بسمه تعالی

مقدمه

آزمایشگاه فیزیک پایه ۲ مشتمل بر ۹ آزمایش است که بر اساس مباحث الکترومغناطیس کتاب فیزیک پایه ۲ تدوین شده است. ۶ آزمایش اول مربوط به مباحث الکتریسیته و مدارات الکتریکی و ۳ آزمایش آخر مرتبط با مباحث مغناطیس می باشد. آزمایشها به همراه یک جلسه مقدماتی طی ده هفته ارائه می گردد. در طول ترم به نکات زیر توجه نمایید:

- با توجه به عملی بودن این درس، غیبت بیش از یک جلسه منجر به حذف واحد آزمایشگاه می گردد. در صورت بروز غیبت با هماهنگی مربی مربوطه در اسرع وقت به آزمایشگاه مراجعه و آزمایش معوقه را جبران نمایید. عدم مراجعه و جبران آزمایش موجب محرومیت از امتحان عملی می گردد.

- جهت انجام بهتر آزمایش، مباحث تئوری مربوط به هر آزمایش را پیش از آن مطالعه نمایید. آزمایشها برای گروههای مختلف به ترتیب زیر انجام می شود:

شروع → (دوره اول) → (دوره دوم) → (دوره سوم)

$$I \rightarrow (R\text{-}E\text{-}W) \rightarrow (C_1\text{-}C_2\text{-}O) \rightarrow (F\text{-}B\text{-}M)$$

$$I \rightarrow (E\text{-}W\text{-}R) \rightarrow (C_2\text{-}O\text{-}C_1) \rightarrow (B\text{-}M\text{-}F)$$

$$I \rightarrow (W\text{-}R\text{-}E) \rightarrow (O\text{-}C_1\text{-}C_2) \rightarrow (M\text{-}F\text{-}B)$$

I = آزمایش مقدماتی ، R = مقاومت ، E = مطالعه و کار با مولدها ، W = پل وتستون ، C_1 = خازن ۱، C_2 = خازن۲، O= اسیلوسکوپ، F = القای فارادی ، B = اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین ، M = منیتومتر

- پس از اتمام هر آزمایش وسایل میز کار خود را مرتب نمایید.

- هر دانشجو بایستی در ابتدای هر جلسه، گزارش کار آزمایش مربوط به جلسه قبل را به مربی خود تحویل دهد. تاخیر در تحویل گزارش کار موجب کسر نمره می گردد.

- چنانچه گزارش‌کاری نیاز به اصلاح داشته باشد، اصلاحات جزئی در همان برگه و اصلاحات کلی در برگه‌ای جدید به گزارش‌کار ضمیمه شده و در جلسه امتحان عملی به همراه کلیه گزارش کارها تحویل مربی گردد.

- به جهت لزوم حفظ شأن قرآن و جلوگیری از بی‌احترامی به آیات آن، از نوشتن اسامی متبرکه در عنوان جداً خودداری نمایید.

گزارش کار باید حاوی مطالب زیر باشد:

۱- وسایل آزمایش ،۲- هدف آزمایش،۳- شرح مختصری از تئوری و نحوه انجام آزمایش،۴- تکمیل جداول و محاسبات، ۵- پاسخ به سوالات پایان هر آزمایش،۶- رسم نمودارها.

در صورت نیاز به رسم نمودار موارد زیر را لحاظ کنید :

۱- نمودارها باید در کاغذ میلیمتری و یا به وسیله نرم افزار کامپیوتری رسم شوند.

۲- محور افقی (X) را به عنوان متغیر مستقل و محور عمودی را به عنوان متغیر وابسته (Y) در نظر بگیرید.

۳- نام هر یک از محورها و واحد اندازه گیری مربوط به آن را با توجه به سیستم یکاها در کنار آن یادداشت نمایید.

۴- برای رسم مناسب منحنی ها لازم است محورهای مختصات به روش مناسب مدرج شوند.برای انجام این عمل انتخاب طول محور متناسب با تفاضل اولین و آخرین عدد مربوط به آن محور روش مناسبی خواهد بود.

۵- پس از مشخص کردن نقاط نمودار ، بهترین منحنی(خط)را از میان نقاط رسم کنید.(بهترین منحنی(خط) عبارت از خطی است که فاصله نقاط طرفین آن از منحنی مزبور یکسان باشد.)

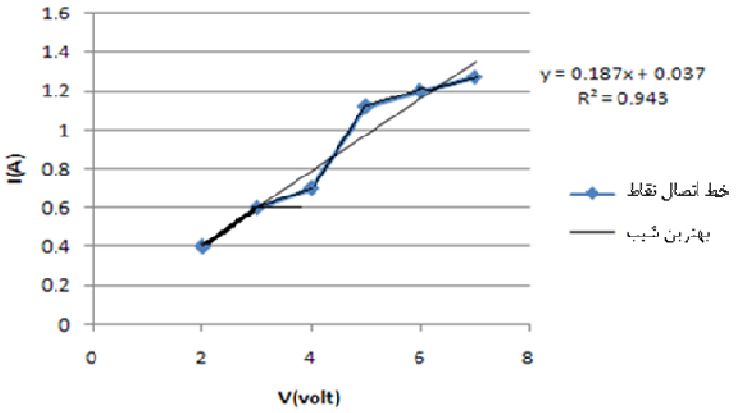
۶- در صورت امکان ، جدول داده ها را در کنار نمودار درج کنید تا همزمان قابل مقایسه با یکدیگر باشند.

۷- کلیه نتایج اعم از محاسبات عددی و نتایج فیزیکی را از نمودار استخراج و در گزارش کار بنویسید.

مثال :جدول زیر داده ها و نمودار مربوط به آزمایش۱ (قانون اهم)می باشد.با توجه به ولتاژهای داده شده مقادیر جریان به وسیله آمپرمتر قرائت می شود. مقدار مقاومت(R) باید طبق رابطه $R=\frac{V}{I}$ محاسبه شده و در جدول وارد شود.

V(volt)	۲	۳	۴	۵	۶	۷
I(A)	۰.۴	۰.۶	۰.۷	۱.۱۲	۱.۲	۱.۲۷
R(Ω)						

با توجه به اینکه مقادیر جریان بر حسب ولتاژ اندازه گیری شده اند، لذا نمودار (I-V)رسم می شود.



همان طور که ملاحظه می شود الزاما طول واحد محورهای RوV یکسان نمی باشد. منحنی از میان نقاط می گذرد و اتصال همه نقاط به یکدیگر صحیح نمی باشد..

نتایج عددی و نتایج فیزیکی : در نمودار بالا عکس شیب نمودار ($\frac{1}{R}=\frac{\Delta I}{\Delta V}=0.187$)، مقدار مقاومت R خواهد بود. با توجه به اینکه شیب خط تقریبا ثابت می باشد، می توان اهمی بودن مقاومت را با استفاده از نمودار نتیجه گرفت.

محاسبه خطا:

به طور کلی در اندازه‌گیری کمیت های مختلف در حین آزمایش ممکن است با خطاهای متعددی مواجه شویم. آگاهی از این خطاها و حذف آنها منجر به نتایج دقیق تری خواهد شد. دو نمونه از انواع خطا عبارت است از:

۱- خطای درجه بندی دستگاه :

کوچکترین مقداری که توسط هر دستگاهی قابل اندازه‌گیری می باشد، **دقت وسیله اندازه گیری** یا **خطای درجه بندی دستگاه** نام دارد. به این معنا که وسیله ما قابلیت اندازه گیری مقادیر بین هر یک از قسمتها را ندارد . در آمپرمتر با شنت ۰/۱۵ آمپر که در اختیار دارید، خطای درجه بندی دستگاه $\Delta I=$ ۰/۰۰۵ آمپر می باشد. به طور مثال اگر عقربه آمپرمتر بین ۰/۰۱۵ و ۰/۰۲۰ آمپر قرار گیرد، نمی توان نتیجه ای بین این دو مقدار را قرائت نمود. در این حالت مقدار جریان با توجه به نزدیکی عقربه آمپرمتر به یکی از دو حد بالا یا پایین ، اعلام می شود.

در حین استفاده از وسایل اندازه گیری به کالیبره بودن آنها نیز باید توجه داشت.

۲- خطای آزمایشگر:

برای کاهش این خطا، آزمایش را چندین بار تکرار می کنیم. سپس میانگین مقادیر به دست آمده اعلام می گردد. خطای آزمایش عبارت است از تفاوت مقدار اندازه گیری شده x با مقدار میانگین x_m .

$$\Delta x = x - x_m$$

اگر آزمایش در دفعات مختلف تکرار شود، می توان میانگین خطای آزمایشگر را به صورت زیر نوشت:

$$\Delta x_m = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + ... + \Delta x_n}{n}$$

خطای مطلق:

با توجه به اینکه هرگز نمی توان به مقدار واقعی کمیت دست یافت، بنابراین نمی توان مقدار دقیق خطا و علامت آن را از لحاظ جبری تعیین کرد. لذا همواره قدر مطلق حداکثر خطا(خطای درجه بندی دستگاه یا خطای میانگین آزمایشگر) را که ممکن است در سنجش یک کمیت رخ دهد، به عنوان خطای مطلق (Δx)به حساب می آوریم. اکنون می توان نوشت:

$$x_m - \Delta x < x < x_m + \Delta x$$

خطای نسبی:

خطای مطلق به تنهایی نمی تواند دقت اندازه گیری را نشان دهد. بلکه باید نسبت به کمیت مورد اندازه گیری بررسی شود. این خطا بدون بعد است و هرچه مقدارآن کمتر باشد ،دقت اندازه گیری بیشتر خواهد بود. گاهی خطای نسبی را با درصد بیان می کنند.

$$\text{خطای نسبی}\% = \frac{\Delta x}{x} \times ۱۰۰$$

محاسبه خطای نسبی با استفاده از دیفرانسیل لگاریتمی:

می دانیم که اگر $x = \ln a$ باشد، مقدار دیفراسیل آن برابر است با :

$$dx = d(\ln a) = \frac{da}{a}$$

طرف راست رابطه بالا خطای نسبی کمیت a می باشد. پس می توان برای محاسبه خطای نسبی یک کمیت از طرفین آن لگاریتم گرفته و سپس دیفرانسیل گیری نماییم. مثلا اگر داشته باشیم x=a/b ، برای تعیین خطای نسبی چنین عمل می کنیم:

$$\ln x = \ln \frac{a}{b} = \ln a - \ln b$$

$$d(\ln x) = d(\ln a - \ln b) \rightarrow \frac{dx}{x} = \frac{da}{a} - \frac{db}{b}$$

علامت دیفرانسیل را به Δ تبدیل می کنیم. برای محاسبه ماکزیمم مقدار خطا و به دلیل اطلاع نداشتن از علامت جبری آن، علامت منفی را به مثبت تغییر می دهیم.

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \rightarrow \Delta x = x(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b})$$

مقدار Δx خطای نسبی است که به روش لگاریتمی محاسبه شده است.

برای مطالعه بیشتر در این زمینه می توانید به مراجع زیر مراجعه کنید:

۱-فیزیک عملی،ج.ل.اسکوایزر،ترجمه محمد علی شاهزمانیان و محمدحسن فیض، مرکز نشر دانشگاهی،چاپ اول ۱۳۷۰

۲- خطاهای مشاهده و محاسبه آن ،تاپینگج،،ترجمه محسن تدین،مرکز نشر دانشگاهی ۱۳۶۴:

آشنایی با وسایل آزمایشگاه

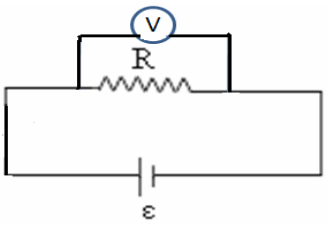
هدف از برگزاری جلسه مقدماتی، آشنایی اولیه با کاربرد وسایل عمومی آزمایشگاه و بستن چند مدار ساده می باشد. در زیر این وسایل معرفی می شوند:

۱-مولتی متر

یکی از وسایل اندازه گیری در آزمایشگاه مولتی متر یا آوومتر می باشد. این دستگاه چند منظوره می تواند به عنوان ولت متر، آمپرمتر و اهم متر در مدار مورد استفاده قرار گرفته و هر یک از کمیتهای ولتاژ، جریان و مقاومت را اندازه گیری نماید.

شکل(۱)

طرز استفاده و قرار گرفتن مولتی متر در مدار

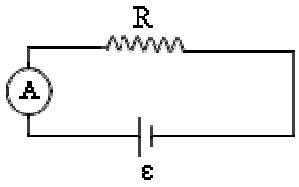


شکل(۲)

الف) ولت متر: از ولت متر جهت اندازه گیری اختلاف پتانسیل دو نقطه از مدار استفاده می شود. این دستگاه قابلیت اندازه گیری انواع ولتاژ AC (متناوب) و DC (مستقیم) را دارد. قبل از نصب ولت متر باید حالت دستگاه مولتی متر را با توجه به نوع ولتاژ به کار گرفته شده (که غالبا از روی منبع تغذیه مورد استفاده در مدار مشخص می شود)، تعیین کرد. طریقه نصب ولت متر در مدار به صورت موازی بوده و باید دقت داشت برای جلوگیری از آسیب دستگاه، شروع اندازه گیری از رنج های بزرگتر (حالت هایی با اندازه گیری بیشترین ولتاژ) آغاز گردد. برای استفاده از مولتی متر دیجیتالی جهت اندازه گیری ولتاژ، ضمن رعایت نکات بالا (۱ـ انتخاب وضعیت DC و AC و ۲ـ موازی وصل نمودن ولت متر) کافی است دو سر سیم های رابط متصل به ولتمتر را در مکان های COM و V نصب نمایید. در صورت جابجا زدن این دو سیم عدد ولت متر فقط منفی نشان داده می شود و به لحاظ قدرمطلق تفاوتی نمی کند.

ب) آمپرمتر: از آمپرمتر برای اندازه‌گیری شدت جریان عبوری از یک شاخه مدار استفاده می شود. این دستگاه باید به صورت سری در مدار قرار گیرد. جهت اندازه گیری جریان های DC و AC هنگام استفاده از آمپرمتر دیجیتالی ضمن رعایت نصب صحیح دستگاه

و انتخاب حالت آمپرمتر، کافی است سیم های رابط آمپرمتر در محل های COM و A یا COM و mA وصل شوند. در اینجا نیز در صورت جابجا نصب نمودن سیم های رابط فقط عدد مورد نظر منفی نشان داده می شود.



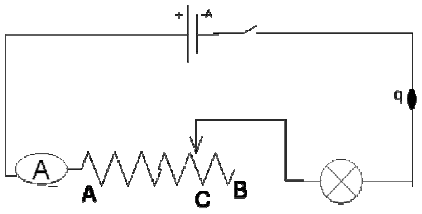
شکل(۳)

توجه: برای جلوگیری از آسیب دستگاه ابتدا کلید سلکتوری را در حالت دلخواه قرار داده و سپس سیمهای رابط را به آن اتصال دهید.

۲-رئوستا:

رئوستا مقاومت متغیری است که به کمک آن می توان شدت جریان مصرف کننده یا ولتاژ دو سر آن را در مدار تنظیم نمود. این وسیله دارای یک سر لغزنده بر روی یک میله برنجی و دو سر ثابت می باشد. با جابجا کردن سر لغزنده، مقدار مقاومت موجود در مدار تغییر می نماید.

الف) اگر هدف آزمایش تغییر شدت جریان در مدار باشد، رئوستا را به طور سری با مصرف کننده در مدار قرار می دهند. به مدار شکل (۴) توجه کنید. این مدار شامل منبع تغذیه، لامپ، رئوستا و آمپرمتر می باشد. کلیه وسایل به طور سری در مدار قرار گرفته‌اند. پس از بستن مدار و کنترل آن توسط مربی، کلید منبع تغذیه را روشن کنید. سر لغزنده رئوستا را در طول آن تغییر دهید. سپس تغییر جریان آمپرمتر و شدت نور لامپ را مشاهده نمایید.



شکل(۴)

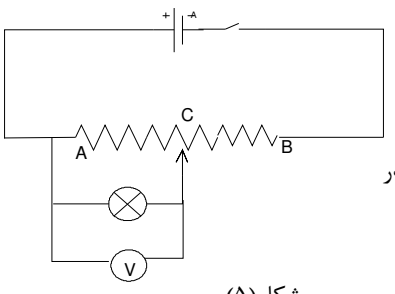
لامپ

سوالات:

۱- چرا هنگامی که سر لغزنده C را روی نقطه B قرار می دهیم، لامپها خاموش می شوند؟

۲- اگر آمپرمتر را از مکان فعلی به نقطه q منتقل کنیم ،آیا شدت جریانی که آمپرمتر نشان می دهد تغییر خواهد کرد؟

ب) اگر هدف از آزمایش تغییر اختلاف پتانسیل دو سر مصرف کننده باشد، رئوستا را به طور پتانسیومتری در مدار قرار می دهند. مداری مطابق شکل (۵) مرکب از منبع تغذیه، رئوستا، لامپ و ولتمتر تشکیل دهید. پس از کنترل مدار توسط مربی،کلید را بسته و با تغییر سر لغزنده رئوستا، مقدار ولتاژ دو سر لامپ را تغییر دهید. نتیجه مشاهدات خود را در مراحل مختلف یادداشت نمایید.



شکل(۵)

تذکر مهم: پیش از برقراری جریان الکتریکی در کلیه آزمایشها، از مربی خود بخواهید تا مدار شما را کنترل نموده و سپس به انجام آزمایش بپردازید.

سوالات:

۱- موقعی که لغزنده C روی نقطه A است ، اختلاف پتانسیل دو سر لامپ چقدر است؟چرا؟

۲- لامپ نسبت به رئوستا در چه وضعیتی قرا رگرفته است؟(سری یا موازی؟)

۳- آیا شدت جریان دو قسمت AC و BC از رئوستا با هم برابر است؟

۴- شدت نور لامپ را هنگامی که سر لغزنده رئوستا در نقاط مختلف B،Cو A قرار دارد با یکدیگر مقایسه نموده و علت را شرح دهید.

آزمایش ۱ **مقاومت**

هدف آزمایش:آشنایی با چند نوع مقاومت خاص و تحقیق قانون اهم درباره آنها.

وسایل آزمایش: منبع تغذیه DC، ولت متر، آمپرمتر، مقاومت ۴۷ اهمی، لامپ۱۲ولتی، مقاومت نوری LDR، مقاومت حرارتیPTC و NTC، سیم رابط،دما سنج، صفحه سوکت دار، یخ

تئوری آزمایش

یک مقاومت ایده‌ال عنصری است که صرف نظر از ولتاژ اعمالی یا جریان الکتریکی عبوری از آن، مقدار مقاومت الکتریکی آن ثابت می‌ماند. به‌دلیل اینکه مقاومت های جهان واقعی نمی‌توانند این شرایط ایده‌ال را برآورده سازند، آنها را به‌گونه‌ای طراحی می‌کنند که در برابر تغییرات دما و دیگر عوامل محیطی ، نوسانات کمی در میزان مقاومت الکتریکی شان ایجاد شود.

هرگاه در دمای ثابت، بین دو سر رسانا، اختلاف پتانسیل V برقرار باشد به طوری که در هر لحظه جریانی به شدت I از آن عبور کند، همواره نسبت اختلاف پتانسیل به شدت جریان در هر نقطه از رسانا مقداری ثابت است که به آن "*مقاومت الکتریکی* "می‌گویند. رابطه بین شدت جریان و اختلاف پتانسیل را به احترام دانشمندی که اولین بار موفق به کشف آن شد، **قانون اهم** می‌نامند.

$$R = \frac{V}{I} \qquad (۱)$$

این رابطه نشان می‌دهد که منحنی نمایش تغییرات اختلاف پتانسیل بر حسب شدت جریان خطی است. به عبارت دیگر در شرایط فیزیکی یکسان مقدار مقاومت (R) مستقل از ولتاژ بوده و مقدار آن ثابت می باشد. چنین ماده‌ای **مقاومت اهمی** نامیده می شود.

هرگاه جریان الکتریکی از یک رسانا عبور کند، مطابق قانون ژول در آن گرما ایجاد می‌شود. گرمای حاصل باعث تغییر مقاومت رسانا می‌گردد. در آن صورت مقاومت هادی طبق رابطه :

$$R = R_0(1 + \alpha\Delta T) \qquad (۲)$$

تغییر خواهد کرد. R_0 مقاومت رسانا در شرایط استاندارد ،ΔT تغییرات دما و α ضریب حرارتی رسانا می باشد. در این حالت نیز قانون اهم برقرار است ولی نسبت V/I در حالات مختلف با یکدیگر برابر نمی باشد؛ چرا که مقاومت اهمی رسانا با تغییر دما، تغییر کرده است. چنین ماده ای **مقاومت غیر اهمی** است.

فلزات خاصی نیز وجود دارند که با وجود ثابت بودن دما و شرایط فیزیکی، منحنی تغییرات ولتاژ با جریان آنها یک خط راست نیست و مقاومت فلز در ولتاژ و جریان های مختلف تغییر می کند. انواع مقاوتهایی که در طول آزمایش مورد استفاده قرار می گیرند به شرح زیر می باشد:

-مقاومت های حرارتی Thermally sensitive resistor (THERMISTOR):

بزرگی این نوع مقاومت ها تابع حرارت است. یعنی در اثر حرارت، میزان مقاومتشان تغییر می کند. مقاومت های حرارتی را تحت عنوان"*ترمیستور*"می شناسیم . در این مقاومت ها تغییرات مقدار مقاومت نسبت به تغییرات دما خطی نیست. از این مقاومت ها در مدارها به عنوان حس کننده های حرارتی (Sensor) در مسیر دستگاه های الکتریکی نظیر موتورهای الکتریکی ، کوره ها ، سیستم های تهویه و تبرید استفاده می شود. به طور کلی ترمیستورها در مداراتی که دما را اندازه گیری یا کنترل می کنند به کار می روند و در دو نوع ساخته می شوند:

۱- ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت (PTC): که با افزایش دما مقدار مقاومت آن افزایش می یابد.

۲- ترمیستور با ضریب حرارتی منفی (NTC) : که با افزایش دما مقدار مقاومت آن کاهش می یابد .

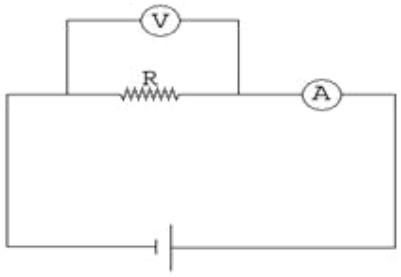
-مقاومت های نوری(Light Dependent Resistor (LDR):

اندازه مقاومت های نوری تابع تغییرات شدت نور تابیده شده به سطح آنها است. مقاومت های نوری در فضای تاریک دارای مقاومت زیاد و در روشنایی دارای مقاومت کم است. مقاومت های LDR را " *فتو رزیستور* " هم می نامند . برای اینکه نور روی عنصر مقاومتی فتورزیستور اثر گذارد معمولا سطح ظاهری آن را با شیشه یا پلاستیک شفاف می پوشانند . از این مقاومت در مدارات الکترونیکی به عنوان تشخیص‌دهنده‌نور (نور سنج) استفاده می شود . از جمله کاربردهای این مقاومت استفاده آن در دوربین های عکاسی و کلیدهای نوری و چشم های الکترونیکی است .

روش آزمایش :

الف) تحقیق قانون اهم در مورد یک مقاومت ۴۷ اهمی :

به منظور تحقیق قانون اهم و رسم منحنی تغییرات جریان- ولتاژ ، ابتدا شنت ۰/۳ آمپر را به آمپرمتر وصل کرده و با استفاده از مقاومت ۴۷ اهمی (توان ۲ وات) مدار شکل (۱) را ببندید. ولتاژ را از ۱ تا ۱۲ ولت (از روی ولت متر) تغییر داده و جریان را از روی آمپر متر بخوانید. نتایج را در جدول زیر وارد نمایید. توجه داشته باشید جریان از(mA) ۲۱۰ بیشتر نشود. در این آزمایش از تغییرات دما صرفنظر می‌شود. سپس منحنی تغییرات I(V) را رسم نموده و قانون اهم را از روی نمودار نتیجه بگیرید.



شکل(۱)

V	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
I(A)												
R=V/I												

جدول(۱)

ب)تحقیق قانون اهم در مورد لامپ ۱۲ ولتی:

مدار را مشابه قسمت الف بسته و این بار به جای مقاومت، لامپ ۱۲ ولتی را وارد مدار نمایید. مقادیر ولتاژ و جریان را از روی ولت متر و آمپر متر بخوانید و در جدول (۲) وارد نمایید . سپس منحنی تغییرات *V*- I و R-V را در یک دستگاه مختصات رسم نمایید .

V	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I(A)										
R=V/I(Ω)										

جدول (۲)

ج) تحقیق قانون اهم در مورد مقاومت نوری LDR:

حالت رو به نور:

مقاومت نوری LDR را به نحوی که صفحه شفاف آن رو به نور باشد، مطابق شکل(۱) در مدار قرار دهید. در این قسمت از شنت ۰/۱۵ یا ۰/۰۳ بنا به شرایط آزمایشی آمپر استفاده نمایید. این بار ولتاژ را حداکثر تا۱۰ ولت افزایش داده و نتایج را در جدول(۳)وارد نمایید.

توجه:قبل از جابجایی شنت حتما منبع تغذیه را خاموش نمایید.

$V(v)$	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
$I(A)$										
$R=V/I$										

جدول (۳)

حالت پشت به نور:

در این مرحله پس از قطع کردن مدار، شنت آمپرمتر را جدا کنید. این بار مقاومت نوری را پشت به نور قرار دهید و مراحل قبلی را مجددا تکرار نمایید. نتایج را در جدول (۴) وارد کنید.

$V(v)$	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
$I(A)$										
$R=V/I$										

جدول (۴)

نمودار I برحسب V را برای هر دو حالت در یک نمودار رسم نموده و نتایج آنها را با هم مقایسه نمایید.

د) تحقیق قانون اهم در مقاومتهای حرارتی NTC و PTC و چگونگی تغییرات مقاومت با تغییرات دما:

۱- مقاومت PTC :

این مقاومت حرارتی به گونه ای است که ضریب حرارتی (α) آن مثبت بوده و طبق رابطه (۲) با افزایش دما، مقاومت آن نیز افزایش می یابد. در این قسمت ولتاژ را ثابت در نظر گرفته و اثر تغییر دما را در مقاومت بررسی می‌کنیم. این مقاومت درون محفظه مخصوصی قرار دارد. لامپ ۱۲ولت داخل آن نیز حرارت لازم را برای انجام آزمایش ایجاد می نماید.

برای انجام آزمایش، PTC را مطابق شکل شماره (۱) وارد مدار نموده و شنت ۰/۱۵ آمپر را وصل نمایید. ولتاژ منبع تغذیه را به تدریج افزایش داده و مقدار آن را روی ۵ ولت ثابت نگهدارید. اجازه دهید افت اولیه جریان در آمپر متر ثابت شود. سپس دماسنج را داخل محفظه قرار داده و لامپ داخل آن را روشن نمایید. مقدار جریان را به ازای افزایش هر ۵ درجه سلسیوس در جدول(۵) یادداشت کنید. توجه داشته باشید که ولتاژ منبع تغذیه در حین آزمایش روی ۵ ولت ثابت بماند. مقادیر مقاومت را با استفاده از رابطه (۱) در جدول یادداشت کنید. نمودار $R(T)$ و $I(T)$ را در یک دستگاه مختصات رسم نموده و نتایج آن را بررسی کنید.

T°(C)	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰
I(A)											
R(Ω)											

جدول (۵)

-مقاومت NTC :

در این مقاومت چون ضریب حرارتی(α) منفی است، طبق رابطه (۲) با کاهش دما مقاومت افزایش یافته و آمپرمتر جریان کمتری را نشان می دهد.

پس از انجام آزمایشPTC، لامپ داخل محفظه را خاموش کنید. پس از قطع مدار، شنت را از آمپر متر جدا کرده و NTC را وارد مدار نمایید. ابتدا کمی صبر کنید تا جریان آمپرمتر به‌ازای افزایش ولتاژ تقریبا ثابت گردد. پس از اینکه مقدار ولتاژ بر روی ۵ ولت ثابت شد، دماسنج را داخل محفظه قرار داده و از یخ برای سرد کردن محفظه استفاده نمایید. مقدار جریان را به ازای هر ۵ درجه افت دما در جدول(۶) وارد نمایید. توجه داشته باشید که جریان بیش از ۱۰mA نشود. مقادیر مقاومت را با استفاده از رابطه (۱) در جدول یادداشت کنید. نمودار$R(T)$ و $I(T)$ را در یک دستگاه مختصات رسم نموده و نتایج آن را یادداشت کنید.

$T^{\circ}(C)$	۷۰	۶۵	۶۰	۵۵	۵۰	۴۵	۴۰	۳۵	۳۰	۲۵
$I(A)$										
$R(\Omega)$										

جدول(۶)

سوالات:

۱- چرا اندازه مقاومت LDR در حالت رو به نور و پشت به نور با هم متفاوت است؟

۲- جدول زیر را پر کنید:

مقاومت	شنت	دقت آمپرسنج	دقت ولت‌سنج	اُهمی یا غیراُهمی
۴۷ اُهمی				
لامپ				
LDR رو به نور				
LDR پشت به نور				
PTC				
NTC				

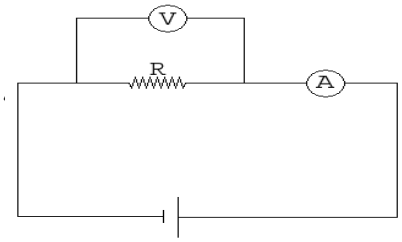
۳- در آزمایش PTC علت افت اولیه جریان قبل از روشن کردن لامپ چیست؟

۴- هنگامی که مقاومت ۴۷ اهمی را می‌بندیم ، جریان نباید از ۲۱۰ mA بیشتر شود . چرا ؟

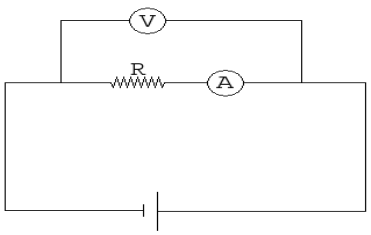
۵- به هنگام آزمایش با لامپ ولتاژ باید کمتر از ۱۲ ولت باشد.چرا؟

۶- کدام یک از مدارهای زیر برای اندازه گیری جریان به ازای مقاومت کم اهم R مناسب تر است؟برای مقاومت پر اهم R چطور؟

(الف)



(ب)



هدف آزمایش : اندازه‌گیری نیرومحرکه الکتریکی و مقاومت درونی پیل

وسایل آزمایش: منبع تغذیه، گالوانومتر، مقاومت پل تار، ولت متر، آمپرمتر، پیل (باتری خشک)، پیل اتالن، سیم رابط و جعبه مقاومت

تئوری آزمایش:

همان طور که می‌دانید مولد الکتریکی وسیله‌ای است که انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می نماید. از انواع مولد های الکتریکی می توان به باتری ،پیل خشک ،پیل خورشیدی و ... اشاره کرد. ساز و کار این تبدیل در پیل خشک (باتری چراغ قوه)به این شکل است:

پیل خشک حاوی الکترود زغالی به عنوان آند و الکترود استوانه ای از جنس روی در نقش کاتد در اطراف آن می باشد. این دو الکترود در خمیر مرطوبی از جنس کلرید آمونیوم،کلریدروی و دی اکسید منگنز غوطه‌ور می باشند. واکنش های شیمیایی در الکترودها انرژی شیمیایی را به انرژی الکتریکی تبدیل می نماید. هر گاه با اتصال دو سر سیم به پایانه های باتری جریانی در آن برقرار کنیم، به طور قراردادی بارهای مثبت از پایانه مثبت (پتانسیل بیشتر)به پایانه منفی (پتانسیل کمتر) در مدار جاری خواهند بود. برای برقرار بودن جریان ثابت در مدار، پیل مجددا بر روی بار مثبت کار انجام می دهد تا آن را از پایانه منفی به پایانه مثبت جابه جا نماید. بدین ترتیب انرژی پتانسیل در واحد بار مثبت ذخیره می شود. قدرت یا نیرو محرکه پیل(emf)عبارت است از میزان انرژی الکتریکی که این چشمه به هر کولن بار مثبت می دهد تا این بار از طریق منبع از پتانسیل کم به پتانسیل زیاد جابجا شود. از آنجا که emf انرژی واحد بار است، یکای آن ولت می باشد. با وصل دو سر پیل به یک ولتمتر، اگر مقاومت داخلی پیل r باشد، درآن صورت ولتاژ دو سر پیل به اندازه Ir افت کرده و می توان چنین رابطه ای را نوشت:

$$V = \varepsilon - Ir \qquad (۱)$$

که در آن ε نیرو محرکه پیل و I شدت جریانی است که از پیل خارج می شود. با مصرف شدن ماده الکترولیت مقاومت درونی پیل افزایش یافته و مانع عبور جریان می شود. به عبارت دیگر پیل "*تخلیه*"یا"*شارژ*" می شود. وقتی باطری کاملا شارژ است مقاومت داخلی کم و هنگامی که باطری خالی باشد، مقاومت داخلی آن زیاد می باشد.

در این آزمایش اندازه گیری نیروی محرکه پیل به سه روش انجام می گیرد:۱- ولتمتری ۲- تقابلی ۳- مداری

روش آزمایش :

الف)اندازه گیری نیرو محرکه پیل به روش ولتمتری:

ابتدا پیل را به دو سر ولت متر وصل کرده و برای جلوگیری از ایجاد مقاومت درونی در پیل و افت ولتاژ درآن این عمل را به سرعت انجام داده و ولتاژ دو سر پیل را یادداشت کنید. طبیعی است که در این روش،طبق رابطه(۱) ولتاژ به دست آمده قدری از نیرو محرکه پیل کمتر خواهد بود.

ب) اندازه گیری نیرو محرکه به روش تقابلی(پتانسیل سنج) :

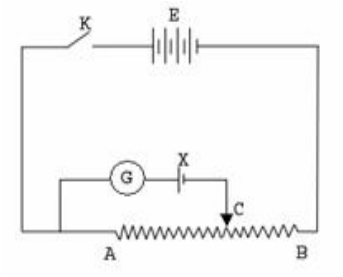
از روش های دقیق اندازه گیری نیرو محرکه پیل استفاده از مدار شکل(۱) موسوم به "*پتانسیل سنج*" می باشد. در این قسمت قصد داریم نیرو محرکه مجهول X را محاسبه نماییم. اگر با جابجا کردن سر لغزنده بر روی مقاومت پل تار شرایطی برقرار گردد که جریان عبوری از گالوانومتر صفر شود، پتانسیل سنج در حالت تعادل خواهد بود. به بیان دیگر تمام جریان تولید شده به وسیله منبع تغذیه

(E) از سیم AB عبور کرده و گالوانومتر جریان صفر را نشان خواهد داد. درآن صورت طبق رابطه (۱) نیرومحرکه X با ولتاژ بخشی از مقاومت(طول $AC = l$) که به ازاء آن شرط تعادل برقرار شده است برابر خواهد بود. ($X = V_{AC}$)

$$V_A - V_C = IR_{AC} = X \qquad (۲)$$

حال با جایگزین کردن پیل استاندارد مرجع(e) که مقدار نیرو محرکه آن معلوم می باشد، مجددا می توان شرط تعادل را به ازای طول ($AC' = l'$)برقرار نمود. ($e = V_{AC'}$)

$$V_A - V_{C'} = IR_{AC'} = e \qquad (۳)$$



شکل(۱)

در این حالت شدت جریان در مدار I است.

رابطه مقاومت سیم پل تار با توجه به جنس، سطح مقطع و طول آن به شکل زیر می باشد:

$$R = \frac{\rho l}{A} \qquad (۴)$$

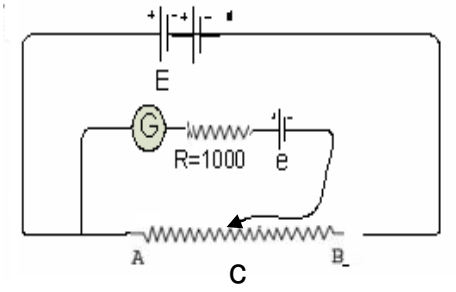
با توجه به اینکه سطح مقطع سیم یکنواخت می باشد، می‌توان از روابط (۲)،(۳) و (۴) چنین نتیجه گرفت:

$$X = e\frac{l}{l'} \qquad (۵)$$

بدین ترتیب نیرومحرکه پیل مجهول محاسبه می شود. توجه داشته باشید که دو مولد E و X در تقابل با یکدیگر بسته شده اند. یعنی قطب های همنام آنها به یکدیگر متصل می باشد.

هرچه ولتاژ منبع تغذیه(E)بیشتر باشد، طول سیم پل تار درحالت تعادل کمتر خواهد بود و برعکس . برای افزایش دقت اندازه گیری باید طول سیم زیاد باشد. بنابراین مقدارE تا آنجا که ممکن است باید کوچک انتخاب شود.

مدار شکل (۱)را ببندید. ولتاژ منبع تغذیه را ۱/۵ولت قرار دهید. برای جلوگیری از ایجاد حرارت در مدار و بالابردن دقت آزمایش سر لغزنده را به طور غیر ممتد بر روی سیم جابجا کنید تا گالوانومتر به ازای طول l جریان صفر را نشان دهد. حال پیل X را برداشته و پیل استاندارد اتالن(e)که نیرو محرکه آن۱/۰۱۸۶ ولت است را داخل مدار قرار دهید. برای جلوگیری از آسیب-دیدگی پیل اتالن، مقاومت ۱۰۰۰ اهمی را درمدار(AGC) بگذارید و مجددا لغزنده را در طول سیم جابجا کنید تا در طول l' *محدوده ای که* جریان گالوانومتر صفرمی شود، مشخص گردد.(شکل۲) دراین حالت می توانید مجددا مقاومت را برابر صفر قرار داده تا به طور دقیق طول l' به دست آید.



شکل(۲)

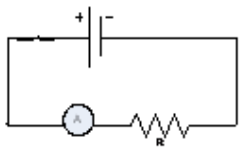
همه این مراحل را برای ولتاژهای ۲و ۲/۵ ولت نیز انجام دهید. مقدار میانگین نیرو محرکه X و خطای مطلق آن را محاسبه نمایید.

.

	$V(volt)$	$AC(l)cm$	$AC'(l')cm$	$X(volt)$
۱	۱/۵			
۲	۲			
۳	۲/۵			
میانگین x				

همان طور که ملاحظه می گردد هر چه نیرو محرکه مولد E کمتر انتخاب شود طول سیم پل تار بیشتر خواهد بود .

ج)اندازه گیری نیروی محرکه به روش مداری: مداری مطابق شکل (۳) سوار کنید. X نیرو محرکه پیل و r مقاومت درونی آن می‌باشد. مولتی متر را در حالت جریانهای مستقیم در محدوده میلی آمپر قرار دهید. مدار را یک بار با مقاومت ۲۰ اهم و بار دیگر با مقاومت ۱۰ اهم ببندید . در هر بار جریان را از روی آمپرمتر بخوانید و مقاومت درونی و نیروی محرکه پیل را با استفاده از روابط زیر به دست آورید:



شکل(۳)

$$X = I(R+r)$$

$$X = I'(R'+r) \qquad (۶)$$

تذکر: معمولا این روش برای اندازه گیری نیروی محرکه روش دقیقی نیست زیرا:

اولا: در نتیجه عبور جریان پیل گرم شده و مقاومت داخلی آن بالا رفته و به طور کلی پیل وضع اصلی خودش را از دست می دهد .

برای رفع این نقیصه لازم است مقدار مقاومت را زیاد بگیریم که در این حالت به اشکال بر می خوریم . چون مقاومت داخلی پیل در مقابل R خیلی کم بوده و جزء خطای آزمایش محسوب شده و قابل اندازه گیری نخواهد بود .

ثانیا : در این آزمایش ما مجبوریم عددی از آمپر متر بخواهیم که مسلما اشتباه شخص و دستگاه را به دنبال خواهد داشت.

سوالات:

۱- جدول زیر را کامل کرده و اندازه گیری با استفاده از این سه روش را با هم مقایسه نمایید. معایب و مزایای آنها را ذکر کنید.

مقادیر / روش	V	X	r
ولتمتری			
تقابلی			
مداری			

۲- حد اقل و حداکثر مقداری که E می تواند داشته باشد تا آزمایش عملی شود چه قدر است؟چرا؟

۳- مقدار X محاسبه شده به روش تقابلی را با مقدار V اندازه گیری شده در روش ولتمتری مقایسه کنید.

۴- چرا پس از قرار دادن پیل استاندارد در مدار، مقدار جریان همچنان ثابت می ماند؟

۵- عدم بستن قطبهای پیل به روش تقابلی چه مشکلی را در مدار ایجاد می کند؟

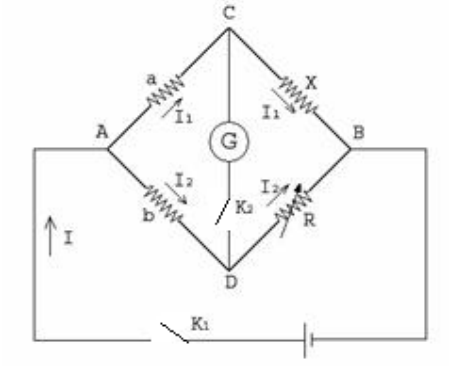
آزمایش ۳ **پل وتستون**

هدف آزمایش: اندازه گیری مقاومت مجهول با استفاده از پل وتستون

وسایل آزمایش: جعبه پل وتستون ، گالوانومتر، مقاومت مجهول، باتری، سیم رابط

تئوری آزمایش:

یکی از روش های سریع اندازه گیری مقاومت مجهول، استفاده از دستگاه دیجیتالی مولتی متر یا آوومتر می باشد. با تنظیم این دستگاه در حالت اهم متر می توان مقاومت را اندازه گیری نمود. همچنین از روی خطوط رنگی درج شده روی مقاومت و جداول مربوطه می توان مقدار مقاومت را محاسبه کرد.



شکل(۱)

روش بسیار دقیق اندازه گیری مقاومت متوسط یعنی مقاومتهای ۱Ω تا ۱MΩ، استفاده از مدار پل وتستون می باشد. با استفاده از جعبه پل وتستون می توان مقاومتهای مجهول را با توجه به محدوده آن با دقت دو رقم اعشار اندازه گیری نمود. این روش در مقایسه با دستگاه مولتی متر و علائم رنگی از دقت اندازه گیری بالاتری برخوردار است. بر این اساس، برای اندازه گیری مقاومت مجهول موجود، مدار پل وتستون در شکل(۱)دیده می شود.

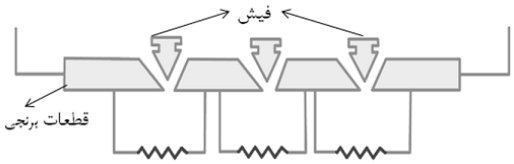
a و b مقاومتهای معلوم، Rمقاومت متغیر و x مقاومت مجهول می باشد. بعد از اتصال کلیدهای k_1 و k_2 مسلما از گالوانومتر G جریانی عبور خواهد کرد. اگر با تغییر مقاومت متغیر R، گالوانومتر جریان صفر را نشان دهد، پتانسیل نقطه Cو D با یکدیگر برابر بوده و می توان مقاومت مجهول را با استفاده از روابط ولتاژ شاخه های موازی محاسبه نمود:

$$V_C = V_D$$

$$\begin{aligned} V_A - V_C &= V_A - V_D \qquad aI_1 = bI_2 \\ V_B - V_C &= V_B - V_D \qquad xI_1 = RI_2 \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \boxed{X = \frac{a}{b} R} \qquad (1)$$

معادله (۱)، رابطه اصلی ***پل وتستون*** در شرایط تعادل می باشد.

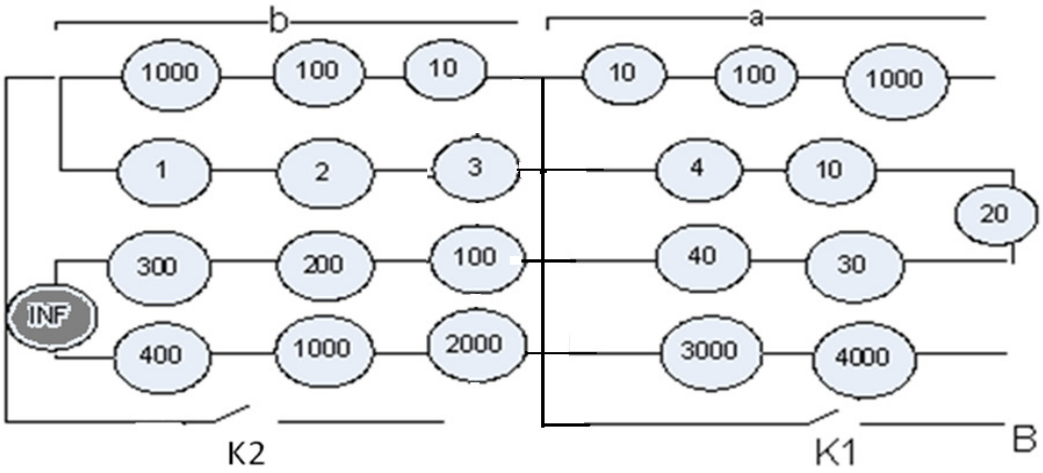
در جعبه پل وتستونی که در اختیار دارید مقاومتهای مختلف به وسیله قطعات برنجی با ضخامت بالا به هم وصل شده اند. به این ترتیب، خطای ناشی از وجود سیمهای اتصال به حداقل می رسد. در این جعبه هر فیشی را که بر می دارید مقاومت مربوط به آن وارد می شود. شکل(۲)



شکل(۲)

در شکل (۳) مقاومت های a، b و R و نیز کلیدهای k_1 و k_2 در جعبه پل وتستون نشان داده شده اند. مقاومت a در بالای جعبه سمت راست، b بالای جعبه سمت چپ و مقامتهای متغیر R در زیر آنها قرار دارند. مقاومتهای a و b می توانند مقادیر ۱۰،۱۰۰ ،

۱۰۰۰و... و مقاومت متغیر R می تواند از ۱ تا ۱۱۱۱۰ اهم را اختیار نماید.



شکل(۳)

روش آزمایش

امتحان مدار

مداری مطابق شکل(۱) ترتیب داده و از مقاومت های a و b دو مقدار دلخواه را انتخاب نمایید. مقاومت R را در حالت صفر قرار دهید. با بستن کلیدهای k_1 و k_2 جهت انحراف عقربه گالوانومتر را در نظر بگیرید. سپس با برداشتن فیش(INF)، مقاومت R را در حالت بینهایت قرار داده و مجددا انحراف عقربه گالوانومتر را ملاحظه نمایید. در صورت انحراف عقربه گالوانومتر در جهت مخالف، مدار صحیح بسته شده است. (**چرا؟**)

پس از اطمینان از صحت مدار ، مقاومت متغیر R را به گونه‌ای تغییر دهید که پس از هر بار کلید زدن گالوانومتر جریانی را از خود عبور ندهد. در این شرایط پل در حال تعادل بوده و نقاط C و D هم پتانسیل خواهند بود ($V_D = V_C$). از رابطه (۱) مقدار مقاومت مجهول x را حساب کنید.

انتخاب صحیح نسبت a/b در دقت اندازه گیری مؤثر می باشد. این نسبت می تواند مقادیر مختلفی را به خود اختصاص دهد. جهت سادگی مقادیر ۰/۰۱، ۰/۱، ۱ و ... اختیار می شود. با توجه به محدوده مقاومت مجهول بایستی بهترین و دقیق ترین نسبت a/b را اختیار کرد. طبق رابطه (۱)، اگر نسبت a/b =۰/۰۱ باشد، مقدار مقاومت های مجهول درمحدوده ۰/۰۱ تا ۱۱۱/۱۰ با دقت یکصدم اعشار قابل اندازه گیری می باشند. برای اندازه گیری مقاومتهای بیش از این مقدار باید نسبت a/b را تغییر داد. به طور مثال برای اندازه گیری مقاومت مجهول ۱۲۰۰ اهم باید از نسبت a/b=۱ استفاده کرد.

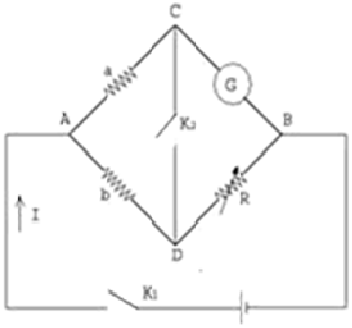
حال مقدار مقاومتهای مجهولی را که در اختیار دارید، اندازه گیری نمایید. سپس دو مقاومت را یک بار سری و بار دیگر موازی بسته و رابطه مقاومتهای سری و موازی را تحقیق کنید. خطای نسبی آنها را به روش لگاریتمی به دست آورید.

در حالت سری: $X=X_1+X_2+X_3+....$

در حالت موازی: $1/X=1/X_1+1/X_2+1/X_3+....$

	$\frac{a}{b}$	$R(\Omega)$	$X_t = \frac{a}{b}R$
$X_1(\Omega)$			
$X_2(\Omega)$			
$X_S(\Omega)$			
$X_P(\Omega)$			

اندازه گیری مقاومت داخلی گالوانومتر



شکل(۴)

مدار شکل(۴) را ببندید. مقادیر$b=a=$۱۰۰۰ را اختیار نمایید.کلید k_1 را ببندید تا عقربه گالوانومتر منحرف شود. مقدار جریان گالوانومتر را قرائت نمایید. سپس مقدار مقاومت R را آن قدر تغییر دهید تا در هر بار پس از برقراری اتصال کلید k_2 و k_1، گالوانومتر همان جریان اولیه، ناشی از اتصال کلیدk_1 را نشان دهد. در این حالت از قطر مربع جریانی عبور نخواهد کرد و رابطه:

$$X_G=\frac{a}{b}R$$

برقرار خواهد بود و از آنجا مقدار مقاومت گالوانومتر به دست می آید.

سوالات:

۱- هر یک از نسبت های ممکن a/b برای اندازه گیری چه محدوده ای از مقاومتهای مجهول مناسب می باشند؟

۲- چهار مقاومت داریم که به ترتیب در حدود۰/۴، ۸، ۱۵۹و ۴۴۰۰ اهم می باشند. بهترین نسبت a/b را برای اندازه گیری این مقاومت ها تعیین کنید.

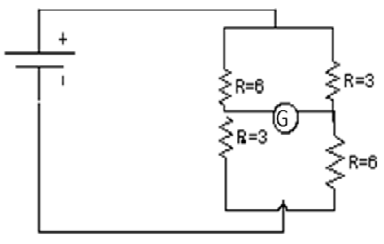
۳- در صورتی که حداکثر مقدار مقاومت متغیر قادر به صفر کردن جریان آمپرمتر نباشد، چه راهکاری را پیشنهاد می کنید؟

۴- نشان دهید هرگاه پل وتستون در حال تعادل باشد و جریانی از گالوانومتر عبور ننماید، اگر جای گالوانومتر و باطری با هم عوض شود، در این حالت نیز جریانی از گالوانومتر عبور نخواهد کرد.

۵- در اندازه گیری مقاومت درونی گالوانومتر، مقادیر a و b برابر۱۰۰۰ اهم اختیار شدند. علت را توضیح دهید.

۶- چگونگی برقراری شرط تعادل را در مدار شکل (۴) به طور کامل شرح دهید.

۷- آیا شرط تعادل پل وتستون برای مدار روبرو برقرار می باشد؟چرا؟



هدف آزمایش:اندازه گیری ظرفیت خازن و بررسی تاثیر اندازه صفحات خازن، فاصله صفحات و صفحات عایق بین آن بر روی ظرفیت.

وسایل آزمایش:منبع تغذیه، صفحات فلزی در ابعاد مختلف، عایق پلاستیکی و شیشه ای،کلید سه طرفه، الکترومتر و ولتمتر مربوط به آن، ولتمتر، مقاومت استاندارد ۱ MΩ، سیم رابط، گیره، پایه و ریل

تئوری آزمایش :

خازن المانی الکتریکی است که می‌تواند انرژی الکتریکی را توسط میدان الکترواستاتیکی،در خود ذخیره کند. انواع خازن در مدارهای الکتریکی به کار می‌روند. خازن را با حرف C که ابتدای کلمه capacitor است نمایش می‌دهند. ساختمان داخلی خازن از دو قسمت اصلی تشکیل می‌شود: صفحات هادی و عایق بین هادیها (دی الکتریک).

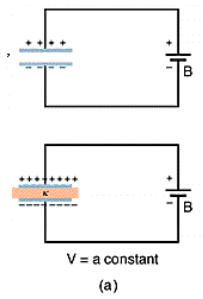
ساختمان خازن

هرگاه دو هادی در مقابل هم قرار گرفته و در بین آنها عایقی قرار داده شود، با برقراری ولتاژ مناسب خازن تشکیل می‌شود. این ساده ترین شکل خازن می باشد. مقدار بار ذخیره شده بر روی صفحات متناسب با اختلاف پتانسیل دو سر صفحات می باشد.(qαv) می توان این تناسب را به صورت رابطه:

$$C = \frac{q}{V} \qquad (۱)$$

نمایش داد .c ظرفیت خازن نام دارد و واحد آن کولن بر ولت یا فاراد(F) می باشد. هرگاه اختلاف پتانسیل ۱ولت به دو سر خازن اعمال شود و بار ذخیره شده بر روی آن ۱ کولن باشد، در آن صورت ظرفیت خازن ۱ فاراد خواهد بود.ظرفیت های کوچکتر از فاراد عبارت اند از: میکروفاراد(μf=۱۰$^{-۶}$ f)، پیکوفاراد (pf=۱۰$^{-۱۲}$f) و نانوفاراد (nf=۱۰$^{-۹}$f).

معمولا صفحات هادی خازن از جنس آلومینیوم ، روی و نقره با ابعاد نسبتا بزرگ بوده و در بین آنها عایقی (دی الکتریک) از جنس هوا، کاغذ ، میکا ، پلاستیک ، سرامیک ، اکسید آلومینیوم و یا اکسید تانتالیوم استفاده می‌شود. هر چه ضریب دی الکتریک یک ماده عایق بزرگتر باشد، آن دی الکتریک دارای خاصیت عایقی بهتری است. نخستین بار مایکل فاراده تغییرات ظرفیت خازن با دی الکتریک را تحقیق کرد. فاراده نشان داد که اگر دو خازن یکی با دی الکتریک و دیگری بدون دی الکتریک با اختلاف پتانسیل یکسان پر شوند، بار خازن دارای دی الکتریک بیشتر است. علت این امر آن است که مراکز بارهای مثبت و منفی درعایق تحت تاثیر میدان الکتریکی بین صفحات خازن از یکدیگر جدا شده و بدین ترتیب صفحات خازن بار بیشتری را از منبع تغذیه جذب و بر روی خود ذخیره می نمایند. مقدار بار خازن را نمی توان بیش از حد معینی افزود. زیرا ملوکولهای عایق و یا هوا بین صفحات خازن یونیزه شده و تخلیه الکتریکی صورت می گیرد.این پدیده را "*شکست دی‌الکتریک* " می نامند.

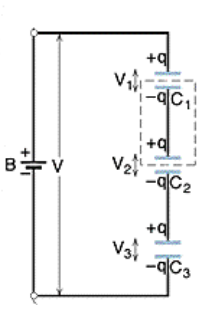


هرگاه مساحت صفحات خازن A و فاصله بین آنها d باشد، ظرفیت خازن به صورت زیر تعریف می شود:

$$c = k\varepsilon_0 \frac{A}{d} \qquad (۲)$$

k ثابت دی الکتریک بین صفحات و ε_0 ضریب گذردهی خلا می باشد.

خازن های سری :هرگاه خازنها را به طور متوالی به یکدیگر متصل نماییم، تنها دو صفحه دو طرف مجموعه به مولد بسته شده و از مولد بار دریافت می کنند.صفحات مقابل از طریق القاء باردار می شوند. بر این اساس بزرگی بار هر صفحه(q)، یکسان بوده و بار خالص موجود در محدوده خط چین صفر می باشد. بدین ترتیب بار ذخیره شده بر روی صفحات خازن در حالت سری با یکدیگر برابر و اختلاف پتانسیل دو سرمدار برابر مجموع ولتاژ هر یک از خازنها می باشد.



شکل(۲)

$$q = q_1 = q_2 = q_3$$
$$V = V_1 + V_2 + V_3 \qquad (۳)$$

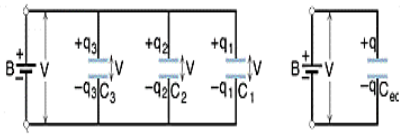
با توجه به روابط (۱)و (۳) می توان رابطه ظرفیت معادل خازنها را در حالت سری به صورت زیر به دست آورد:

$$\frac{q}{c} = \frac{q}{c_1} + \frac{q}{c_2} + \frac{q}{c_3}$$
$$c = \frac{c_1c_2 + c_1c_3 + c_2c_3}{c_1 + c_2 + c_3} \qquad (۴)$$

ظرفیت معادل در خازنهای سری از ظرفیت کمترین خازن موجود در مدارکوچکتر می باشد.

خازنهای موازی:

شکل زیر مداری با سه خازن موازی را نشان می دهد. در این حالت ولتاژ هر یک از خازنها با ولتاژ دو سر منبع یکسان بوده وبا توجه به ظرفیت خازنها میزان بار هر یک قابل اندازه گیری می باشد.



شکل(۳)

$$V = V_1 = V_2 = V_3$$
$$q = q_1 + q_2 + q_3 \qquad (۵)$$

می توان ظرفیت معادل را برای خازنهای موازی به صورت زیر به دست آورد:

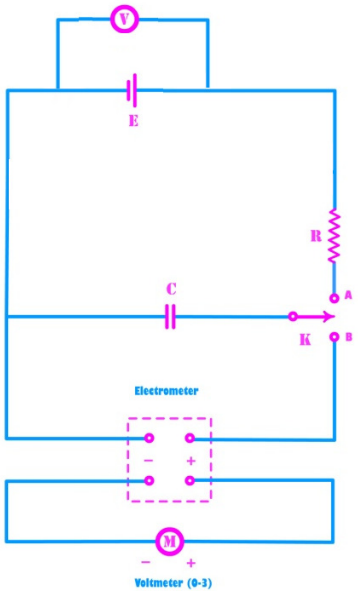
$$C = C_1 + C_2 + C_3 \qquad (۶)$$

در این آزمایش قصد داریم با تغییر خواص فیزیکی خازن مقدار بار ذخیره شده بر روی صفحات آن را بررسی نموده و بستگی ظرفیت خازن را با فاصله صفحات ، مساحت آنها و صفحات عایق بین آنها مطالعه نماییم.

روش آزمایش:

الف)تحقیق رابطه خطی $c = \frac{q}{v}$ و محاسبه ظرفیت خازن:

مدار شکل (۴)را به این ترتیب سوار کنید: ابتدا صفحات بزرگ فلزی را با گیره های مربوطه در فاصله ۴mm از یکدیگر بر روی ریل قرار دهید. سلکتور الکترومتر را روی AS $۱۰^{-۸}$ و ولتمتر آن را روی ۳-۰ ولت تنظیم نموده و با الکترومتر موازی کنید. با یک سیم رابط ترمینال زمین دستگاه الکترومتر را به نول (N) روی میز کار اتصال دهید.کلید k را تقریبا به مدت ۵ ثانیه در وضعیت a قرار دهید تا خازن با ولتاژ ۱۰ ولت شارژ شود.



شکل(۴)

سپس کلید را در وضعیت b قرار دهید تا بار ذخیره شده به داخل الکترومتر منتقل گردد. اندازه بار الکتریکی از حاصل ضرب عدد ولتمتر در ضریب تقویت الکترومتر به دست می‌آید. پس از قرائت مقدار بار الکتریکی دکمه زمین الکترومتر را فشار دهید تا بار قبلی آن تخلیه شود. سپس ولتاژهای بعدی را مطابق جدول زیر تنظیم نموده و مقدار بار ذخیره شده را در هر مرحله اندازه بگیرید.

V(volt)	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰
q(c)					
C(F)					

جدول (۱)

نمودار (q-v) را رسم نموده و با استفاده از شیب نمودار مقدار c را محاسبه نمایید.

ب)بستگی ظرفیت خازن به فاصله صفحات :

فاصله صفحات بزرگ خازن را برابر ۳ mm قرار دهید.ولتاژ منبع تغذیه را روی ۱۰۰ولت تنظیم کنید. به روش گذشته مقدار بار الکتریکی بر روی صفحات را اندازه گیری کنید. بار دیگر فاصله صفحات را به ۶mm افزایش دهید. پس از تخلیه بار قبلی خازنها ، مجددا با همان ولتاژ قبلی بار روی صفحات را در حالت اخیر اندازه گیری نمایید. سپس درستی روابط زیر را تحقیق کنید.

	V(volt)	q(c)	C(μF)
d=۳mm	۱۰۰		
d=۶mm	۱۰۰		

جدول(۲)

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{d_2}{d_1} \qquad \Rightarrow \frac{c_1}{c_2} = \frac{d_2}{d_1} \qquad (۷)$$

ج)بستگی ظرفیت خازن به مساحت صفحات فلزی:

صفحات بزرگ فلزی را در فاصله ۴mm از یکدیگر قرار داده و با ولتاژ۱۰۰ ولت شارژ کنید. بار q_b را اندازه گیری نمایید. همین عمل را با صفحات کوچک انجام دهید و بار q_s را اندازه گیری کنید. سپس درستی روابط زیر را تحقیق نمایید.

	V(volt)	q(c)	C(F)
A_b = ۰/۰۸ m^2	۱۰۰		
A_S=۰/۰۴ m^2	۱۰۰		

جدول (۳)

$$\frac{q_1}{q_2}=\frac{c_1}{c_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{c_1}{c_2}=\frac{A_b}{A_s} \qquad (۸)$$
$$\frac{q_1}{q_2}=\frac{A_b}{A_s}$$

د)بستگی ظرفیت خازن به جنس ماده عایق میان صفحات خازن و محاسبه ثابت دی الکتریک شیشه و پلاستیک:

صفحات بزرگ فلزی را در فاصله ۴mm از یکدیگر قرار داده و با ولتاژ۱۰۰ ولت شارژ کنید. بار ذخیره شده را در این حالت اندازه گیری نمایید. سپس در بین صفحات خازن به ترتیب عایقهای شیشه‌ای (g) و پلاستیک (r) را قرار دهید. در هر مرتبه بار ذخیره شده روی صفحات را یادداشت کنید. در صورت نیاز در حین آزمایش سلکتور را روی AS $۱۰^{-۷}$قرار دهید.

	V(volt)	q(c)	C(F)	K
شیشه(g)	۱۰۰			
پلاستیک(r)	۱۰۰			
هوا(w)	۱۰۰			۱

جدول (۴)

با توجه به اینکه مقدار ولتاژ ثابت است، طبق رابطه (۲) می توان روابط زیر را نوشت:

$$\frac{q_g}{q_w}=\frac{c_g}{c_w}=\frac{k_g}{k_w} \qquad (۹)$$

$$\frac{q_r}{q_w}=\frac{c_r}{c_w}=\frac{k_r}{k_w} \qquad (۱۰)$$

مقدار k_w = ۱ می باشد . با استفاده از بارهای ذخیره شده بر روی صفحات خازن، مقدار k_r و k_g را حساب کنید.

ه)موازی بستن خازنها:

صفحات بزرگ خازن را بر روی ریل سوار کنید . با قرار دادن عایق شیشه ای بین صفحات و اعمال ولتاژ ۱۰۰ولت خازن را شارژ کرده و بار q_b را اندازه گیری نمایید. سپس صفحات کوچک خازن را بر روی ریل قرار داده و عایق پلاستیکی را بین صفحات قرار دهید. خازن را با ولتاژ قبلی شارژ کرده و بار آن را q_s بنامید. حال پس از تخلیه خازنها ، صفحات بزرگ و کوچک خازن را به همراه عایق بین آنها به صورت موازی متصل کرده و بار q_t مجموعه را اندازه بگیرید.

رابطه $q_t = q_b + q_s$ را تحقیق کنید و با توجه به ثابت بودن ولتاژ، رابطه ظرفیت معادل خازنهای موازی و درصد خطای نسبی آنها را نیز به دست آورید.

سوالات:

۱- با استفاده از بخش (الف)، مقدار ε_0 را به دست آورید.

آزمایش ۵ **خازن(۲)**

هدف آزمایش :۱- بررسی پلاریته خازنها.

۲- بررسی اثر خازن در مدار DC و رسم منحنی شارژ و دشارژ آن.

۳- اندازه‌گیری مقاومت درونی ولت متر.

وسایل آزمایش: خازنهای۲و۵ میکروفاراد، منبع تغذیه، مولتی متر، کلید دو طرفه و سیم رابط.

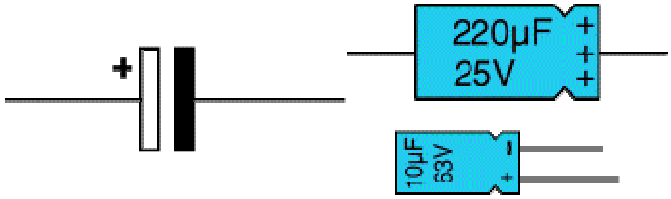
تئوری آزمایش:

همان طور که می دانید انواع مختلفی از خازن ها وجود دارند که می‌توان از دو نوع اصلی آنها یعنی خازنهای دارای پلاریته(قطب دار) و بدون پلاریته (بدون قطب) نام برد.

خازنهای قطب دار

خازن های الکترولیت (شیمیایی)

در خازنهای الکترولیت قطب مثبت و منفی بر روی بدنه آنها مشخص شده و بر اساس قطب ها در مدارات مورد استفاده قرار می گیرند. دی الکتریک در این خازنها به ماده شیمیایی مخصوصی آغشته می باشد. هنگام اتصال این خازنها به ولتاژ مستقیم، قطب های همنام باید به هم وصل شوند. (دو نوع طراحی برای شکل این خازن ها وجود دارد. یکی شکل آکسیل که در این نوع پایه های یکی در طرف راست و دیگری در طرف چپ قرار دارد و دیگری رادیال که در این نوع هر دو پایه خازن در یک طرف آن قرار دارد. در شکل نمونه ای از خازن اکسیل و رادیال نشان داده شده است.)



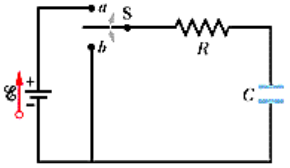
خازن های الکترولیت معمولا استوانه ای شکل بوده و دو سیم مسی قلع اندود شده از آنها خارج می شود. ظرفیت آنها به‌صورت یک عدد بر روی بدنه شان نوشته شده است. همچنین ولتاژ تحمل خازن ها نیز بر روی بدنه آنها درج شده و هنگام انتخاب یک خازن باید این ولتاژ مد نظر قرار گیرد.

خازنهای بدون قطب :خازن های بدون قطب معمولا خازنهای با ظرفیت کم هستند و می توان آنها را از هر طرف در مدارات مورد استفاده قرار داد. این خازنها در برابر گرما تحمل بیشتری دارند و در ولتاژهای بالاتر مثلا ۵۰ ولت ، ۲۵۰ ولت و ... عرضه می شوند. خازن ها، انرژی الکتریکی را نگهداری می کنند. همچنین از خازن ها برای صاف کردن سطح تغییرات ولتاژ مستقیم استفاده می شود. خازن ها در مدار به عنوان فیلتر هم به کار می روند. زیرا به راحتی سیگنالهای غیر مستقیم (AC) را عبور داده و مانع عبور سیگنالهای مستقیم(DC) می شوند.

شارژ خازن:

مدار شکل (۱) را در نظر بگیرید. هنگامی که کلید s در جهت a بسته شود، الکترونها از قطب منفی باتری که پتانسیل منفی دارد به طرف صفحه‌ای که به این قطب وصل شده جاری می شوند. بنابراین در این صفحه تراکم الکترون یا بار منفی ایجاد می شود. در همین هنگام قطب مثبت باتری که پتانسیل مثبت دارد همان تعداد الکترون را از صفحه‌ای از خازن که به این قطب وصل شده است جذب می کند و در نتیجه این صفحه فاقد الکترون یا دارای بار مثبت می شود. بنابراین به هنگام شارژ خازن الکترونها در مدار جاری بوده و

در مدار جریان برقرار است. به تدریج با گذشت زمان بار ذخیره شده روی صفحات خازن اجازه عبـور بیشـترالکترونها را نمـی دهنـد و جریان در مدار قطع می شود. در این شرایط ولتاژ دو سر خازن ماکزیمم و برابر ولتاژ دو سر منبع تغذیه می باشد. می توان روابط بـار، ولتاژ و جریان ذخیره شده بر روی صفحات خازن را با استفاده از روابط ولتاژ کریشهف به صورت زیر نوشت:



شکل(۱)

$$\varepsilon - V_R - V_C = 0$$
$$\varepsilon - \frac{dq}{dt}R - \frac{q}{c} = 0 \Rightarrow \frac{dq}{dt} + \frac{q}{cR} = \frac{\varepsilon}{R} \qquad (۱)$$

با حل معادله دیفرانسیلی بالا ،با توجه به شرایط اولیه$q(t=0)=0$ به روابط زیر می رسیم:

$$q_c(t) = C\varepsilon(1-e^{-t/RC}) = q_0(1-e^{-t/RC})$$
$$V_C(t) = \varepsilon(1-e^{-t/RC}) \qquad (۲)$$
$$I(t) = \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R}e^{-t/RC}$$

q_0 بار نهایی ذخیره شده بر روی خازن می باشد.کمیت RC را که دارای بعـد زمـان اسـت "*ثابـت زمـانی*" خـازن مـی نامنـد و آن را با"τ"نمایش می دهند. در حالت شارژ τ مدت زمانی است که ولتاژ دو سر خازن به ۶۳٪ ولتاژ منبع تغذیه برسد.

$$V_C = \varepsilon(1-e^{-1}) = 0.63\varepsilon \qquad (۳)$$

اگر در مدار شارژ، مقاومت قابل توجهی وجود نداشته باشد، خازن تقریبا بلا فاصله شارژ می شود. بعد از گذشت ۵ ثابت زمانی می توان خازن را کاملا شارژ فرض کرد. با توجه به مجموعه معادلات (۲) می توان دریافت که ولتاژ و جریان دو سر خازن خلاف یکدیگر عمـل می کنند. بدین معنا که در ابتدای شارژ، جریان ماکزیمم و ولتاژ دو سر خازن صفر می باشد. با گذشت زمان جریـان در مـدار کـاهش یافته و ولتاژ دوسر خازن برابر با ولتاژ منبع تغذیه خواهد شد.

دشارژ خازن:

بعد از آنکه یک خازن در یک مدار شارژ شد، ولتاژ دو سر خازن با ولتاژ منبع تغذیه برابر است. خازن نمی تواند در جهت جریان منبـع دشارژ شود. به همین جهت برای دشارژ خازن مسیر دیگری در نظر گرفته می شود. در مدار بالا با قرار دادن کلید s در حالت b خازن تخلیه می شود. حال به بررسی روابط ولتاژ، بار و جریان خازن در حالت دشارژ می پردازیم.

$$V_R + V_C = 0 \Rightarrow \frac{dq}{dt}R + \frac{q}{c} = 0$$
$$q_c(t) = C\varepsilon e^{-t/RC} = q_0 e^{-t/RC}$$
$$V_c(t) = \frac{q}{C} = \varepsilon e^{-t/RC} \qquad (۴)$$
$$I(t) = \frac{dq}{dt} = -\frac{\varepsilon}{R}e^{-t/RC}$$

علامت منفی در رابطه جریان نشان می دهد که جهت جریان در خلاف جهت تعیین شده در مدار شارژ می باشد. هنگامی که دشارژ آغاز می شود ولتاژ دو سر خازن ماکزیمم مقدار را دارد. با گذشت زمان جریان و ولتاژ دو سر خازن کاهش می یابد تا هر دو به صفر رسیده و خازن کاملا دشارژ شود.

روش آزمایش:

الف)بررسی قطبیت (پلاریته) خازن:

ابتدا خازنی را که در اختیار دارید توسط سیم رابط به طور کامل تخلیه نمایید. سپس دو سر خازن را به منبع تغذیه با ولتاژ ۴ ولت وصل کرده و آن را شارژ کنید. قبلا به وسیله مولتی متر از میزان دقیق ولتاژ منبع تغذیه اطمینان حاصل نمایید. حال خازن را از منبع جدا کرده و ترمینال مثبت ولت متر را به قطب مثبت خازن و ترمینال منفی آن را به قطب منفی وصل کنید. ولتاژ دو سر خازن شروع به افت می کند. چرا؟

-دو سر ولتمتر را جابه جا کنید. چه تغییری در صفحه نمایش آن مشاهده می کنید؟

-حال خازن را مجددا با قطبین مخالف شارژ کنید. اندازه گیری های فوق را تکرار کنید. چه نتیجه ای می گیرید؟

-آیا پلاریته باتری و خازن شارژ شده یکسان است؟

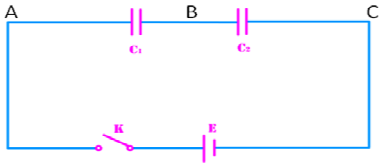
این کار را با خازن دیگری که در اختیار دارید نیز انجام دهید و مشاهدات خود را یادداشت نمایید.

ب)اندازه گیری اختلاف پتانسیل دو سر خازنهای سری شده:

خازنهای ۲و ۵ میکرو فارادی را به طور سری مطابق شکل به ولتاژ۴ولت وصل کنید. از میزان دقیق این مقدار به وسیله ولتمتر اطمینان حاصل نمایید. بااتصال کلید k هر دو خازن شارژ می شوند.

۱- ولتاژ AB، BC و AC را بلافاصله پس از اتصال ولتمتر اندازه گیری نمایید. چه رابطه ای بین ولتاژها وجود دارد؟

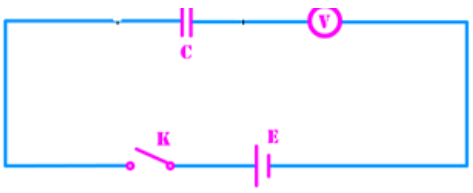
۲- ولتاژها به چه نسبتی تقسیم شده اند؟



شکل(۲)

ج)شارژ خازن :

مولتی متر را در حالت اندازه گیری ولتاژهای DC قرار دهید. ابتدا خازن $۲\mu F$ را تخلیه کنید. سپس مدار شکل(۳) را ببندید. ولتاژ منبع را روی۴ ولت تنظیم نمایید. پس از بستن کلید،کورنومتر را فعال کرده و به ازای هر ۵ ثانیه ولتاژ دو سر ولتمتر دیجیتالی را در جدول(۱) یادداشت کنید. این عمل را برای خازن $۵\mu F$ تکرار نمایید. حال خازنها را یک بار به طور موازی و بار دیگر به صورت سری بسته و جدول (۲) را کامل کنید. ولتاژ دو سر خازنها در هر مرحله از رابطه زیر به دست می آید.



شکل(۳)

$$V_C = \varepsilon - V \qquad (۵)$$

V ولتاژ دو سر ولت متر می باشد. سپس نمودار ولتاژ خازن بر حسب زمان(Vc-t) را برای هر یک از حالتهای بالا در یک دستگاه مختصات، جهت مقایسه رسم نمایید.

- ثابت زمانی (τ_S ، τ_2 ، τ_P و τ_S) را برای هر یک از منحنی ها به دست آورده و نتایج خود را در گزارش کار یادداشت نمایید.
- مقدار مقاومت ولتمتر(R) را یک بار از روی منحنی خازن ۲μF و بار دیگر از روی منحنی خازن ۵μF با استفاده از رابطه τ=RC بـه دست آورید.
- با فرض مجهول بودن ظرفیت یکی از خازنها، با مقایسه ثابت زمانی آنها، ظرفیت خازن مجهول را حساب کنید.

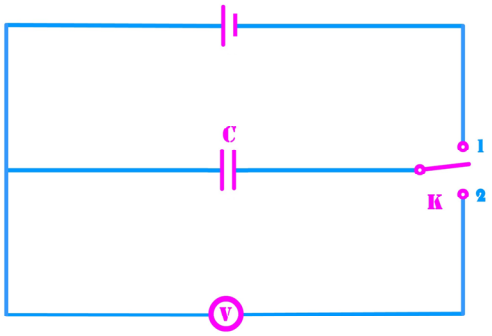
$$\frac{\tau_1}{\tau_2}=\frac{C_1}{C_2}\Rightarrow C_1=\frac{\tau_1}{\tau_2}C_2$$

- با استفاده از τ_P و τ_S ، مقدار ظرفیت خازنهای معادل را در هر حالت به دست آورده و روابط خازنهای سری و موازی را تحقیق کنید. خطای نسبی هر یک را به دست آورید.

$$C_S=\frac{C_5\times C_2}{C_5+C_2}$$

د)دشارژ خازن:

مدار شکل مقابل را با خازن ۲μF سوار کنید.کلید دو طرفه را در حالـت ۱ قرار دهید تا خازن با ولتاژ ۴ ولت شارژ شود. سپس با قرار دادن کلید k در حالت ۲ به‌ازای هر ۵ ثانیه ولتاژ تخلیه خازن را یادداشت نمایید.



شکل(۴)

- نمودار تغییرات ولتاژ خازن برحسب زمان (V_c - t) را در حالت دشارژ رسم نمایید.
- ثابت زمانی τ در حالت دشارژ را از روی نمودار به دست آورید.

t(s)	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۵	۸۰	۸۵	۹۰
V(v)																		

جدول (۳)

سوالات:

۱-در حالت شارژ خازن آیا رابطه $\frac{\tau_p}{\tau_2}=\frac{C_P}{C_2}$ صادق است؟

۲- نقش ولتمتر دیجیتالی در حالت شارژ و دشارژ خازن چیست؟

۳- ثابت زمانی τ در حالت دشارژ را تعریف کنید.

۴- آیا ثابت زمانی در حالت شارژ و دشارژ متفاوت است؟ نمودار شارژ و دشارژ خازن ۲ میکروفارادی را در یک دسـتگاه رسـم و ثابت زمانی شارژ و دشارژ را روی آن مشخص کنید.

t(s)	خازن(۲μF)		خازن(۵μF)	
	V (v)	$V_2=\varepsilon-V$	V (v)	$V_5=\varepsilon-V$
۵				
۱۰				
۱۵				
۲۰				
۲۵				
۳۰				
۳۵				
۴۰				
۴۵				
۵۰				
۵۵				
۶۰				
۶۵				
۷۰				
۷۵				
۸۰				
۸۵				
۹۰				
۹۵				
۱۰۰				
۱۰۵				
۱۱۰				
...				

جدول(۱)

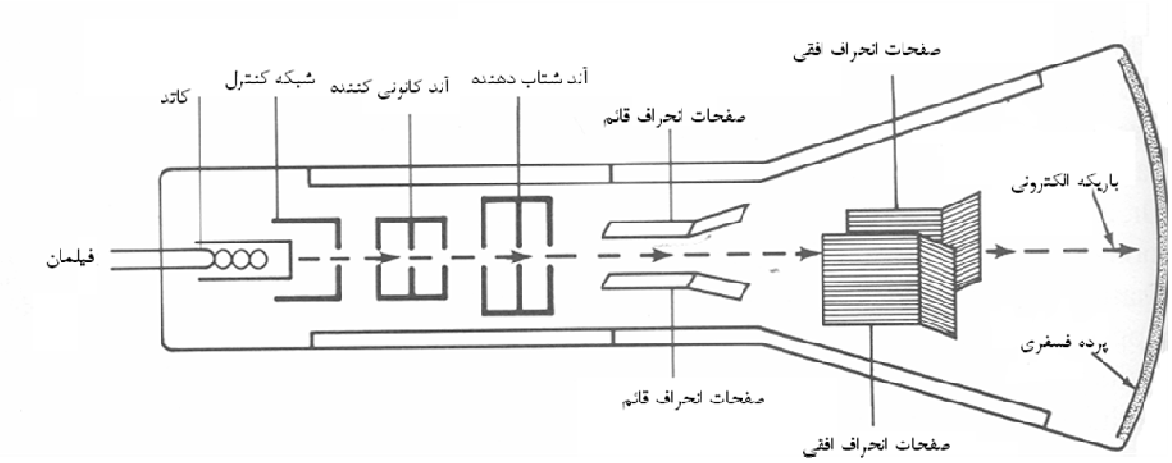
t (s)	خازنهای سری		خازنهای موازی	
	V (v)	Vs=ε-V	V (v)	$V_p=\varepsilon-V$
۵				
۱۰				
۱۵				
۲۰				
۲۵				
۳۰				
۳۵				
۴۰				
۴۵				
۵۰				
۵۵				
۶۰				
۶۵				
۷۰				
۷۵				
۸۰				
۸۵				
۹۰				
۹۵				
۱۰۰				
۱۰۵				
۱۱۰				
...				

جدول(۲)

اسیلوسکوپ یک دستگاه مفید و چند کاره آزمایشگاهی است که برای نمایش دادن و اندازه گیری، تحلیل شکل موجها و دیگر پدیده‌های مدارهای الکتریکی و الکترونیکی به کار می‌رود. از آنجایی که الکترونها دارای جرم ناچیز (قابل چشم پوشی) هستند، می‌توان به کمک آنها امواج متغیر الکتریکی بسیار سریع را نمودار کرد. اسیلوسکوپ بر اساس ولتاژ کار می‌کند. البته به کمک مبدلها (ترانزیستورها)می‌توان جریان الکتریکی وکمیتهای دیگر فیزیکی و مکانیکی را به ولتاژ تبدیل کرد.

۱-قسمتهای مختلف اسیلوسکوپ

اسیلوسکوپ از یک لامپ پرتو کاتدی که قلب دستگاه بوده و تعدادی مدار برای کار کردن لامپ پرتو کاتدی تشکیل شده است. قسمتهای مختلف لامپ پرتو کاتدی عبارت اند از:



شکل (۱)

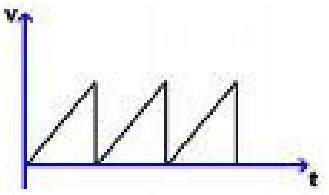
- *تفنگ الکترونی*

تفنگ الکترونی قادر است باریکه متمرکزی از الکترونها را که شتاب زیادی کسب کرده‌اند، به وجود آورد. این باریکه الکترون با انرژی کافی به صفحه فلوئورسان برخورد و بر روی آن یک لکه نورانی تولید می‌کند. تفنگ الکترونی از رشته گرمکن، کاتد، شبکه آند پیش شتاب دهنده، آند کانونی کننده و آند شتاب دهنده تشکیل شده است. الکترونها از کاتدی که به طور غیر مستقیم گرم می‌شود، گسیل می‌شوند. این الکترونها از روزنه کوچکی در شبکه کنترل عبور می کنند. این شبکه معمولا یک استوانه هم محور با لامپ است و دارای روزنه ای است که در مرکز آن قرار دارد. الکترونهای گسیل شده از کاتد، پس از عبور از روزنه (به دلیل پتانسیل مثبت زیادی که به آندهای پیش شتاب دهنده اعمال می‌شود)، شتاب می‌گیرند. الکترون های خارج شده پس از طی مسافت معینی به یک دسته شعاع الکترونی که قطر آن دایما در حال تزاید است تبدیل خواهند شد. برای جلوگیری از افزایش قطر، الکترود کانونی کننده را در مسیر آن قرار می دهند. این الکترود برای شعاع الکترون به مانند یک عدسی جمع کننده عمل می کند، به طوری که الکترون ها درنزدیکی صفحه فلورسنت به یک باریکه تبدیل خواهند شد.

- *صفحات انحراف دهنده*

صفحات انحراف دهنده شامل دو دسته صفحات انحراف قائم و انحراف افقی می باشد. صفحات انحراف قائم به طور افقی نصب می‌شوند و با ایجاد یک میدان الکتریکی، باریکه را در راستای قائم منحرف می‌کنند.

صفحات انحراف افقی به طور قائم نصب می‌شوند و باعث انحراف افقی باریکه می‌شوند. اسیلوسکوپها بیشتر برای اندازه‌گیری و نمایش کمیتهای وابسته به زمان به کار می روند. برای این کار لازم است لکه نورانی لامپ پرتوکاتدی با سرعت ثابت از چپ به راست حرکت کند. چون صفحه اسیلوسکوپ محدود است بایستی لکه نورانی (باریکه الکترونی) بعد از طی فاصله افقی صفحه به ابتدای آن بازگردد. برگشت لکه نورانی از سمت راست به طرف چپ صفحه اسیلوسکوپ باید خیلی سریع باشد . به این منظور یک ولتاژ شیب به نام "ولتاژ روبش" به صفحه انحراف افقی اعمال می شود. این ولتاژ از یک مقدار ابتدایی شروع می شود، به طور خطی در زمان افزایش می یابد و به یک مقدار بیشینه می رسد. پس از آن دوباره به مقدار ابتدایی باز می گردد. سیگنالی که توانائی انجام این کار را دارد"*موج دندان اره ای* " می باشد. در ولتاژ روبش ایده آل، زمان برگشت صفر است.



شکل(۲)

- *صفحه فلوئورسان*

جنس این صفحه که در داخل لامپ پرتو کاتدی قرار دارد، از فسفر است. این ماده دارای این خاصیت است که انرژی جنبشی الکترونهای برخورد کننده را جذب کرده و آنها را به صورت یک لکه نورانی ظاهر می‌سازد.

کلیدهای اسیلوسکوپ

کلید های این دستگاه را می توان به چهار قسمت طبقه بندی کرد:

۱- گروه کنترل
۲- گروه کنترل عمودی
۳- گروه کنترل افقی
۴- گروه کنترل تریگر

گروه کنترل

این مجموعه شامل:

الف)کلید روشن و خاموش: این کلید با *Power* مشخص می شود. پس از روشن کردن دستگاه چند ثانیه طول می کشد تا لکه بر روی صفحه ظاهر شود.

ب)کلید شدت(*Intensity*): این کلید برای کنترل میزان روشنایی نقطه نورانی است.

پ)کلید تمرکز اشعه(*Focus*): این کلید برای تنظیم رزولوشن نقطه نورانی به کار می رود.

گروه کنترل عمودی

این مجموعه برای نمایش موقعیت عمودی اشعه بوده و شامل کلیدهای زیر می باشد :

الف) کلید INPUT : این کلید محل ورودی سیگنال به اسیلوسکوپ است و به صورت یک سوکتBNC می باشد. سیگنال توسط یک سیم کواکسیال به ورودی متصل می شود.

ب) کلید انتخاب نوع ورودی: این کلید دارای سه وضعیت AC-GND-DC است و نحوه ارتباط سیگنال ورودی را به داخل اسیلوسکوپ تعیین می کند. اگر کلید در حالت AC قرار گیرد تنها قسمت متناوب سیگنال ورودی به مدارات اسیلوسکوپ می رود. اگر در حالت DC قرار گیرد، مقادیر DC موج را که به همراه دارد به مدارهای داخلی وصل می کند. در حالت GND ورودی تقویت کننده به زمین وصل می شود.

پ)موقعیت عمودی: تنظیم موقعیت عمودی باریکه الکترونی با کلید position انجام می شود. به وسیله این کلید می توان باریکه را در راستای قائم جابجا نمود.

ت) کلید VOLT/DIV: می دانیم که بهره تقویت کننده اسیلوسکوپ بایستی قابل تغییر باشد تا بتواند سیگنال های مختلف با دامنه های متفاوت را روی صفحه نمایش داده و از صفحه خارج نشود. این کلید با VOLT/DIV مشخص شده است. با تنظیم این کلید بر روی حالتهای مختلف، مقدار ولتاژ هر قسمت(۱سانتی متر) از محور قائم به دست می آید. مقدار واقعی ولتاژ به تعداد تقسیماتی که روی صفحه اشغال شده و مقدار ضریب VOLT/DIV بستگی دارد. برای مثال مقدار واقعی (V_{p-p})یک سیگنال به شرح زیر به دست می آید.

۶/۴cm= دامنه پیک تا پیک روی صفحه

مقدار واقعی = ۶/۴ × ۰/۲ =۱/۲۸ (V) $\Rightarrow$ مقدارضریب *VOLT/DIV*=۰/۲(V/cm)

گروه کنترل افقی

این مجموعه تعیین کننده وضعیت انحراف افقی اشعه و نحوه جاروب صفحه اسیلوسکوپ می باشد و شامل کلید های زیر است:

الف)جاروب افقی Time/DIV : این کلید اصلی ترین کلید کنترل افقی است و برای کنترل زمان حرکت اشعه در مسیر افقی صفحه به کار می رود. به عبارت دیگرکلید Time/DIV، با تغییر فرکانس موج دندان‌اره‌ای، مدت زمان جاروب هر ۱ سانتی متر را در صفحه مشخص می کند. این کلید بر حسب (S/cm)، (mS/c)و (μS/cm) تنظیم شده است. بدین ترتیب می توان با اندازه گیری تعداد تقسیمات افقی که یک موج کامل اشغال کرده دوره تناوب موج و در نتیجه فرکانس آن را محاسبه کرد.

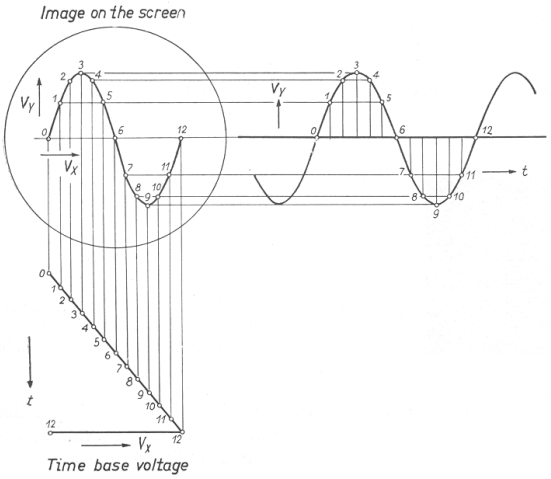
ب)موقعیت افقی: این کلید با position نشان داده شده است. برای جابجایی افقی سیگنال در صفحه از این کلید استفاده می شود.

گروه کنترل تریگر

تریگر در الکترونیک به آتش کردن و یا تحریک کردن معنی شده است. در اسیلوسکوپ تریگر به معنی زمان شروع جاروب افقی است. عدم همزمانی ولتاژ جاروب و ولتاژ ورودی باعث حرکت موج بر روی صفحه نمایش می شود.

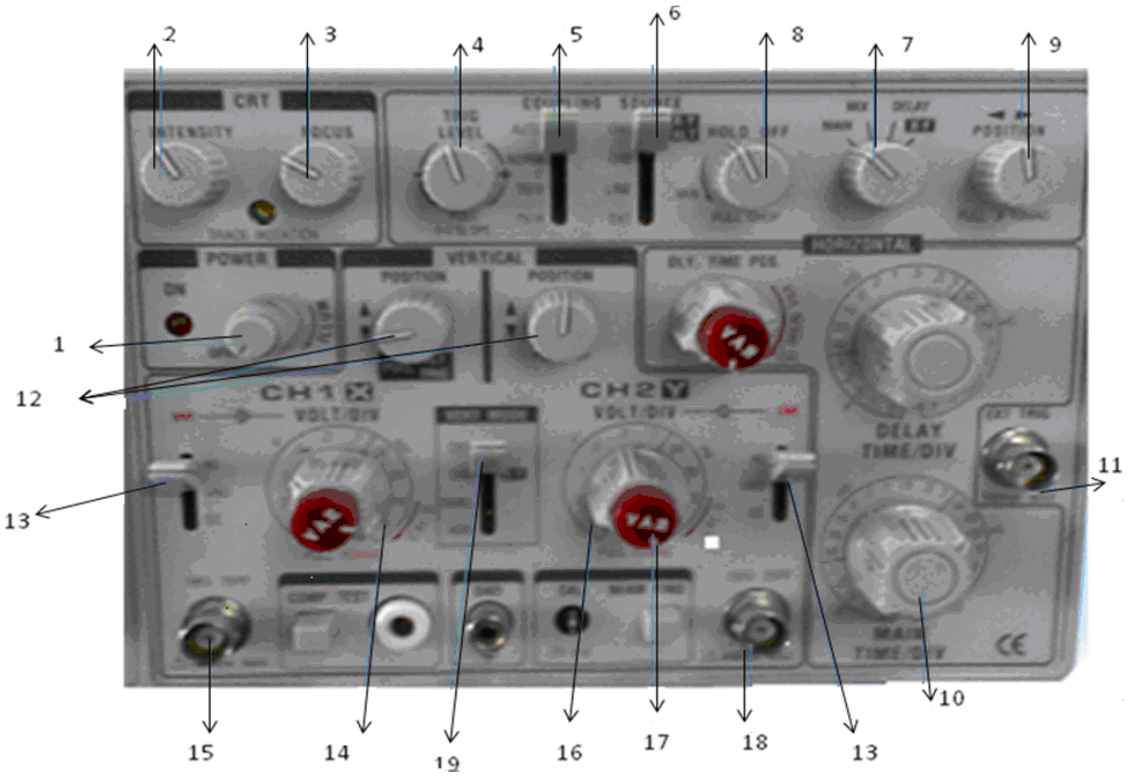
در حالت AUTO حتی اگر سیگنال ورودی وصل نباشد جاروب افقی به صورت متناوب انجام می گردد.

در حالتX-Y مدار تریگر قطع شده و از کانال های ۱ و ۲ به عنوان محور X (افقی) و محور Y (عمودی) استفاده می شود.



شکل(۳)

در شکل زیر موقعیت هر یک از کلیدها بر روی دستگاه اسیلوسکوپ نشان داده شده است:



۱- POWER (ON/OFF):کلید روشن –خاموش دستگاه

۲-INTENSITY:پیچ تنظیم شدت پرتو

۳- FOCUS:پیچ کانونی کننده پرتو

۴- TRIG:کلید همزمان کننده موج جاروب و ولتاژ اندازه گیری شونده

۵-AUTO:اعمال ولتاژ جاروب به صورت خودکار

۶-کلید نوع اتصال تریگر

۷-X-Y :کلید ترکیب موج کانال(۱و۲) و MAIN: کلید اعمال ولتاژ دندان اره ای(روبش)

۸- HOLD OFF:پیچ طولانی کننده فاصله زمانی دو پالس

۹- POSITION : پیچ انتقال افقی

۱۰-TIME/DIV: سلکتور زمانی محور افقی

۱۱-EXT TRIG : در این حالت ولتاژ تریگر خارجی باید از طریق این ورودی به اسیلوسکوپ متصل شود.

۱۲- Y-POSITION: یچ انتقال عمودی کانالهای ۱و۲

۱۳- GD,AC/DC :کلیدGD (اتصال به زمین)جهت تعیین مبدا و AC/DC برای انتخاب نوع پتانسیل مورد اندازه گیری به کار می‌رود. این کلید برای هر کانال به طور مستقل موجود است.

۱۴-VOLT/DIV: سلکتور ولتاژ کانال ۱ (درجه بندی ولتاژ محور قائم به ازای هر واحد)

۱۵- INPUT: ورودی کانال ۱

۱۶-VOLT/DIV : سلکتور ولتاژ کانال ۲

۱۷-ورنیهVOLT/DIV : جهت کالیبره کردن محور قائم به کار می رود و بایستی در طول آزمایش ورنیه هر دو کانال در انتهای سمت راست باشد.

۱۸-INPUT : ورودی ولتاژ کانال ۲

۱۹-VERT MODE: شامل کلیدهای CH1، CH2(نمایش دهنده ولتاژ هر یک از کانالها)، DUAL (نمایش دهنده ولتاژ دو کانال به طور همزمان) و ADD(جمع کننده موج دو کانال)

۲-رسم منحنیهای y بر حسب x:

اگر بخواهیم منحنی تغییرات y را بر حسب متغیری غیر از زمان t به دست آوریم (مثلا x)، می توان پارامترهای y و x را به ترتیب به ورودی های عمودی و افقی اسیلوسکوپ اعمال نمود. با قرار دادن کلیه کلیدها در حالت x-y، تغییرات y بر حسب x نمایش داده می شود.

ایجاد منحنی های لیساژو:

هرگاه ولتاژهای اعمال شده به صفحات عمودی و افقی اسیلوسکوپ هر دو سینوسی بوده و رابطه هارمونیکی با هم داشته باشند، اشکال لیساژو بر روی صفحه ظاهر خواهد شد. اگر دو موج سینوسی همفاز یا با اختلاف فاز π با فرکانس و دامنه یکسان به صفحات انحراف افقی و عمودی اعمال شود، روی صفحه اسیلوسکوپ به ترتیب یک خط تحت زاویه 45° به صورت نیمساز ربع اول و سوم ویک خط تحت زاویه 135° به صورت نیمساز ربع دوم و چهارم ظاهر خواهد شد. روابط دو موج با اختلاف فاز π به صورت زیر می باشد:

$$\begin{aligned} & y = a\sin(\omega t) \\ & x = a\sin(\omega t + \pi) = -a\sin(\omega t) \\ & \rightarrow y = -x \end{aligned} \qquad (1)$$

اگر بار دیگر همان دو موج با اختلاف فاز ۹۰ یا ۲۷۰ به صفحات اعمال شوند، این بار شکل ظاهر شده دایره خواهد بود. این اختلاف فاز اگر بین ۰ تا ۹۰ متغیر باشد، می توان اشکال بیضی را نیز مشاهده نمود. تغییر دامنه دو موج نیز شرایط مشابهی را به وجود می آورد. از مطالب بالا می توان این چنین نتیجه گرفت که :

اگر دامنه موجها با هم برابرو هم بسامد باشند، با افزایش اختلاف فاز، شکل حاصل از یک خط مورب به یک گروه بیضی با مقادیر خروج از مرکز مختلف و سپس به یک دایره تبدیل می شود. پس از به وجود آمدن یک گروه بیضی دوباره یک خط راست مورب تشکیل خواهد شد. حال اگر بسامد و دامنه دو موج متفاوت باشند اشکال لیساژوی جالب توجهی به وجود می آید .

روش آزمایش:

الف)اندازه گیری زمان تناوب ولتاژ روبشی

دراین قسمت مدار داخلی اسیلوسکوپ، ولتاژ دندان اره‌ای را به صفحات انحراف افقی اعمال کرده و باریکه الکترونی صفحه نمایش را از چپ به راست جاروب می کند.کلید مربوط به source را در حالت main قرار دهید. با استفاده از کلید Time/Div می توانید دوره تناوب باریکه رامحاسبه نمایید.

اگر کلید Time/Div بر روی ۰/۵ s تنظیم شود، دوره تناوب باریکه چقدر خواهد بود؟

ب)اندازه گیری پتانسیل DC

کلید مربوط به source را در حالت main قرار دهید.کانال دلخواه اسیلوسکوپ را در حالت GND قرا ر داده و با استفاده از کلید position ، باریکه را بر مبدا منطبق کنید. سپس دو سر پیلی را که در اختیار دارید به ورودی کانال مربوطه اتصال دهید. با قرار دادن کلید انتخاب پتانسیل در حالت DC و انتخاب ضریب مناسب volt/div مقدار ولتاژ پیل را یادداشت کنید.

ج)اندازه گیری دامنه و مقدار ولتاژموثر (Vrms)

ولتاژ موثر یک موج سینوسی در حقیقت همان مقدار ثابتی است که به موج سینوسی نسبت داده می شود. ولتاژ موثر (Vrms) همان مقدار حرارتی را در مدار ایجاد می کند که اگر به ازای همان مقدار، ولتاژ dc در مدار اهمی وجود داشته باشد. به طور مثال ولتاژ موثر برق شهر ۲۲۰ ولت می باشد. ولتاژ موثر یک موج سینوسی از رابطه زیر به دست می آید:

$$V_{rms} = \frac{V_{P-P}}{2\sqrt{2}} \qquad (۲)$$

V_{P-P} فاصله بین قله و دره موج سینوسی می باشد(دو برابردامنه موج). برای مشاهده شکل یک موج متناوب مراحل زیر را انجام دهید:

الف) سیگنال ژنراتور را روشن کنید و آن را در حالت سینوسی با فرکانس ۵۰۰ Hz قرار دهید.

ب)پروب اسیلوسکوپ را به ترمینال خروجی سیگنال ژنراتور وصل کنید. از کالیبره بودن سیستم مطمئن شوید.

ت) کلید مربوط به source را در حالت main و کلید AC-GND-DC را در حالت AC قرار دهید. با تغییر کلید Volt/Divو Time/Divشکل موج مناسب را تشکیل دهید.

- دامنه و مقدار موثر ولتاژ سینوسی را حساب کنید.

د)اندازه گیری زمان تناوب

به کمک اسیلوسکوپ می توان زمان تناوب(مدت زمان یک سیکل کامل) سیگنال را محاسبه کرد. شکل موج در حالت قبل را در نظر بگیرید.

- زمان تناوب سیگنال ورودی را به کمک رابطه زیر محاسبه نمایید.

ضریب سلکتور Time/Div ×تعداد خانه های در بر گرفته شده ی یک سیکل کامل=زمان تناوب T

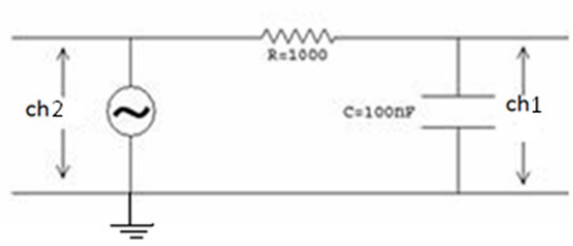
با استفاده از زمان تناوب، فرکانس نیزمحاسبه می شود:

$$f = \frac{1}{T} \qquad (۳)$$

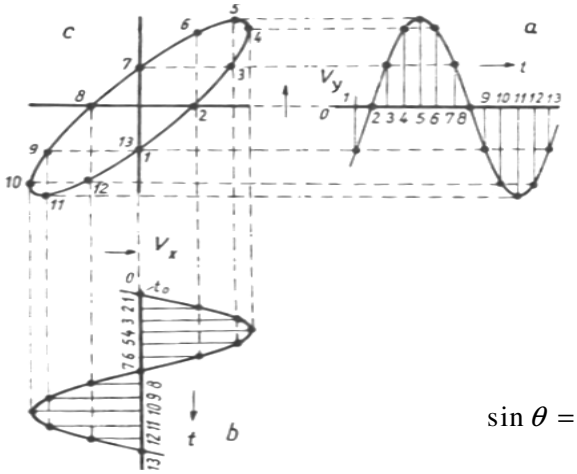
سوال: به طور مشروح توضیح دهید که از این آزمایش ها چه نتیجه ای گرفته اید.

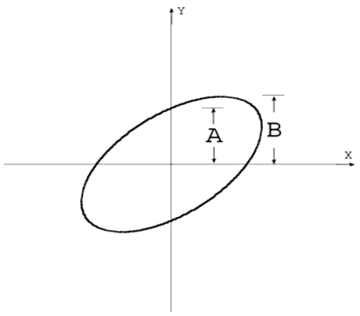
ه) محاسبه اختلاف فاز بر حسب فرکانس در مدار RC

ابتدا مدار روبرو را با مقاومت ۱۰۰۰Ω و خازن $۰/۱\mu F$ و منبع سینوسی به طور سری ببندید. دو سر خازن را به ورودی عمودی(CH1) و دو سر نوسانساز(سیگنال ژنراتور) را به ورودی افقی (CH2) وصل کنید. کلیدهای دستگاه را در وضعیت x-y قراردهید. از کالیبره بودن اسیلوسکوپ مطمئن شوید.ترکیب دوموج سینوسی $x = E\sin(\omega t)$ و $y = B\sin(\omega t + \theta)$ شکل بیضی را روی صفحه ظاهر می سازد. فرکانس نوسان ساز را مطابق جدول زیر تغییر دهید.با استفاده از شکل بیضی که روی صفحه نمایش ظاهر شده است، می توانید مقادیر A و B را یادداشت کرده و اختلاف فاز دو موج سینوسی را از رابطه (۴) محاسبه نمایید.



شکل(۴)





اشکال(۵)و(۶)

$$\sin\theta = \frac{A}{B} \Rightarrow \theta = \sin^{-1}\frac{A}{B} \qquad (۴)$$

f (HZ)	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	۱۴۰۰	۱۶۰۰	۱۸۰۰	۲۰۰۰	۲۲۰۰	۲۴۰۰
2A												
2B												
Sinθ=A/B												

جدول (۱)

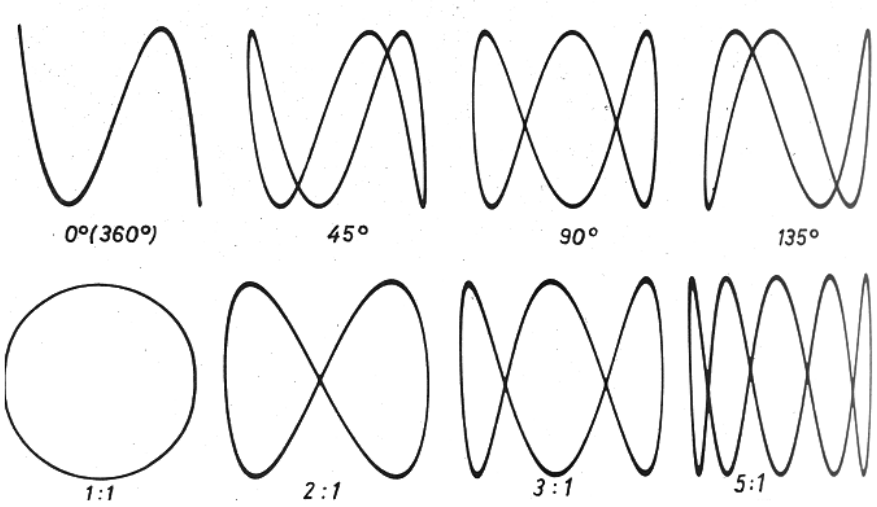
- حال نمودار Sinθ بر حسب فرکانس را در یک نمودار میلیمتری رسم نمایید و اختلاف فاز مربوط به فرکانس ۱۵۰۰ را از روی نمودار به دست آورید.

- مقدار اختلاف فاز θ را از رابطه نظری $\tan\theta=2\pi fRC=RC\omega$ به دست آورده و درصد خطای نسبی آن را محاسبه کنید.

و)نحوه محاسبه فرکانس مجهول با استفاده از اشکال لیساژو:

موج سینوسی را توسط سیگنال ژنراتور به صفحات انحراف قائم وارد کنید .کلید source را در حالت x-y و دستگاه را در حالت Line قرار دهید. از کالیبره بودن سیستم مطمئن شوید. اگر فرکانس یکی از دو موج اعمال شده معلوم و دیگری مجهول باشد، در صورتی که منحنی های بسته ای داشته باشیم، با استفاده از اشکال لیساژو می توانیم فرکانس مجهول را طبق رابطه زیر به دست آوریم :

$$\frac{f_v}{f_h}=\frac{N_2}{N_1}=$$ (تعداد برخوردهای خط قائم با منحنی)/ (تعداد برخوردهای خط افقی با منحنی)



شکل(۶)

سوالات:

۱- آیا می توان از اسیلوسکوپ برای اندازه گیری مستقیم شدت جریان استفاده نمود؟چرا؟
۲- اشکال لیساژو را چگونه می توان تشکیل داد وبرای اندازه گیری چه پارامترهایی به کار می روند؟
۳- علت اختلاف فاز θ در مدار چیست و تابع چه پارامترهایی است؟
۴- علت حضور مقاومت ۱۰۰۰ اهم در مدار چیست؟
۵- رابطه (۴) مربوط به اختلاف فاز را ثابت کنید.
۶- با توجه به نتایج آزمایش (۵) و این آزمایش، اثر خازن را در مدارهای ولتاژ متناوب و مستقیم با یکدیگر مقایسه کنید.
۷- آیا در قرائت مقادیر A و B در بیضی نیازی به ضرب Volt/Div وجود دارد یا خیر؟ چرا؟
۸- با توجه به اشکال لیساژور چرا در یک مدار RC شکل حاصل در اسیلوسکوپ به صورت بیضی در می‌آید؟

هدف آزمایش : ۱- بررسی وابستگی نیروی محرکه القایی با دامنه وفرکانس

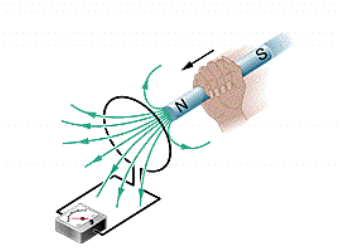
۲- اندازه گیری ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی در خلا (μ_0)

۳- اندازه گیری اختلاف فاز دو موج متناوب

وسایل آزمایش: سیملوله و پایه آن، اسیلوسکوپ،مقاومت یک اهم، سیگنال ژنراتور(نوسان ساز)،سیمهای رابط

تئوری آزمایش

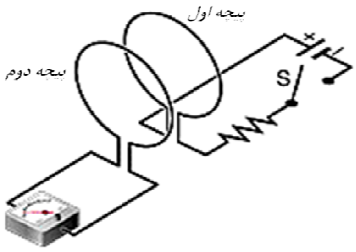
اگر آهن ربای تیغه ای را در اختیار داشته باشید و آن را به طرف پیچه یا پیچه را به طرف آهنربا حرکت دهید، عقربه گالوانومتر منحرف خواهد شد. این بدان معناست که علیرغم وجود منبع تغذیه در مدار، دراثر حرکت تیغه آهن ربا جریان لحظه ای در حلقه برقرار شده و نیروی محرکه القائی به وجود می آید. هرچه سرعت نسبی حرکت آهنربا و پیچه بیشتر باشد، نیروی محرکه القائی و در نتیجه جریان القائی بزرگتر است.



شکل(۱)

شکل(۱)

در آزمایش دیگری دو پیچه ساکن را در نظر بگیرید. با زدن کلید S جریان لحظه ای القایی در پیچه دوم به وجود می آید. در لحظه قطع کلید نیز این جریان مجددا مشاهده می شود.



شکل(۲)

دو آزمایش بالا توسط مایکل فاراده انجام شد. وی نشان داد که علت به وجود آمدن جریان و نیروی محرکه القائی در یک پیچه، تغییر شار عبوری از آن پیچه نسبت به زمان است. این مطلب را" **قانون القاء فاراده**" می نامند . هرگاه خطوط میدان مغناطیسی به شدت B از سطح مقطعی به مساحت A عبور کند، شار مغنطیسی عبوری از آن عبارت خواهد بود از :

$$\varphi_B = \int B \cdot dA \qquad (۱)$$

با تغییر شار مغناطیسی نسبت به زمان خواهیم داشت:

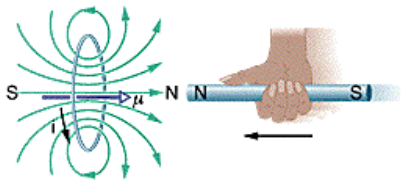
$$\varepsilon = -\frac{d\varphi_B}{dt} \qquad (۲)$$

ε نیرومحرکه القایی می باشد. اگر پیچه شامل N دور باشد، نیرو محرکه القایی برابرخواهدشد با :

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

بنابراین تغییر هر یک از پارامترهای ایجاد شار مغناطیسی، جریان القایی را در پیچه دوم ایجاد می‌نماید .

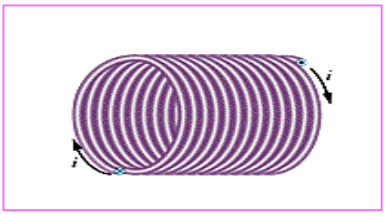
- در شکل زیر قطب شمال یک آهنربا را به حلقه رسانا نزدیک می کنیم. جهت جریان القائی در حلقه چگونه است ؟



شکل(۳)

حلقه حامل جریان القایی مانند یک دو قطبی مغناطیسی اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند.بنا به قانون لنز جهت جریان القائی در حلقه به گونه‌ای است که با افزایش شارمغناطیسی گذرنده از آن همواره مخالفت می کند. شکل(۳)

همان طور که می دانید میدان مغناطیسی داخل سیملوله‌ای که حامل جریان I می باشد از رابطه زیر به دست می آید:



شکل(۴)

$$B = \mu_0 \nu I \qquad (۳)$$

که در آن μ_0 ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی در خلا است و در این آزمایش $\nu = N/L = ۴۰۰$، تعداد دور در واحد طول سیملوله اولیه می باشد. حال اگر جریان سیملوله را نسبت به زمان تغییر دهیم، تغییر میدان مغناطیسی نیرو محرکه القایی ایجاد خواهد کرد. اگر اثر نیروی محرکه القایی را بر روی سیلوله دیگری به نام سیملوله ثانویه بررسی کنیم، مشاهده می شود که ولتاژ القائی در سیملوله ثانویه ایجاد شده است. می توان روابط زیر را برای ولتاژ القائی ایجاد شده در سیملوله ثانویه به صورت زیر نوشت :

$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt} = -NA\frac{dB}{dt} = -NA\mu_0\nu\frac{dI}{dt} \qquad (۴)$$

که در آن $A = ۳/۸۵ \times ۱۰^{-۳}\ m^2$ سطح مقطع سیملوله ثانویه و $N=۶۰$ تعداد دورهای سیملوله ثانویه می باشد. فاراده رابطه دیگری نیز برای نیروی محرکه القایی و تغییرات جریان در واحد زمان به دست آورده بود :

$$\varepsilon = -M\frac{dI}{dt} \qquad (۵)$$

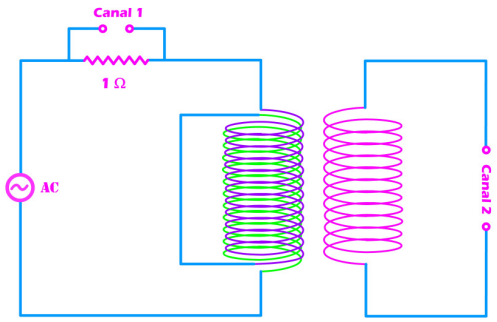
M ضریب القاء متقابل سیملوله بر حسب هانری می باشد. مقایسه روابط (۴) و (۵) نتیجه می دهد که:

$$M = NA\nu\mu_0 \qquad (۶)$$

روش آزمایش

ابتدا دو سیملوله مورد نظر را به طور سری به یکدیگر متصل نمایید.(از انتهای یک سیملوله مثلا سر آبی به ابتدای سیملوله دیگر یعنی سر قرمز آن). مدار شکل (۵)را ببندید. کانال ۱ اسیلوسکوپ به دو سر مقاومت ۱ اهم و کانال ۲ آن به دو ترمینال قرمز رنگ

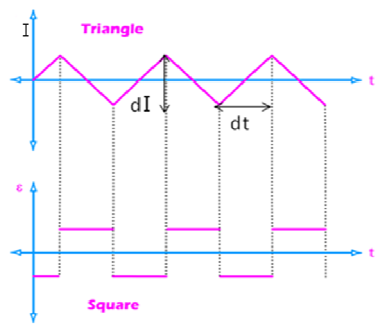
سیملوله ثانویه متصل می باشد. از ترمینالهای سیملوله ثانویه به عنوان پایه استفاده کنید. سیگنال ژنراتور را در حالت موج مثلثی قرار دهید. کلیدهای مربوط به SOURCE را در حالت MAIN و AUTO تنظیم کنید. با تنظیم کلید volt/Div و Time/Div موج مثلثی ایجاد شده را در کانال ۱ مشاهده نمایید. می توانید تغییرات جریان را از محور قائم قرائت نمایید. آنچه در کانال ۲ ظاهر می شود ولتاژ القایی سیملوله ثانویه می باشد. با قرار دادن کلید بر روی dual می توانید این دو موج را به طور همزمان مشاهده نمایید.



شکل(۵)

حال به دو روش ذیل مقدار نیروی محرکه القایی در مدار را اندازه گیر ی می نماییم:

روش اول:



مقدار دامنه(ولتاژ) موج مثلثی را ثابت نگهداشته و فرکانس موج را مطابق جدول (۱) تغییر دهید. تغییرات جریان (dI - فاصله ای که در آن تغیرات جریان یکنواخت است) را از روی محور قائم و مقدار dt را از روی محور افقی قرائت نمایید. (dt - نصف دوره تناوب موج می باشد). سپس از روی کانال ۲ مقدار نیرو محرکه القایی ε را یادداشت نمایید .

شکل(۶)

f(Hz)	۲۰۰	۴۰۰	۶۰۰	۸۰۰	۱۰۰۰
dI(A)					
dt(S)					
dI/dt(A/S)					
ε(v)					

جدول (۱)

روش دوم:

این بار فرکانس را ثابت و برابر(Hz) ۴۰۰ قرار دهید. با استفاده از ولوم Amplitude ، دامنه ولتاژ متناوب را در حالت ماکزیمم قرار دهید. سپس به کمک کلید volt/Div شکل موج cH1 را به طور کامل در تمام صفحه، نمایش دهید. در این حالت ۴/۴ ولتاژ منبع مشاهده می شود. مقادیر dI و dt را یادداشت کرده و مجددا ε را از کانال ۲ بخوانید. با تغییر ولوم دامنه نوسان ساز ، مقادیر ۱/۴، ۲/۴و ۳/۴ ولتاژ ماکزیمم منبع را تنظیم نموده و جدول را کامل کنید.

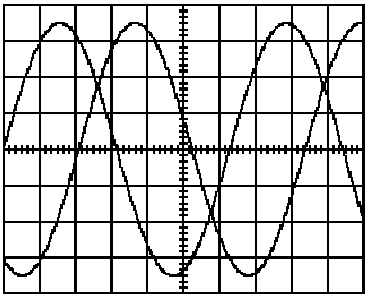
ولتاژ منبع	۱/۴ منبع	۲/۴ منبع	۳/۴ منبع	۴/۴ منبع
dI(A)				
dt(S)				
dI/dt(A/S)				
ε(v)				

جدول (۲)

نمودار ε-dI/dt را برای هر دو جدول رسم نمایید. از روی شیب هرکدام مقدار M را محاسبه نموده و مقدار μ۰ را از رابطه (۶) به دست آورید. با توجه به مقدار ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$) ، درصد خطای نسبی آن را حساب کنید.

اندازه گیری اختلاف فاز دو موج:

حال به همین طریق که مدار بسته است ولتاژ سیگنال ژنراتور را در حالت سینوسی قرار دهید.کلید اسیلوسکوپ را در حالت dual قرار داده و دو موج را به طور همزمان مشاهده کنید. با اندازه گیری فاصله زمانی دو قله موج بر حسب t و براساس رابطه زیر اختلاف فاز دو موج را اندازه گیری نمایید.



$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\text{فاصله زمانی دوقله موج ضریب Time/div}}{\text{دوره تناوب موج ضریب Time/div}}$$

سوالات:

۱- علت اختلاف فاز بین ولتاژ القایی دو سر سیملوله ثانویه و سیگنال ژنراتور را توضیح دهید.

۲- علت حضور مقاومت ۱ هم در مدار چیست؟

۳- چگونه می توان دامنه ولتاژ القائی ایجاد شده در سیملوله ثانویه را تغییر داد؟

۴- در اندازه گیری اختلاف فاز دو موج، شکل موج تشکیل شده در کانال ۱و ۲ اسیلوسکوپ را از نظر دامنه و فرکانس با یکدیگر مقایسه نمایید.

۵- اگر در بستن مدار قانون لنز مورد توجه قرار نگیرد چه تغییری در شکلها حاصل می شود؟

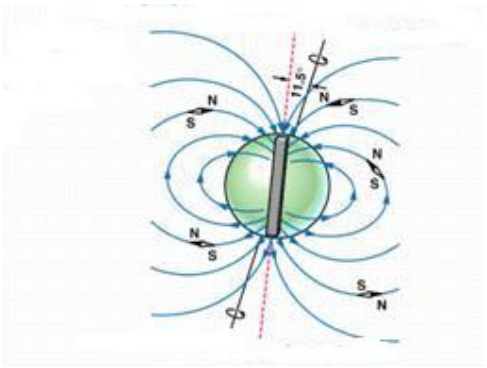
آزمایش ۸ **اندازه گیری میدان مغناطیسی زمین**

هدف آزمایش:

۱) اندازه گیری میدان مغناطیسی زمین با استفاده از قانون القاء فاراده.

۲) تعیین جهت میدان مغناطیسی زمین.

وسایل آزمایش: موتور الکتریکی به همراه پایه اتصال به میز، منبع تغذیه ،کلید دوطرفه، رکوردر (ثبات)، تقویت کننده ولتاژ، حلقه های کوچک و بزرگ، سیم رابط، آچار سه نظام



تئوری آزمایش

در هر نقطه‌ای در نزدیکی سطح زمین ، عقربه مغناطیسی آویزان از رشته یا واقع روی یک نقطه به ترتیب خاصی سمت گیری می‌کند (تقریبا در جهت شمال به جنوب). این واقعیت مهم به این معنا است که زمین دارای خاصیت مغناطیسی است.علت وجود این میدان مغناطیسی ،مواد مذاب موجود در مرکز زمین است.

شیب مغناطیسی

می دانیم خاصیت مغناطیسی یک آهنربا در نقاط مختلف آن متفاوت است و در دو قطب آن ، این خاصیت بیشتر است . به همین ترتیب ، خاصیت آهنربایی کرۀ زمین در دو قطب بیشتر است . اگر یک عقربۀ مغناطیسی آزاد باشد تا بتواند در راستای عمودی حرکت کند، نوک این عقربه نزدیک قطب ها به زمین متمایل می شود. به عنوان مثال در قطب شمال، سر عقربه N آن ، عمود بر سطح زمین خواهد شد . عقربه در خط استوای مغناطیسی، افقی(موازی سطح زمین) قرار می گیرد . پس جهت عقربه مغناطیسی در مکانهای مختلف استوا تا قطب، نسبت به سطح افق تغییر کرده و زاویه‌ای با آن می سازد. این زاویه را "*شیب مغناطیسی*" یا "*میل مغناطیسی*" می‌نامند. می توان شیب مغناطیسی را به وسیله زاویه سنج مغناطیسی اندازه گیری نمود. این دستگاه در واقع یک عقربۀ مغناطیسی است که تحت تاثیر میدان مغناطیسی زمین در صفحه قائم منحرف شده و از طرف زمین به آن نیرو وارد می شود.

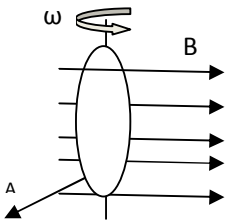
هرگاه حلقه ای بسته به مساحت A داخل میدان مغناطیسی B قرار گیرد، شار مغناطیسی عبوری از حلقه برابر خواهد بود با:

$$\varphi = \vec{B}.\vec{A} = BA\cos\theta \qquad (۱)$$

که در آن θ زاویه بین بردار عمود بر سطح و میدان مغناطیسی می باشد.طبق قانون القاء فاراده، هرگاه شار مغناطیسی عبوری از یک حلقه بسته با زمان تغییر کند، در آن حلقه، ولتاژ الکتریکی القاء می شود. به عبارت ریاضی:

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

N تعداد دورهای سیم پیچ می باشد. حال اگر سیم پیچ را با سرعت زاویه ای ω در حوزه میدان مغناطیسی زمین به چرخش در آوریم، در اثر قطع خطوط میدان مغناطیسی توسط آن ، جریان القائی در حلقه به وجود خواهد آمد. اگر میدان مغناطیسی بر امتداد محور دوران حلقه به شعاع R عمود باشد،در آن صورت خواهیم داشت:



شکل(۱)

$$\varphi = \int \vec{B}.\vec{dA} = B\pi R^2 \cos(\theta) = B\pi R^2 \cos(\omega t) \qquad (۳)$$

همچنین طبق رابطه (۲) ولتاژ القائی به صورت زیر خواهد بود:

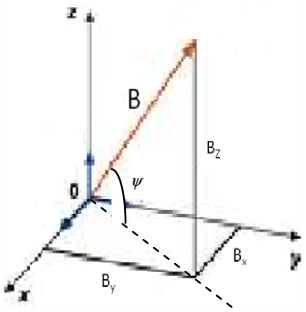
$$\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt} = N\pi R^2 \omega B \sin(\omega t) = \varepsilon_{\max} \sin(\omega t)$$

$$\varepsilon_{\max} = N\pi R^2 \omega B = aB \qquad (۴)$$

می توان $\varepsilon_{\max}$ را به عنوان ماکزیمم دامنه ولتاژ القائی در نظر گرفت که در آن a عبارت خواهد بود :

$$a = NA\omega = \frac{2\pi^2 NR^2}{T} \qquad (۵)$$

همان طور که می دانید میدان مغناطیسی زمین الزاماً بر محور دوران حلقه عمود نیست. فرض کنید محور دوران حلقه، در راستای محور Z باشد و میدان مغناطیسی زمین تحت زاویه ای نسبت به آن قرار داشته باشد. در این صورت می توان میدان مغناطیسی زمین را در راستای محورهای X ، Y و Z به ترتیب با سه مولفهٔ B_x ، B_y و B_z نشان داد. شار حاصل از مولفهٔ B_z هیچ گونه جریان القائی ایجاد نمی کند.**چرا**؟ برآیند مولفه های B_x و B_y تولید ولتاژ القائی در حلقه می نمایند. بنابراین اگر حلقهٔ مورد نظر در راستای محور Z با سرعت زاویه ای ω دوران کند، طبق رابطه (۴) ماکزیمم دامنه ولتاژ القایی به شکل زیر خواهد بود:



شکل(۲)

$$\varepsilon_{\max z} = a\sqrt{B_x^{\,2} + B_y^{\,2}} \qquad (۶)$$

اگر حلقه به ترتیب در راستای محورهای X وY نیز با سرعت زاویه ای ω دوران کند، ماکزیمم دامنه ولتاژ القائی در راستای X و Y عبارت خواهند بود از:

$$\varepsilon_{\max x} = a\sqrt{B_z^{\,2} + B_y^{\,2}} \qquad \varepsilon_{\max y} = a\sqrt{B_z^{\,2} + B_x^{\,2}} \qquad (۷)$$

با انجام کمی محاسبه، مولفه های میدان مغناطیسی زمین به صورت زیر به دست می آیند:

$$B_z^{\,2} = \frac{(\varepsilon_{mx})^2 + (\varepsilon_{my})^2 - (\varepsilon_{mz})^2}{2a^2}$$

$$B_y^{\,2} = \frac{(\varepsilon_{mx})^2 - (\varepsilon_{my})^2 + (\varepsilon_{mz})^2}{2a^2} \qquad (۸)$$

$$B_x^{\,2} = \frac{(\varepsilon_{my})^2 - (\varepsilon_{mx})^2 + (\varepsilon_{mz})^2}{2a^2}$$

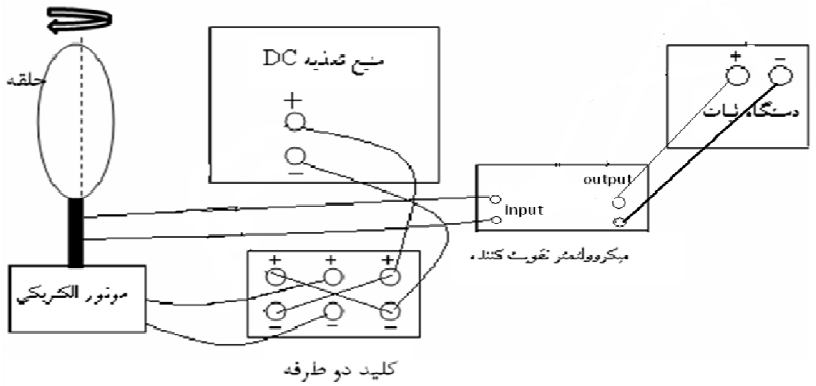
در نهایت اندازه میدان مغناطیسی زمین و نیز زاویهٔ میل میدان مغناطیسی زمین(ψ) از روابط زیر محاسبه می شوند:

$$B_e = \sqrt{B_x^{\,2} + B_y^{\,2} + B_z^{\,2}} = \sqrt{\frac{(\varepsilon_{mx})^2 + (\varepsilon_{my})^2 + (\varepsilon_{mz})^2}{2a^2}} \qquad (۹)$$

$$\tan\psi = \frac{B_z}{\sqrt{B_x^{\,2} + B_y^{\,2}}} = \sqrt{\frac{(\varepsilon_{mx})^2 + (\varepsilon_{my})^2 - (\varepsilon_{mz})^2}{2(\varepsilon_{mz})^2}} \qquad (۱۰)$$

روش آزمایش

برای انجام این آزمایش، ابتدا پایه موتور الکتریکی را روی میز ببندید. سپس حلقه بزرگ را روی آن سوار کنید. ورودی برق موتور را به وسیلهٔ یک کلید دو طرفه به منبع تغذیهٔ با ولتاژ DC متصل نمایید. جهت جریان مدار را مطابق شکل به حالت معکوس در آورید. ولتاژ منبع تغذیه DC را روی ۱۸ ولت قرار دهید. در این آزمایش از دو حلقه با قطر ۴۰۰mm و ۲۰۰ mm استفاده می نماییم. هر یک از حلقه ها، شامل سیم پیچ هایی با تعداد۱۰ دور سیم می باشند. دو سر این سیم پیچ ها را به دستگاه تقویت کنندهٔ ولتاژ (Micro -Voltmeter) متصل نمایید. ضریب تقویت را روی 10^{+4} ولت تنظیم کنید. ولتاژ تقویت شده را به دستگاه ثبات بدهید تا ولتاژ متناوب را نمایش دهد. ثبات (رکوردر) در واقع نوعی اسیلوسکوپ مکانیکی می باشد که شکل امواج را بر روی کاغذ مخصوص رسم می کند. این دستگاه دارای یک سلکتور جهت تنظیم سرعت حرکت کاغذ می باشد. سرعت عبور کاغذ را روی 5 mm/s و سلکتور مربوط به ولتاژ (دامنه) را روی۱۰ولت قرار دهید. این دستگاه همچنین دارای کلید هایی برای کنترل موقعیت کاغذ، موقعیت قلم و . . . می باشد.



شکل (۳)

دستگاه ثبات ولتاژ متناوب القائی را در عرض کاغذ ترسیم می نماید. بنابراین فاصله افقی دو قله موج ،دو برابر ماکزیمم دامنه ولتاژ القائی خواهد بود. این فاصله با توجه به ضریب ولتاژ ثبات و ضریب تقویت میکروولتمتر محاسبه می شود. فاصله عمودی بین دو قله متوالی با توجه به سرعت حرکت کاغذ بیانگر دوره تناوب ولتاژ القایی می باشد. حال محور حلقه بزرگ را در جهت محور Z قرار داده و شکل موج آن را رسم کنید. سپس با توجه به دستگاه راستگرد، حلقه را در راستای محورهای X و Y تنظیم نموده و با استفاده از شکل موج رسم شده، ماکزیمم دامنه ولتاژ القائی و دوره تناوب را در هر یک از جهت های محور مختصات به دست آورید.

توجه: به هنگام جابجایی موتور از اتصال صحیح و محکم آن به میز کار مطمئن شوید.

با توجه به روابط(۵)، (۸)، (۹) و (۱۰) میدان مغناطیسی زمین و زاویه میل میدان مغناطیسی را به دست آورید.

همه این مراحل را برای حلقه کوچک تکرار کنید و نتایج را با یکدیگر مقایسه نمایید.

حلقه بزرگ : ۲R =۴۰۰ mm

دوران حول	ε_{max} (v)	T (s)	$a = \frac{2\pi^2 NR^2}{T} (m^2/s)$
x			
y			
z			

جدول(۱)

حلقه کوچک : ۲R =۲۰۰ mm

دوران حول	ε_{max} (v)	T (s)	$a = \frac{2\pi^2 NR^2}{T} (m^2/s)$
x			
y			
z			

جدول(۲)

آزمایش ۹ **مگنتومتر**

هدف آزمایش:

بررسی چگونگی مغناطیس شدن هسته آهنی، اندازه گیری میدان مغناطیسی و ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی آن. (B و μ(H))

وسایل آزمایش:

حلقه رولاند ، منبع تغذیه ، رئوستا، مقاومت ، گالوانومتر بالستیک، سیم پیچ استاندارد، آمپرمتر با شنت ۱/۵ آمپر، مترونم، سیم رابط، کلید دو طرفه.

تئوری آزمایش

مواد در طبیعت به لحاظ خواص مغناطیسی به سه دسته دیامغناطیس، پارامغناطیس و فرومغناطیس تقسیم می شوند. مواد مغناطیسی شامل دو قطبیهای مغناطیسی(m_i) می باشند. این دو قطبیها به طور کاتوره ای در حوزه های مغناطیسی ماده قرار گرفته‌اند. هرگاه دوقطبیها تحت تاثیر میدان مغناطیسی مناسب همراستای میدان شوند، ماده مغناطیده می شود. می توان میزان مغناطش مواد را طبق رابطه زیر تعریف کرد:

$$M = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{1}{V} \sum_{i=1} m_i \qquad (۱)$$

در این آزمایش قصد داریم میزان مغناطش هسته آهنی (ماده فرومغناطیس) داخل حلقه رولاند را با استفاده از قانون القاء فاراده اندازه گیری نماییم. حلقه رولاند عبارت است از چنبره ای که داخل آن هسته آهنی قرار گرفته است. هرگاه از داخل چنبره و در غیاب هسته آهنی جریان I عبور داده شود ، شدت میدان مغناطیسی ایجاد شده در داخل چنبره از رابطه:

$$H = \frac{NI}{2\pi r} \qquad (۲)$$

به دست می‌آید. N تعداد دورهای سیم پیچ اولیه(مغناطیس کننده) و r شعاع متوسط حلقه می باشد. می توان رابطه بالا را به صورت $H = \beta I$ نوشت، که در آن مقدار β معادل تعداد دورهای سیم پیچ در واحد طول ($\beta = \frac{N}{2\pi r}$)است. در این آزمایش N =۳۳۳ و ۲r=۰/۱۰۱m قطر متوسط حلقه می باشد. حال اگر هسته آهنی را داخل سیم پیچ قرار دهیم، با عبور جریان از داخل سیم پیچ و ایجاد میدان مغناطیسی در داخل آن، دو قطبیهای داخل هسته تحت تاثیر میدان مغناطیسی خارجی با یکدیگر همراستا شده و هسته آهنی خود تبدیل به یک آهن ربا می شود. می توان چگالی میدان مغناطیسی ایجاد شده را به صورت رابطه زیر بیان کرد:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{M} + \vec{H}) \qquad (۳)$$

. μ ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی هوا یا خلا نامیده می شود که مقدار آن $۴\pi \times ۱۰^{-۷}$ (Tm/A) است.

$\mu_0 M$ معرف میدان مغناطیسی حاصل از مغناطش هسته آهنی و $\mu_0 H$ معرف میدان ناشی از جریان انتقالی I در داخل سیم پیچ اولیه می باشد. همچنین می توان رابطه بالا را با فرض اینکه بردارهای $\vec{B}$ ، $\vec{H}$ و $\vec{M}$ موازی اند به صورت زیر نیز نوشت:

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{M} + \vec{H}) = \mu_0(1 + \frac{\vec{M}}{\vec{H}})\vec{H} = \mu(H)\vec{H} \qquad (۴)$$

عبارت $\mu(H)$ "*ضریب تراوایی*" یا "*ضریب نفوذپذیری مغناطیسی*" ماده نامیده می شود. این ضریب میزان مغناطیده شدن مواد تحت تاثیر میدان H را بیان می نماید. نسبت بدون بعد $\frac{M}{H}$ "*پذیرفتاری مغناطیسی*"(χ_m) نام دارد. این نسبت در مواد پارامغناطیس و دیامغناطیس ثابت و به ترتیب دارای مقادیر مثبت و منفی است. در مواد فرومغناطیس این نسبت ثابت نبوده و میزان مغناطش مواد فرو مغناطیس تحت تاثیر مقدار جریان متغیر خواهد بود.

حال اگر جریان I را داخل سیم پیچ اولیه حلقه رولاند برقرار نماییم ، میدان مغناطیسی H در آن تولید می شود. با تغییر جهت جریان از I+ به I- میدان مغناطیسی نیز از H+ به H- تغییر کرده و چگالی میدان مغناطیسی B نیز تغییر می نماید. در اثر این تغییر ات نیرو محرکه القایی در سیم پیچ ثانویه ایجاد می گردد:

$$\varphi = N'\vec{B}.\vec{A} = N'BA\cos\theta$$
$$\Delta\varphi = N'BA(\cos\pi - \cos 0) = -2N'BA \qquad (۵)$$
$$\varepsilon = -\frac{d\varphi}{dt} = -N'A\frac{d\vec{B}}{dt} = N'A\frac{2B}{\Delta t}$$

($N' = ۲۵$) تعداد دورهای سیم پیچ ثانویه(مغناطیس شونده) که بر روی سیم پیچ های اولیه قرار گرفته است، $A = ۷۵\times۱۰^{-۶}\ m^2$ سطح مقطع سیم پیچ و Δt مدت زمان تغییر جریان از I+ به I- می باشد. حال اگر جریان القایی ایجاد شده در سیم پیچ ثانویه را به داخل گالوانومتر بالستیک هدایت نماییم، می توانیم انحراف لکه روشن را مشاهده و بزرگی نیرو محرکه القایی را اندازه گیری نماییم:

$$\varepsilon = K\theta \qquad (۶)$$

ثابت تناسب K به مشخصات گالوانومتر و مقدار مقاومت مدار ثانویه بستگی دارد . می توان مقدار K را به طریق تجربی اندازه گیری نمود. از مقایسه روابط (۵) و (۶) معادله زیر به دست می آید :

$$N'A\frac{2B}{\Delta t} = K\theta \Rightarrow B = \frac{K\Delta t}{2N'A}\theta \qquad (۷)$$

اگر در رابطه (۷) مقدار K محاسبه شود ، با معلوم بودن سایر مقادیر، میدان مغناطیسی B به دست می آید.

برای اندازه‌گیری ضریب K (مدرج کردن گالوانومتر بالستیک) از سیم پیچ استاندارد استفاده می نماییم. این سیم پیچ بدون هسته آهنی($\vec{M} = ۰$) و دارای تعداد دورهای اولیه و ثانویه مساوی می باشد. با قرار دادن این سیم پیچ در مدار و اعمال جریان مشخص I_0 در مدت زمان Δt و اندازه گیری θ_0 مقدار K به دست می آید. در آزمایش ۷ با شکل دیگری از رابطه القاء فاراده آشنا شده اید. این رابطه وجود نیرو محرکه القایی را بر اساس تغییرات جریان نشان می دهد. با تغییر جریان از .I+ به .I- ، می توان رابطه القاء فاراده را به شکل زیر نوشت:

$$\varepsilon = -M\frac{dI}{dt} = \frac{2MI_0}{\Delta t} \qquad (۸)$$

M ضریب القاء متقابل دو سیم پیچ نسبت به یکدیگر می باشد. از مقایسه روابط (۶) و (۸) مقدار K به دست می آید.

$$K\theta_0 = \frac{2MI_0}{\Delta t} \Rightarrow K = \frac{2MI_0}{\Delta t\theta_0} \qquad (۹)$$

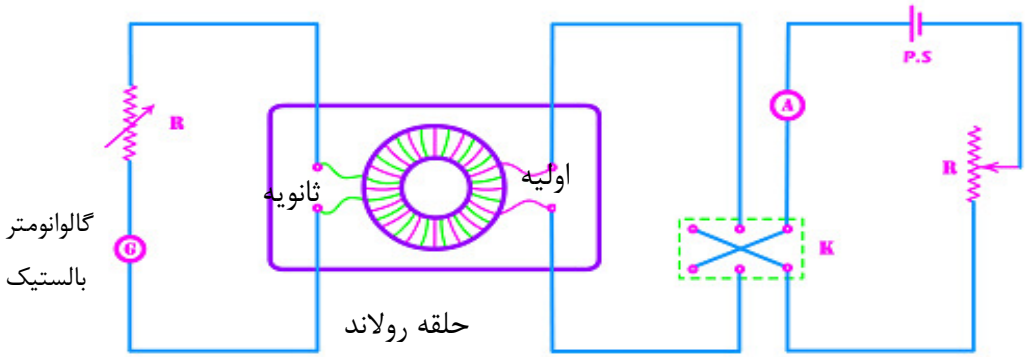
با قرار دادن مقدار K در معادله (۷) مقدار B به صورت زیر خواهد شد :

$$B = \frac{MI_0}{N'A\theta_0}\theta = \lambda\theta \qquad (۱۰)$$

مقدار λ پس از مدرج کردن گالوانومتر ضریب ثابتی می باشد.

روش آزمایش

ابتدا مدار زیر را ببندید. دقت کنید که جهت ورود جریان به داخل آمپر متر از سر مثبت آن باشد. مقاومت متغیر رئوستا را در



شکل (۱)

بیشترین مقدار قرار داده و جریان را به وسیله کلید سه طرفه در سیملوله اولیه برقرار نمایید. ولوم منبع تغذیه را تا آخرین حد آن قرار دهید. به تدریج مقاومت رئوستا را کاهش داده تا آمپرمتر جریان ۱/۵ آمپر را نشان دهد. سپس با تغییر حالت کلید، جریان القایی ایجاد شده را به داخل گالوانومتر بالستیک هدایت کرده و مقدار انحراف آن را بررسی نمایید. در صورتی که لکه نورانی از صفحه خارج شد با افزایش مقاومت R در مدار ثانویه، انحراف لکه را کنترل نموده تا در داخل محدوده مدرج قرار گیرد. این تنظیمات اولیه دستگاه می باشد و باید تا آخر آزمایش بدون تغییر باقی بماند. حال با کاهش ولوم منبع تغذیه مقادیر جریان را مطابق جدول قرار دهید. مترونم را فعال کرده وکلید را همزمان با تناوب صدای مترونم دائما تغییر جهت دهید.

به ازای هر یک از مقادیر جریان، مقدار انحراف لکه گالوانومتر $(\theta_R - \theta_L)$ را بر حسب میلیمتر یادداشت نمایید. (θ_R) مقدارانحراف به سمت راست و (θ_L) مقدار انحراف به سمت چپ می باشد.

- مدرج کردن گالوانومتربالستیک :

برای مدرج کردن گالوانومتر بالستیک (اندازه گیری ضریب K)، از سیم پیچ استاندارد استفاده می نماییم. جریان را بر روی ۰/۲ آمپر تنظیم نموده و θ. را به دست آورید.

با استفاده از اطلاعات مربوط به سیم پیچ ثانویه($A= ۷۵\times ۱۰^{-۶}\ m^2$ ، $M=۱۰mH$) و θ. و I_0 مقدار ضریب ثابت λ را از رابطه (۱۰) محاسبه کرده و ستون مربوط به مقادیر B را تکمیل کنید.

توجه: در این آزمایش به تبدیل واحدهای اندازه گیری کاملا توجه نمایید.

$I\,(A)$	$\theta\,(cm)$	$H\,(A/m)$	$B=\lambda\theta$ *(tesla)*	$\mu\,(H)=B/H$
۰/۰۵				
۰/۱				
۰/۱۵				
۰/۲۰				
۰/۲۵				
۰/۳۰				
۰/۳۵				
۰/۴۰				
۰/۴۵				
۰/۵۰				
۰/۶				
۰/۷				
۰/۸۰				
۰/۹				
۱				
۱/۱				
۱/۲				
۱/۳				
۱/۴				
۱/۵				

اندازه گیری از روی سیم پیچ استاندارد:

$\theta_{.} = \ldots$ (cm)

نمودار (B-H) و (μ -H)را در یک نمودار رسم کنید تا تغییرات و وابستگی آنها را به طور همزمان بررسی نمایید. نمودار B-H "*منحنی مغناطش ماده*" نام دارد.

سوالات:

۱- چرا تنها در لحظات قطع و وصل کلید، گالوانومتر بالستیک جریانی را در مدار ثانویه نشان می دهد؟

۲- اگر هسته آهنی در داخل سیم پیچ وجود نداشت منحنی B-H به چه شکل می بود؟

۳- در اواخر آزمایش هنگامی که جریان از ۱ آمپر تجاوز می کند، تغییر H تغییر زیادی را در B ایجاد نخواهد کرد. علت این امر چیست؟

۴- پس از رسم منحنی μ نسبت به H به این نتیجه می رسید که ضریب نفوذ μ هسته آهنی مقدار ثابتی نمی باشد. توجیه فیزیکی این مورد چیست؟

۵- با توجه به اینکه (θ)زاویه انحراف می باشد، آیا اندازه گیری انحراف لکه گالوانومتر بر حسب میلیمتر صحیح می باشد؟چرا؟

۶- چرا با گذاشتن هسته آهنی جریان القائی در سیم پیچ ثانویه افزایش می یابد؟

۷- چرا در ابتدای آزمایش، مقدار جریان با گامهای ۰/۰۵ آمپر افزایش می یافت؟

۸- در ایجاد میدان B چه عاملی بیشترین اثر را دارد؟

۹- نقش مترونم در طول آزمایش چیست؟