغذیه را به منبع تغذیه ۱۲ VAC متصل کنید.

۳- فرکانس را به صورت مناسب بر اساس نشان دهنده تعادل انتخاب کنید. شاخص ولتاژ را بر روی دو ولت

تنظیم کنید.

۴- متناوباً مقاومت‌های R_2 و R_4 را تا زمانی که سیگنال در نشان دهنده تعادل سیگنال کمینه (تقریباً برابر

صفر) شود تغییر دهید.

۵- جدول (۱) را تکمیل نمایید.

۶- تغییر فرکانس را در بازه عملکرد نشان دهنده تعادل چیدمان خود در حالت تعادل چک کنید.

جدول (۱): مقادیر معلوم، اندازه‌گیری شده و محاسبه شده برای سیم پیچ ۱۰۰۰ دور

$C_4 (\mu F)$	$R_3 (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	$R_4 (\Omega)$	$L (mH)$	$R_L (\Omega)$
۴/۷	۱۰۰				

ب- اندازه‌گیری پارامترهای سیم پیچ ۵۰۰ دمر هوا

۱- سیم پیچ ۵۰۰ دور را به جای سیم پیچ ۱۰۰۰ دور در مدار قرار دهید.

۲- آزمایش بخش (الف) را تکرار نمایید.

۳- جدول (۲) را تکمیل نمایید.

جدول (۲): مقادیر معلوم، اندازه‌گیری شده و محاسبه شده برای سیم پیچ ۵۰۰ دور

$C_4 (\mu F)$	$R_3 (\Omega)$	$R_2 (\Omega)$	$R_4 (\Omega)$	$L (mH)$	$R_L (\Omega)$
۴/۷	۱۰۰				

سوالات:

۱- آیا دقت اندازه‌گیری پل ماکسول وابسته به فرکانس است؟ پاسخ را به طور مبسوط توضیح دهید.

- ۲- آیا از پل ماکسول در حالت ولتاژ مستقیم می‌توان استفاده کرد؟
- ۳- نقش مقاومت متغیر R_4 در مدار چیست؟ آیا می‌توان همانند پل وین آن را حذف نموده و یا مدار را به گونه‌ای دیگر تنظیم کرد؟
- ۲- آیا دقت و گستره اندازه‌گیری تحت تأثیر انتخاب خازن و مقاومت ثابت قرار می‌گیرد؟
- ۳- آیا خازن مرجع را می‌توان با مقاومت اهمی جایگزین نمود؟ جواب خود را به صورت کامل و مبسوط توضیح دهید.
- ۴- دقت اندازه‌گیری آیا در بازه تolerانس^{۱۳} شرکت سازنده قرار دارد؟
- ۵- چه نکاتی را جهت افزایش دقت پل ماکسول برای اندازه‌گیری ضریب خودالقاء و مقاومت اهمی یک سیم پیچ پیشنهاد می‌کنید؟

بخش (ج)

◀ عنوان آزمایش:

بررسی رفتار سیم پیچ‌ها در مدارات موازی و سری

◀ هدف آزمایش:

تحقیق قوانین بهم بستن سلف‌ها به صورت سری و موازی در مدارهای جریان مستقیم و متناوب و محاسبه اندوکتانس معادل آن‌ها

◀ وسایل مورد نیاز

- ۱- فانکشن ژنراتور S_{12}
- ۲- منبع تغذیه
- ۳- دو مولتی‌متر دیجیتال
- ۴- سیم پیچ ۱۰۰۰ دور

۵- سیم پیچ ۵۰۰ دور

۶- برد A4

۷- سیم های رابط

تئوری آزمایش:

همانگونه که در بخش پیشین ذکر شد مقاومت سیم پیچ ها شامل دو بخش مقاومت اهمی و راکتانس القایی است که از رابطه (۲) بخش (ب) پیروی می کنند. همانگونه که با به هم بستن مقاومت های اهمی به یکدیگر به صورت سری موازی مقدار مقاومت اهمی مدار تغییر می کند، در صورت استفاده از ترکیب سری و موازی سیم پیچ ها، مقدار مقاومت اهمی و میزان خاصیت القایی آن ها تغییر می کند.

یکی از روش های اندازه گیری خاصیت خودالقایی و مقاومت اهمی سیم پیچ ها در مدار استفاده از منبع متناوب و منبع مستقیم در دو مرحله است. ابتدا سیم پیچ در مدار مستقیم قرار بگیرد، از آنجا که مقدار فرکانس صفر است، رابطه (۱) به شکل (۲) تبدیل به رابطه ای حقیقی و متشکل از مقاومت اهمی می شود. هنگامی که سیم پیچ در مدار متناوب قرار می گیرد، میزان امپدانس کل مدار Z اندازه گیری می شود، که با توجه به اندازه گیری R در مدار مستقیم مقدار L از رابطه زیر حاصل می شود:

$$L_1 = \frac{\sqrt{Z_1^2 - R_1^2}}{2\pi \cdot f} \quad (1)$$

لازم به ذکر است که جهت اندازه گیری R و L به ترتیب در مدار مستقیم و متناوب ولتاژ و جریان اندازه گیری شده و با استفاده از رابطه (۲) و (۳)، مقادیر مربوطه محاسبه می شود.

$$R = \frac{V_{DC}}{I_{DC}} \quad (2)$$

$$Z = \frac{V_{AC}}{I_{AC}} \quad (3)$$

روش انجام آزمایش

۱- کانال (۳) منبع ولتاژ DC به سیم پیچ ۱۰۰۰ دور و ۵۰۰ دور و آمپر متر سری کنید.

۲- مقدار ولتاژ دو سر هر کدام از سیم‌پیچ‌ها و دو سر کل مدار را به همراه جریان گذرنده از مدار اندازه‌گیری و در جدول (۱) ثبت کنید.

۳- فاکشن ژنراتور 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 سیم‌پیچ‌ها و ولتاژ دو سر کل مدار را به همراه جریان گذرنده اندازه‌گیری نموده و در جدول (۱) را تکمیل کنید.

۵- محاسبات مربوطه را طبق روابط (۱) تا (۳) انجام دهید.

جدول (۱): مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در چیدمان به هم بستن سری سیم‌پیچ‌ها

نوع سیم‌پیچ	$V_{DC} (V)$	$I_{DC} (A)$	$R (\Omega)$	$V_{AC} (V)$	$I_{AC} (A)$	$Z (\Omega)$	$L (mH)$
سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دور							
سیم‌پیچ ۵۰۰ دور							
دو سیم‌پیچ سری							

۶- آزمایش را برای چیدمان موازی دو سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دور و ۵۰۰ دور تکرار نموده و جدول (۲) را تکمیل نمایید.

جدول (۲): مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده در چیدمان به هم بستن موازی سیم‌پیچ‌ها

نوع سیم‌پیچ	$V_{DC} (V)$	$I_{DC} (A)$	$R (\Omega)$	$V_{AC} (V)$	$I_{AC} (A)$	$Z (\Omega)$	$L (mH)$
سیم‌پیچ ۱۰۰۰ دور							
سیم‌پیچ ۵۰۰ دور							
دو سیم‌پیچ سری							

◀ سوالات:

- ۱- روابط مربوط به سیم‌پیچ‌های سری و موازی را استخراج کنید.
- ۲- درصد خطای مربوط به محاسبات جدول (۱) و (۲) را تعیین نمایید.
- ۳- کدام دو روش (پل اندازه‌گیری ماکسول و روش بخش ج) در اندازه‌گیری پارامترهای سیم‌پیچ دقیق-ترند؟ چرا؟
- ۴- به چه دلیلی سیم‌پیچ‌ها در پیکربندی سری و موازی در مدار به کار می‌روند؟

آزمایش شماره (۱۰)

تعیین امپدانس در مدارهای RLC

آزمایش شماره (۱۰)

عنوان آزمایش

تعیین امپدانس در مدارهای RLC

اهداف آزمایش:

- ۱- تعیین فرکانس تشدید در مدارهای RLC در حالت به هم بستن سری و موازی المان های الکتریکی
- ۲- تعیین مقاومت AC بسته به نوع فرکانس با مدارهای شامل خازن و سلف در به هم بستن سری و موازی المانهای الکتریکی
- ۳- مشاهده تغییر فاز

وسایل مورد نیاز:

- ۱- برد الکترونیکی
- ۲- مقاومت های ۱۰ اهمی و ۱۰۰ اهمی
- ۳- خازن های ۱ و ۴/۷ میکروفارادی
- ۴- سلف های ۵۰۰ و ۱۰۰۰ دوری
- ۵- function generator
- ۶- اسیلوسکوپ دو کاناله
- ۷- کابل BNC و سیم های رابط

تئوری آزمایش:

همان طور که میدانیم، خازن ها پس از شارژ، مقاومتی بی نهایت در برابر جریان DC از خود نشان می دهند، درحالی که این مقاومت در مقابل جریان AC محدود است. به عبارت دیگر جریان AC بر خلاف جریان DC می تواند از خازن عبور کند. به مقاومتی که خازن در این حالت از خود نشان می دهد، مقاومت ظاهری گفته می شود و با فرکانس جریان متناوب و ظرفیت خازن نسبت عکس دارد و برابر است با:

$$x_c = \frac{1}{c\omega} = \frac{1}{2\pi f c} \quad (1)$$

طرفی جریان متناوب باعث می‌شود که اختلاف فازی به اندازه ی $\pi/2$ بین ولتاژ دو سر خازن و جریانی که از آن می‌گذرد، ایجاد گردد.

هنگامی که از یک سیم پیچ جریان الکتریکی می‌گذرد در اطراف سیم پیچ میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود. اگر جریان الکتریکی ثابت باشد، فلوی مغناطیسی که از داخل سیم‌پیچ می‌گذرد ثابت بوده و سیم‌پیچ مانند یک مقاومت معمولی عمل می‌کند، اما اگر جریان الکتریکی نسبت به زمان تغییر کند (منبع AC)، فلوی مغناطیسی متغیری به وجود می‌آید که در سیم پیچ نیروی محرکه الکتریکی القا می‌کند. این نیروی محرکه طبق قانون لنز با عامل به وجود آورنده‌اش مخالف می‌کند، در نتیجه از مقدار جریان می‌کاهد و می‌توان گفت سیم‌پیچ در مقابل جریان متغیر مقاومت بیشتری را خود نشان می‌دهد. این مقاومت را که به فرکانس جریان و خصوصیات سیم‌پیچ بستگی دارد، مقاومت ظاهری سیم‌پیچ نامیده و برابر است با:

$$x_L = L\omega \quad (2)$$

در این رابطه L ضریب خود القایی می‌باشد.

مشابه رفتار خازن، در سیم‌پیچ نیز برای جریان‌های متناوب، بین ولتاژی که در دو سر آن برقرار می‌شود با جریانی که از آن می‌گذرد اختلاف فازی وجود دارد، با این تفاوت که در حین جریان نسبت به ولتاژ تقدم فاز دارد در حالی که در سیم‌پیچ تاخیر فاز دارد.

به منظور بررسی مقاومت AC، مداری با یک سلف (اندوکتانس L)، یک خازن (ظرفیت خازن C) و مقاومت R ساخته می‌شود. این نوع از مدار به عنوان یک مدار رزونانس (تشدید) RLC نیز شناخته می‌شود. 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 مدار تامسون برای فرکانس تشدید f_R به کار می‌رود:

$$f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (3)$$

که L بیانگر ضریب خود القایی (اندوکتانس) و C نیز بیانگر ظرفیت خازن می باشد.

در این آزمایش، مدارهای تشدید با خازن و سلف که به صورت های سری و موازی بسته شده است، مورد آزمایش قرار می گیرد. برای این منظور افت ولتاژ در مقاومت با استفاده از یک اسیلوسکوپ اندازه گیری می شود و در نتیجه شدت جریان وابسته به فرکانس اعمالی می باشد.

مقاومت AC معادل قسمت LC مدار زمانی که مدار به صورت سری بسته می شود، به صورت زیر بیان می گردد:

$$Z_S = \left| 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} \right| \quad (4)$$

همچنین در به هم بستن موازی معادل قسمت LC مدار به صورت زیر توصیف می شود:

$$\frac{1}{Z_P} = \left| \frac{1}{2\pi fL} - 2\pi fC \right| \quad (5)$$

لازم به ذکر است که با اعمال فرکانس تشدید f_R ، سمت راست رابطه های (4) و (5) صفر می شوند، یعنی مقاومت در مدار سری از بین می رود و در مدار موازی بی نهایت می شود.

مدار سری به عنوان یک مدار فیلتر یا یک فیلتر باند گذر شناخته می شود. در نتیجه فقط یک باند فرکانس خاصی از سیگنال ورودی قادر به عبور از این فیلتر است. بنابراین فرکانس های غیر از فرکانس تشدید میرا می شوند.

مدار موازی نیز به عنوان یک مدار دام (یا bandstop) مورد استفاده قرار می گیرد. همان معنی که در این نوع مدار، فرکانس تشدید مسدود خواهد شد و همه فرکانس های دیگر قادر به عبور از فیلتر می باشند.

با توجه به آنچه که در درس فیزیک پایه ۲ ذکر شده است، تغییر فاز ϕ بین ولتاژ و جریان کل در مدار سری RLC به شکل زیر بیان می گردد (به شکل (۱) دقت شود):

$$\tan \varphi = \frac{2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C}}{R} \quad (6)$$

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

$$\tan \varphi = \frac{1}{\left(\frac{1}{2\pi f L} - 2\pi f C\right)R} \quad (7)$$

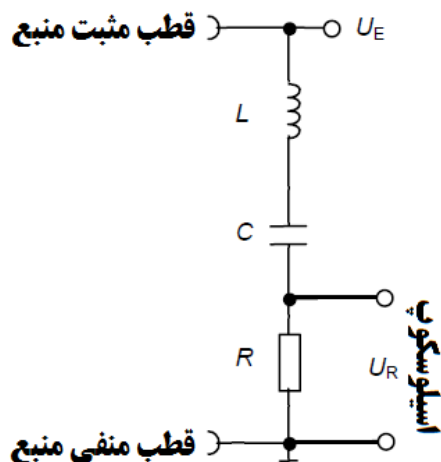
در این حالت، برای فرکانس‌های خیلی پایین و خیلی بالا، تغییر فاز به سمت صفر میل می‌کند و در فرکانس تشدید برابر $\pm \frac{\pi}{2}$ خواهد بود.

➤ نحوه انجام آزمایش:

(۱) تعیین فرکانس تشدید

الف) حالت مدار سری

خازن $C = 4.7 \mu F$ و مقاومت $R = 100 \Omega$ و سلف 1000 دور را به طور سری به منبع متناوب فانکشن ژنراتور با شاخص ۶ ولت وصل می‌کنیم. دو سر مقاومت را به یک کانال اسیلوسکوپ متصل می‌کنیم.



شکل (۱): مدار RLC سری

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

ابتدا ژنراتور فرکانس را به شکل سینوسی و فرکانس 100 Hz تنظیم کنید. بیشینه ولتاژ را با استفاده از شاخص فانکشن ژنراتور روی $U_E = 6\text{ V}$ تنظیم کنید.

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

✓ فرکانس را افزایش داده تا ولتاژ U_R به بیشینه مقدار خود برسد.

✓ مقدار فرکانس را در جدول (۱) وارد کنید.

✓ آزمایش را با ترکیب‌های دیگر سلف و خازن تکرار کنید.

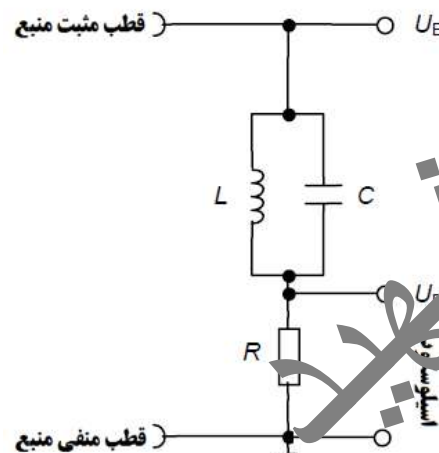
✓ با استفاده از مقادیر دقیق ضریب خودالقایی سلف‌ها و ظرفیت خازن‌های مورد استفاده در آزمایش، مقادیر تئوری فرکانس تشدید را به کمک رابطه (۳) محاسبه کرده و در جدول (۱) وارد کنید.

جدول (۱): فرکانس‌های تشدید در مدار RLC سری

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

ب) حالت مدار موازی

مطابق شکل (۲)، خازن $C = 4.7 \mu F$ و سلف 1000 دور را به صورت موازی به یکدیگر بسته و سپس ترکیب را با مقاومت $R = 100 \Omega$ به طور سری به منبع متناوب فانکشن ژنراتور با شاخص 6 ولت وصل می‌کنیم. دو سر مقاومت را به یک کانال اسیلوسکوپ متصل می‌کنیم.



شکل (۲): مدار RLC موازی

- ✓ در این حالت نیز فرکانس را افزایش داده تا ولتاژ U_R به پهنای مقدار خود برسد.
- ✓ مقدار فرکانس را در جدول (۲) وارد کنید.
- ✓ آزمایش را با ترکیب‌های دیگر سلف و خازن تکرار کنید.
- ✓ با استفاده از مقادیر دقیق ضریب خودالقایی سلف‌ها و ظرفیت خازن‌های مورد استفاده در آزمایش، مقادیر تئوری فرکانس تشدید را به کمک رابطه (۳) محاسبه کرده و در جدول (۲) وارد کنید.

جدول (۲): فرکانس‌های تشدید در مدار RLC موازی

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

(۲) تعیین مقاومت AC

الف) ترکیب سری

مطابق شکل (۱)، خازن $C = 1 \mu F$ و سلف 1000Ω را با مقاومت $R = 100 \Omega$ به طور سری به منبع متناوب فانکشن ژنراتور با شاخص ۶ ولت وصل می‌کنیم.

✓ فرکانس منبع متناوب را از ۵۰ هرتز تا ۲۰۰۰۰ هرتز مطابق جدول (۳) افزایش داده و در هر مرحله مقدار ولتاژ بیشینه را در جدول (۳) یادداشت کنید.

✓ مرحله را برای مقاومت ۱۰ اهمی نیز تکرار کرده نتایج را در جدول مربوطه یادداشت کنید.

✓ با استفاده از مقادیر ولتاژ بیشینه دوسر مقاومت اندازه گیری شده در هر فرکانس، مقاومت مورد استفاده و مقدار ولتاژ کل منبع، مقدار مقاومت AC مدار RLC را در حالت تجربی با استفاده از رابطه نمایش داده شده در جدول (۴) محاسبه کنید. به کمک رابطه (۴) و با استفاده از اطلاعات مربوط به سلف، خازن و فرکانس مورد استفاده در مدار سری، مقدار مقدار مقاومت AC مدار RLC را در حالت تئوری نیز بدست آورده با مقدار تجربی مقایسه نمایید.

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

	$R = 100 \Omega$	$R = 10 \Omega$	$R = 100 \Omega$	$R = 10 \Omega$	
f (Hz)	U_R (v)		$Z = \frac{U_E - U_R}{U_R} R$		$Z_{theo} = \left 2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC} \right $
۵۰					
۲۰۰					
۵۰۰					
۱۰۰۰					
۲۰۰۰					
۳۰۰۰					
۴۰۰۰					
۵۰۰۰					
۶۰۰۰					
۷۰۰۰					
۸۰۰۰					
۹۰۰۰					
۱۰۰۰۰					
۲۰۰۰۰					

ب) ترکیب موازی

مطابق شکل (۲)، خازن $C = 1 \mu F$ و سلف 1000 دور را به صورت موازی با یکدیگر بسته و سپس ترکیب را با مقاومت $R = 100 \Omega$ به طور سری به منبع متناوب فانکشن ژنراتور با شاخص ۶ ولت وصل می‌کنیم.

فرکانس منبع متناوب را از 50 هرتز تا 20000 هرتز مطابق جدول (۴) افزایش داده و در هر مرحله مقادیر فرکانس و ولتاژ بیشینه را در جدول (۴) یادداشت کنید.

باجل را برای مقاومت 10 اهمی نیز تکرار کرده نتایج را در جدول مربوطه یادداشت کنید.

با استفاده از مقادیر ولتاژ بیشینه دوسر مقاومت اندازه گیری شده در هر فرکانس، مقاومت مورد استفاده و مقدار ولتاژ کل منبع، مقدار مقاومت AC 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 سلف، خازن و فرکانس مورد استفاده در مدار موازی، مقدار مقدار مقاومت AC مدار RLC را در حالت تئوری نیز بدست آورده با مقدار تجربی مقایسه نمایید.

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

	$R = 100 \Omega$	$R = 10 \Omega$	$R = 100 \Omega$	$R = 10 \Omega$	
f (Hz)	U_R (v)		$Z = \frac{U_E - U_R}{U_R} R$		$\frac{1}{Z_{theo}} = \left \frac{1}{2\pi f L} - 2\pi f C \right $
50					
200					
500					
1000					
2000					
3000					
4000					
5000					
6000					
7000					
8000					
9000					
10000					
20000					

(۳) بررسی کیفی اختلاف فاز

الف) ترکیب سری

ابتدا چیدمان آزمایش را با ترکیبی از خازن $C = 1 \mu F$ و سلف 1000 دور و مقاومت $R = 100 \Omega$ به صورت سری تنظیم می‌کنیم.

فرکانس منبع را روی فرکانس تشدید تنظیم نموده 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 (۲)، خازن $C = 1 \mu F$ و سلف 1000 دور را به صورت موازی با یکدیگر بسته و سپس ترکیب را با مقاومت $R = 100 \Omega$ به طور سری به منبع متناوب فانکشن ژنراتور با شاخص ۶ ولت وصل می‌کنیم.

فرکانس منبع را روی فرکانس تشدید تنظیم نموده 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.

پرسش‌ها:

- ۱- کاربرد مدارهای RLC را نام برده و یکی را به دلخواه تشریح کنید.
- ۲- خطای مطلق و نسبی کمیت‌های اندازه‌گیری شده در جداول (۱) تا (۴) را محاسبه نمایید.
- ۳- نمودار مقاومت AC تجربی بر حسب فرکانس برای هر دو مقاومت 100 و 10 اهمی را رسم کرده از روی آن مقدار فرکانس تشدید را حساب کنید.

آزمایش شماره (۱۱)

تبدیل ولتاژ و جریان با استفاده از یک
ترانسفورماتور

آزمایش شماره (۱۱)

عنوان آزمایش

تبدیل ولتاژ و جریان با استفاده از یک ترانسفورماتور

اهداف آزمایش

- ۱- اندازه‌گیری ولتاژ ثانویه یک ترانسفورماتور به صورت تابعی از ولتاژ اولیه برای چندین نسبت دور سیم‌پیچ اولیه به ثانویه
- ۲- اندازه‌گیری جریان ثانویه یک ترانسفورماتور در عملکرد اتصال کوتاه به صورت تابعی از جریان اولیه برای چندین نسبت دور سیم‌پیچ اولیه به ثانویه
- ۳- نمایش یک ترانسفورماتور ایزوله^۱ و ترانسفورماتور خودکار^۲

ادوات مورد نیاز

- ۱- دو مولتی‌متر دیجیتال
- ۲- دستگاه ترانسفورماتور به صورت پکی برای آزمایشات دانشجویان
- ۳- منبع ولتاژ بسیار پایین متغیر
- ۴- سیم‌های رابط

تئوری آزمایش

معمولاً یک ترانسفورماتور شامل دو سیم‌پیچ است که به واسطه القای متقابل و توسط هسته‌ای آهنی به یکدیگر کوپل شده‌اند. ترانسفورماتورها برای تغییر مقدار ولتاژ جریان‌های متناوب به کار می‌روند. فرکانس ولتاژ در این تبدیل بدون تغییر باقی می‌ماند.

خطوط ورودی به سیم‌پیچ اولیه و خطوط خروجی به سیم‌پیچ ثانویه متصل شده‌اند. جریان متناوب در سیم‌پیچ اولیه فلو مغناطیسی متناوبی را ایجاد می‌کند که حول هسته فرومغناطیس شارش می‌یابد. فلو مغناطیسی متناوب در هسته جریان متناوبی را در سیم‌پیچ ثانویه القاء می‌کند.

1 - Isolating transformer
2 - Autotransformer

صرفنظر از طراحی فیزیکی یک ترانسفورماتور، تبدیل ولتاژ یک ترانسفورماتور ایده‌آل بدون مقاومت^۳ با نسبت تعداد دورهای ثانویه به اولیه تعیین می‌شود:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (\text{هنگامی که } I_2 = 0 \text{ است}) \quad (1)$$

که در آن U_1 ولتاژ سیم‌پیچ اولیه، U_2 ولتاژ سیم‌پیچ ثانویه، N_1 تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه و N_2 تعداد دورهای سیم‌پیچ ثانویه هستند.

تبدیل جریان در عملکرد اتصال کوتاه یک ترانسفورماتور ایده‌آل تناسب عکس با نسبت تعداد دورهای سیم‌پیچ‌ها دارند:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2} \quad (\text{هنگامی که } U_2 = 0 \text{ است}) \quad (2)$$

که در آن I_1 جریان سیم‌پیچ اولیه و I_2 جریان سیم‌پیچ ثانویه هستند.

از سوی دیگر ویژگی‌های ترانسفورماتورهای تحت بار وابسته به طراحی فیزیکی ویژه آن است. رفتار ولتاژ ثانویه طراحی‌های گوناگون ترانسفورماتور تحت بار در این آزمایش مورد بررسی قرار نمی‌گیرد.

در این آزمایش تبدیل جریان و ولتاژ برای ترانسفورماتورهای “یعنی ترانسفورماتوری با سیم‌پیچ اولیه و ثانویه‌ای بر روی دو هسته مجزا) بدون بار اندازه‌گیری می‌شود. تفاوت بین ترانسفورماتور ایزوله و یک ترانسفورماتور خودکار نمایش داده می‌شود.

❖ نکات ایمنی

۱- ولتاژهای AC بر روی ترانسفورماتور تنها به تدریج افزایش دهید، بیشترین ولتاژ را به طور مستقیم بر روی آن اعمال نکنید! (خطر آسیب جدی دستگاه‌های اندازه‌گیری متصل به آن ناشی از جریان‌هایی صد برابر حد بیشینه وجود دارد).

۲- در گرم کردن بیش از حد ترانسفورماتور خودداری کنید- بیشینه ولتاژها و جریان‌هایی که بر روی پهنای و در دیتاشیت دستگاه ۵۶۲۸۰۱ ترانسفورماتور آزمایشات دانشجویان ثبت شده‌است را در نظر داشته باشید.

▪ بیشینه ولتاژ AC مجاز برای سیم‌پیچ‌ها ۱/۵ V است.

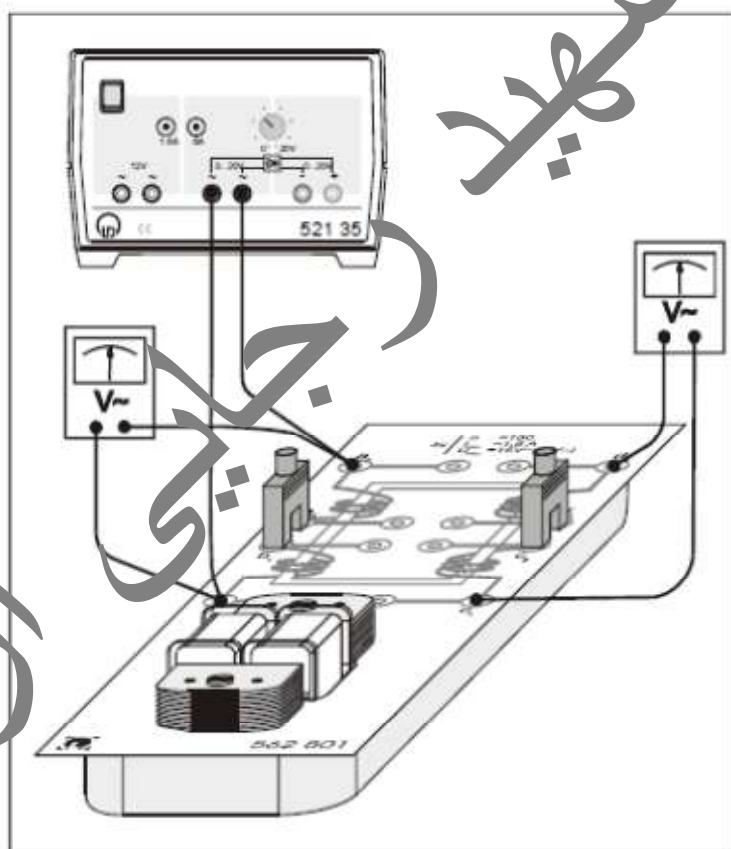
▪ بیشینه مصرف توان مجاز ۴۰ W است.

نحوه انجام آزمایش

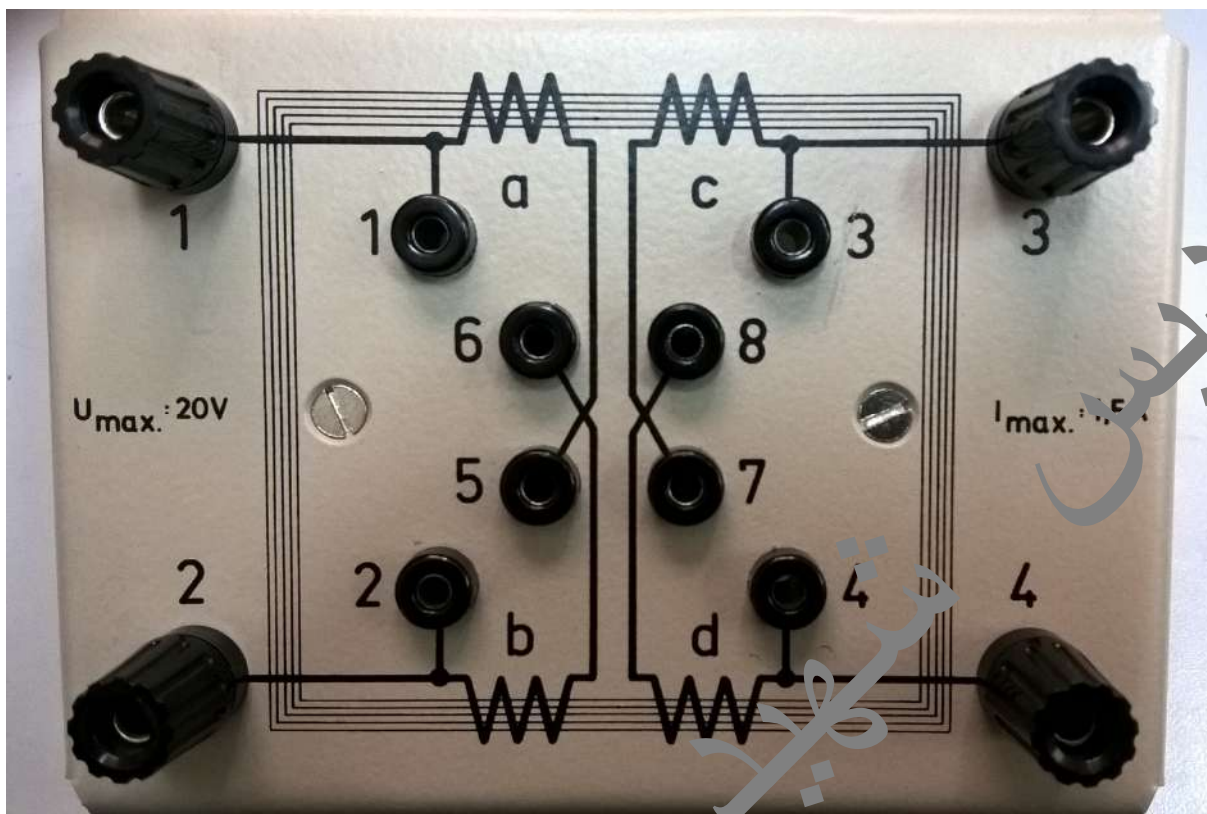
الف) تبدیل ولتاژ (سیم پیچ دوم بدون بار است).

چگونگی انجام آزمایش

۱- چیدمان آزمایش شامل ترانسفورماتور، منبع توان ولتاژ پایین متغیر و ولت‌متر را طبق شکل (۱-الف) تنظیم نمایید. البته در دستگاه ترانسفورماتور تغییر کوچکی حاصل شده است، که تصویر ترانسفورماتور به کار گرفته شده در این آزمایش در شکل (۱-ب) نمایش داده شده است.

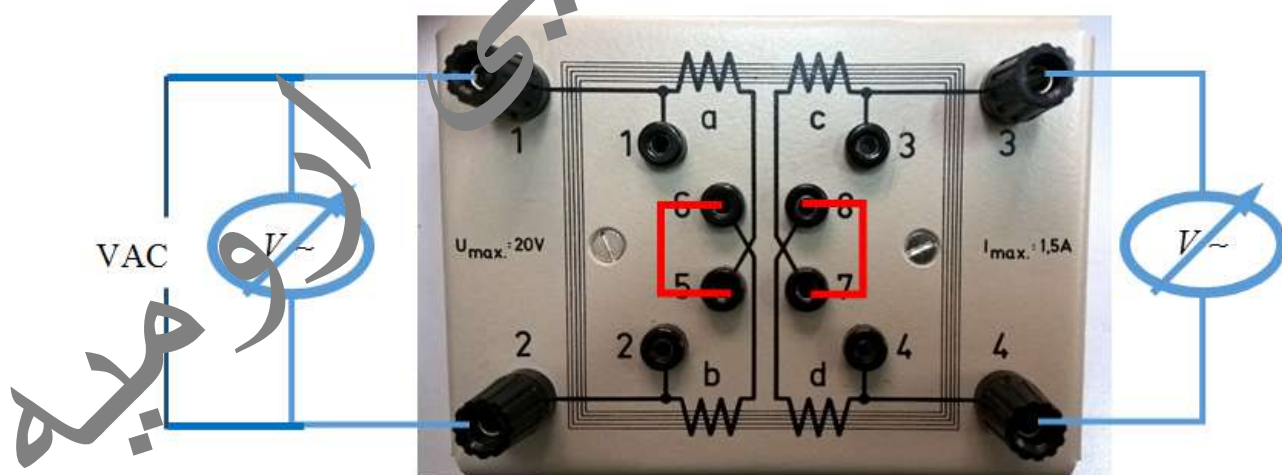


(الف)

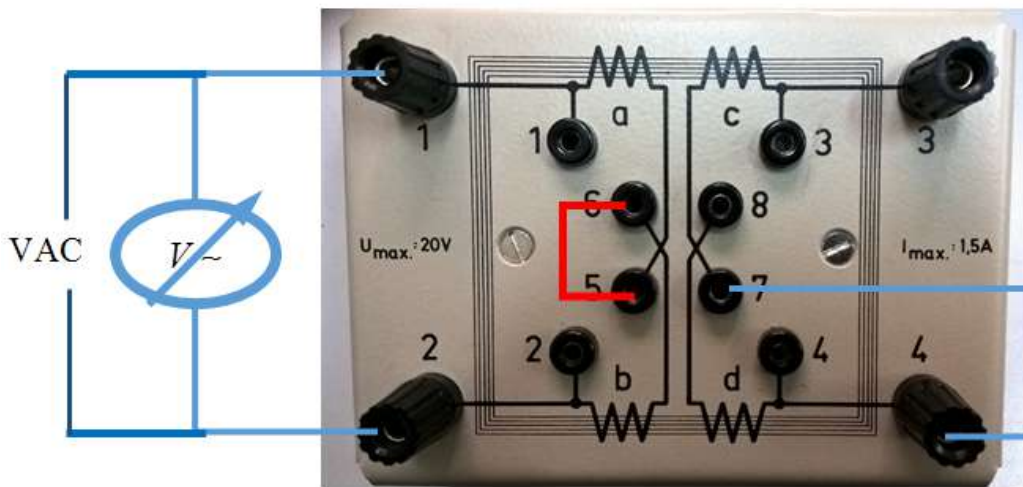


(ب)

شکل (۱): الف) چیدمان آزمایش بررسی تبدیل ولتاژ یک ترانسفورماتور (ب) تصویر از ترانسفورماتور به کار گرفته شده در این آزمایش
چیدمان‌ها برای ترکیبات مختلف تعداد دورهای سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه در شکل (۲) نشان داده شده‌است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۲): تبدیل ولتاژ، طرح‌واره چیدمان آزمایش (دیاگرام سیم‌کشی) برای اندازه‌گیری ولتاژ و ولتاژ ثانویه U_2 به صورت تابعی از ولتاژ اولیه U_1 برای نسبت‌های گوناگون تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه به سیم‌پیچ ثانویه، الف) $N_1:N_2=300:150$ (ب) $N_1:N_2=300:150$ (ج) $N_1:N_2=150:300$

❖ روش انجام آزمایش:

۱- منبع توان ولتاژ پایین، ولت‌مترها را همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است به ترانسفورماتور متصل نمایید. توصیه می‌شود با نسبت $N_1:N_2=300:150$ همان‌گونه که در شکل (۲-ب) نشان داده شده است شروع نمایید.

۲- ولتاژ U_1 را بین صفر ولت تا ۱۰ ولت تغییر دهید و ولتاژ U_2 را اندازه‌گیری نموده و در جدول (۱) ثبت نمایید.

۳- آزمایش را با نسبت تعداد دورهای اولیه به ثانویه $N_1:N_2=150:300$ ، شکل (۲-ج)، تکرار نموده و ستون مربوطه در جدول (۱) را تکمیل نمایید.

۴- این آزمایش را برای نسبت تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه به ثانویه $N_1:N_2=300:300$ ، شکل (۲-الف)، تکرار نموده و ستون چهارم جدول (۱) را تکمیل نمایید.

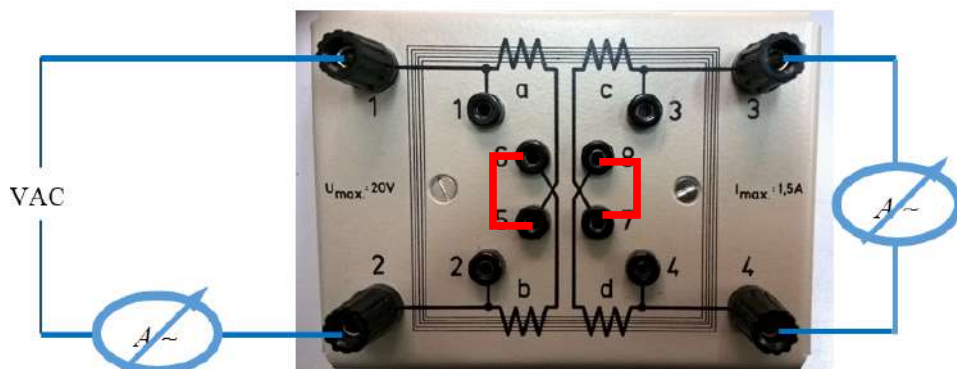
جدول (۱): ولتاژ U_2 به صورت تابعی از ولتاژ U_1 برای نسبت‌های مختلف تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه به ثانویه

$U_1 (V)$	$U_2 (V) \left(\frac{N_1}{N_2} = \frac{300}{150} \right)$	$U_2 (V) \left(\frac{N_1}{N_2} = \frac{300}{300} \right)$	$U_2 (V) \left(\frac{N_1}{N_2} = \frac{150}{300} \right)$
۰/۱			
۱/۰			
۲/۰			
۳/۰			
۴/۰			
۵/۰			
۶/۰			
۷/۰			
۸/۰			
۹/۰			
۱۰/۰			

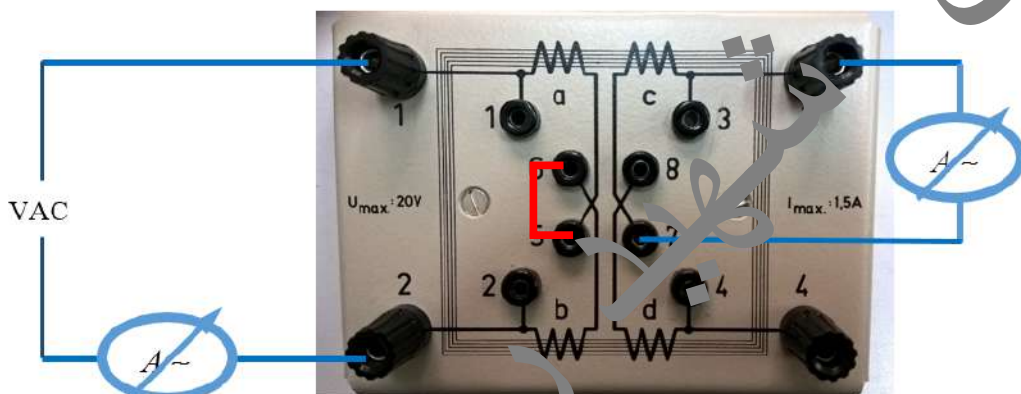
(ب) تبدیل جریان

❖ چیدمان آزمایش:

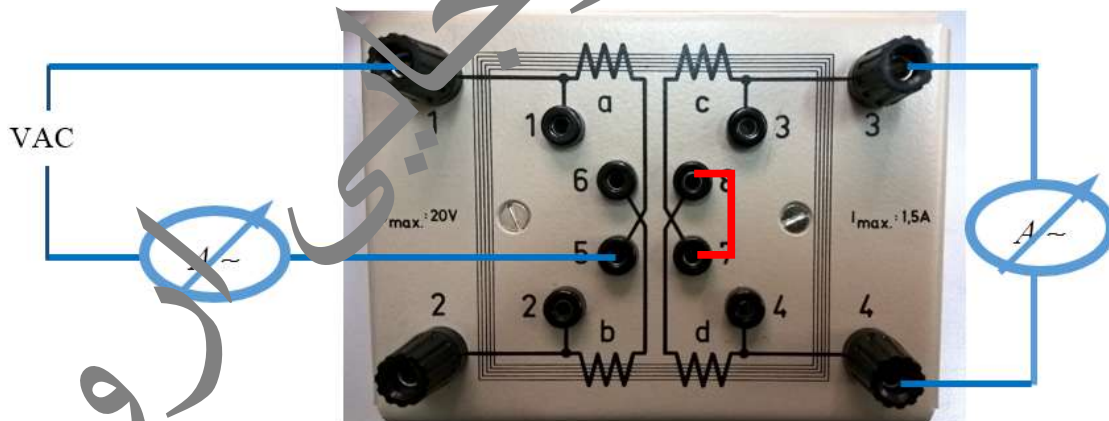
چیدمان‌های ترکیبات گوناگون تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه به ثانویه را طبق شکل (۳) تنظیم نمایید.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل (۳): ترانسفورماتور جریان، نمایش طرح‌واره چیدمان آزمایشگاهی (دیاگرام سیم‌کشی) برای اندازه‌گیری جریان ثانویه I_2 ، صورت تابعی از جریان اولیه I_1 ، برای نسبت‌های گوناگون تعداد دورهای سیم‌پیچ اولیه به ثانویه، الف) $N_1:N_2=300:300$ ، ب) $N_1:N_2=300:150$ ، ج) $N_1:N_2=150:300$

❖ روش انجام آزمایش:

۱- منبع توان ولتاژ پایین، آمپرمترها را، همان گونه که در شکل (۳) نمایش داده شده است، به یکدیگر متصل نمایید. توصیه می شود که با نسبت $N_1:N_2=300:150$ ، شکل (۳-ب) شروع نمایید.

۲- جریان را بین ۰/۱ آمپر تا تقریباً ۱/۰ آمپر تغییر دهید و جریان I_2 را اندازه گیری نمایید.

نکته: جریان I_2 نباید از بیشینه مقدار $I_{max}=1/5 A$ تجاوز کند. هنگامی که جریان I_1 را تنظیم می کنید به آمپرمتري که جریان I_2 را نمایش می دهد، توجه نمایید.

۳- آزمایش را برای نسبت تعداد دورهای سیم پیچ اولیه به ثانویه $N_1:N_2=150:300$ ، شکل (۳-ج) تکرار نمایید.

۴- آزمایش را برای نسبت های تعداد دورهای سیم پیچ اولیه به ثانویه $N_1:N_2=300:300$ ، شکل (۳-الف) تکرار نمایید.

۵- نتایج بخش (۲) تا (۴) را در جدول (۲) ثبت نمایید.

جدول (۲): جریان I_2 به صورت تابعی از جریان I_1 برای نسبت های مختلف تعداد دور سیم پیچ $N_1:N_2$

$I_1 (A)$	$I_2 (A) \left(\frac{N_1}{N_2} = \frac{300}{150} \right)$	$I_2 (A) \left(\frac{N_1}{N_2} = \frac{300}{300} \right)$	$I_2 (V) \left(\frac{N_1}{N_2} = \frac{150}{300} \right)$
۰/۱			
۰/۲			
۰/۳			
۰/۴			
۰/۵			
۰/۶			
۰/۷			
۰/۸			
۰/۹			
۰/۱۰			

۶- نمودار $I_2 (A)$ بر حسب $I_1 (A)$ را برای مقادیر مختلف N_1/N_2 رسم نمایید.

۷- شیب خط را به دست آورید.

۸- آیا رابطه ای بین $\frac{I_1}{I_2}$ و $\frac{N_1}{N_2}$ مشاهده می شود؟ اگر رابطه ای وجود دارد آن را به دست آورید.

ج) ترانسفورماتور ایزوله و یک ترانسفورماتور خودکار

❖ چیدمان آزمایش:

۱- نمایش طرحواره چیدمان برای یک ترانسفورماتور ایزوله در شکل (۲-ب) نشان داده شده است.

نکته: هیچ اتصال هادی بین سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه وجود ندارد.

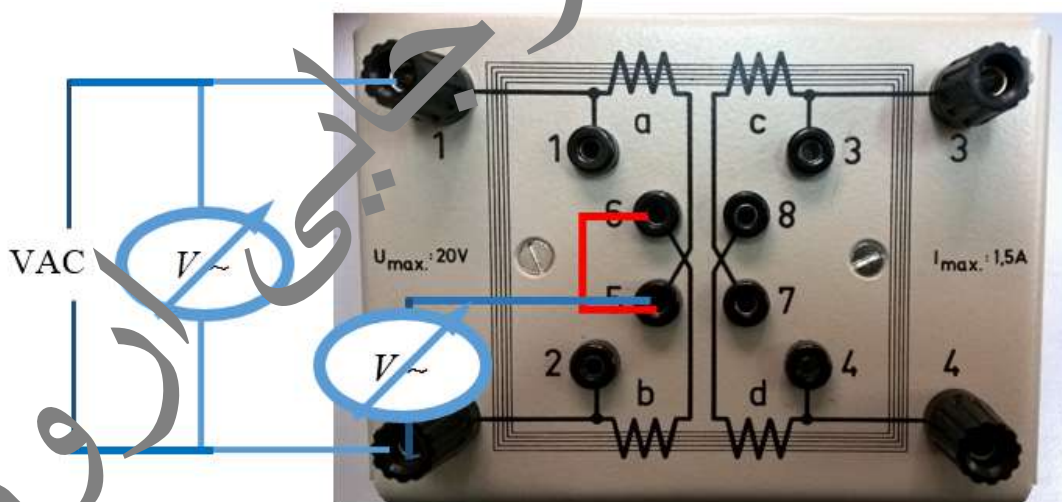
۲- نمایش طرحواره‌ای از چیدمان برای یک ترانسفورماتور خودکار در شکل (۴) نشان داده شده است.

نکته: سیم‌پیچ دوم باید در آن واحد از یک بخش از سیم‌پیچ اولیه شکل گرفته باشد.

❖ روش انجام آزمایش:

۱- چیدمان یک ترانسفورماتور خودکار را با نسبت تعداد دورهای $N_1:N_2=300:150$ ، همان‌گونه که در شکل (۴) نمایش داده شده است، تنظیم کنید. ولتاژ U_1 را بین ۱۰ تا ۲۰ ولت تغییر داده و تغییرات ولتاژ U_2 را در جدول (۳) ثبت نمایید.

۲- اطلاعات جدول (۱) برای ترانسفورماتور ایزوله با نسبت تعداد دورهای $N_1:N_2=300:150$ ، در جدول (۳) ثبت نمایید.



شکل (۴): دیاگرام سیم‌کشی برای بررسی یک ترانسفورماتور خودکار با نسبت $N_1:N_2=300:150$

✓ در این آزمایش ترانسفورماتوری که به عنوان ترانسفورماتور ایزوله به کار رفته است، دو مدار AC مجزا دارد. هیچ ارتباط و اتصال هادی بین سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه وجود ندارد، هر دو سیم‌پیچ توسط میدان

مغناطیسی به یکدیگر کوپل شده‌اند. بنابراین، منبع ولتاژ آزاد زمین^۴ در قسمت سیم‌پیچ ثانویه است که خروجی آن اگر نیاز باشد می‌تواند به طور دلخواه زمین شود، به همین دلیل این نوع ترانسفورماتور ترانسفورماتور ایزوله نامیده می‌شود.

✓ ترانسفورماتور خودکار شکل (۴)، نوع متفاوتی از ترانسفورماتور است که به دلیل آن که بخشی از سیم‌پیچ بر روی یک هسته در آن واحد هم سیم‌پیچ اولیه و هم سیم‌پیچ ثانویه را شکل می‌دهد، ایزولاسیون الکتریکی متفاوت نمی‌افتد. به همین دلیل این نوع ترانسفورماتور گاهی ترانسفورماتور تک هسته‌ای نیز نامیده می‌شود. این ترانسفورماتور می‌تواند تنها به عنوان مبدل ولتاژ به کار رود. در مقایسه با ترانسفورماتور ایزوله، اگر اختلاف بین ورودی و خروجی ولتاژ کوچک باشد، صرفه‌جویی آهن و مس در ترانسفورماتور خودکار مورد توجه و چشمگیر است.

جدول (۳) ولتاژ U_2 به صورت تابعی از ولتاژ U_1 برای دو نوع ترانسفورماتور ایزوله و خودکار

ترانسفورماتور ایزوله		ترانسفورماتور خودکار
$U_1 (V)$	$U_2 (V) \left(\frac{N_1}{N_2} = \frac{300}{150} \right)$	$U_2 (V) \left(\frac{N_1}{N_2} = \frac{300}{150} \right)$
۰/۱		
۱/۰		
۲/۰		
۳/۰		
۴/۰		
۵/۰		
۶/۰		
۷/۰		
۸/۰		
۹/۰		
۱۰/۰		

4 - Earth free voltage

◀ سوالات:

۱- در چیدمان آزمایشگاهی برای تبدیل ولتاژ ۲۲۰ ولت شهر به ولتاژی مناسب برای روشن نمودن ۱۲ ال-ای دی ۳ ولتی سری پیشنهاد می دهید؟ لازم به ذکر است این ال ای دی ها با بیشینه جریان ۳۵۰ میلی-آمپر طراحی شده اند.

۲- کاربرد ترانسفورماتورهای خودکار در چه حوزه صنعتی است؟
کاربرد ترانسفورماتورهای جریان در چه حوزه صنعتی است؟ کاربردهای آن را با ذکر مثال توضیح دهید.

آزمایش شماره (۱۲)

الف) موتور ولتاژ متناوب همگام

ب) موتور الکترومغناطیسی تک فاز

پ) مدلی از یک ترانسفورماتور جریان بالا – کوره آتشی

ت) مدلی از یک ترانسفورماتور جریان بالا – ذوب یک میخ

آزمایش شماره (۱۲ الف)

عنوان آزمایش:

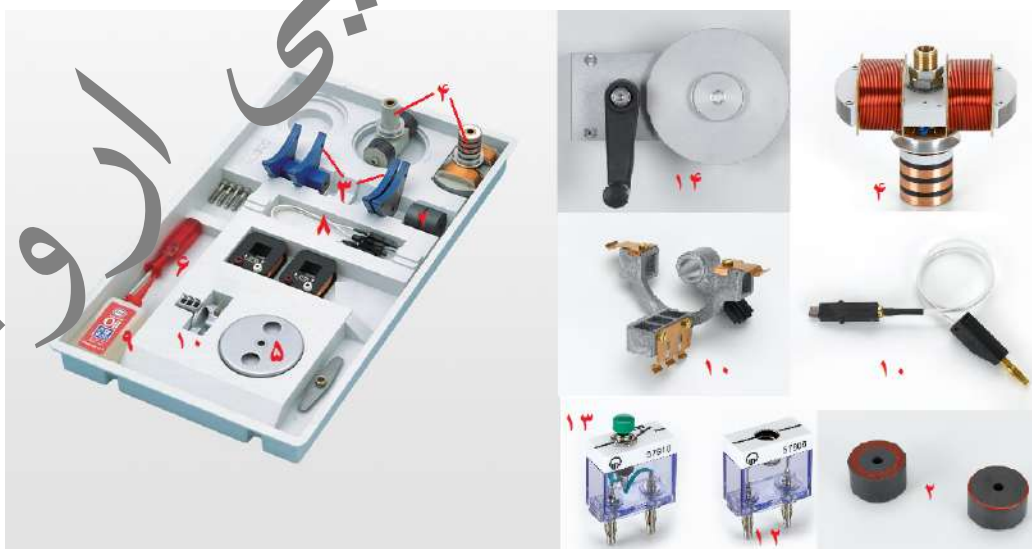
موتور ولتاژ متناوب همگام

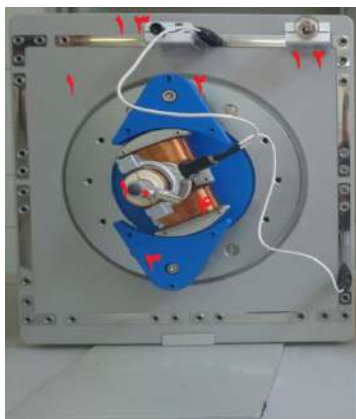
هدف:

راه اندازی و مشاهده طرز عمل یک موتور ولتاژ متناوب (AC) همگام

وسایل مورد نیاز:

- ۱- صفحه پایه فلزی به همراه نگه دارنده عمودی آن
- ۲- ۲ عدد آهنربای مغناطیسی
- ۳- دیرک‌های مغناطیسی پهن جهت اتصال سیم پیچ‌ها به صفحه پایه فلزی
- ۴- چرخنده (روتور) دوقطبی
- ۵- دیسک مرکزی جهت در مرکز قرار دادن چرخنده روی صفحه پایه فلزی
- ۶- آچار آلن
- ۷- منبع تغذیه ولتاژ متناوب
- ۸- سیم رابط
- ۹- محفظه روغن
- ۱۰- جاروبک، سیم‌های رابط
- ۱۱- لامپ رشته‌ای کوچک ۲۴ ولت / ۳ وات
- ۱۲- نگه دارنده لامپ
- ۱۳- کلید قطع و وصل
- ۱۴- ماشین چرخان دستی





شکل (۱): وسایل مورد نیاز در آزمایش موتور AC همگام

تئری آزمایش:

موتور الکتریکی نوعی ماشین الکتریکی است که الکتریسیته را به حرکت مکانیکی تبدیل می‌کند. عمل عکس آن که تبدیل حرکت مکانیکی به الکتریسیته است، توسط ژنراتور انجام می‌شود. این دو وسیله بجز در عملکرد، مشابه یکدیگر هستند. اکثر موتورهای الکتریکی توسط میدان‌های الکترومغناطیسی کار می‌کنند، اما موتورهایی که بر اساس پدیده‌های دیپلری نظیر نیروی الکترواستاتیک و اثر پیزوالکتریک کار می‌کنند، هم وجود دارند.

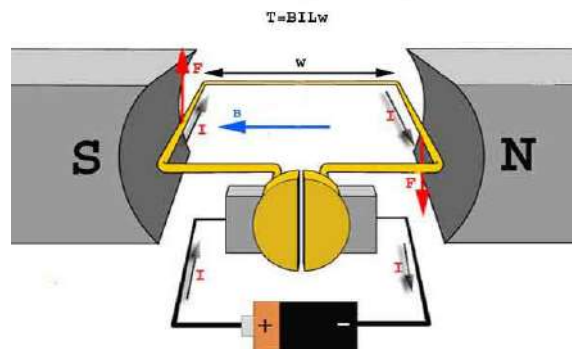
ایده کلی این است که وقتی که یک ماده حامل جریان الکتریسیته تحت اثر یک میدان مغناطیسی قرار می‌گیرد، نیرویی بر روی آن ماده از سوی میدان اعمال می‌شود. در یک موتور استوانه‌ای، چرخانه یا روتور به علت گشتاوری که ناشی از نیرویی است که به فاصله‌ای معین از محور چرخانه به چرخانه اعمال می‌شود، می‌گردد.

اغلب موتورهای الکتریکی دوار هستند، اما موتور خطی هم وجود دارند. در یک موتور دوار بخش متحرک (که معمولاً درون موتور است) چرخانه یا روتور و بخش ثابت ایستانه یا استاتور خوانده می‌شود. موتور شامل آهنرباهای الکتریکی است که روی یک قاب سیم‌پیچی شده است. گرچه این قاب اغلب آرمیچر خوانده می‌شود، اما این واژه عموماً به غلط بکار برده می‌شود. در واقع آرمیچر آن بخش از موتور است که به آن ولتاژ ورودی اعمال می‌شود یا آن بخش از ژنراتور است که در آن ولتاژ خروجی ایجاد می‌شود. با توجه به طراحی ماشین، هر کدام از بخش‌های چرخانه یا ایستانه می‌توانند به عنوان آرمیچر باشند.

۱. موتورهای DC:

موتور کلاسیک جریان مستقیم دارای آرمیچری از آهنربای الکتریکی است. یک سویچ گردشی به نام کموتاتور جهت جریان الکتریکی را در هر سیکل دو بار برعکس می‌کند تا در آرمیچر جریان یابد و

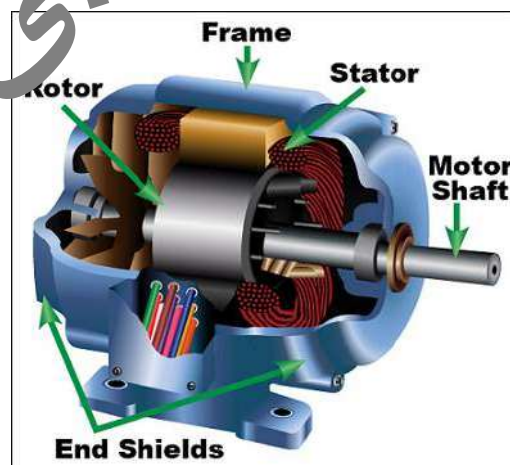
آهنرباهای الکتریکی، آهنربای دائمی را در بیرون موتور جذب و دفع کنند. سرعت موتور DC به مجموعه‌ای از ولتاژ و جریان عبوری از سیم پیچ‌های موتور و بار موتور یا گشتاور ترمزی، بستگی دارد.



شکل (۲): ساختار یک موتور DC نوعی

۲. موتورهای AC:

موتورهای القایی AC عمومی‌ترین، تئورهای هستند که در سامانه‌های کنترل حرکت صنعتی و همچنین خانگی استفاده می‌شوند. طراحی ساده، مستحکم، قیمت ارزان، هزینه نگه داری پایین و اتصال آسان و کامل به یک منبع نیروی AC امتیازات اصلی موتورهای القایی AC هستند. انواع متنوعی از موتورهای القایی AC در بازار موجود است. موتورهای مختلف برای کارهای مختلفی مناسب اند. با اینکه طراحی موتورهای القایی AC آسانتر از موتورهای DC است، ولی کنترل سرعت و گشتاور در انواع مختلف موتورهای القایی AC نیازمند درکی عمیقتر در طراحی و ساخت در این نوع موتورهاست. این نکته در اساس انواع مختلف، مشخصات آنها، انتخاب شرایط برای کاربردهای مختلف و روشهای کنترل مرکزی یک موتورهای القایی AC را مورد بحث قرار می‌دهد.



شکل (۳): ساختار یک موتور AC نوعی

۲-۱. اصل ساخت اولیه و کاربری:

مانند بیشتر موتورهای، یک موتورهای القایی AC یک قسمت ثابت بیرونی به نام استاتور و یک روتور که در درون آن می چرخد دارند، که میان آندو یک فاصله دقیق کارشناسی شده وجود دارد. به طور مجازی همه موتورهای الکتریکی از میدان مغناطیسی دوار برای گرداندن روتورشان استفاده می کنند. یک موتور سه فاز القایی AC تنها نوعی است که در آن میدان مغناطیسی دوار به طور طبیعی بوسیله استاتور به خاطر طبیعت تغذیه گر آن تولید می شود. در حالی که موتورهای DC به وسیله ای الکتریکی یا مکانیکی برای تولید این میدان دوار نیاز دارند. یک موتور القایی AC تک فاز نیازمند یک وسیله الکتریکی خارجی برای تولید این میدان مغناطیسی چرخشی است. در درون هر موتور دو سری آهنربای مغناطیسی تعبیه شده است. در یک موتور القایی AC یک سری از مغناطیس شونده ها به خاطر اینکه تغذیه AC به پیچهای استاتور متصل است در استاتور تعبیه شده اند. بخاطر طبیعت متناوب تغذیه ولتاژ AC بر اساس قانون لنز نیرویی الکترومغناطیسی به روتور وارد می شود (درست شبیه ولتاژی که در ثانویه ترانسفورماتور القا می شود). بنابر این سری دیگر از مغناطیس شونده ها خاصیت مغناطیسی پیدا می کنند. (نام موتور القایی از اینجا است). تعامل میان این مگنت ها انرژی جرخیدن یا تورک (گشتاور) را فراهم می آورد. در نتیجه موتور در جهت گشتاو بوجود آمده چرخش می کند.

۲-۲. استاتور:

استاتور از چندین قطعه باریک آلومینیم یا آهن سبک ساخته شده است. این قطعات بصورت یک سیلندر تو خالی به هم منگنه و محکم شده اند (هسته استاتور) با شیارهایی که در شکار یک نشان داده شده اند. سیم پیچهایی از سیم روکش دار در این شیارها جاسازی شده اند. هر گروه پیچ به هسته ای که آن را فرا گرفته یک آهنربای مغناطیسی (با دو پل) را برای کار کردن با تغذیه AC شکل می دهد. تعداد قطبهای یک موتور القایی AC به اتصال درونی پیچهای استاتور بستگی دارد. پیچهای استاتور مستقیماً به منبع انرژی متصل اند. آنها به صورتی متصل اند که با برقراری تغذیه AC یک میدان مغناطیسی چرخنده تولید می شود.

۲-۳. روتور:

روتور یا چرخنده از چندین قطعه مجزای باریک فولادی که میانشان میلههایی از مس یا آلومینیم تعبیه شده ساخته شده است. در رایج ترین نوع روتور (روتور قفس سنجابی) این میله ها در انتهای خود به صورت الکتریکی و مکانیکی بوسیله حلقههایی به هم متصل شده اند. تقریباً ۹۰ درصد از موتورهای القایی دارای روتور قفس سنجابی می باشند و این به خاطر آن است که این نوع روتور ساختی مستحکم و ساده دارد. روتور از هسته ای چند تکه استوانه ای با محوری که شکافهای موازی برای جادادن رساناها درون آن دارد تشکیل شده است. هر شکاف یک میله مسی یا آلومینیومی یا آلیاژی را شامل می شود. در این میله ها به طور دائمی بوسیله حلقه های انتهایی آنها همچنان که در شکل دو مشاهده می شود مدار کوتاه برقرار است. چون این نوع مونتاژ درست شبیه قفس سنجاب است، این نام برای آن انتخاب شده است. میله ای روتور دقیقاً با

محور موازی نیستند. در عوض به دو دلیل مهم قدری اریب نصب می‌شوند. دلیل اول آنکه موتور با کاهش صوت مغناطیسی بدون صدا کار کرده و برای آنکه از هارمونیکها در شکافها کاسته شود. دلیل دوم آن است که گرایش روتور به هنگ کردن کمتر شود. دندانه‌های روتور به خاطر جذب مغناطیسی مستقیم (محض) تلاش می‌کنند که در مقابل دندانه‌های استاتور باقی بمانند. این اتفاق هنگامی می‌افتد که تعداد دندانه‌های روتور و استاتور برابر باشند. روتور بوسیله مهارهایی در دو انتها روی محور نصب شده؛ یک انتهای محور در حالت طبیعی برای انتقال نیرو بلندتر از طرف دیگر گرفته می‌شود. ممکن است بعضی موتورهای محوری فرعی در طرف دیگر (غیر گردنده - غیر منتقل کننده نیرو) برای اتصال دستگاه‌های حسگر حالت (وضعیت) و سرعت داشته باشند. بین استاتور و روتور شکافی هوایی موجود است. بعلاوه القا انرژی از استاتور به روتور منتقل می‌شود. تورک تولید شده به روتور نیرو داده و سپس برای چرخیدن به آن نیرو می‌کند. صرف نظر از روتور استفاده شده قواعد کلی برای دوران یکی است.

۲-۴. انواع موتورهای القایی:

عموماً دسته‌بندی موتورهای القایی براساس تعداد پیچ‌های استاتور است که عبارتند از:

۱- موتورهای القایی تک فاز

۲- موتورهای القایی سه فاز

۲-۴-۱. موتورهای القایی تک فاز:

احتمالاً بیشتر از کل انواع موتورهای القایی AC تک فاز استفاده می‌شود. منطقی است که باید موتورهای دارای کمترین گرانی و هزینه نگه داری بیشتر استفاده شود. موتور القایی AC تک فاز بهترین مصداق این توصیف است. آن طور که از نام آن برمیآید این نوع از موتورها یک پیچه (پیچه اصلی) دارد و با یک منبع تغذیه تک فاز کار می‌کند. در تمام موتورهای القایی تک فاز روتور از نوع قفس سنجابی است. موتور القایی تک فاز خود راه انداز نیست. هنگامی که موتور به یک تغذیه تک فاز متصل است پیچه اصلی دارای جریانی متناوب می‌شود. این جریان متناوب میدان مغناطیسی ای ضربانی تولید می‌کند. بسبب القا روتور تحریک می‌شود. چون میدان مغناطیسی اصلی ضربانی است تورکی که برای چرخش موتور لازم است بوجود نمی‌آید و سبب ارتعاش روتور و نه چرخش آن می‌شود. از این رو موتور القایی تک فاز به دستگاه آغاز گری نیاز دارد که می‌تواند ضربات آغازی را برای چرخش موتور تولید کند. دستگاه آغاز گر موتورهای القایی تک فاز اساساً پیچه‌ای اضافی در استاتور است (پیچه کمکی) که در شکل سه نشان داده شده است. پیچه استارت می‌تواند دارای خازنهای سری و یا سوئیچ گریز از مرکز باشد. هنگامی که ولتاژ تغذیه برقرار است جریان در پیچه اصلی بسبب مقاومت پیچه اصلی ولتاژ تغذیه را افت می‌دهد (ولتاژ به جریان تبدیل می‌شود). در همین حین جریان در پیچه استارت بسته به مقاومت دستگاه استارت به افزایش ولتاژ تغذیه تبدیل می‌شود. فعل و انفعال میان میدانهای مغناطیسی که پیچه اصلی و دستگاه استارت می‌سازند میدان

برآیندی می‌سازند که در جهتی گردش می‌کند. موتور گردش را در جهت این میدان برآیند آغاز می‌کند. هنگامی که موتور به ۷۵ درصد دور مجاز خود می‌رسد یک سوئیچ گریز از مرکز پیچه استارت را از مدار خارج می‌کند. از این لحظه به بعد موتور تک فاز می‌تواند تورک کافی را برای ادامه کارکرد خود نگه دارد. بجز انواع خاص دارای Capacitor start / capacitor run عموماً همه موتورهای تک فاز فقط برای کاربری‌های بالای ۴/۳ hp استفاده می‌شوند. بسته به انواع تکنیکهای استارت موتورهای القایی تک فاز AC در دسته‌بندی ای گسترده‌ای قرار دارند.

۴-۲. موتورهای AC سه فاز:

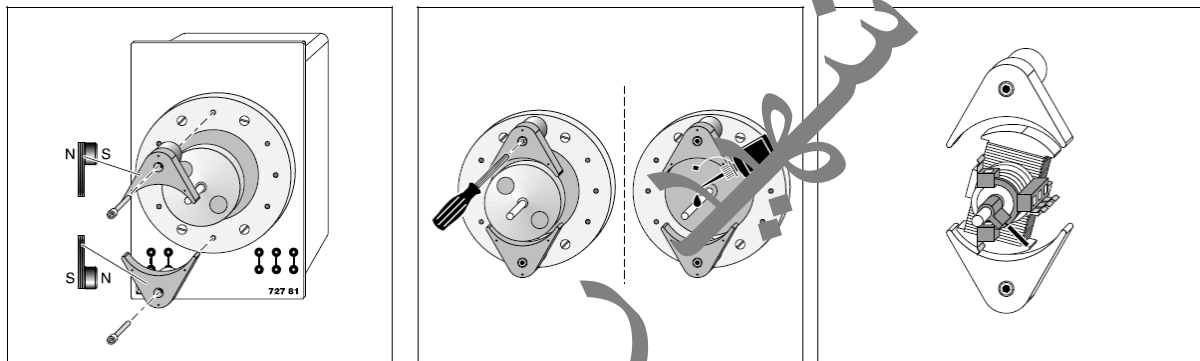
برای کاربری‌های نیازمند به توان بالاتر، از موتورهای القایی سه فاز AC یا چند فاز استفاده می‌شود. این موتورها از اختلاف فاز موجود بین فازهای تغذیه چند فاز الکتریکی برای ایجاد یک میدان الکترومغناطیسی دوار درونشان، استفاده می‌کنند. اغلب، روتور شامل تعدادی هادی‌های مسی است که در فولاد قرار داده شده‌اند. از طریق القای الکترومغناطیسی میدان مغناطیسی دوار در این هادی‌ها القای جریان می‌کند، که در نتیجه منجر به ایجاد یک میدان مغناطیسی متعادل کننده شده و موجب می‌شود که موتور در جهت گردش میدان به حرکت در آید. یکی از مزایای موتورهای سه فاز داشتن گشتاوری ثابت و مستقل از زمان است که باعث می‌شود موتور به نرمی کار کرده و از ضربات ناشی از تغییر گشتاور در حین کار که در موتورهای تک فاز وجود دارد در امان باشد و طول عمر و راندمان بالاتری نسبت به موتورهای تک فاز خواهد داشت.

این نوع از موتور با نام موتور القایی معروف است. برای اینکه این موتور به حرکت درآید بایستی همواره موتور با سرعتی کمتر از بسامد منبع تغذیه اعمالی به موتور، بچرخد، چرا که در غیر این صورت میدان متعادل کننده‌های در روتور ایجاد نخواهد شد. استفاده از این نوع موتور در کاربری‌های ترکشن نظیر لوکوموتیوها، که در آن به موتور ترکشن آسنکرون معروف است، روز به روز در حال افزایش است. به سیم پیچهای روتور جریان میدان جدایی اعمال می‌شود تا یک میدان مغناطیسی پیوسته ایجاد شود، که در موتور هم‌زمان وجود دارد، موتور به صورت هم‌زمان با میدان مغناطیسی دوار ناشی از برق AC سه فاز، به گردش در می‌آید. موتورهای هم‌زمان (سنکرون) (را می‌توانیم به عنوان مولد جریان هم بکار برد).

سرعت موتور AC در ابتدا به فرکانس تغذیه بستگی دارد و مقدار لغزش، یا اختلاف در سرعت چرخش بین چرخانه و میدان ایستانه، گشتاور تولیدی موتور را تعیین می‌کند. تغییر سرعت در این نوع از موتورها را می‌توان با داشتن دسته سیم پیچها یا قطبهایی در موتور که با روشن و خاموش کردنشان سرعت میدان دوار مغناطیسی تغییر می‌کند، ممکن ساخت. به هر حال با پیشرفت الکترونیک قدرت می‌توانیم با تغییر دامنه بسامد منبع تغذیه، کنترل یکنواخت تری بر روی سرعت موتورها داشته باشیم.

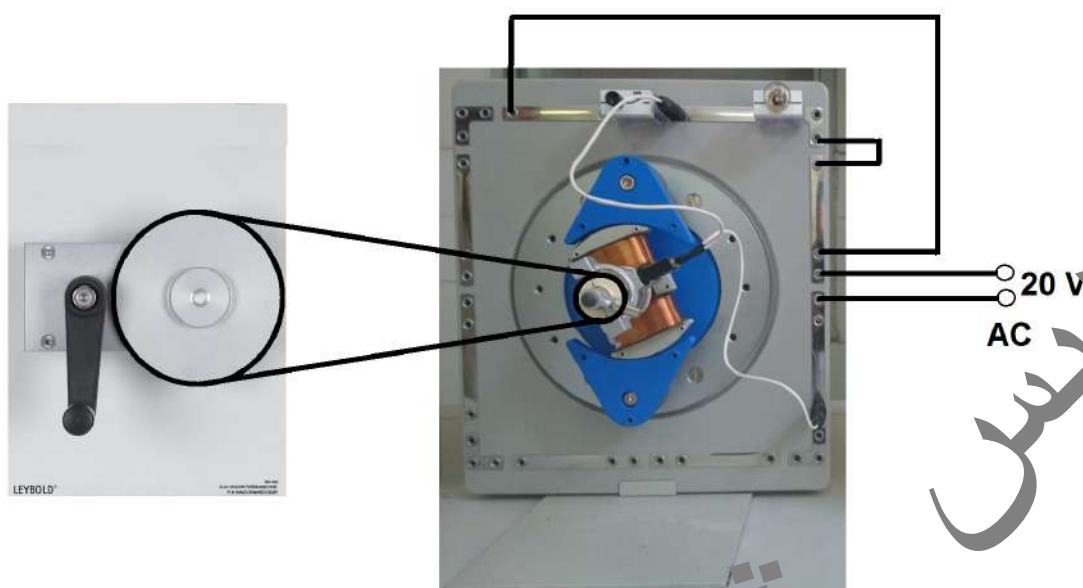
چیدمان آزمایش:

ابتدا صفحه پایه فلزی (۱) را روی یک میز با سطح صاف ثابت می‌کنیم. سپس دیسک مرکزی (۵) را جهت در مرکز قرار دادن چرخنده دوقطبی (۴) روی صفحه پایه فلزی قرار می‌دهیم. مطابق شکل (۴)، آهنرباهای مغناطیسی را به همراه دیرک‌های مغناطیسی پهن روی صفحه پایه فلزی قرار داده و به کمک پیچ مخصوص و آچار آلن روی صفحه پایه محکم می‌بندیم. دقت داشته باشید که قطب‌های آهنرباها به صورت ناهمنام با قطب‌های دیرک‌های مغناطیسی پهن قرار گیرند (سطح روی دیرک‌های مغناطیسی پهن را قطب شمال و سطح زیرین آن را قطب جنوب بگیرید). بعد از اطمینان از اتصال و در مرکز قرار گرفتن مجموعه، دیسک مرکزی را از محور صفحه پایه فلزی خارج کرده و چرخنده یا روتور دوقطبی را وارد محور صفحه پایه می‌کنیم. بهت است جهت کاهش اصطکاک بین قطعات و محور صفحه پایه فلزی، صفحه پایه فلزی روغن کاری شود.



شکل (۴): نحوه بستن آهنرباها به همراه دیرک‌های مغناطیسی پهن و روتور دوقطبی روی صفحه پایه فلزی

در ادامه تسمه گردان ماشین چرخان دستی را دور محل مخصوص تعبیه شده در بدنه روتور دوقطبی و خود ماشین چرخان دستی طوری اتصال می‌دهیم که تسمه بیش از اندازه کشیده نشود. سپس جاروبک (۱۰) را داخل محور صفحه پایه فلزی روی روتور دوقطبی مستقر کرده به کمک پیچ میکرومتری تعبیه شده محکم می‌کنیم. در انتها با استفاده از یک منبع تغذیه متناوب و سیم‌های رابط، مدار الکتریکی روتور را به صورت شکل زیر کامل می‌کنیم.



شکل (۵): مدار موتور الکتریکی AC همگام

روش انجام آزمایش

منبع تغذیه متناوب را روی ولتاژ شاخص ۲۰ ولت تنظیم کرده و به مدار موتور اعمال می‌کنیم. در این لحظه لامپ رشته‌ای روشن خواهد شد. سپس به آرامی با سرعت تندشونده ماشین چرخان دستی را به چرخش درمی‌آوریم تا زمانی که لامپ رشته‌ای خاموش شود. در این لحظه، کلید قطع و وصل را فشار داده تا لامپ رشته‌ای به صورت اتصال کوتاه از مدار موتور خارج شود. به طور همزمان با این عمل، دست دیگر را از روی دستگیره ماشین چرخان دستی رها می‌کنیم. طرز عمل و مشاهدات خود را از این آزمایش کیفی بیان می‌کنیم.

توجه: ممکن است برای رسیدن به نتیجه مطلوب این آزمایش بارها تکرار شود. همچنین جهت رسیدن به نتیجه مطلوب می‌بایست افزایش سرعت ماشین چرخان دستی به آرامی و با آهنگ یکمواختی صورت پذیرد. از رها کردن خیلی سریع دستگیره ماشین چرخان اجتناب شود.

آزمایش شماره (۱۲ ب)

عنوان آزمایش:

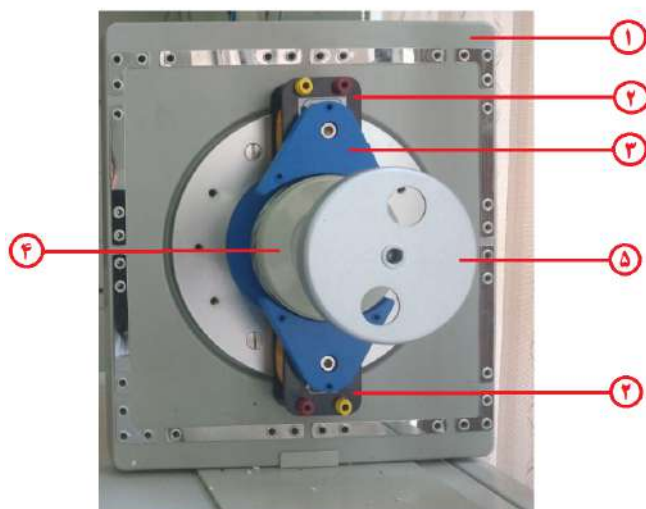
موتور الکترومغناطیسی تک فاز

هدف:

راه اندازی و مشاهده طرز عمل یک موتور ولتاژ متناوب (AC) تک فاز

وسایل مورد نیاز:

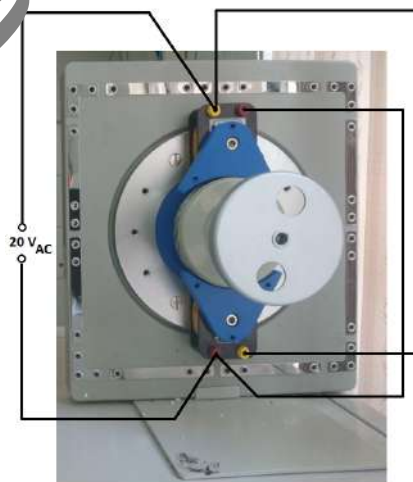
- ۱- صفحه پایه فلزی به همراه نگه دارنده عمودی آن
- ۲- ۲ عدد سیم پیچ (کوئل) ۵۰ دور
- ۳- دیرک های مغناطیسی پهن جهت اتصال سیم پیچ ها به صفحه پایه فلزی
- ۴- چرخنده (روتور) مدار- کوتاه
- ۵- دیسک مرکزی جهت در مرکز قرار دادن چرخنده روی صفحه پایه فلزی
- ۶- آچار آلن
- ۷- منبع تغذیه ولتاژ متناوب
- ۸- سیم رابط
- ۹- محفظه روغن



شکل (۱): وسایل مورد نیاز در آزمایش موتور الکتریکی تک فاز

چیدمان آزمایش:

ابتدا صفحه پایه فلزی را روی یک میز با سطح صاف ثابت می‌کنیم. سپس دیسک مرکزی را جهت در مرکز قرار دادن چرخنده روی صفحه فلزی قرار می‌دهیم. مطابق شکل (۴)، سیم‌پیچ‌های ۲۵۰ دوری را به همراه دیرک‌های مغناطیسی پهن روی صفحه پایه فلزی قرار داده و به کمک پیچ مخصوص و آچار آلن روی صفحه پایه محکم می‌بندیم. بعد از اطمینان از اتصال و در مرکز قرار گرفتن مجموعه، دیسک مرکزی را از محور صفحه پایه فلزی خارج کرده و چرخنده یا روتور مدار-کوتاه را وارد موتور، صفحه پایه می‌کنیم. با استفاده از یک منبع تغذیه متناوب و سیم‌های رابط، مدار الکتریکی موتور را به صورت شکل زیر کامل می‌کنیم.



شکل (۴): مدار موتور الکتریکی AC تک فاز

➤ روش انجام آزمایش:

منبع تغذیه متناوب را روی ولتاژ شاخص ۲۰ ولت تنظیم کرده و به سیم‌پیچ‌ها اعمال می‌کنیم. سپس به صورت دستی و به آرامی چرخنده موتور را به سمت چپ یا راست می‌چرخانیم. پس از استارت اولیه، به سرعت موتور توجه کرده و طرز عمل و مشاهدات خود را یادداشت می‌کنیم.

توجه: در این آزمایش، با توجه به بارگذاری بیش از حد سیم‌پیچ‌ها و جلوگیری از ایجاد گرمای بیش از اندازه مدت زمان انجام آزمایش باید تا حد امکان کوتاه و مختصر شود.

آزمایش شماره (۱۲) پ

عنوان آزمایش

مدلی از یک ترانسفورماتور جریان بالا- کوره القایی

هدف آزمایش

۱- نمایش عملکرد یک کوره القایی

وسایل مورد نیاز

- ۱- سیم پیچ اصلی، ۵۰۰ دور
- ۲- ملاقه‌ای برای ذوب به شکل حلقه
- ۳- حلقه ذوب
- ۴- چیدمان کامل حلقه
- ۵- ابزار اندازه‌گیری جریان

روش انجام آزمایش

❖ چیدمان آزمایش



شکل (۱): چیدمان آزمایش

◀ نحوه انجام آزمایش

- ۱- حلقه ذوب را در ملاقه ذوب حلقه شکل قرار دهید.
- ۲- سیم پیچ ۵۰۰ دور را روشن نموده و جریان اولیه را بخوانید، حلقه ذوب را مشاهده کنید.
- ۳- هنگامی که حلقه شروع به ذوب شدن کرد، سیم پیچ ۵۰۰ دور را خاموش کنید.

◀ سوالات

- ۱- با نظر شما جریان سیم پیچ دوم چقدر است؟
- ۲- برای اندازه گیری این جریان توسط آمپر متر چه مقاومت شنتی پیشنهاد می کنید؟

آزمایش شماره (۱۲) ت

◀ عنوان آزمایش

مدلی از یک ترانسفورماتور جریان بالا- ذوب یک میخ

◀ هدف آزمایش

- ۱- نمایش اثر گرمایش یک ترانسفورماتور جریان بالا

◀ وسایل مورد نیاز

- ۱- سیم پیچ اصلی، ۵۰۰ دور
- ۲- سیم پیچ ۵ دور
- ۳- میخ آهنی در ابعاد تقریبی $3.1 \times 80 \text{ mm}$
- ۴- چیدمان کامل حلقه U شکل
- ۵- توری سیمی

➤ روش انجام آزمایش

❖ چیدمان آزمایش



شکل (۱): چیدمان آزمایش

! نکته

آزمایش شامل سیم‌پیچی با ۵ دور است که میزان زیادی حرارت تولید می‌کند.

۱- بنابراین ترانسفورماتور جریان بالا را بر روی مبرمقاوم در برابر حرارت یا توری

سیمی قرار دهید.

۲- زمان آزمایش را به ۳۰ ثانیه محدود کنید.

➤ نحوه انجام آزمایش

۱- میخ آهنی را محل مربوطه قرار داده به آرامی آن را در محل محکم کنید.

۴- سیم‌پیچ ۵۰۰ دور را روشن نموده و میخ آهنی را تحت نظر قرار دهید تا شروع به ذوب شدن کند.

۵- هنگامی که میخ شروع به ذوب شدن کرد، سیم‌پیچ ۵۰۰ دور را خاموش کنید. لازم به ذکر است

روشن گذاشتن دستگاه بیش از ۳۰ ثانیه سبب آسیب دیدن آن و چسبیدن میخ ذوب شده به بدنه

دستگاه می‌شود.

سوالاٲ

- ۱- به نظر شما سیم پیچ دوم چقدر اسٲ؟
- ۲- حرارت تولید شده توسط این سیستم چه مقدار اسٲ؟
- ۳- برای اندازه گیری این جریان توسط آمپر متر چه مقاومت شنتی پیشنهاد می کنید؟