



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دانشکده مهندسی انرژی و فیزیک

دستور کار آزمایشگاه فیزیک ۲

مهرداد صالحیان تهیه و تنظیم:

سید محسن حسینی

سال تحصیلی ۹۸-۹۷

فهرست آزمایش های آزمایشگاه فیزیک 2

3	مقدمه
5	آزمایش 1: تعیین مقاومت درونی منبع تغذیه
7	آزمایش 2: تعیین مقاومت درونی ولتمتر
9	آزمایش 3: تحقیق قوانین کریشهف
12	آزمایش 4: پل وتسون
16	آزمایش 5: خازن 1
21	آزمایش 6: خازن 2
26	آزمایش 7: اسیلوسکوپ
34	آزمایش 8: تحقیق قانون القای فارادی
38	آزمایش 9: اندازه گیری میدان مغناطیسی زمین
42	آزمایش 10: مگنتومتر
46	آزمایش 11: مدارهای RC ، RL و RLC

آزمایشگاه فیزیک 2 مشتمل بر تعداد 11 آزمایش است که بر اساس مباحث الکترومغناطیس کتاب فیزیک 2 تدوین شده است.

در طول ترم به نکات زیر توجه نمایید:

با توجه به عملی بودن این درس، غایبت بیش از یک جلسه منجر به حذف واحد آزمایشگاه می‌گردد. در صورت بروز غایبت موجه با هماهنگی مرتبه در اسرع وقت به آزمایشگاه مراجعه و آزمایش معوقه را جبران نمایید. عدم مراجعت و جبران آزمایش موجب محرومیت از امتحان عملی می‌گردد. برای این آزمایشگاه دفترچه گزارش کار تهیه شده که شامل دو بخش-1 و بخش-2 می‌باشد. که باید بخش-1 (پیش گزارش) قبل از جلسه آزمایش و بخش-2 (نتایج آزمایش) در جلسه بعد آزمایش، تنظیم و تحويل مرتب گردد. تاخیر در تحويل گزارش کار موجب کسر نمره می‌گردد.

گزارش کار باید با خود کار تنظیم و منحنی‌ها با مداد ترسیم گردد (پرینت قابل قبول نیست).

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

محاسبه خطای

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

خطای وسایل اندازه‌گیری

ما با وسایل اندازه‌گیری گوناگونی در کارهای آزمایشگاهی روبرو هستیم. مثل خط کش، زمان سنج، آمپرmetr، ولت متر و غیره که بعضی از آنها بصورت آنالوگ (عقربه‌ای) و بعضی بصورت دیجیتال (رقمی) هستند.

1- خطای دستگاه آنالوگ

کوچک ترین مقداری که توسط هر دستگاه مدرج شده قابل اندازه‌گیری می‌باشد، دقت وسیله اندازه‌گیری یا خطای درجه بندی دستگاه نام دارد. به این معنا که وسیله ما قابلیت اندازه‌گیری مقادیر بین هر یک از کوچکترین این قسمت‌ها را ندارد.

مثال: فرض کنید در کار با یک آمپرmetr عقربه‌ای، خطای درجه بندی دستگاه $\Delta I = 0.005$ آمپر باشد. اگر عقربه آمپرmetr بین 0.015 و 0.020 آمپر قرار گیرد، نمی‌توان نتیجه ای بین این دو مقدار را قرائت نمود. در این حالت مقدار جریان با توجه به نزدیکی عقربه آمپرmetr به یکی از دو حد بالا یا پایین، اعلام می‌شود. مثلاً "تصویرت زیر اعلام می‌شود:

$$(0.015 \pm 0.005)A$$

در حین استفاده از این وسایل اندازه‌گیری، به کالیبره بودن آنها نیز باید توجه داشت.

2- وسایل اندازه‌گیری دیجیتال

این وسایل، صفحه نمایشی دارند که کمیت مورد نظر را به صورت یک عدد ارائه می‌دهند.

در رقم آخر این وسایل ابهامی وجود دارد که می‌توان خطای آنها را برابر کوچکترین مقداری که می‌توانند نشان دهند (مرتبه اوین رقم سمت راست) قرار داد.

مثال: اختلاف پتانسیل یک باطری را با یک ولتmetr دیجیتالی 1.426 ولت می‌خوانیم در نتیجه خطای آن برابر 0.001 ولت می‌باشد.

$$(1.426 \pm 0.001)V$$

خطای آزمایشگاه

برای کاهش این خطای آزمایش را چندین بار تکرار می‌کنیم. سپس میانگین مقادیر به دست آمده اعلام می‌گردد. خطای آزمایش عبارت است از تفاوت مقدار اندازه‌گیری شده x_i با مقدار میانگین \bar{x} .

$$\Delta x_i = x_i - \bar{x}$$

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

$$\overline{\Delta x} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_n}{n}$$

خطاهای را این گونه محاسبه می‌کنیم:

خطای مطلق

با توجه به اینکه هرگز نمی‌توان به مقدار واقعی کمیت دست یافت، بنابراین نمی‌توان 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 ($\Delta x_i = |x_i - \bar{x}|$) به حساب می‌آوریم.

اکنون می‌توان نوشت:

$$\bar{x} - \Delta x < x < \bar{x} + \Delta x$$

خطای نسبی

خطای مطلق به تنهایی نمی‌تواند دقت اندازه گیری را نشان دهد، بلکه باید نسبت به کمیت مورد اندازه گیری بررسی شود. این خطا بدون بعد است و هرچه مقدار آن کمتر باشد، دقت اندازه گیری بیشتر خواهد بود.

گاهی خطای نسبی را با درصد بیان می‌کنند.

$$\% \text{ خطای نسبی} = \frac{\Delta x}{x} \times 100$$

محاسبه خطای نسبی با استفاده از دیفرانسیل لگاریتمی

می‌دانیم که اگر $x = \ln a$ باشد، مقدار دیفرانسیل آن برابر است با :

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

طرف راست رابطه بالا خطای نسبی کمیت a می‌باشد. پس می‌توان برای محاسبه خطای نسبی یک کمیت از طرفین آن لگاریتم گرفته و سپس دیفرانسیل گیری نماییم. مثلاً اگر داشته باشیم $x = a/b$ ، برای تعیین خطای نسبی چنین عمل می‌کنیم:

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

علامت دیفرانسیل را به Δ تبدیل می‌کنیم. برای محاسبه ماکریتم مقدار خطا و به دلیل اطلاع نداشتن از علامت جبری آن، علامت منفی را به مثبت تغییر می‌دهیم.

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

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

آزمایش 1 : تعیین مقاومت درونی منبع تغذیه

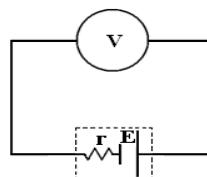
هدف آزمایش: اندازه گیری مقاومت درونی منبع تغذیه

وسایل مورد نیاز: منبع تغذیه DC، ولتمتر، مقاومت های زیر 10 اهم، سیم های رابط

تئوری آزمایش: برای یک منبع تغذیه داریم:

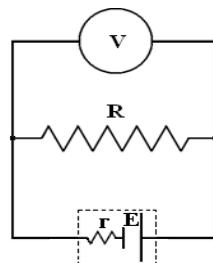
$$E = V + rI \quad (1)$$

که در آن E نیروی محرکه¹ منبع تغذیه، r مقاومت درونی آن است. اختلاف پتانسیل دو سر مولد وقتی با نیروی محرکه برابر است که $I=0$ باشد و یا $E=V$ باشد. در حالت دوم اگر $I=0$ باشد طبعاً "جريانی از مدار نمی گذرد یعنی مدار باز است و $E=V$ می شود.



شکل 1: تعیین نیروی محرکه منبع تغذیه

پس برای این که نیروی محرکه منبع تغذیه را اندازه بگیریم کافی است که دو قطب آن را مستقیماً به ولتمتر وصل کرده و نیروی محرکه مولد را بخوانیم.



شکل 2: مدار مقاومت درونی منبع تغذیه

با نوشتن قانون KVL در شکل 2 داریم:

$$E = (r + R)I \quad (2)$$

اگر در رابطه (1) به جای I ، مقدار $I = \frac{V}{R}$ را قرار دهیم:

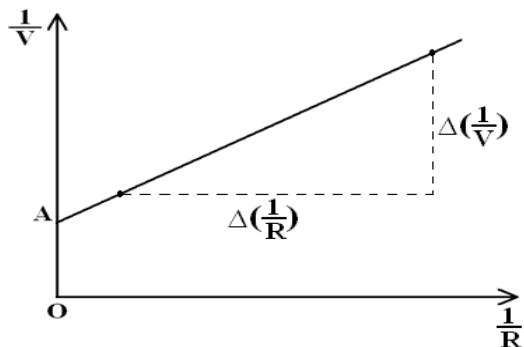
$$E = V + r \left(\frac{V}{R} \right) \quad (3)$$

طرفین رابطه فوق را بر V تقسیم می کنیم.

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{E} + \left(\frac{r}{E} \right) \frac{1}{R} \quad (4)$$

با توجه به معادله (4) اگر نمودار $\frac{1}{V}$ را بر حسب $\frac{1}{E}$ رسم کنیم، با توجه به این که r و E مقادیر ثابتی هستند، منحنی بدست آمده یک خط راست می شود، که از مرکز نمی گذرد.

¹ electromotive force



شکل 3: منحنی $\frac{1}{V}$ بر حسب $\frac{1}{R}$

با توجه به شکل 3، عرض از مبدأ آن روی محور $O\frac{1}{V}$ (یعنی A) همان $\frac{1}{E}$ است.

روش آزمایش:

- ابتدا منبع تغذیه را روشن کرده، نیروی محرکه منبع تغذیه (E) را با نظر مربی آزمایشگاه روی عدد مشخص قرار دهید (مطابق شکل 1).
- سپس مدار شکل 2 را بسته، مقاومت های مختلف زیر 10 اهم را در مدار قرار داده هر بار V مربوطه را اندازه بگیرید، جدول زیر را پر کرده و r را با استفاده از رابطه $r = \frac{(E-V)R}{V}$ بدست آورده و میانگین بگیرید. میانگین خطای مطلق را محاسبه و حاصل مقاومت درونی منبع تغذیه \bar{r} را گزارش کنید.
- نمودار $\frac{1}{V}$ را بر حسب $\frac{1}{R}$ روی کاغذ میلیمتری رسم کرده و با استفاده از شبیخ ط مقدار مقاومت درونی منبع تغذیه r را تعیین کنید.

جدول 1

$E \pm \Delta E = \dots \pm \dots$					
$R \pm \Delta R(\Omega)$	V(v)	$\frac{1}{R}(\Omega^{-1})$	$\frac{1}{V}(v^{-1})$	$r(\Omega)$	$\bar{r} \pm \Delta \bar{r}(\Omega)$

سؤالات:

1- چرا در این آزمایش از مقاومتهای کوچک (زیر 10 اهم) استفاده می شود؟

2- آیا سلکتور منبع تغذیه را تغییر دهیم مقاومت درونی منبع تغذیه تغییر می کند؟

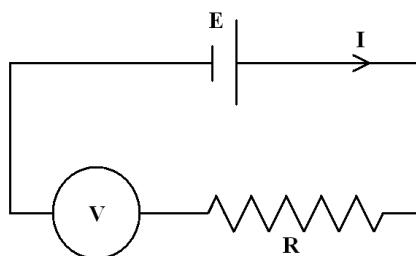
3- آیا با اهم متر می توانیم مقاومت درونی منبع تغذیه را به طور مستقیم اندازه گیری کنیم؟

آزمایش 2 : تعیین مقاومت درونی ولتمتر

هدف آزمایش: اندازه گیری مقاومت درونی ولتمتر

وسایل مورد نیاز: ولتمتر، منبع تغذیه DC، چند مقاومت، سیم های رابط

تئوری آزمایش: با توجه به مدار شکل 1 یک منبع تغذیه با نیروی الکتروموتوری E و مقاومت درونی $0 \approx r$ با یک ولتمتر که دارای مقاومت درونی R_V است و با یک مقاومت تقریباً "بزرگ" R به طور سری بسته شده است را در نظر می گیریم.



شکل 1: مدار مقاومت درونی ولتمتر

با توجه به قانون دوم کریشهف می توانیم بنویسیم:

$$E = V + RI \quad (1)$$

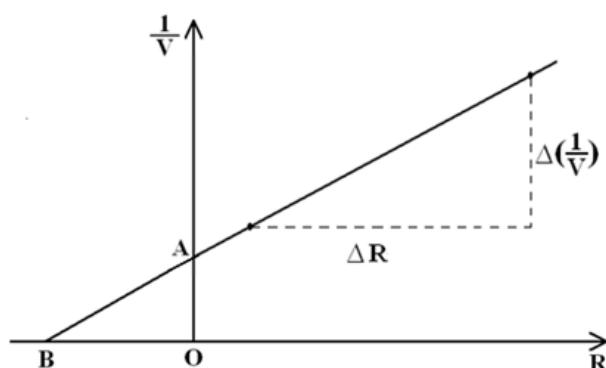
در اینجا V همان ولتاژی است که ولتمتر نشان می دهد، به عبارت دیگر V اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت درونی ولتمتر است، اگر در رابطه (1) به جای I مقدار $I = \frac{V}{R_V}$ را قرار دهیم:

$$E = V + R \frac{V}{R_V} \quad (2)$$

طرفین رابطه فوق را بر E تقسیم می کنیم:

$$\frac{1}{V} = \frac{1}{E} + \left(\frac{1}{R_V} \right) R \quad (3)$$

اگر منحنی $\frac{1}{V}$ را بر حسب R رسم کنیم، با توجه به این که E و R_V مقادیر ثابتی هستند، منحنی بدست آمده یک خط راست می شود، که از مرکز نمی گذرد.



شکل 2: منحنی $\frac{1}{V}$ بر حسب R

با توجه به شکل 2، OB از نظر عددی برابر مقاومت درونی ولتمتر ($R_V = |OB|$) است و عرض از مبدأ آن روی محور $\frac{1}{V}$ (یعنی OA)، همان $\frac{1}{E}$ است.

روش آزمایش:

- مداری را مطابق شکل 1 بیندید.
- نیروی محرکه منبع تغذیه را با نظر مربی آزمایشگاه روی عدد مشخص قرار دهید.
- مقدار مقاومت های داده شده را با استفاده از کد های رنگی بخوانید و در جدول زیر ثبت نمائید.
- به ازای مقاومتهای مختلفی که وارد مدار می نمایید، ولتاژ ولتمتر را قرائت کرده و در جدول زیر ثبت کنید.
- مقاومت درونی ولتمتر را با استفاده از روش محاسباتی (میانگین کمیت و میانگین خطای مطلق، $\overline{R_V} \pm \overline{\Delta R_V}$) گزارش کنید و درون جدول ثبت کنید.
- نمودار $\frac{1}{V}$ را بر حسب R روی کاغذ میلیمتری رسم کرده و از روی نمودار مقدار مقاومت درونی ولتمتر R_V (طول از مبدأ) را گزارش کنید.
- بار دیگر با معلوم بودن E ، مقاومت درونی ولتمتر (R_V) را با استفاده از شیب خط گزارش کنید.

جدول 1

$E \pm \Delta E = \dots \pm \dots$				
$R \pm \Delta R(M\Omega)$ (کد رنگی)	V(v)	$\frac{1}{V}(v^{-1})$	$R_V(M\Omega)$	$\overline{R_V} \pm \overline{\Delta R_V}(M\Omega)$

سوالات:

1- چرا مقاومت R در مدار شکل 1 باید خیلی زیاد باشد؟

آزمایش 3: تحقیق قوانین کریشهف

هدف آزمایش: بکار بردن قوانین کریشهف در مدارهای الکتریکی

وسایل مورد نیاز: منبع تغذیه DC (دو عدد)، مقاومت (سه عدد)، آوومتر (مولتی متر)، سیم های رابط

تئوری آزمایش: برای پیدا کردن شدت جریان و اختلاف پتانسیل در مداراتی که پیچیده هستند، می‌توان از قوانین کریشهف استفاده کرد. قبل از هر چیز دو اصطلاح را که در شبکه به کار می‌رود تعریف می‌کنیم.

۱-انشعاب: انشعاب (گره) نقطه‌ای است که سه (یا بیشتر) سیم در آن به هم وصل شده باشد.

۲-مسیر بسته: مسیری است که بر روی سیم های شبکه از نقطه‌ای شروع و به همان نقطه ختم شود.

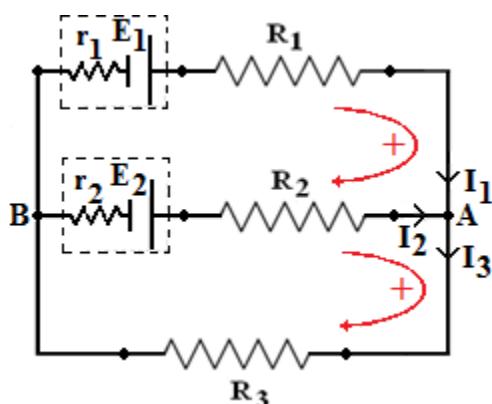
قانون اول کریشهف (قضیه گره): در هر گره، جمع جبری جریانها صفر است.

$$\sum I_i = 0$$

قانون دوم کریشهف (قضیه حلقه): جمع جبری نیروهای الکتروموتوری در هر مسیر بسته برابر جمع جبری حاصل ضرب های شدت جریان و مقاومت در آن مسیر است.

$$\sum E = \sum RI$$

برای نوشتن قانون اول، اگر جریان وارد گره شود مثبت و اگر از گره خارج شود، منفی در نظر می‌گیریم (یا برعکس). برای نوشتن قانون دوم ابتدا یکی از جهات چرخش را به عنوان جهت مثبت اختیار می‌کنیم. در محاسبات همه جریانها و نیروهای الکتروموتوری را که هم جهت با جهت مفروض باشند مثبت و آنها را که مخالف جهت مذکورند منفی به حساب می‌آیند. برای مثال قوانین کریشهف را برای مدار شکل ۱ می‌نویسیم.



شکل ۱: مدار کریشهف

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

$$\sum E = \sum RI \quad : \quad E_1 - E_2 = R_1 I_1 + r_1 I_1 - R_2 I_2 - r_2 I_2$$

$$E_2 = R_2 I_2 + r_2 I_2 + R_3 I_3$$

به این ترتیب سه معادله و سه مجهول داریم که با حل آنها I_1 , I_2 و I_3 را بدست می‌آوریم.

روش آزمایش:

- مداری مطابق شکل 1 را تشکیل دهید.

تندکر: قبل از اتصال مدار به منبع اصلی الکتریسیته برای جلوگیری از سوختن آوومتر و یا خسارات دیگر، مدار مربوطه را به مرتب آزمایشگاه نشان دهید.

- سه مقاومت داده شده را با استفاده از کد های رنگی بخوانید، و با کمک یک ولتمتر اختلاف پتانسیل دو سر منبع تغذیه V_1 و V_2 را در حالتی که مدار بسته است اندازه بگیرید و در جدول 1 ثبت کنید. توجه داشته باشید برای یک منبع تغذیه (و یا باطری) رابطه $E = V + rI$ برقرار است.

- جریان هر شاخه را با توجه به قانون اهم $I = \frac{V}{R}$ محاسبه کنید. برای انجام اینکار با موازی قراردادن ولتمتر با مقاومت مربوطه، اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت را تعیین کنید. محدوده خطای جریان را با استفاده از روش لگاریتمی $\Delta I = I \left(\frac{\Delta V}{V} + \frac{\Delta R}{R} \right)$ محاسبه کنید، و در جدول 2 ثبت نمایید، و از آنجا قانون اول را برای گره A تحقیق کنید.

- جریانهای I'_1 ، I'_2 و I'_3 را با سری قراردادن آمپرmetr با مقاومت های R_1 ، R_2 و R_3 از روی آمپرmetr بخوانید، و در جدول 3 ثبت کنید. قانون اول را برای نقطه A و قانون دوم را برای حلقه های 1 و 2 تحقیق نمایید.

- با توجه به مقادیر جدول 1 که اندازه گرفته اید، سه معادله بر حسب II' تشکیل داده و جریانها را محاسبه کنید و در جدول شماره 4 بنویسید.

- نتایج محاسبه شده از روش سه معادله و سه مجھول را با نتایج اندازه گیری شده از روش های قبلی مقایسه کرده و اختلاف درصد آنها را محاسبه کنید و در جدول 5 ثبت نمایید.

جدول 1: مقادیر معلوم

$R_1 \pm \Delta R_1(\Omega)$ (کد رنگی)	$R_2 \pm \Delta R_2(\Omega)$ (کد رنگی)	$R_3 \pm \Delta R_3(\Omega)$ (کد رنگی)	$V_1 \pm \Delta V_1(v)$	$V_2 \pm \Delta V_2(v)$

جدول 2: تحقیق قوانین کریشهف با استفاده از نتایج قانون اهم

$V_{R1} \pm \Delta V_{R1}(v)$	$V_{R2} \pm \Delta V_{R2}(v)$	$V_{R3} \pm \Delta V_{R3}(v)$	$I_1 \pm \Delta I_1(mA)$	$I_2 \pm \Delta I_2(mA)$	$I_3 \pm \Delta I_3(mA)$	$I_1 + I_2 - I_3$

جدول 3: تحقیق قوانین کریشهف با استفاده از اندازه گیری مستقیم

$I'_1 \pm \Delta I'_1(mA)$	$I'_2 \pm \Delta I'_2(mA)$	$I'_3 \pm \Delta I'_3(mA)$	$I'_1 + I'_2 - I'_3$	$V_1 - V_2 - R_1 I'_1 + R_2 I'_2$	$V_2 - R_2 I'_2 - R_3 I'_3$

جدول 4: روش سه معادله و سه مجهول

I_1'' (mA)	I_2'' (mA)	I_3'' (mA)

جدول 5: مقایسه نتایج

$\frac{ I_1'' - I_1' }{I_1'} \times 100$	$\frac{ I_2'' - I_2' }{I_2'} \times 100$	$\frac{ I_3'' - I_3' }{I_3'} \times 100$
$\frac{ I_1'' - I_1' }{I_1'} \times 100$	$\frac{ I_2'' - I_2' }{I_2'} \times 100$	$\frac{ I_3'' - I_3' }{I_3'} \times 100$

• سوالات:

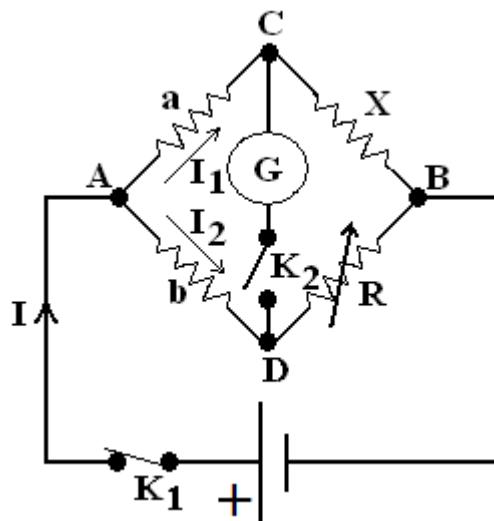
۱- قوانین کریشیف در حل معادلات مدار چه کمکی به ما می کنند؟

آزمایش 4: پل و تستون

هدف آزمایش: اندازه گیری مقاومت مجهول با استفاده از پل و تستون

وسایل آزمایش: جعبه پل و تستون، گالوانومتر، مقاومت مجهول، باتری، سیم های رابط

تئوری آزمایش: یکی از روش های بسیار دقیق اندازه گیری مقاومت، استفاده از جعبه پل و تستون می توان مقاومت های 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 و تستون در شکل(1) استفاده می شود.



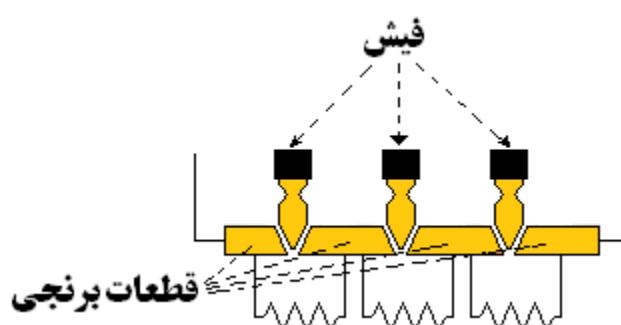
شکل 1: مدار پل و تستون

a و b مقاومتهای معلوم، R مقاومت متغیر و X مقاومت مجهول می باشد. بعد از اتصال کلیدهای k₁ و k₂ مسلماً "از گالوانومتر G جریانی عبور خواهد کرد. اگر با تغییر مقاومت متغیر R، گالوانومتر جریان صفر را نشان دهد، پتانسیل نقطه C و D با یکدیگر برابر بوده و می توان مقاومت مجهول را با استفاده از روابط ولتاژ شاخه های موادی محاسبه نمود:

$$\begin{aligned} V_C &= V_D \\ \left\{ \begin{array}{l} V_A - V_C = V_A - V_D \Rightarrow aI_1 = bI_2 \\ V_B - V_C = V_B - V_D \Rightarrow XI_1 = RI_2 \end{array} \right. \\ \Rightarrow X &= \frac{a}{b}R \end{aligned}$$

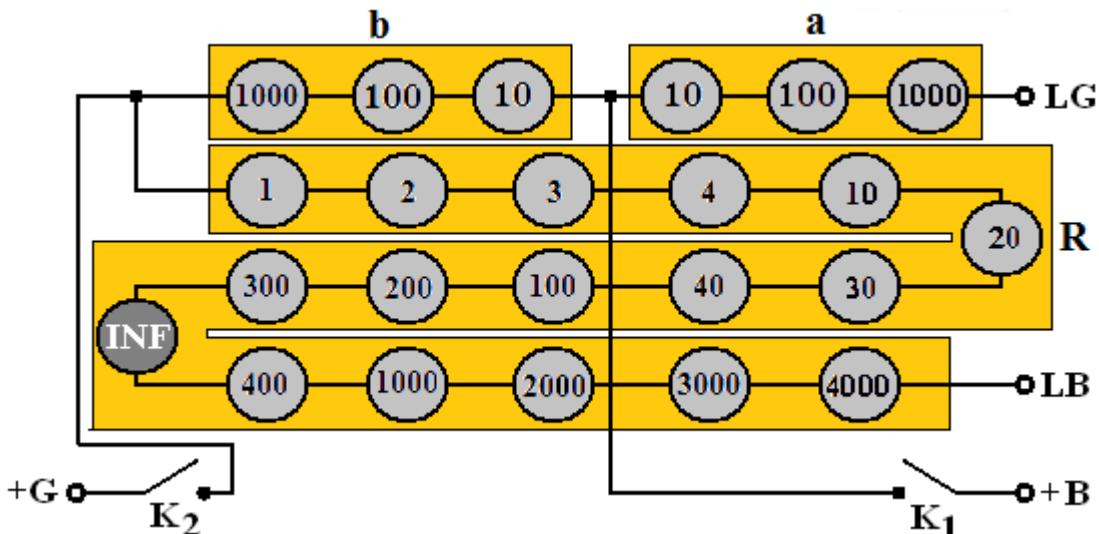
این معادله، رابطه اصلی پل و تستون در شرایط تعادل می باشد.

در جعبه پل و تستونی 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 (مهره برنجی) را که بر می دارد مقاومت مربوط به آن وارد مدار می شود.



شکل 2: ساختار داخلی دستگاه

در شکل 3 مقاومت های a ، b و R و نیز کلیدهای k_1 و k_2 در جعبه پل و تستون نشان داده شده اند. مقاومت a در بالای جعبه سمت راست، b بالای جعبه سمت چپ و مقاومت متغیر R در زیر آنها قرار دارند. مقاومتهای a و b می توانند مقادیر 100, 10 و 1000 اهم و مقاومت متغیر R می تواند از 1 تا 11110 اهم را اختیار نماید.



شکل 3: موقعیت مقاومتهای a ، b و R و نیز کلیدهای k_1 و k_2 روی دستگاه پل و تستون

روش آزمایش

الف) پل و تستون

امتحان مدار

- مداری مطابق شکل 1 را بیندید و از مقاومت های a و b دو مقدار دلخواه 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 مجدداً 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 گونه ای 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 (1) مقدار مقاومت مجھول 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 0.01، 0.1، 1 اختیار می شود. با توجه به محدوده مقاومت مجھول بایستی بهترین و دقیق ترین نسبت a/b را اختیار کرد. طبق رابطه (1)، اگر نسبت $a/b=0.01$ باشد، مقدار مقاومت های مجھول در محدوده 0.01 تا 111.10 اهم با دقت یکصدم اعشار قابل اندازه گیری می باشند. برای اندازه گیری مقاومتهای بیش از این مقدار باید نسبت a/b را تغییر داد (بیشتر کرد). به طور مثال برای اندازه گیری مقاومت مجھول 1200 اهم باید از نسبت $a/b=1$ استفاده کرد.
- مقدار مقاومتهای مجھول X_1 و X_2 که در اختیار دارید را با استفاده از کد رنگی خوانده و در جدول زیر ثبت کنید.
- مقدار مقاومتهای X_p و X_s را با استفاده از روابط زیر محاسبه کنید.

$$\begin{cases} X_s = X_1 + X_2 \\ \frac{1}{X_p} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} \end{cases}$$

- خطای مطلق آنها را با استفاده از روش لگاریتمی به دست آورید و آنها را بصورت زیر گزارش کنید (در جدول ثبت کنید).

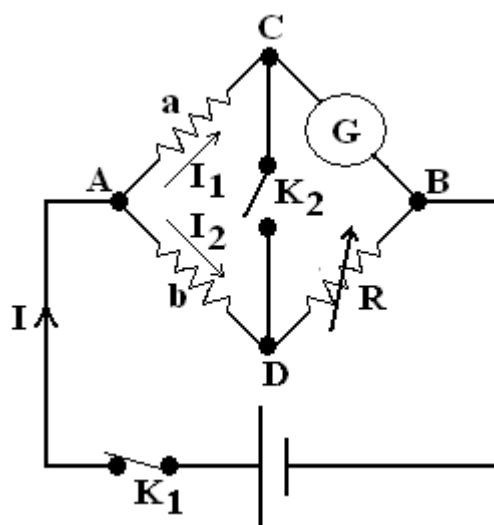
$$\begin{cases} X_s \pm \Delta X_s (\Omega) \\ X_p \pm \Delta X_p (\Omega) \end{cases}$$

- بار دیگر مقدار مقاومتهای مجهول X_1, X_s, X_2 و X_p را با استفاده از دستگاه پل و تستون اندازه گیری نمایید و در جدول زیر ثبت کنید.

	$X \pm \Delta X(\Omega)$ (کد رنگی - تئوری)	$\frac{a}{b}$	$R(\Omega)$	$\frac{a}{b} R \pm \Delta X$ (دستگاه پل و تستون)
X_1				
X_2				
X_s				
X_p				

ب) اندازه گیری مقاومت درونی گالوانومتر-پل کلوین

- مدار شکل (4) را بیندید. مقادیر $b=a=1000$ را اختیار نمایید.



شکل 4. مدار پل کلوین

- کلید K_1 را بیندید تا عقریه گالوانومتر منحرف شود. مقدار جریان گالوانومتر را قرائت نمایید. سپس مقدار مقاومت R را آن قدر تنگیز دهید تا در هر بار پس از برقراری اتصال کلید K_1 و K_2 ، گالوانومتر همان جریان اولیه، ناشی از اتصال کلید K_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.

- خطای مطلق آن را با استفاده از روش لگاریتمی به دست آورید و آن را بصورت زیر گزارش کنید.

$$X_G \pm \Delta X_G(\Omega)$$

سؤالات:

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

2-چهار مقاومت داریم که به ترتیب در حدود ۰.۴، ۸، ۱۵۹ و ۴۴۰۰ اهم می باشند. بهترین نسبت a/b را برای اندازه گیری این مقاومت ها تعیین کنید.

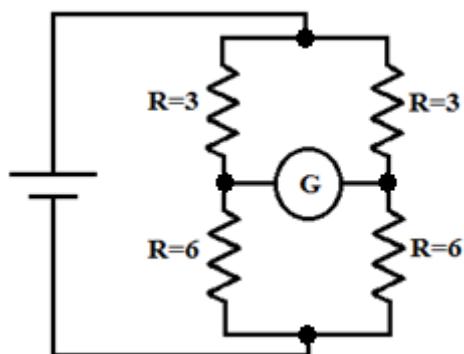
3-در صورتی که حداقل مقادیر مقاومت متغیر قادر به صفر کردن جریان آمپرمتر نباشد، چه راهکاری را پیشنهاد می کنید؟

4-نشان دهید هر گاه پل و تستون در حال تعادل باشد و جریانی از گالوانومتر عبور ننماید، اگر جای گالوانومتر و باتری با هم عوض شود، در این حالت نیز جریانی از گالوانومتر عبور نخواهد کرد.

5-در اندازه گیری مقاومت درونی گالوانومتر، مقادیر a و b برابر ۱۰۰۰ اهم اختیار شدند. علت را توضیح دهید.

6-چگونگی برقراری شرط تعادل را در مدار شکل (4) به طور کامل شرح دهید.

7-آیا شرط تعادل پل و تستون برای مدار زیر برقرار می باشد؟ چرا؟



آزمایش 5: خازن 1

هدف آزمایش: اندازه گیری ظرفیت خازن و بررسی تاثیر اندازه صفحات خازن، فاصله صفحات و دی الکتریک بین آن

وسایل آزمایش: منبع تغذیه DC، صفحات فلزی در ابعاد مختلف، عایق پلاستیک و شیشه ای، کلید چاقوئی(دو طرفه)، بارسنج و ولتمتر مربوط به آن، ولتمتر، مقاومت استاندارد $M\Omega$ 1، سیم های رابط، گیره، پایه و ریل

تئوری آزمایش: خازن المانی الکتریکی است که می تواند انرژی الکتریکی را توسط میدان الکترواستاتیکی، در خود ذخیره کند. انواع خازن در مدارهای الکتریکی به کار می روند. ساختمان داخلی خازن از دو قسمت اصلی تشکیل می شود: صفحات هادی و عایق بین هادیها (دی الکتریک).

ساختمان خازن

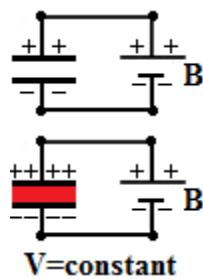
هرگاه دو هادی در مقابل هم قرار گرفته و در بین آنها عایقی قرار داده شود، با برقراری ولتاژ مناسب خازن تشکیل می شود. این ساده ترین شکل خازن می باشد. مقدار بار ذخیره شده بر روی صفحات متناسب با اختلاف پتانسیل دو سر صفحات می باشد($q\alpha V$). می توان این تناسب را به صورت رابطه:

$$C = \frac{Q}{V} \quad (1)$$

نمایش داد. C ظرفیت خازن نام دارد و واحد آن کولن بر ولت یا فاراد (F) می باشد. هرگاه اختلاف پتانسیل 1 ولت به دو سر خازن اعمال شود و بار ذخیره شده بر روی آن 1 کولن باشد، در آن صورت ظرفیت خازن 1 فاراد خواهد بود. ظرفیت های کوچکتر از فاراد عبارت اند از:

$$\begin{cases} 1\mu F = 10^{-6}F \\ 1nF = 10^{-9}F \\ 1pF = 10^{-12}F \end{cases}$$

ممولاً صفحات هادی خازن از جنس آلومینیوم، روی و نقره با ابعاد نسبتاً "بزرگ" بوده و در بین آنها عایقی(دی الکتریک) از جنس هوا، کاغذ، میکا، پلاستیک، سرامیک، اکسید آلومینیوم و یا اکسید تانتالیوم استفاده می شود. 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 در عایق 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 مولکول های عایق و یا هوا بین صفحات خازن یونیزه شده و تخلیه الکتریکی صورت می گیرد. این پدیده را "شکست دی الکتریک" می نامند.



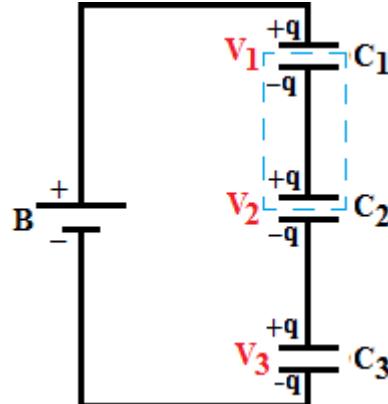
شکل 1

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

$$c = k\epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2)$$

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

خازن های سری: هرگاه خازن ها را به طور متواالی به یکدیگر متصل نماییم، تنها دو صفحه دو طرف مجموعه به مولد بسته شده و از مولد بار دریافت می کنند. صفحات مقابله 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 سر مدار برابر مجموع ولتاژ هر یک از خازن ها می باشد.



شکل 2

$$q = q_1 = q_2 = q_3 \quad (3)$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

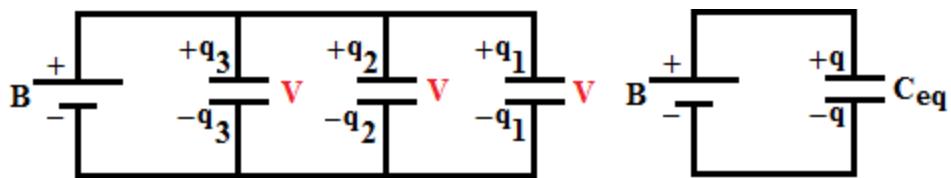
با توجه به روابط (1) و (3) می توان رابطه ظرفیت معادل خازنهای سری را در حالت سری به صورت زیر به دست آورد:

$$\frac{q}{C} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3} \quad (4)$$

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2 + C_1 C_3 + C_2 C_3}{C_1 C_2 C_3}$$

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

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



شکل 3

$$V = V_1 = V_2 = V_3 \quad (5)$$

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

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

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (6)$$

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

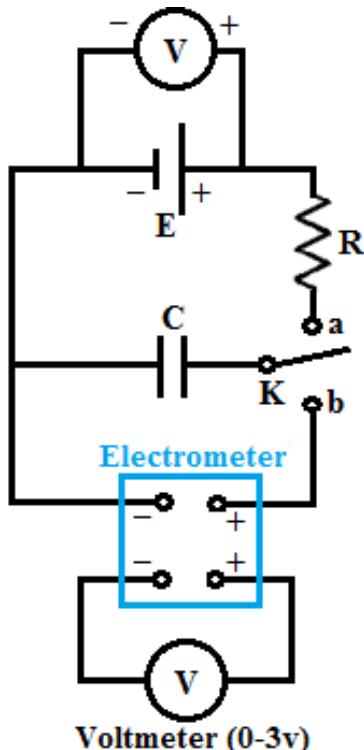
روش آزمایش:

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

- مدار الکتریکی شکل (4) را بیندید.

- صفحات بزرگ فلزی خازن را با گیره های مربوطه در فاصله 4mm از یکدیگر بر روی ریل قرار دهید.

- سلکتور الکترومتر را روی AS 10^{-8} و ولت默 آن را روی 3-0 ولت تنظیم نمایید.
 - با یک سیم رابط ترمینال زمین دستگاه الکترومتر را به زمین میزکار اتصال دهید.
 - ولتاژ منبع تغذیه را روی 10 ولت تنظیم کنید.
 - کلید k را تقریباً به مدت 5 ثانیه در وضعیت a قرار دهید تا خازن شارژ شود.
 - سپس کلید k را در وضعیت b قرار دهید تا بار ذخیره شده به داخل بارسنج (الکترومتر) منتقل گردد.
 - اندازه بار الکتریکی از حاصل ضرب عدد ولت默 در ضریب تقویت بارسنج (الکترومتر) به دست می‌آید.
- تذکر: پس از قرائت مقدار بار الکتریکی دکمه زمین بارسنج 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.
- ظرفیت خازن را در هر مرحله محاسبه کنید و در جدول 1 ثبت کنید.



شكل 4

جدول 1

V(volt)	10	20	30	40	50
q(c)					
C(μF)					
$\bar{C} \pm \Delta C$ (μF)					

- با استفاده از روش محاسباتی (میانگین کمیت و میانگین خطای مطلق) مقدار C را گزارش کنید و درون جدول 1 ثبت کنید.

- نمودار (q-V) را رسم نموده و با استفاده از شیب خط مقدار C را محاسبه نمایید.

ب) بستگی ظرفیت خازن به فاصله صفحات

- فاصله صفحات بزرگ خازن را برابر 3 mm قرار دهید. ولتاژ منبع تغذیه را روی 100 ولت تنظیم کنید. با روش گذشته مقدار بار الکتریکی بر روی صفحات را اندازه گیری کنید و در جدول 2 ثبت کنید.
- بار دیگر فاصله صفحات را به 6mm افزایش دهید. پس از تخلیه بار قبلی خازنهای، مجدداً با همان ولتاژ قبلی بار روی صفحات را در حالت اخیر اندازه گیری نمایید و در جدول 2 ثبت کنید.

جدول 2

	V(volt)	q(c)	C(μF)
D=3mm	100		
D=6mm	100		

● درستی رابطه زیر را تحقیق نمایید:

$$\begin{cases} \frac{q_1}{q_2} = \frac{C_1}{C_2} \\ \frac{q_1}{q_2} = \frac{d_2}{d_1} \end{cases} \Rightarrow \frac{C_1}{C_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (7)$$

ج) بستگی ظرفیت خازن به مساحت صفحات فلزی

- صفحات بزرگ فلزی را در فاصله 4mm از یکدیگر قرار داده و با ولتاژ 100 ولت شارژ کنید. بار q_b را اندازه گیری نمایید و در جدول 3 ثبت کنید.
- همان عمل را با صفحات کوچک انجام دهید و بار q_s را اندازه گیری کنید و در جدول 3 ثبت کنید.

جدول 3

	V(volt)	q(c)	C(μF)
$A_b = 0.08 m^2$	100		
$A_s = 0.04 m^2$	100		

● درستی رابطه زیر را تحقیق نمایید:

$$\begin{cases} \frac{q_b}{q_s} = \frac{C_b}{C_s} \\ \frac{q_b}{q_s} = \frac{A_b}{A_s} \end{cases} \Rightarrow \frac{C_b}{C_s} = \frac{A_b}{A_s} \quad (8)$$

د) بستگی ظرفیت خازن به نوع دی الکتریک

- صفحات بزرگ فلزی را در فاصله 4mm از یکدیگر قرار داده و با ولتاژ 100 ولت شارژ کنید. بار ذخیره شده را در این حالت اندازه گیری نمایید.
- سپس در بین صفحات خازن به ترتیب عایق های شیشه ای(g) و پلاستیک(r) را قرار دهید. در هر مرتبه بار ذخیره شده روی صفحات را یاد داشت کنید(در صورت نیاز در جین آزمایش سلکتور بارسنج را روی $10^{-7} A S$ قرار دهید).

جدول 4

	V(volt)	q(c)	C(μF)	K
(g) شیشه	100			
(r) پلاستیک	100			
(w) هوا	100			

با توجه به اینکه مقدار ولتاژ ثابت است، طبق رابطه (2) می توان روابط زیر را نوشت:

$$\frac{q_g}{q_w} = \frac{c_g}{c_w} = \frac{k_g}{k_w} \quad (9)$$

$$\frac{q_r}{q_w} = \frac{c_r}{c_w} = \frac{k_r}{k_w} \quad (10)$$

- با استفاده از بارهای ذخیره شده بر روی صفحات خازن، مقدار K_g و K_r را حساب کنید (مقدار $K_w = 1$ می باشد).

د) موازی بستن خازنها

- صفحات بزرگ خازن را بر روی ریل سوار کنید. با قرار دادن عایق شیشه ای بین صفحات و اعمال ولتاژ 100 ولت خازن را شارژ کرده و بار q_b را اندازه گیری نمایید، و ظرفیت خازن بزرگ $(C_b = \frac{q_b}{V})$ را محاسبه کنید و در جدول 5 ثبت کنید.
- 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، و ظرفیت خازن کوچک $(C_s = \frac{q_s}{V})$ را محاسبه کنید و در جدول 5 ثبت کنید.
- خازنها را به صورت موازی متصل کرده و بار q_t مجموعه را اندازه بگیرید، و بواسطه آن ظرفیت کل $(C_t = \frac{q_t}{V})$ را محاسبه کنید و در جدول 5 ثبت کنید.

جدول 5

	$V(volts)$	$q(C)$	$C(\mu F)$
صفحات Ab با عایق شیشه ای	100	$q_b =$	$C_b =$
صفحات As با عایق پلاستیکی	100	$q_s =$	$C_s =$
در حالت موازی	100	$q_t =$	$C_t =$

- درستی رابطه $q_t = q_s + q_b$ را تحقیق کنید:
- درستی رابطه $C_t' = C_b + C_s$ را تحقیق کنید:
- با استفاده از نتایج بدست آمده در بخش (الف)، مقدار ϵ_0 را به دست آورید.

آزمایش 6: خازن 2

هدف آزمایش 1: بررسی پلاریته خازنها

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

3- اندازه‌گیری مقاومت درونی ولت متر

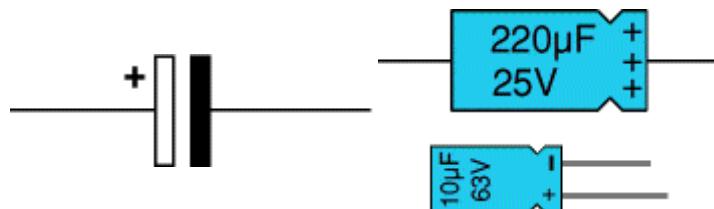
وسایل آزمایش: دو عدد خازن (با ظرفیت‌های مختلف)، منبع تغذیه DC، آوومتر (مولتی‌متر)، کلید چاقوئی (دو طرفه) و سیم‌های رابط

تئوری آزمایش: همان طور که می‌دانید انواع مختلفی از خازن‌ها 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

خازن‌های الکتروولیت (شیمیایی)

در خازن‌های الکتروولیت قطب مثبت و منفی بر روی بدنه آنها مشخص شده و بر اساس قطب‌ها در مدارات مورد استفاده قرار می‌گیرند. دی‌الکتریک در این خازن‌ها به ماده شیمیایی مخصوصی آگشته می‌باشد. هنگام اتصال این خازن‌ها به ولتاژ مستقیم، قطب‌های همنام باید به هم وصل شوند. (دو نوع طراحی برای شکل این خازن‌ها وجود دارد، یکی شکل آکسیل که در این نوع پایه‌های 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 قرار دارد. در شکل نمونه‌ای از خازن آکسیل و رادیال نشان داده شده است).



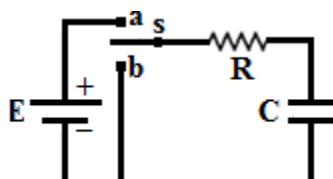
خازن‌های الکتروولیت معمولاً استوانه‌ای شکل بوده و دو سیم مسی قلع اندود شده از آنها خارج می‌شود. ظرفیت آنها به صورت یک عدد بر روی بدنه شان نوشته شده است. همچنین ولتاژ قابل تحمل خازن‌ها نیز بر روی بدنه آنها درج شده و هنگام انتخاب یک خازن باید این ولتاژ مد نظر قرار گیرد.

خازن‌های بدون قطب

خازن‌های بدون قطب معمولاً خازن‌های با ظرفیت کم هستند و می‌توان آنها را از هر طرف در مدارات مورد استفاده قرار داد. این خازن‌ها در برابر گرما تحمل بیشتری دارند و در ولتاژ‌های بالاتر مثلاً 50 ولت، 250 ولت و ... عرضه می‌شوند. خازن‌ها، انرژی الکتریکی را نگهداری می‌کنند. همچنین از خازن‌ها برای صاف کردن سطح تغییرات ولتاژ مستقیم استفاده می‌شود. خازن‌ها در مدار به عنوان فیلتر هم به کار می‌روند. زیرا به راحتی سیگنالهای غیرمستقیم (AC) را عبور داده و مانع عبور سیگنالهای مستقیم (DC) می‌شوند.

شارژر خازن

مدار شکل 1 را در نظر بگیرید. هنگامی که کلید S در جهت a بسته شود، الکترونها از قطب منفی باتری که به طرف صفحه‌ای که به این قطب وصل شده جاری می‌شوند. بنابراین در این صفحه تراکم الکترون یا بار منفی ایجاد می‌شود. 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 می‌کند و در نتیجه این صفحه فاقد الکترون یا دارای بار مثبت می‌شود. همان‌طور که 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 عبور بیشتر الکترونها را نمی‌دهند و جریان در مدار قطع می‌شود. در این شرایط ولتاژ دو سر خازن ماقزیمم و برابر ولتاژ دو سر منبع تغذیه می‌باشد. می‌توان روابط بار، ولتاژ و جریان ذخیره شده بر روی صفحات خازن را با استفاده از روابط ولتاژ کریشهف به صورت زیر نوشت:



شکل 1:

$$\begin{aligned} \varepsilon - V_R - V_C &= 0 \\ \varepsilon - \frac{dq}{dt} R - \frac{q}{c} &= 0 \Rightarrow \frac{dq}{dt} + \frac{q}{cR} = \frac{\varepsilon}{R} \end{aligned} \quad (1)$$

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

$$\begin{aligned} q_c(t) &= C\varepsilon(1 - e^{-t/RC}) = q_0(1 - e^{-t/RC}) \\ V_C(t) &= \varepsilon(1 - e^{-t/RC}) \\ I(t) &= \frac{dq}{dt} = \frac{\varepsilon}{R}e^{-t/RC} \end{aligned} \quad (2)$$

کمیت RC را که دارای بعد زمان است "ثابت زمانی" خازن می‌نامند و آن را با " τ " نمایش می‌دهند. در حالت شارژ τ مدت زمانی است که ولتاژ دو سر خازن به ۶۳٪ ولتاژ منبع تغذیه برسد.

$$V_C = \varepsilon(1 - e^{-1}) = 0.63\varepsilon \quad (3)$$

اگر در مدار شارژ، مقاومت قابل توجهی وجود نداشته باشد، خازن تقریباً "بلافاصله شارژ می‌شود. بعد از گذشت ۵ ثابت زمانی می‌توان خازن را کاملاً" شارژ فرض کرد. با توجه به مجموعه معادلات (2) می‌توان دریافت که ولتاژ و جریان دو سر خازن خلاف یکدیگر عمل می‌کنند. بدین معنا که در ابتدای شارژ، جریان ماقرئیم و ولتاژ دو سر خازن صفر می‌باشد. با گذشت زمان جریان در مدار کاهش یافته و ولتاژ دو سر 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 برابراست. خازن نمی‌تواند در جهت جریان منبع دشارژ شود. به همین جهت برای دشارژ خازن مسیر دیگری در نظر گرفته می‌شود. در مدار بالا با قرار دادن کلید S در حالت b خازن تخلیه می‌شود. حال به بررسی روابط ولتاژ، بار و جریان خازن در حالت دشارژ می‌پردازیم.

$$\begin{aligned} V_R + V_C &= 0 \Rightarrow \frac{dq}{dt} R + \frac{q}{c} = 0 \\ q_c(t) &= C\varepsilon e^{-t/RC} = q_0 e^{-t/RC} \\ V_c(t) &= \frac{q}{C} = \varepsilon e^{-t/RC} \\ I(t) &= \frac{dq}{dt} = -\frac{\varepsilon}{R} e^{-t/RC} \end{aligned} \quad (4)$$

علامت منفی در رابطه جریان نشان می‌دهد که جهت جریان در خلاف جهت تعیین شده در مدار شارژ می‌باشد. هنگامی که دشارژ آغاز می‌شود ولتاژ دو سر خازن ماقرئیم مقدار را دارد. با گذشت زمان جریان و ولتاژ دو سر خازن کاهش می‌یابد تا هر دو به صفر رسیده و خازن کاملاً دشارژ شود.

روش آزمایش:

الف) بررسی قطبیت (پلاریته) خازن

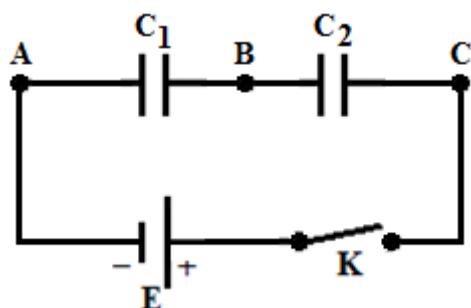
- ولتاژ دو سر منبع تغذیه را با استفاده از ولتمتر، روی ۴ ولت تنظیم کنید.
- ابتدا خازنی را که در اختیار دارید توسط سیم رابط به طور کامل تخلیه نمایید. سپس دو سر خازن را به منبع تغذیه وصل کرده و آن را شارژ کنید.
- حال خازن را از منبع جدا کرده و ترمینال مثبت ولت را به قطب مثبت خازن و ترمینال منفی آن را به قطب منفی وصل کنید. اختلاف پتانسیل آن را اندازه بگیرید (V_{AB}).

سؤالات:

- 1- ولتاژ دو سر خازن شروع به افت می کند. چرا؟
- 2- دو سر ولتمتر را جا به جا کنید. چه تغییری در صفحه نمایش آن مشاهده می کنید؟
- حال خازن را مجدداً با قطبین مخالف شارژ کنید. اندازه گیری های فوق (V_{BA}) را تکرار کنید. چه نتیجه ای می گیرید؟
- 3- آیا پلاریته منبع تغذیه 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 را به طور سری مطابق شکل 2 به ولتاژ 4 ولت وصل کنید (از میزان دقیق این مقدار به وسیله ولتمتر اطمینان حاصل نمایید).
 - با اتصال کلید K هر دو خازن شارژ می شوند.
- ولتاژ AB، BC و AC را بلافاصله پس از اتصال ولتمتر اندازه گیری نمایید.



شکل 2

4- چه رابطه ای بین ولتاژها وجود دارد؟

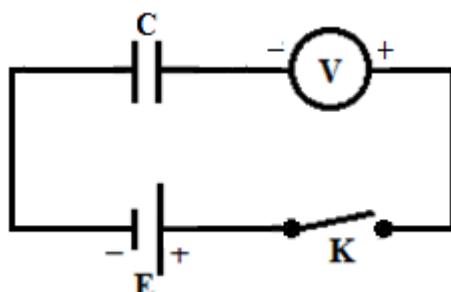
5- ولتاژها به چه نسبتی تقسیم شده اند؟

ج) شارژ خازن

- مولتی متر را در حالت اندازه گیری ولتاژهای DC قرار دهید. ابتدا مدار شکل (3) را بیندید. سپس خازن را تخلیه کنید.
 - ولتاژ منبع تغذیه را روی 4 ولت تنظیم نمایید.
 - پس از بستن کلید، کرونومتر را فعال کرده و به ازای هر 5 ثانیه ولتاژ دو سر ولتمتر دیجیتالی را اندازه گرفته و در جدول 1 یادداشت کنید. این عمل را برای خازن دوم که در اختیار دارید، تکرار نمایید.
 - حال خازن ها را یک بار به طور موازی و بار دیگر به صورت سری بسته و جدول 2 را کامل کنید.
- ولتاژ دو سر خازنهای در هر مرحله از رابطه زیر به دست می آید.

$$V_C = E - V_V \quad (4)$$

که در آن V_V ولتاژ دو سر ولت متر می باشد.



شکل 3: مدار شارژ خازن

جدول 1: شارژ خازنهای C_1 و C_2

t(s)	C_1 خازن		C_2 خازن	
	$V_V(v)$	$V_{C1} = \varepsilon - V_V$	$V_V(v)$	$V_{C2} = \varepsilon - V_V$
0				
5				
10				
15				
20				
25				
⋮				

جدول 2: شارژ خازنهای C_s و C_p

t(s)	خازنهای سوی		خازنهای موازی	
	$V_V(v)$	$V_s = \varepsilon - V_V$	$V_V(v)$	$V_p = \varepsilon - V_V$
0				
5				
10				
15				
20				
25				
⋮				

- نمودار ولتاژ خازن بر حسب زمان (V_C-t) را برای هر یک از حالت های بالا در یک دستگاه مختصات، جهت مقایسه رسم نمایید.
- ثابت زمانی τ_s ، τ_{Cp} و τ_{Cs} را برای هر یک از منحنی ها به دست آورده و نتایج خود را در دفترچه گزارش کار یادداشت نمایید.
- مقدار مقاومت ولتمتر R_V را یک بار از روی منحنی خازن C_1 و بار دیگر از روی منحنی خازن C_2 با استفاده از رابطه $\tau = RC$ به دست آورید، و مقدار میانگین آن را محاسبه کنید.
- با فرض مجھول بودن ظرفیت یکی از خازنهای طرفیت خازن مجھول را حساب کنید:

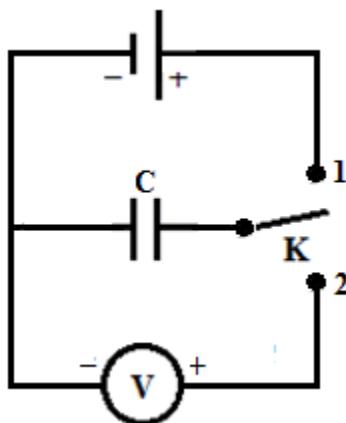
$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{C_1}{C_2} \quad (5)$$

- با استفاده از τ_s و τ_{Cs} ، مقدار ظرفیت خازن های معادل را در هر حالت به دست آورید. روابط خازن های سری و موازی را تحقیق کنید (خطای نسبی هر یک را به دست آورید).

$$\begin{cases} C_s = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2} \\ C_p = C_1 + C_2 \end{cases} \quad (6)$$

د) دشارژ خازن:

- مدار شکل زیر را با خازن C_1 بیندید. کلید چاقوئی را در حالت 1 قرار دهید تا خازن با ولتاژ 4 ولت شارژ شود. سپس با قرار دادن کلید 2 در حالت 2، بهارای هر 5 ثانیه ولتاژ تخلیه خازن را یاد داشت نمایید، و در جدول 3 ثبت کنید.



شکل 4: مدار دشارژ خازن

- همین کار را با خازن C_2 انجام دهید.

- نمودار تغییرات ولتاژ خازن بر حسب زمان ($t - V_C$) را در حالت دشارژ برای خازنهای C_1 و C_2 در یک دستگاه مختصات، جهت مقایسه رسم نمایید.
- ثابت زمانی های τ_{C1} و τ_{C2} را در حالت دشارژ از روی نمودار به دست آورید.

جدول 3

$t(s)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
$V_{C1}(v)$																			
$V_{C2}(v)$																			

سؤالات:

- در حالت شارژ خازن، آیا رابطه $\frac{\tau_p}{\tau_s} = \frac{C_p}{C_s}$ صادق است؟
- نقش ولتمتر دیجیتالی در حالت شارژ و دشارژ خازن چیست؟
- ثابت زمانی τ در حالت دشارژ را تعریف کنید.
- آیا ثابت زمانی در حالت شارژ و دشارژ متفاوت است؟

آزمایش 7: اسیلوسکوپ

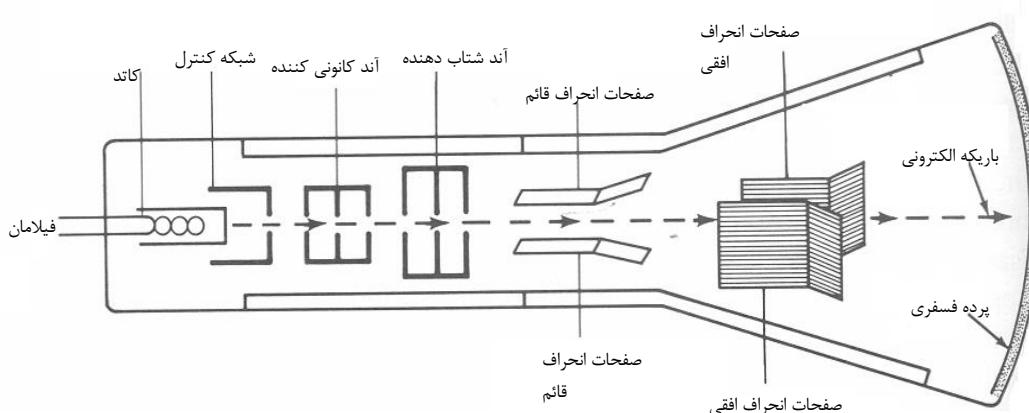
هدف آزمایش: آشنائی با اسیلوسکوپ

وسایل مورد نیاز: اسیلوسکوپ، سیگنال ژراتور، جعبه مقاومت، خازن، باتری، سیم کواکسیال

تئوری آزمایش: اسیلوسکوپ یک دستگاه مفید و چند کاره آزمایشگاهی است که برای نمایش دادن و اندازه گیری، تحلیل شکل موج ها و دیگر پدیده های مدارهای الکتریکی و الکترونیکی به کار می رود. از آنجایی که الکترون ها دارای جرم ناچیز (قابل چشم پوشی) هستند، می توان به کمک آنها امواج متغیر الکتریکی بسیار سریع را نمودار کرد. اسیلوسکوپ بر اساس ولتاژ کار می کند. البته به کمک مبدل ها (ترانزیستورها) می توان جریان الکتریکی و کمیت های دیگر فیزیکی و مکانیکی را به ولتاژ تبدیل کرد.

قسمت های مختلف اسیلوسکوپ

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



شکل 1: لامپ کاتودیک اسیلوسکوپ

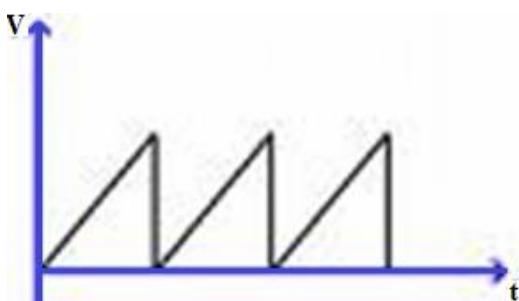
تفنگ الکترونی

تفنگ الکترونی قادر است باریکه متمرکزی از الکترون ها را که شتاب زیادی کسب کرده اند، به وجود آورد. این باریکه الکترون با انرژی کافی به صفحه فلورسان برخورد و بر روی آن یک لکه نورانی تولید می کند. تفنگ الکترونی از رشتہ گرمکن (فیلامن)، 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 می شود، گسیل می شوند. این الکترون ها از روزنه کوچکی در شبکه کنترل عبور می کنند. این شبکه معمولاً "یک استوانه هم محور با لامپ است و دارای روزنه ای است که در مرکز آن قرار دارد. الکترون های گسیل شده از کاتد، پس از عبور از روزنه (به دلیل پتانسیل مثبت زیادی که به آندهای پیش شتاب دهنده اعمال می شود)، شتاب می گیرند. الکترون های خارج شده پس از طی مسافت معینی به یک دسته شعاع الکترونی که قطر آن دائماً در حال تزايد 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 الکترونها در نزدیکی صفحه فلورسنست 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 می شوند و با ایجاد یک میدان الکتریکی، باریکه را در راستای قائم منحرف می کنند.

صفحات انحراف افقی به طور قائم نصب می شوند و باعث انحراف افقی باریکه می شوند. اسیلوسکوپ ها بیشتر برای اندازه گیری 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 شبیه 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 دو باره به مقدار ابتدایی باز می گردد. سیگنالی که توانایی انجام این کار را دارد "موج دندان اره ای" می باشد. در ولتاژ روبش ایده آل، زمان برگشت صفر است.



شکل 2: موج دندان اره ای

صفحه فلورسان

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

کلیدهای اسیلوسکوپ

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

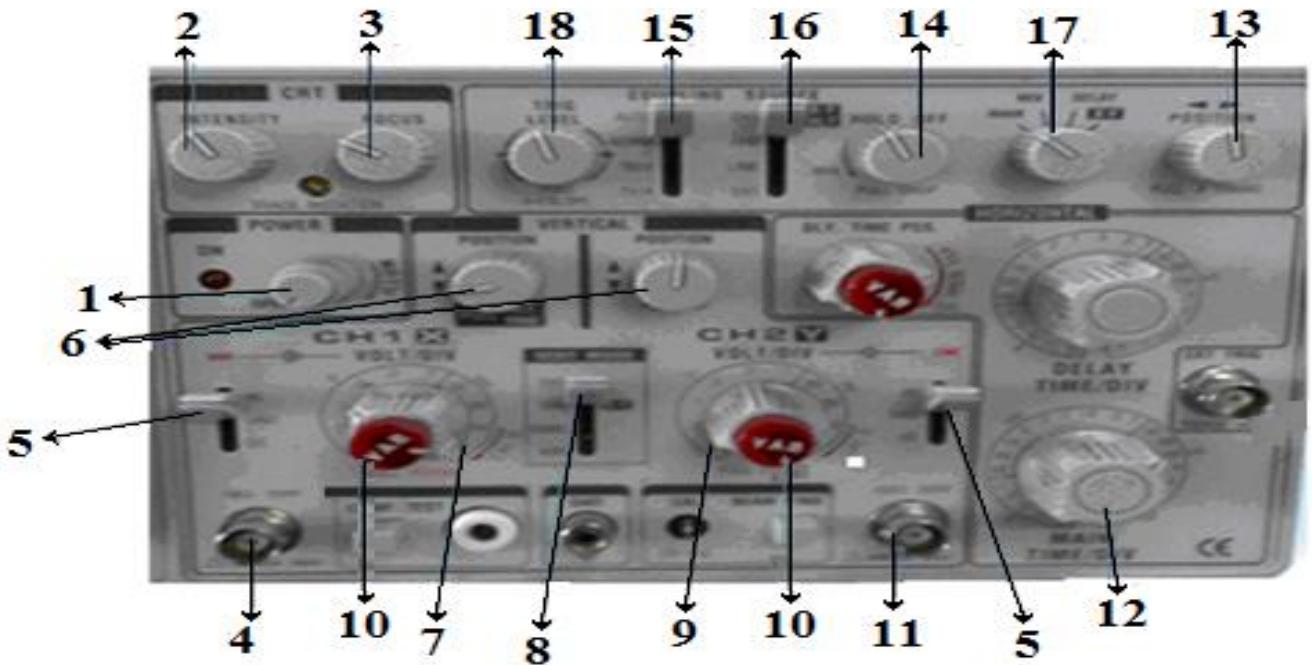
1- گروه کنترل

2- گروه کنترل عمودی

3- گروه کنترل افقی

4- گروه کنترل تریگر

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



شکل 3- پانل جلوی اسیلوسکوپ

گروه کنترل

- کلید خاموش و روشن (POWER (ON/OFF)) : پس از روشن کردن دستگاه چند ثانیه طول می کشد تا لکه بر روی صفحه ظاهر شود.
- کلید شدت (INTENSITY) : این کلید برای کنترل میزان روشنایی نقطه نورانی است.
- 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:

- کلید **INPUT (ورودی کanal 1)**: این کلید محل ورودی سیگنال به اسیلوسکوپ است و به صورت یک سوکت BNC می باشد. سیگنال توسط یک سیم کواکسیال به ورودی متصل می شود.
- کلید انتخاب نوع ورودی **AC/GND/DC**: 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.
- **Y-POSITION**: تنظیم موقعیت عمودی باریکه الکترونی با کلید position با کلید می توان باریکه را در راستای قائم جابجا نمود.
- کلید سلکتور ولتاژ کanal 1 (**VOLT/DIV**): می دانیم که بهره تقویت کننده اسیلوسکوپ با استفاده 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 حالت های مختلف، مقدار ولتاژ هر قسمت (1سانتی 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.

مثال:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{مقدار پیک تا پیک روی صفحه} \\ = 6.4(\text{cm}) \\ \text{مقدار واقعی} \Rightarrow 6.4 \times 0.2 = 1.28v \\ \text{مقدار ضریب } VOLT/DIV = 0.2(v/cm) \end{array} \right.$$

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

9-کلید سلکتور ولتاژ کانال 2: کلید سلکتور ولتاژ کانال 2

10-ورنیه VOLT/DIV: جهت کالیبره کردن محور قائم به کار می رود و بایستی در طول آزمایش ورنیه در حالت کالیبره باشد.

11-ورودی کانال 2 (INPUT 2): ورودی ولتاژ کانال 2

گروه کنترل افقی

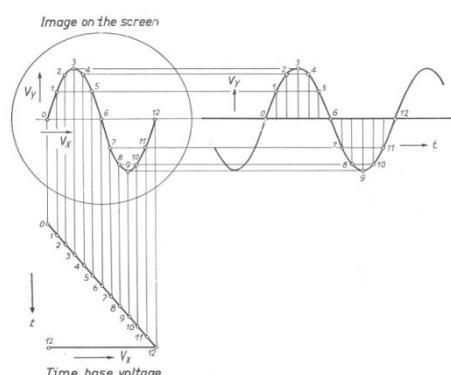
این مجموعه تعیین کننده وضعیت انحراف افقی اشعه و نحوه جاروب صفحه اسیلوسکوپ می باشد و شامل کلید های زیر است:

12-کلید سلکتور 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 دیگر کلید Time/DIV، با تغییر فرکانس موج دندان ارهای، مدت زمان جاروب هر 1 ثانی متر را در صفحه مشخص می کند. این کلید بر حسب 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.

13-موقعیت افقی POSITION: برای جابجایی افقی سیگنال در صفحه نمایش از این کلید استفاده می شود.

گروه کنترل تریگر

تریگر در الکترونیک به معنی آتش کردن و یا تحریک کردن 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.



شکل 4: نحوه تشکیل موج سینوسی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ

14-HOLD OFF: کلید همزمان کننده موج جاروب و ولتاژ اندازه گیری شونده

15-AUTO: حتی اگر سیگنال ورودی وصل نباشد، اعمال ولتاژ جاروب به صورت خودکار انجام می شود.

16-SOURCE: در حالت های Ch1 و Ch2 نوع جاروب دندان اره ای و در حالت LINE استفاده از موج سینوسی شبکه و در حالت EXT از موج خارجی برای جاروب کردن استفاده می شود.

17-X-Y: کلید ترکیب موج کanal (1 و 2) و MAIN: کلید اعمال ولتاژ دندان اره ای (روبش) در حالت X-Y مدار تریگر قطع شده و از کانال های 1 و 2 به عنوان محور X (افقی) و محور Y (عمودی) استفاده می شود.

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

روش آزمایش

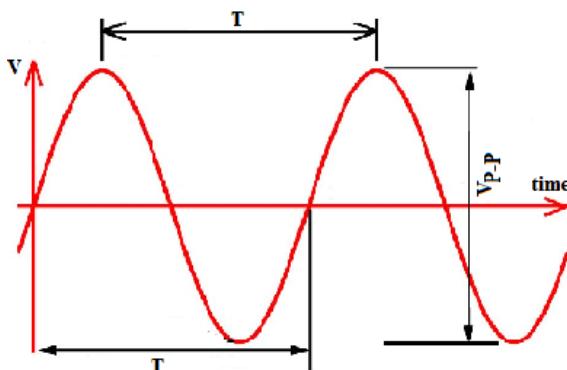
الف) اندازه گیری پتانسیل منبع-DC

- کلید شماره 17 را در حالت X-Y قرار دهید تا موج جاروب حذف شود.
- کلید انتخاب نوع ورودی (کلید 5) را در حالت GND قرار داده و با استفاده از کلید position، باریکه را بر مبدأ مختصات منطبق کنید.
- دو سر پیلی را که در اختیار دارید به ورودی کانال مربوطه اتصال دهید.
- با قرار دادن کلید انتخاب نوع ورودی (کلید 5) در حالت DC و انتخاب ضریب مناسب volt/div (کلید 7) مقدار ولتاژ پیل را یادداشت کنید.
- مقدار ولتاژ دو سر باطری را تعیین و بصورت (v) $V \pm \Delta V$ گزارش کنید.
- که در آن ΔV خطای اندازه گیری مربوط به ولتاژ می باشد.

$$\text{ضریب سلکتور} = \Delta V = 0.2 \text{ cm} \times \text{Volt/Div}$$

ب) اندازه گیری دامنه و مقدار ولتاژ مؤثر (V_{rms}) - منبع AC

ولتاژ مؤثر یک موج سینوسی در حقیقت همان مقدار ثابتی است که به موج سینوسی نسبت داده می شود. ولتاژ مؤثر (V_{rms})، معادل ولتاژ در جریان DC که همان مقدار توان را ایجاد کند، گویند. به طور مثال ولتاژ مؤثر برق شهر 220 ولت می باشد. ولتاژ مؤثر یک موج سینوسی از رابطه زیر به دست می آید:



شکل 5: موج سینوسی

$$V_{rms} = \frac{V_{p-p}}{2\sqrt{2}} \quad (1)$$

V_{p-p} فاصله بین قله و دره موج سینوسی می باشد (دو برابر دامنه موج).

برای مشاهده شکل یک موج متناوب مراحل زیر را انجام دهید:

- سیگنال ژنراتور را روشن کنید و آن را در حالت سینوسی با فرکانس 500 Hz قرار دهید.
- پروب ورودی اسیلوسکوپ را به ترمینال خروجی سیگنال ژنراتور وصل کنید. از کالیبره بودن سیستم مطمئن شوید (کلید شماره 10 بسته باشد).
- کلید شماره 17 را در حالت main قرار دهید.
- کلید شماره 5 را در حالت AC قرار دهید.
- با تنیز کلید Time/Div و Volt/Div شکل موج مناسب را تشکیل دهید.
- مقدار ولتاژ مؤثر موج سینوسی ($V_{rms} \pm \Delta V_{rms}$) را محاسبه و گزارش کنید.

ج) اندازه گیری زمان تناوب و فرکانس

- 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 به کمک رابطه زیر بدست می آید.

$$T = \frac{\text{تعداد خانه های در برگرفته شده}}{\text{ضریب سلکتور Time/Div}}$$

خطای اندازه گیری مربوط به زمان تناوب نیز از رابطه زیر بدست می آید.

$$\Delta T = 0.2 \text{ cm} \times \text{Time/Div}$$

● زمان تناوب را بصورت $(T \pm \Delta T)$ گزارش نمائید.

● فرکانس منبع $(f \pm \Delta f)$ را با استفاده از روابط زیر محاسبه و گزارش نمائید.

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

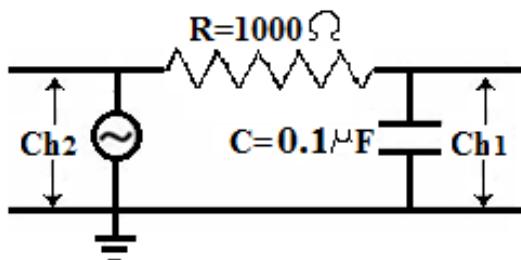
$$\Delta f = f \left| \frac{\Delta T}{T} \right| \quad (3)$$

رسم منحنیهای y بر حسب x:

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

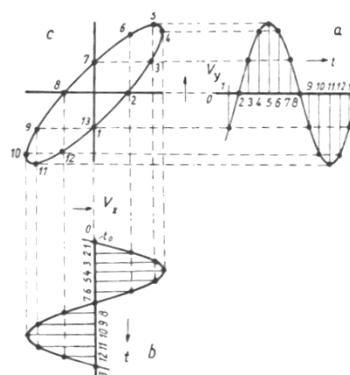
د) محاسبه اختلاف فاز بر حسب فرکانس در مدار RC

- ابتدا مدار زیر را با مقاومت 1000Ω و خازن $0.1\mu\text{F}$ و منبع سینوسی به طور سری بیندید.

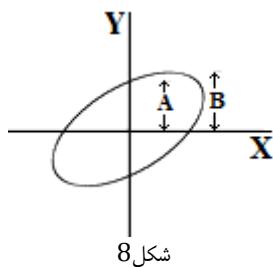


شکل 6: مدار RC

- دو سر خازن را به ورودی عمودی (Ch1) و دو سر نوسانگر (سیگنال ژنراتور) را به ورودی افقی (Ch2) وصل کنید.
- کلیدهای دستگاه را در وضعیت y-X قرار دهید. از کالیبره بودن اسیلوسکوپ مطمئن شوید (کلید شماره 10 بسته باشد).
- ترکیب دو موج سینوسی ($y = B \sin(\omega t + \theta)$ و $x = E \sin(\omega t)$) را روی صفحه ظاهر می سازد.
- فرکانس نوسانگر 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 (4) محاسبه نمایید.



شکل 7: نحوه تشکیل بیضی بر روی صفحه اسیلوسکوپ



$$\sin\theta = \frac{A}{B} \Rightarrow \theta = \sin^{-1}\left(\frac{A}{B}\right) \quad (4)$$

جدول 1

f (HZ)	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400
2A												
2B												
$\sin\theta = A/B$												

• حال نمودار $\sin\theta$ بر حسب فرکانس را در یک نمودار میلیمتری رسم نمایید و اختلاف فاز مربوط به فرکانس 1500HZ را از روی نمودار به دست آورید.

• مقدار اختلاف فاز θ را از رابطه نظری $\tan\theta = \frac{V_C}{V_R} = \frac{1}{RC\omega}$ به دست آورده و درصد خطای نسبی آن را محاسبه کنید.

ایجاد منحنی های لیساژور^۳:

هرگاه ولتاژهای اعمال شده به صفحات عمودی و افقی اسیلوسکوپ هر دو سینوسی بوده و رابطه هارمونیکی با هم داشته باشند، اشکال لیساژور 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 و یک 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:

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

اگر بار دیگر همان دو موج با اختلاف فاز 90 یا 270 به صفحات اعمال شوند، این بار شکل ظاهر شده دایره خواهد بود. این اختلاف فاز اگر بین 0 تا 90 متغیر باشد، می توان اشکال بیضی را نیز مشاهده نمود. تغییر دامنه دو موج نیز شرایط مشابهی را به وجود می آورد.

۵) نحوه محاسبه فرکانس مجھول با استفاده از اشکال لیساژور

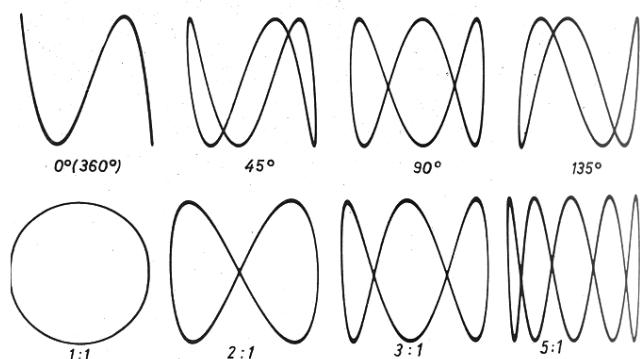
• کلید source را در حالت Line قرار دهید.

• اسیلوسکوپ را در حالت y-X قرار دهید.

³ Lissajous curves

- منبع موج سینوسی 1 (سیگنال ژنراتور 1) را به ورودی کanal 1 وصل کنید.
- منبع موج سینوسی 2 (سیگنال ژنراتور 2) را به ورودی کanal 2 وصل کنید.

اگر فرکانس یکی از دو موج اعمال شده معلوم و دیگری مجهول باشد، در صورتی که منحنی بسته ای داشته باشیم، با استفاده از اشکال لیسازور می توانیم فرکانس مجهول را طبق رابطه زیر به دست آوریم:



شکل 9: اشکال لیسازور

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

سؤالات:

1- آیا می توان از اسیلوسکوپ برای اندازه گیری مستقیم شدت جریان استفاده نمود؟ چرا؟

2- اشکال لیسازور را چگونه می توان تشکیل داد و برای اندازه گیری چه پارامترهایی به کار می روند؟

3- علت اختلاف فاز θ در مدار چیست و تابع چه پارامترهایی است؟

4- علت حضور مقاومت 1000Ω در مدار چیست؟

5- رابطه (4) مربوط به اختلاف فاز را ثابت کنید.

6- آیا در قرائت مقادیر A و B در بیضی نیازی به ضرب Volt/Div وجود دارد یا خیر؟ چرا؟

7- با توجه به اشکال لیسازور چرا در یک مدار RC شکل حاصل در اسیلوسکوپ به صورت بیضی در می آید؟

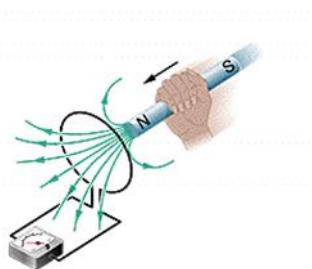
8- با توجه به نتایج آزمایش (6) و این آزمایش، اثر خازن را در مدارهای ولتاژ متناوب و مستقیم با یکدیگر مقایسه کنید.

آزمایش 8 : تحقیق قانون القای فارادی

- هدف آزمایش:**
- 1- بررسی وابستگی نیروی محرکه القایی با دامنه و فرکانس
 - 2- اندازه گیری ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی در خلا (μ_0)
 - 3- اندازه گیری اختلاف فاز دو موج متناوب

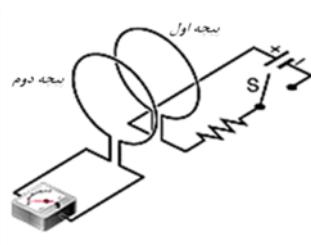
وسایل آزمایش: سیم‌لوله و پایه آن، اسیلوسکوپ، مقاومت یک اهم، سیگنال ژنراتور (نوسان ساز)، سیم‌های رابط

تئوری آزمایش: اگر یک آهن ریای تیغه‌ای را در اختیار داشته باشید و آن را به طرف پیچه (سیم پیچ) یا پیچه را به طرف آهن ربا حرکت دهید، عقریه گالوانومتر (متصل به دو سر پیچه) منحرف خواهد شد. این بدان معناست که علیرغم وجود منبع تغذیه در مدار، در اثر حرکت تیغه آهن ربا جریان لحظه‌ای در حلقه برقرار شده و نیروی محرکه القایی به وجود می‌آید. هر چه سرعت نسبی حرکت آهن ربا و پیچه بیشتر باشد، نیروی محرکه القایی و در نتیجه جریان القایی بزرگتر است.



شکل ۱: با نزدیک و یا دور کردن آهن ربا به یک پیچه، روی دو سر آن نیروی محرکه القایی خواهد شد

در آزمایش دیگری دو پیچه ساکن را در نظر بگیرید. با زدن کلید S جریان لحظه‌ای القایی در پیچه دوم به وجود می‌آید. در لحظه قطع کلید نیز این جریان "مجدد" مشاهده می‌شود.



شکل 2

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

$$\varphi_B = \int B \cdot dA \quad (1)$$

با تغییر شار مغناطیسی نسبت به زمان خواهیم داشت:

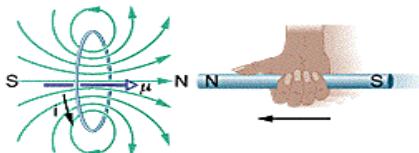
$$\varepsilon = -\frac{d\varphi_B}{dt} \quad (2)$$

و نیروی محرکه القایی می‌باشد. اگر پیچه شامل N دور باشد، نیروی محرکه القایی برابر خواهد شد با:

$$\varepsilon = -N \frac{d\varphi_B}{dt} \quad (3)$$

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

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



شکل 3

حلقه حامل جریان القایی مانند یک دو قطبی مغناطیسی اطراف خود میدان مغناطیسی ایجاد می کند. بنا به قانون لنز جهت جریان القائی در حلقه به گونه ای است که با افزایش شار مغناطیسی گذرنده از آن همواره مخالفت می کند (شکل-3).

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



شکل 4: سیمولوه حامل جریان I

$$B = \mu_0 \nu I \quad (4)$$

که در آن μ_0 ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی در خلا است و در این آزمایش $\nu = N/L = 400$ ، تعداد دور در واحد طول سیمولوه اولیه می باشد. حال اگر جریان سیمولوه را نسبت به زمان تغییر دهیم، تغییر میدان مغناطیسی نیروی محرکه القایی ایجاد خواهد کرد. اگر اثر نیروی محرکه القایی را بر روی سیمولوه دیگری به نام سیمولوه ثانویه بررسی کنیم، مشاهده می شود که ولتاژ القائی در سیمولوه ثانویه ایجاد شده است. می توان روابط زیر را برای ولتاژ القائی ایجاد شده در سیمولوه ثانویه به صورت زیر نوشت:

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -NA \frac{dB}{dt} = -NA\mu_0\nu \frac{dI}{dt} \quad (5)$$

که در آن $A = 3/85 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ سطح مقطع سیمولوه ثانویه و $N=60$ تعداد دورهای سیمولوه ثانویه می باشد. فاراده رابطه دیگری نیز برای نیروی محرکه القایی و تغییرات جریان در واحد زمان به دست آورده بود:

$$\varepsilon = -M \frac{dI}{dt} \quad (6)$$

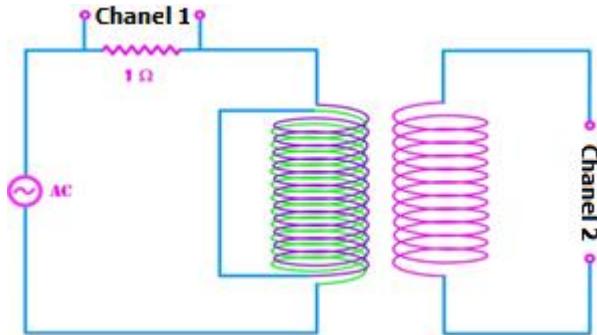
M ضریب القاء متقابل سیمولوه بر حسب هانری می باشد. مقایسه روابط (5) و (6) نتیجه می دهد که:

$$M = NAv\mu_0 \quad (7)$$

روش آزمایش:

- ابتدا دو سیمولوه مورد نظر را به طور سری به یکدیگر (از انتهای یک سیمولوه مثلا سر آبی به ابتدای سیمولوه دیگر یعنی سر قرمز آن) متصل نمایید.
- مدار شکل (5) را بیندید. کانال 1 اسیلوسکوپ به دو سر مقاومت 1 اهم و کانال 2 آن را به دو ترمینال سیمولوه ثانویه متصل کنید.

- سیگنال ژنراتور را در حالت موج مثلثی قرار دهید. کلیدهای مربوط (اسیلوسکوپ) به Auto و Main Source را در حالت Time/Div و volt/Div موج مثلثی ایجاد شده را در کanal 1 مشاهده نمایید. می توانید تغییرات جریان را از محور قائم قرائت نمایید. آنچه در کanal 2 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.

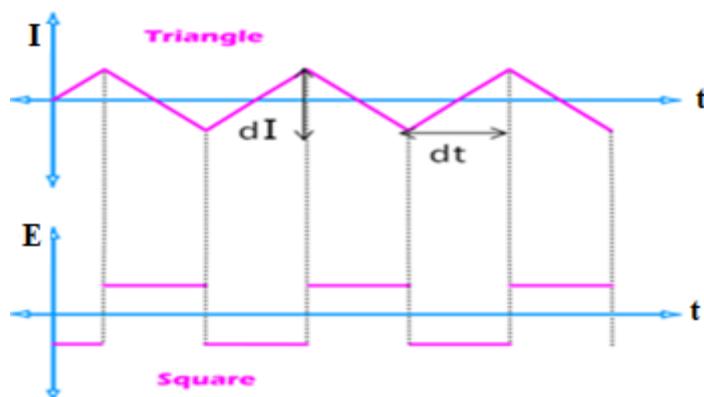


شکل 5

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

الف) تحقیق بستگی نیروی محرکه القایی با فرکانس موج تحریک

- مقدار دامنه (ولتاژ) موج مثلثی را ثابت نگهداشت و فرکانس موج را مطابق جدول (1) تغییر دهید.



شکل 6: موج تحریک و موج القا بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ

- تغییرات جریان (dI) فاصله ای که در آن تغییرات 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 کanal 2 مقدار نیروی محرکه القایی ϵ را یادداشت نمایید.

جدول 1

$f(\text{Hz})$	200	400	600	800	1000
$dI(A)$					
$dt(s)$					
$dI/dt(A/S)$					
$\epsilon(v)$					

- منحنی ϵ بر حسب dI/dt را بر روی کاغذ میلیمتری رسم کنید، و با استفاده از شیب خط μ_0 را بدست آورید.

ب) تحقیق بستگی نیروی محرکه القایی با دامنه موج تحریک

- این بار فرکانس را ثابت و برابر (Hz) 400 قرار دهید.

- با استفاده از ولوم Amplitude (سیگنال ژنراتور)، دامنه ولتاژ متناوب را در حالت ماکریم قرار دهید. سپس به کمک کلید Volt/Div شکل موج CH1 را به طور کامل در تمام صفحه، نمایش دهید. در این حالت $4/4$ ولتاژ منبع مشاهده می شود.

- مقادیر dI و dt را یادداشت کرده و مجدداً "ع را از کanal 2 بخوانید. با تغییر ولوم دامنه سیگنال ژنراتور، مقادیر $1/4$ ، $2/4$ و $3/4$ ولتاژ ماکریم منبع را تنظیم نموده و جدول 2 را کامل کنید.

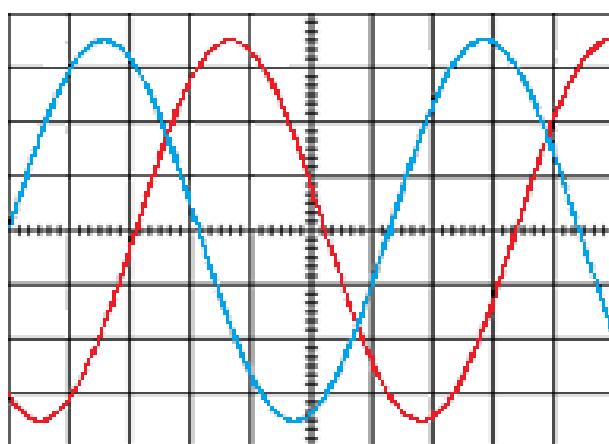
جدول 2

ولتاژ منبع	$1/4$ منبع	$2/4$ منبع	$3/4$ منبع	$4/4$ منبع
$dI(A)$				
$dt(S)$				
$dI/dt(A/S)$				
$\epsilon(v)$				

نمودار $\epsilon - dI/dt$ رارسم نمایید. از روی شیب نمودار های رسم شده مقدار M را محاسبه نموده و مقدار μ_0 را از رابطه (6) به دست آورید. با توجه به مقدار $(\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7})$ ، درصد خطای نسبی آن را حساب کنید.

ج) 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.



شکل 7

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

سؤالات:

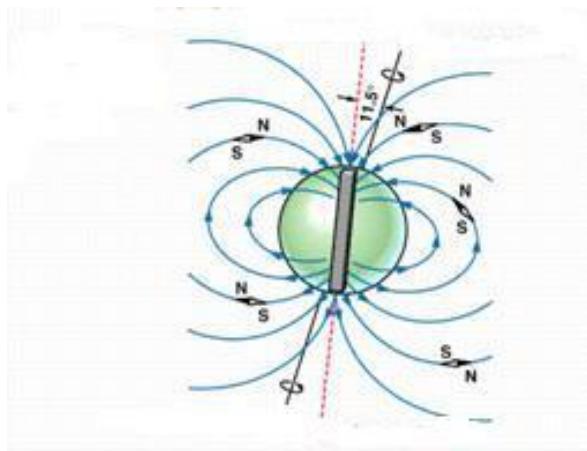
- 1- علت اختلاف فاز بین ولتاژ القائی دو سر سیم‌لوله ثانویه و سیگنال ژنراتور را توضیح دهید.
- 2- علت حضور مقاومت 1 اهمی در مدار چیست؟
- 3- چگونه می توان دامنه ولتاژ القائی ایجاد شده در سیم‌لوله ثانویه را تغییر داد؟
- 4- در اندازه گیری اختلاف فاز دو موج، شکل موج تشکیل شده در کanal 1 و 2 اسیلوسکوپ را از نظر دامنه و فرکانس با یکدیگر مقایسه نمایید.
- 5- اگر در بستن مدار قانون لنز مورد توجه قرار نگیرد چه تغییری در شکلها حاصل می شود؟

آزمایش ۹: 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 DC، کلید چاکوئی دوبل، رکوردر(ثبت)، تقویت کننده ولتاژ، حلقه های کوچک و بزرگ، سیم های رابط، آچار سه نظام

نتیجه آزمایش: در هر نقطه ای در نزدیکی سطح زمین، عقربه مغناطیسی آویزان از یک نخ یا واقع بر روی یک نقطه، به ترتیب خاصی سمت گیری می کند (تقریباً 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.



شکل ۱

شیب مغناطیسی

می دانیم خاصیت مغناطیسی یک آهن ربا در نقاط مختلف آن متفاوت است و در دو قطب آن، این خاصیت بیشتر است. به همین ترتیب، خاصیت آهن ربا در کره زمین در دو قطب بیشتر است. اگر یک عقربه مغناطیسی آزاد باشد تا بتواند در راستای عمودی حرکت کند، نوک این عقربه نزدیک قطب ها به سمت 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 استوایا تا قطب، نسبت به سطح افق تغییر کرده و زاویه ای با آن می سازد. این زاویه را "شیب مغناطیسی" یا "میل مغناطیسی" می نامند. می توان شیب مغناطیسی را به وسیله زاویه سنج مغناطیسی اندازه گیری نمود. این دستگاه در واقع یک عقربه مغناطیسی است که تحت تاثیر میدان مغناطیسی زمین در صفحه قائمه 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:

$$\varphi = \vec{B} \cdot \vec{A} = BA \cos \theta \quad (1)$$

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:

$$\varepsilon = -N \frac{d\varphi}{dt} \quad (2)$$

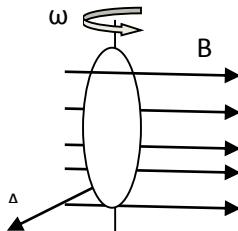
N تعداد دورهای سیم پیچ می باشد. حال اگر سیم پیچ را با سرعت زاویه ای (ω) در حوزه میدان مغناطیسی زمین به چرخش در آوریم، در اثر قطع خطوط میدان مغناطیسی توسط آن، جریان القائی در حلقه به وجود خواهد آمد. اگر میدان مغناطیسی بر امتداد محور دوران حلقه به شعاع R عمود باشد، در آن صورت خواهیم داشت:

$$\varphi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} = B\pi R^2 \cos(\theta) = B\pi R^2 \cos(\omega t) \quad (3)$$

همچنین طبق رابطه (2) ولتاژ القائی به صورت زیر خواهد بود:

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

$$\varepsilon_{\max} = N\pi R^2 \omega B = aB \quad (4)$$



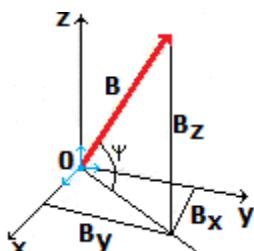
شکل 2

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

$$a = NA\omega = \frac{2\pi^2 NR^2}{T} \quad (5)$$

همان طور که می دانید میدان مغناطیسی زمین "الاما" 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 مولفه B_x ، B_y و B_z نشان داد. شار حاصل از مولفه B_z هیچ گونه جریان القائی ایجاد نمی کند. چرا؟ برآیند مولفه های B_y و B_x تولید ولتاژ القائی در حلقه می نمایند. بنابراین اگر حلقه مورد نظر در راستای محور Z با سرعت زاویه ای ω دوران کند، طبق رابطه (4) ماکریتم دامنه ولتاژ القائی به شکل زیر خواهد بود:

$$\varepsilon_{\max z} = a\sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (6)$$



شکل 3

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

$$\begin{cases} \varepsilon_{mx} = a\sqrt{B_y^2 + B_z^2} \\ \varepsilon_{my} = a\sqrt{B_x^2 + B_z^2} \end{cases} \quad (7)$$

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

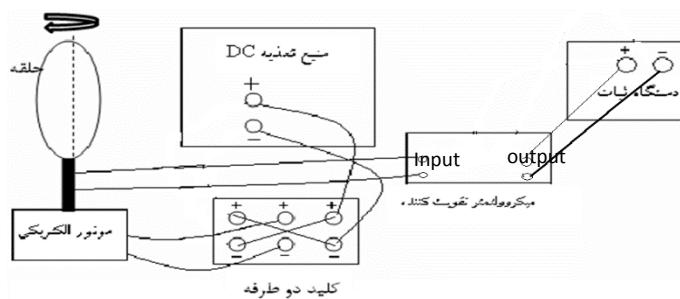
$$\begin{cases} B_x^2 = \frac{\varepsilon_{mx}^2 - \varepsilon_{my}^2 + \varepsilon_{mz}^2}{2a^2} \\ B_y^2 = \frac{\varepsilon_{mx}^2 - \varepsilon_{my}^2 + \varepsilon_{mz}^2}{2a^2} \\ B_z^2 = \frac{\varepsilon_{mx}^2 + \varepsilon_{my}^2 - \varepsilon_{mz}^2}{2a^2} \end{cases} \quad (8)$$

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

$$\begin{cases} B_e = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} = \sqrt{\frac{(\varepsilon_{mx})^2 + (\varepsilon_{my})^2 + (\varepsilon_{mz})^2}{2a^2}} \\ \tan\psi = \frac{B_z}{\sqrt{B_x^2 + B_y^2}} = \sqrt{\frac{(\varepsilon_{mx})^2 + (\varepsilon_{my})^2 - (\varepsilon_{mz})^2}{2(\varepsilon_{mz})^2}} \end{cases} \quad (9)$$

روش آزمایش:

- برای انجام این آزمایش، ابتدا پایه موتور الکتریکی را روی میز بندید. سپس حلقه بزرگ را روی آن سوار کنید.
- ورودی برق موتور را به وسیله یک کلید چاقوئی دوبل به منبع تغذیه با ولتاژ DC متصل نمایید. جهت جریان مدار را مطابق شکل به حالت معکوس در آورید.
- ولتاژ منبع تغذیه DC را روی 18 ولت قرار دهید. در این آزمایش از دو حلقه با قطرهای 400mm و 200 mm استفاده می نماییم.
- هر یک از حلقه ها، شامل سیم پیچ هایی با تعداد 10 دور سیم می باشد. دو سر این سیم پیچ ها را به دستگاه تقویت کننده ولتاژ (Micro Voltmeter) متصل نمایید. ضریب تقویت را روی 10^{+4} ولت تنظیم کنید. ولتاژ تقویت شده را به دستگاه ثبات بدھید 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 روی 10 ولت قرار دهید. این دستگاه همچنین دارای کلید هایی برای کنترل موقعیت کاغذ، موقعیت قلم و ... می باشد.



شکل 4

دستگاه ثبات ولتاژ متناوب القائی را در عرض کاغذ ترسیم می نماید. بنابراین فاصله افقی دو قله موج، دو برابر ماکریم دامنه ولتاژ القائی خواهد بود. این فاصله با توجه به ضریب ولتاژ ثبات و ضریب تقویت میکرو ولتمتر محاسبه می شود. فاصله عمودی بین دو قله متواالی با توجه به سرعت حرکت کاغذ بیانگر دوره تناوب ولتاژ القائی 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، ماکریم دامنه ولتاژ القائی و دوره تناب 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 (6)، (7)، (8) و (9) 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.

جدول 1: نتایج مربوط به حلقه بزرگ

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

($2R = 400\text{mm}$: حلقه بزرگ)

جدول 2: نتایج مربوط به حلقه کوچک

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

($2R=200\text{mm}$: حلقه کوچک)

آزمایش 10: مگنتومتر

هدف آزمایش: بررسی چگونگی مغناطیس شدن هسته آهنی، اندازه گیری میدان مغناطیسی و ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی آن

وسایل آزمایش: حلقه رولاند، منبع تغذیه DC، رئوستا، جعبه مقاومت، گالوانومتر بالستیک، سیم پیچ استاندارد، آمپرmetr 1.5 A، مترونم، کلید چاقوئی دوبل، سیم های رابط

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 گرفته اند. هرگاه دو قطبی ها تحت تاثیر میدان مغناطیسی مناسب هم راستای میدان شوند، ماده مغناطیده می شود. می توان میزان مغناطش مواد را طبق رابطه زیر تعریف کرد:

$$M = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{1}{V} \sum_i m_i \quad (1)$$

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:

$$H = \frac{NI}{2\pi r} \quad (2)$$

به دست می آید. N تعداد دورهای سیم پیچ اولیه (مغناطیس کننده) و ۲ ساع 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 ($\frac{N}{2\pi r} = 0.101 \text{m}^{-1}$) است. در این آزمایش $N=333$ دور و $r=0.101 \text{m}$ 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 قطبی های داخل هسته تحت تاثیر میدان مغناطیسی خارجی با یکدیگر هم راستا 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:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{M} + \vec{H}) \quad (3)$$

μ_0 ضریب نفوذ پذیری مغناطیسی هوا یا خلاء نامیده می شود که مقدار آن $4\pi \times 10^{-7} \text{ (Tm/A)}$ 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:

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{M} + \vec{H}) = \mu_0 \left(1 + \frac{\vec{M}}{H}\right) \vec{H} = \mu(H) \vec{H} \quad (4)$$

عبارت $(\mu(H))$ "ضریب تراوایی" یا "ضریب نفوذ پذیری 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 تغییرات نیروی محرکه القایی در سیم پیچ ثانویه ایجاد می گردد:

$$\begin{aligned}\varphi &= N' \vec{B} \cdot \vec{A} = N' BA \cos \theta \\ \Delta\varphi &= N' BA (\cos \pi - \cos 0) = -2N' BA \\ \varepsilon &= -\frac{d\varphi}{dt} = -N' A \frac{d\vec{B}}{dt} = N' A \frac{2B}{\Delta t}\end{aligned}\quad (5)$$

$N' = 25$ تعداد دورهای سیم پیچ ثانویه (مغناطیس شونده) که بر روی سیم پیچ های اولیه قرار گرفته است، $A = 75 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ 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:

$$\varepsilon = K\theta \quad (6)$$

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 (5) و (6) معادله زیر به دست می آید :

$$N' A \frac{2B}{\Delta t} = K\theta \Rightarrow B = \frac{K\Delta t}{2N' A} \theta \quad (7)$$

اگر در رابطه (7) مقدار K محاسبه شود، با معلوم بودن سایر مقادیر، میدان مغناطیسی B به دست می آید.

برای اندازه گیری ضریب K (مدرج کردن گالوانومتر بالستیک) از سیم پیچ استاندارد استفاده می نماییم. این سیم پیچ بدون هسته آهنی ($M = 0$) 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 9 با شکل دیگری از رابطه القاء فاراده آشنا شده اید. این رابطه وجود نیروی محرکه القایی را بر اساس تغییرات جریان نشان می دهد. با تغییر جریان از $I_0 + I$ به $I_0 - I$ ، می توان رابطه القاء فاراده را به شکل زیر نوشت:

$$\varepsilon = -M \frac{dI}{dt} = \frac{2MI_0}{\Delta t} \quad (8)$$

ضریب القاء متقابل دو سیم پیچ نسبت به یکدیگر می باشد. از مقایسه روابط (6) و (8) مقدار K به دست می آید.

$$K\theta_0 = \frac{2MI_0}{\Delta t} \Rightarrow K = \frac{2MI_0}{\Delta t \theta_0} \quad (9)$$

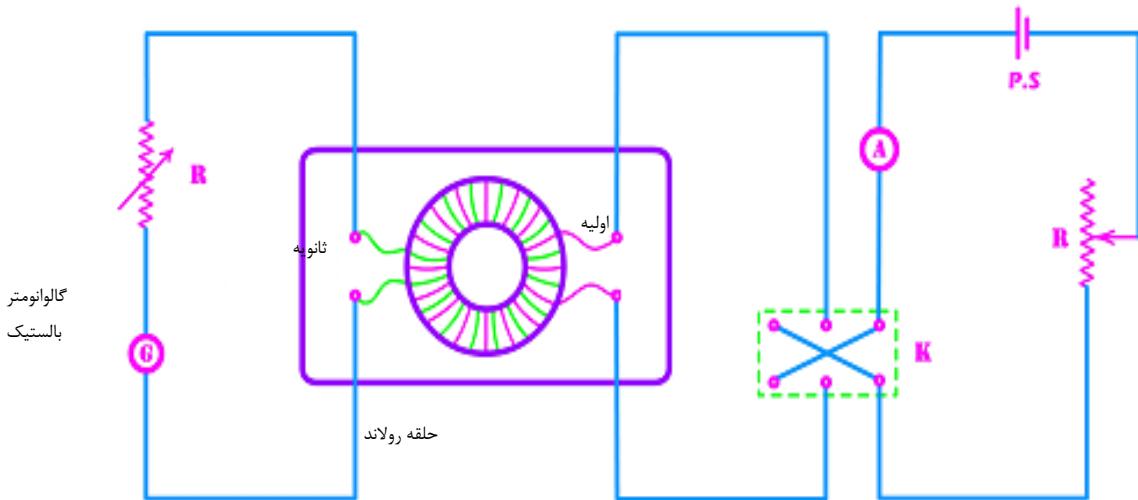
با قرار دادن مقدار K در معادله (7) مقدار B به صورت زیر خواهد شد :

$$B = \frac{MI_0}{N' A \theta_0} \theta = \lambda \theta \quad (10)$$

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

روش آزمایش:

- ابتدا مدار زیر را بیندید. دقت کنید که جهت ورود جریان به داخل آمپرمتر از سر مثبت آن باشد. مقاومت متغیر رئوستا را در بیشترین مقدار قرار داده و جریان را به وسیله کلید چاقوئی دوبل در سیم‌لوله اولیه برقرار نمایید.



شکل ۱: مدار الکتریکی مگنتومتر

- ولوم منبع تغذیه را تا آخرین حد آن قرار دهید. به تدریج مقاومت رئوستا را کاهش داده تا آمپر متر جریان ۱.۵ آمپر را نشان دهد.
- 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. مترونوم را فعال کرده و کلید را همزمان با تناوب صدای مترونوم دائمی "تغییر جهت" دهید.
- به ازای هر یک از مقادیر جریان، مقدار انحراف لکه گالوانومتر ($\theta_L - \theta_R$) را بر حسب میلیمتر یادداشت نمایید. (θL) مقدار انحراف به سمت راست و (θR) مقدار انحراف به سمت چپ می باشد.

مدرج کردن گالوانومتر بالستیک

- برای مدرج کردن گالوانومتر بالستیک (اندازه گیری ضربی K), از سیم پیچ استاندارد استفاده می نماییم. جریان را بر روی ۰.۲ آمپر تنظیم نموده و θ_0 را به دست آورید.
- با استفاده از اطلاعات مربوط به سیم پیچ ثانویه ($M = 10\text{mH}$ ، $A = 75 \times 10^{-6} \text{ m}^2$) و I_0 و θ_0 مقدار ضربی 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 کاملاً توجه نمایید.

$I(A)$	$\theta(cm)$	$H(A/m)$	$B = \lambda\theta (T)$	$\mu(H) = B/H$
0.05				
0.10				
0.15				
0.20				
0.25				
0.30				
0.35				
0.40				
0.45				
0.50				
0.60				
0.70				
0.80				
0.90				
1.00				
1.10				
1.20				
1.30				
1.40				
1.50				

اندازه گیری از روی سیم پیچ استاندارد: $\theta_0 = \dots$

- نمودار $(B-H)$ و $(H-I)$ را بر روی یک کاغذ میلیمتری رسم کنید تا تعییرات و وابستگی آنها را به طور همزمان بررسی شود. نمودار $B-H$ منحنی هیستربیزیس (منحنی مغناطش ماده) نام دارد.

سؤالات:

- 1- چرا تنها در لحظات قطع و وصل کلید، گالوانومتر بالستیک جریانی را در مدار ثانویه نشان می دهد؟
- 2- اگر هسته آهنی در داخل سیم پیچ وجود نداشت منحنی $B-H$ به چه شکل می بود؟
- 3- در اواخر آزمایش هنگامی که جریان از 1 آمپر تجاوز می کند، تغییر زیادی را در B ایجاد نخواهد کرد. علت این امر چیست؟
- 4- پس از رسم منحنی I نسبت به H به این نتیجه می رسید که ضریب نفوذ I هسته آهنی مقدار ثابتی نمی باشد. توجیه فیزیکی این مورد چیست؟
- 5- با توجه به اینکه (θ) زاویه انحراف می باشد، آیا اندازه گیری انحراف لکه گالوانومتر بر حسب میلیمتر صحیح می باشد؟ چرا؟
- 6- چرا با گذاشتن هسته آهنی جریان القائی در سیم پیچ ثانویه افزایش می یابد؟
- 7- چرا در ابتدای آزمایش، مقدار جریان با گامهای 0/05 آمپر افزایش می یافت؟
- 8- در ایجاد میدان B چه عاملی بیشترین اثر را دارد؟
- 9- نقش مترونم در طول آزمایش چیست؟

آزمایش شماره 11 : مدارهای RLC و RC

هدف آزمایش: بررسی مدارهای RL، RC و RLC در جریان متناوب

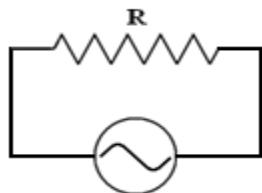
وسایل مورد نیاز: منبع تغذیه متناوب، مقاومت الکتریکی، القاگر(سیم پیچ)، خازن، ولت متر AC، آمپر متر AC، سیم های رابط

تئوری آزمایش: در مدارهای جریان متناوب، چون مقدار و جهت جریان دائم "تغییر می کند قانون اهم و قانون کریشهف به همان شکل ساده که در جریان مستقیم به کار برده می شوند، قابل استفاده نیستند. از این رو در جریانهای متناوب بایستی تجدید نظر کرد.

ابتدا فرض می کنیم هر یک از عناصر بطور جداگانه به منبع تغذیه متناوب وصل شده اند. در هر مورد، مقاومت ظاهری که عنصر از خود نشان می دهد و اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را بدست می آوریم.

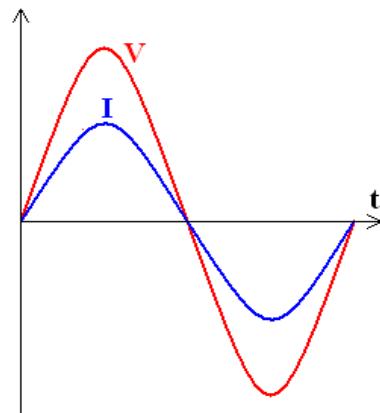
الف - مدار مقاومتی

مدار شکل زیر را در نظر بگیرید که فقط شامل یک مقاومت است. قانون اهم در هر لحظه برای آن صادق است. اگر جریان $I = I_m \sin \omega t$ از آن بگذرد اختلاف پتانسیل لحظه ای دو سر آن $V = Ri = RI_m \sin \omega t$ می شود. در این صورت اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان برابر صفر است.



شکل 1: مدار مقاومتی

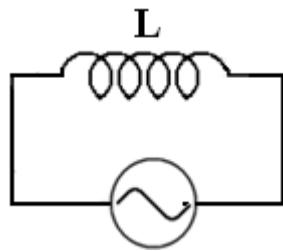
"عموماً" مقاومت در مدار الکتریکی برای کاهش شدت جریان بکار می رود. به عبارت دیگر مقاومت در مدارها هیچ تغییری در فرکانس جریان متناوبی که از مدار می گذرد، نمی دهد پس تغییرات زمانی ولتاژ و شدت جریان متناوب در این مدار هم فاز هستند.



شکل 2: هم فازی ولتاژ و جریان در مدار مقاومتی

ب - مدار القایی

اگر جریان نسبت به زمان تغییر کند، مثلاً "جریان سینوسی $I = I_m \sin \omega t$ از مدار عبور کند شار مغناطیسی متغیر $LI = \emptyset$ در سیم پیچ ایجاد می شود.



شکل 3: مدار القایی

این شار متغیر، در سیم پیچ نیروی محرکه الکتریکی القا می کند که مطابق قانون لنز با عامل به وجود آورنده اش یعنی جریان متغیر، مخالفت می کند و در نتیجه از مقدار جریان می کاهد.

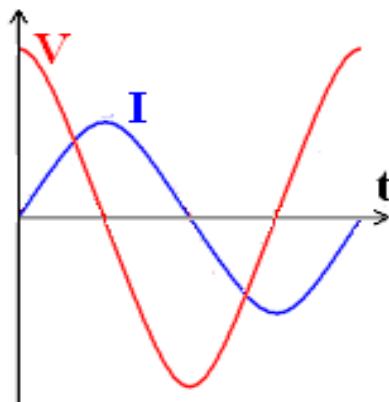
$$\epsilon = -\frac{d\phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$$

برای مدار القایی فوق داریم:

$$\epsilon + V_L = 0$$

$$V_L = L \frac{dI}{dt} = L\omega I_m \cos \omega t = X_L I_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right)$$

از رابطه فوق دو نتیجه کلی گرفته می شود: اول اینکه $V_m = X_L I_m = X_L I_e$ می باشد، این رابطه بین ولتاژ و جریان موثر^۳ نیز برقرار است ($V_e = X_L I_e$). که در مقایسه با قانون اهم، نتیجه می شود $X_L = L\omega$ را دارد و آنرا مقاومت ظاهری القاگر یا اندوکتانس می نامند. اگر L بر حسب هانری بیان شود، X_L بر حسب اهم خواهد بود. دوم اینکه اختلاف پتانسیل V_m نسبت به جریان I_m به اندازه $\frac{\pi}{2}$ تقدم فاز دارد (این رابطه بین کمیتها می نیز برقرار است).

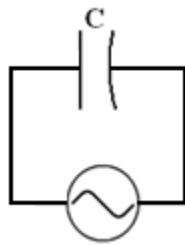


شکل 4: تقدم فاز ولتاژ به جریان در مدار القایی

ج- مدار خازنی

اگر مدار فقط شامل خازن باشد، صفحات خازن به طور متناوب دارای بار الکتریکی مثبت و منفی گردیده و بار الکتریکی متناوباً "در دو جهت جریان حرکت می نماید و جریان به وجود می آید.

³ ولتاژ و جریان موثر، جذر میانگین مربعی این کمیتها است. برای مطالعه بیشتر به کتاب فیزیک هالیدی، فصل جریانهای متناوب مراجعه شود.

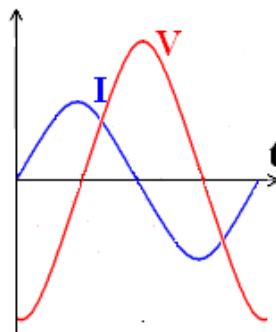


شکل 5: مدار خازنی

$$I = \frac{dq}{dt} = C \frac{dV}{dt}$$

$$\begin{aligned} V_C &= \frac{1}{C} \int Idt = \frac{1}{C} \int I_m \sin \omega t dt \\ &= \frac{-I_m}{C\omega} \cos \omega t = X_C I_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) \end{aligned}$$

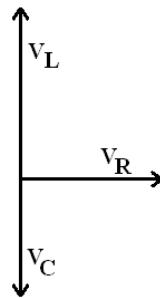
که در آن $X_C = \frac{1}{C\omega}$ را راکتانس می‌نامند. چنانچه می‌بینیم در جریان متناظر خازن C یک مقاومت $\frac{1}{C\omega}$ از خود نشان می‌دهد که هر چه C یا ω کمتر باشد این مقاومت بیشتر است. اگر C بر حسب فاراد باشد، X_C بر حسب اهم می‌شود. در جریان پیوسته $V_C = \infty$ ، $\omega = 0$ است، یعنی خازن بصورت مدار باز عمل می‌کند ولی در فرکانس‌های بالا رفتار خازن مانند یک مقاومت بسیار کوچک است. همچنین اختلاف پتانسیل به اندازه $\frac{\pi}{2}$ نسبت به جریان تاخیر مدار باز دارد.



شکل 6: تاخیر فاز ولتاژ نسبت به جریان در مدار خازنی

روش فازوری (روش فرنل)

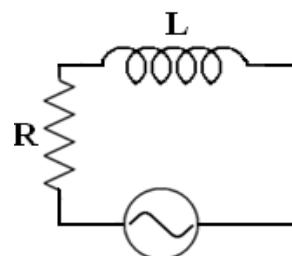
برای مطالعه بهتر مدارها از روش رسم فازوری استفاده می‌کنیم. در این روش قانون کریشهف برای مدار RLC بصورت یک رابطه برداری است. اندازه هریک از بردارها برابر با اختلاف پتانسیل موثر دو سر عنصر است. برای مقاومت R اختلاف پتانسیل و جریان هم فاز هستند. در نتیجه این دو بردار هم جهت هستند و اختلاف فاز بین جریان و اختلاف پتانسیل هر یک از عناصر مدار برابر با زاویه بین بردار V_R و بردار اختلاف پتانسیل آن عنصر است. بنابراین اگر V_R مانند شکل 7 در راستای افق رسم شود بردار اختلاف پتانسیل القاگر ایده آل L (V_L) و خازن ایده آل C (V_C) عمود بر بردار V_R خواهد بود. بردار V_L به علت تقدم فاز نسبت به جریان در جهت مثبت و بردار V_C به علت تاخیر فاز نسبت به جریان در جهت منفی رسم می‌شوند.



شکل 7: نمایش برداری ولتاژها

RL مدار

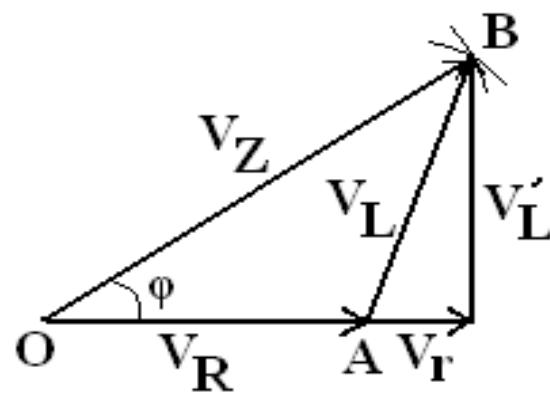
اگر به همراه القاگر، مقاومت R نیز در مدار وجود داشته باشد، مدار RL تشکیل می شود.



شکل 8: مدار RL

با اندازه گیری ولتاژهای موثر V_R ، V_L و V_Z و جریان موثر I_e ، و با استفاده از نمایش فازوری آنها، بسادگی اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان مدار قابل محاسبه است.

در عمل چون سیم پیچ دارای مقاومت اهمی (r) نیز هست V_L بر V_R عمود نیست، بلکه به صورت شکل 9 می باشد.



شکل 9: نمایش برداری ولتاژها برای القاگر غیر ایده آل

در چنین حالتی اختلاف فازی بین اختلاف پتانسیل و شدت جریان ایجاد می شود. منظور از اختلاف فاز، این است که تغییرات شدت جریان و ولتاژ همزمان نیستند. در مورد القاگر، جریان از ولتاژ عقب می افتد، یعنی تغییرات شدت جریان با مقداری تاخیر، مشابه ولتاژ است. مقدار این تغییر فاز φ از روابط زیر به دست می آید.

$$\tan \varphi = \frac{V'_L}{V_R + V_r} = \frac{X_L}{R + r}$$

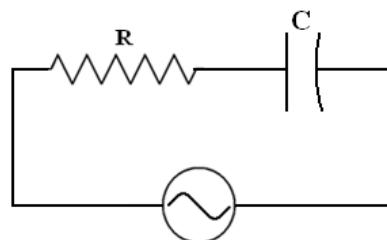
$$\cos\varphi = \frac{V_R + V_r}{V_Z} = \frac{R + r}{\sqrt{(R + r)^2 + X_L^2}}$$

Γ مقاومت اهمی سیم پیچ است. امپدانس مدار نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است.

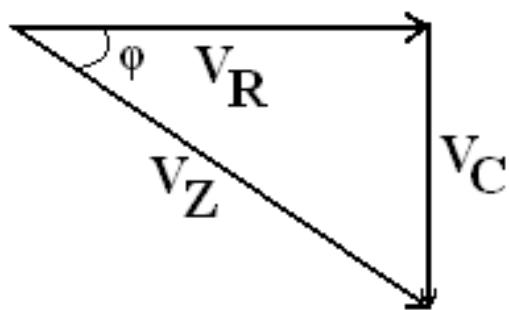
$$Z = \frac{V_Z}{I_e} = \sqrt{(R + r)^2 + X_L^2}$$

RC مدار

اگر خازن را با یک مقاومت R به طور سری بیندیم.



شکل 10: مدار RC



شکل 11: نمایش برداری ولتاژها در مدار RC

در این حالت نمودار برداری ولتاژ مطابق شکل 11 خواهد بود، و مقدار مقاومت ظاهری (امپدانس) مدار به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$Z = \frac{V_Z}{I_e} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

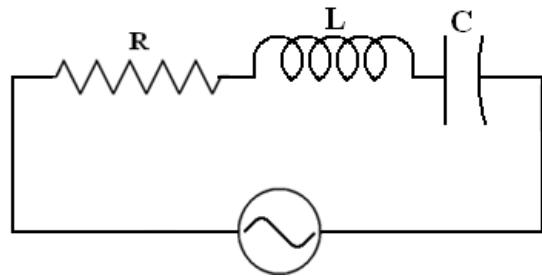
اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ منبع تغذیه با یکی از روابط زیر مشخص می شود:

$$\tan\varphi = \frac{V_C}{V_R} = \frac{X_C}{R}$$

$$\cos\varphi = \frac{V_R}{V_Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

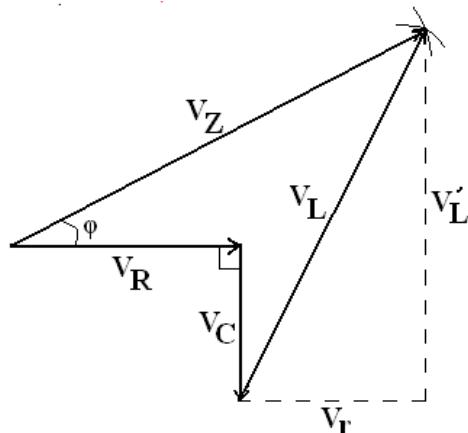
RLC مدار

در حالت کلی یعنی موقعی که یک مقاومت، یک خازن و یک سلف به طور سری قرار گیرند. مدار RLC تشکیل می شود.



شکل 12: مدار RLC

نمودار برداری ولتاژها مانند شکل زیر است.



شکل 13: نمایش برداری ولتاژها در مدار RLC

$$\tan \varphi = \frac{V'_L - V_C}{V_R + V_r} = \frac{X_L - X_C}{R + r}$$

$$\cos \varphi = \frac{V_R + V_r}{V_Z} = \frac{R + r}{\sqrt{(R + r)^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

با توجه به نمایش برداری ولتاژها، مقاومت ظاهری (امپدانس) از رابطه زیر بدست می آید:

$$Z = \frac{V_Z}{I_e} = \sqrt{(R + r)^2 + (X_L - X_C)^2}$$

در حالت خاصی که پرانتز دوم زیر رادیکال در رابطه بالا صفر شود (یعنی $2\pi f L - \frac{1}{2\pi f C} = 0$ ، Z کمترین مقدارش را خواهد داشت و در نتیجه شدت جریان مأگزینم می شود. این حالت را تشیدید می نامند. بدین ترتیب فرکانس تشیدید قابل محاسبه است.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

"عموماً" در گیرنده ها برای اینکه موج فرستنده بخصوصی دریافت شود، از این خاصیت استفاده می شود.

روش آزمایش:

الف) مدار RL

- مدار آزمایش را که شامل مقاومت R ، القاگر L و آمپرmetr است به صورت سری به منبع تغذیه متناوب وصل کنید (مداری مطابق شکل 8).
- قبل از روشن کردن منبع تغذیه، مدار الکتریکی را به مربی نشان دهید.
- کلید سلکتور منبع تغذیه را روی صفر تنظیم نموده، منبع تغذیه را روشن کنید و روی مقداری در بازه 2-10 ولت تنظیم نمایید.
- ولتاژهای موثر V_R ، V_L و V_Z را با استفاده از ولتمتر AC اندازه گیری کنید، جریان مدار را نیز با آمپرmetr AC اندازه بگیرید و در جدول 1 ثبت نمایید.
- نمودار برداری ولتاژها را با استفاده از خط کش و پرگار بر روی کاغذ میلیمتری رسم کنید (مطابق روش فرنل) و با استفاده از آن اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ منبع تغذیه را با استفاده از نقاله اندازه بگیرید و در جدول 1 ثبت کنید. همین کمیتها را با استفاده از روش محاسباتی (استفاده از فرمولها) انجام دهید و در جدول 1 ثبت کنید.
- با استفاده از نمودار برداری، مقاومت اهمی القاگر را بدست آورید و در جدول ثبت کنید.
- امپدانس مدار Z و راکتانس مدار X_L را محاسبه کنید و با استفاده از آن ضریب خودالقا (L) را بدست آورید و در جدول ثبت کنید (فرکانس برق شهر 50 هرتز است).
- اختلاف فاز را یکبار با استفاده از رابطه تانزانتی بار دیگر با استفاده از رابطه کسینوسی محاسبه کنید و در جدول ثبت کنید. بار دیگر با استفاده از نقاله اختلاف فاز را تعیین کنید و در جدول ثبت کنید.

جدول 1: مدار RL

کمیتهای اندازه گیری شده					محاسبه و رسم فرنل							
R	V_Z	V_R	V_L	I	$Z = \frac{V_Z}{I_e}$	$R = \frac{V_R}{I_e}$	$X_L = \frac{V'_L}{I_e}$	$L = \frac{X_L}{2\pi f}$	$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{V'_L}{V_R + V_r} \right)$	$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{V_R + V_r}{\sqrt{(V_R + V_r)^2 + V_L^2}} \right)$	$r = \frac{V_r}{I_e}$	φ

رسم فرنل

برای تعیین مقادیر خواسته شده در جدول به شرح زیر عمل می کنیم. ابتدا از نقطه O برداری برابر $V_R = OB$ در امتداد محور افقی (با یک مقیاس مشخص) رسم کرده و از انتهای آن (نقطه B) کمانی به شعاع V_L رسم کنید (مطابق شکل 9). از ابتدای بردار V_R (نقطه O) کمانی به شعاع V_Z رسم کرده تا همیگر را در نقطه A قطع کند. بدین ترتیب بردار $V_L = BA$ و بردار $V_Z = OA$ تعیین می شود. بردار V_L را به دو مولفه عمود برهم تجزیه کنید. مولفه V'_L عبارت است از ولتاژ دو سر سلف وقتی که مقاومت اهمی سلف باشد (القاگر ایده آل) و مولفه V_r اختلاف پتانسیل روی دو مقاومت اهمی القاگر است.

ب) مدار RC

- مدار آزمایش را که شامل مقاومت R ، خازن C و آمپرmetr است به صورت سری به منبع تغذیه متناوب وصل کنید (مداری مطابق شکل 10).
- قبل از روشن کردن منبع تغذیه، مدار الکتریکی را به مربی نشان دهید.

- کلید سلکتور منبع تغذیه را روی صفر تنظیم نموده، منبع تغذیه را روشن کنید و روی مقداری در بازه ۱۰-۲ ولت تنظیم نمایید.
- ولتاژهای موثر V_R ، V_C و V_Z را با استفاده از ولتمتر AC اندازه گیری کنید، جریان مدار را نیز با آمپر متر AC اندازه بگیرید و در جدول ۲ ثبت کنید.
- نمودار برداری ولتاژها را با استفاده از خط کش و پرگار بر روی کاغذ میلیمتری رسم کنید (مطابق روش فرنل) و با استفاده از آن اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ منبع تغذیه را با استفاده از نقاله اندازه بگیرید و در جدول ۲ ثبت کنید. همین کمیتها را با استفاده از روش محاسباتی (استفاده از فرمولها) انجام دهید و در جدول ۲ ثبت کنید.
- امپدانس مدار Z و اندوکتانس مدار C را محاسبه کنید و با استفاده از آن ظرفیت خازن (C) را بدست آورید و در جدول ۲ ثبت کنید (فرکانس برق شهر ۵۰ هرتز است).
- اختلاف فاز را یکبار با استفاده از رابطه تانژانتی بار دیگر با استفاده از رابطه کسینوسی محاسبه کنید و در جدول ۲ ثبت کنید. بار دیگر با استفاده از نقاله اختلاف فاز را تعیین کنید و در جدول ثبت کنید.

جدول ۲: مدار RC

کمیتهاي اندازه گيری شده					محاسبه و رسم فرنل							
R	V_Z	V_R	V_C	I	$Z = \frac{V_Z}{I_e}$	$R = \frac{V_R}{I_e}$	$X_C = \frac{V_C}{I_e}$	$C = 2\pi f X_C$	$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{V_C}{V_R} \right)$	$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{V_R}{\sqrt{V_R^2 + V_C^2}} \right)$	φ	

ج) مدار RLC

- مدار آزمایش را که شامل مقاومت R ، القاگر L و آمپر متر است به صورت سری به منبع تغذیه متناوب وصل کنید (مطابق شکل ۱۲).
- قبلاً از روشن کردن منبع تغذیه، مدار الکتریکی را به مرتب نشان دهید.
- کلید سلکتور منبع تغذیه را روی صفر تنظیم نموده، منبع تغذیه را روشن کنید و روی مقداری در بازه ۱۰-۲ ولت تنظیم نمایید.
- ولتاژهای موثر V_R ، V_L و V_Z را با استفاده از ولتمتر AC اندازه گیری کنید، جریان مدار را نیز با آمپر متر AC اندازه بگیرید و در جدول ۳ ثبت کنید.
- نمودار برداری ولتاژها را با استفاده از خط کش و پرگار بر روی کاغذ میلیمتری رسم کنید (مطابق روش فرنل) و با استفاده از آن اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ منبع تغذیه را با استفاده از نقاله اندازه بگیرید و در جدول ۳ ثبت کنید. همین کمیتها را با استفاده از روش محاسباتی (استفاده از فرمولها) انجام دهید و در جدول ۳ ثبت کنید.
- امپدانس مدار Z ، راکتانس L و اندوکتانس C را محاسبه کنید و با استفاده از آن ضریب خود القا (L)، ظرفیت خازن (C) را بدست آورید و در جدول ۳ ثبت کنید (فرکانس برق شهر ۵۰ هرتز است).
- اختلاف فاز را یکبار با استفاده از رابطه تانژانتی بار دیگر با استفاده از رابطه کسینوسی محاسبه کنید و در جدول ۳ ثبت کنید. بار دیگر با استفاده از نقاله اختلاف فاز را تعیین کنید و در جدول ثبت کنید.

جدول 3: مدار RLC

کمیتهای اندازه گیری شده						محاسبه و رسم فرزنل									
R	V _Z	V _R	V _L	V _C	I	Z = $\frac{V_Z}{I_e}$	R = $\frac{V_R}{I_e}$	X _L = $\frac{V'_L}{I_e}$	L = $\frac{X_L}{2\pi f}$	X _C = $\frac{V_C}{I_e}$	C = $2\pi f X_C$	$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{V'_L - V_C}{V_R + V_r} \right)$	$\varphi = \cos^{-1} \left(\frac{V_R + V_r}{V_Z} \right)$	r	φ

سؤالات:

1- در مدار RL، آیا V_L بر V_R عمود است؟ توضیح دهید.

2- در مدار RC، آیا V_C بر V_R عمود است؟ توضیح دهید.

3- چرا در مدار RLC مجموع اختلاف پتانسیل های دو سر سلف، مقاومت و خازن از اختلاف پتانسیل دو سر منبع تغذیه بیشتر است؟

4- اگر در مدار شکل 12 شرایط مدار طوری باشد، که حالت تشدید بوجود آید، چه رابطه ای بین V_L و V_C برقرار خواهد بود؟ نمودار برداری ولتاژها را در این حالت رسم کنید (فرض کنید سلف مقاومت اهمی ندارد).