

آزمایشگاه فیزیک 2-آزمایش 7: ترانسفورماتور؛ بررسی تجربی قانون لنز؛ تعیین مقاومت با استفاده از پل وتستون و پل تار

الف) ترانسفورماتور:

هدف آزمایش: بررسی تجربی ترانسفورماتور در ولتاژ متناوب

وسایل آزمایش: منبع تغذیه متناوب، سیم پیچ با دوره‌های متفاوت، هسته آهنی، مولتی‌متر، سیم‌های رابط

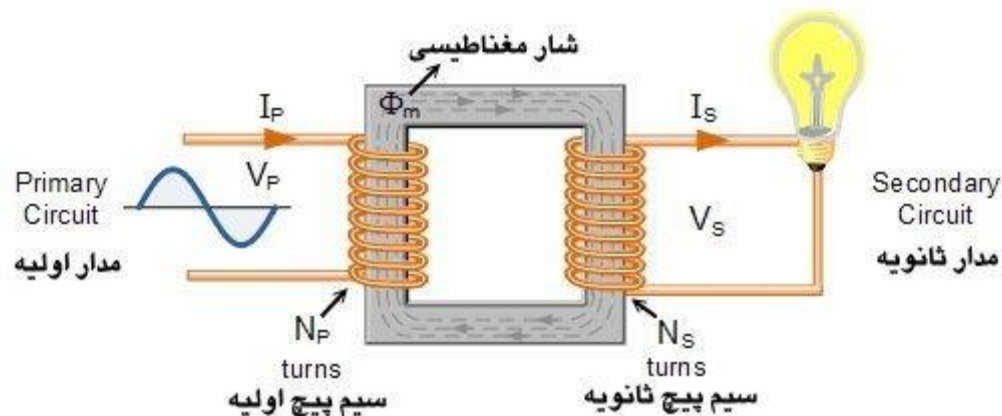
تئوری آزمایش:

در انتقال انرژی الکتریکی بین نیروگاه برق تا مصرف کننده برای کمینه کردن اتلاف‌های I^2R در خطوط انتقال (که معمولاً اتلاف‌های اهمی خوانده می‌شود)، بهتر آنست که جریان بکار رفته کمترین و در نتیجه ولتاژ بکار رفته بیشترین مقدار خود را داشته باشد. به بیان دیگر قاعده کلی انتقال انرژی الکتریکی بدین صورت است: انرژی در بالاترین ولتاژ ممکن و در پایین‌ترین جریان ممکن انتقال یابد. از طرف دیگر به دلایل ایمنی و نیز برای کارآمدی وسایلی که طراحی می‌شود، مطلوب آن است که هم در پایانه‌های تولید برق و هم در پایانه‌های مصرف (منازل و کارخانه‌ها) ولتاژهای نسبتاً پایینی بکار گرفته شود.

قاعده‌ی انتقال به یک ناهمخوانی اساسی بین شرط لزوم انتقال انرژی به نحوی کارآمد با ولتاژ بالا، و شرط تولید و مصرف ایمن انرژی با ولتاژ پایین می‌انجامد. بنابراین به وسیله‌ای نیاز داریم که با آن بتوانیم ولتاژ در یک مدار ac را برای انتقال انرژی بالا برده و برای مصرف پایین بیاوریم. این موضوع باید در حالی صورت گیرد که حاصلضرب جریان ولتاژ حتی الامکان ثابت بماند تا از اتلاف انرژی جلوگیری شود. مبدل یا ترانسفورماتور چنین وسیله‌ای است؛ هیچ بخش متحرکی ندارد و تنها بر مبنای قانون القای فاراده کار می‌کند.

در شکل زیر نمای شماتیک یک ترانسفورماتور نشان داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود ترانسفورماتور از دو پیچه که بر روی یک هسته آهنی قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. پیچه اولیه که به منبع تغذیه متصل می‌گردد، یک القاگر خالص است. پیچه دوم نیز که مصرف کننده به آن متصل می‌شود،

پیچه ثانویه نامیده می‌شود. در حالت ایده‌آل فرض می‌شود که مقاومت پیچه‌ها ناچیز است. در عمل نیز مبدل‌هایی که با قابلیت‌های بالایی طراحی شده‌اند، اتلاف انرژی ای در حدود 1٪ دارند.

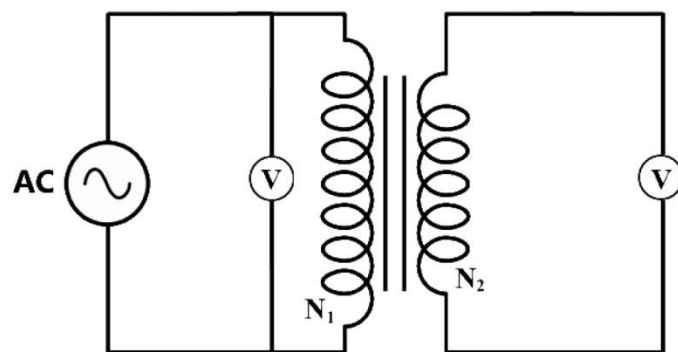


در یک ترانسفورماتور، نیروی محرکه الکتریکی به فرم $\xi = \xi_m \sin \omega t$ به پیچه اولیه وارد می‌شود. جریان اولیه‌ی متغیر سینوسی، شار مغناطیسی متغیر سینوسی Φ_B را در هسته آهنی ایجاد می‌کند. هسته، شار مغناطیسی را تقویت کرده و موجب انتقال آن به پیچه‌ی ثانویه می‌شود. به دلیل تغییر شار مغناطیسی، نیروی محرکه الکتریکی در هر دور از سیم پیچ ثانویه القا می‌شود. در واقع با فرض اینکه اتلاف شار مغناطیسی صفر باشد، این نیروی محرکه بر دور $(\xi_{\text{دور}})$ ، در سیم پیچ اولیه و ثانویه یکسان است. ولتاژ دو سر سیم پیچ اولیه برابر حاصل ضرب $\xi_{\text{دور}}$ در تعداد دورهای آن است؛ یعنی $V_P = \xi_{\text{دور}} \cdot N_P$. به همین ترتیب ولتاژ دوسر ثانویه به صورت $V_S = \xi_{\text{دور}} \cdot N_S$ است.

$$\xi_{\text{دور}} = \frac{V_P}{N_P} = \frac{V_S}{N_S} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \quad (1) \quad \text{بنابراین می‌توانیم بنویسیم:}$$

روش آزمایش

- مدار را مطابق شکل زیر به ازای $N_P=600$ و $N_S=300$ می‌بندیم.



- فرکانس منبع تغذیه را بر روی ۵۰ Hz قرار داده و ولتاژ سیم پیچ اولیه را به ازای ده مقدار در بازه 0/5 تا 5 ولت تغییر می دهیم. به ازای هر ولتاژ داده شده به سیم پیچ اولیه، ولتاژ سیم پیچ ثانویه را اندازه گیری میکنیم. سپس به ازای $N_p=300$ و $N_s=1200$ ، مراحل فوق تکرار شده اند. نتایج حاصل از این اندازه گیری ها در بخش داده ها آمده است. این نتایج را در جدولی مانند جدول زیر یادداشت کنید.

	V_p (V)	V_s (V)		V_p (V)	V_s (V)
$N_p=600$			$N_p=300$		
$N_s=300$			$N_s=1200$		

- برای هر سری از داده‌ها، نمودار V_P بر حسب V_S را در کاغذ میلی‌متری رسم کنید. با محاسبه شیب نمودار درستی رابطه $V_P = \frac{N_P}{N_S} V_S$ را بررسی کرده و خطای مطلق و نسبی را بدست آورید.

ب) بررسی تجربی قانون لنز

هدف: بررسی اثر نیروی محرکه القایی در سقوط آزاد اجسام

تئوری آزمایش:

همانطور که می‌دانیم، شار مغناطیسی عبوری از سطح A که در میدان مغناطیسی B قرار دارد از رابطه زیر تعریف می‌شود:

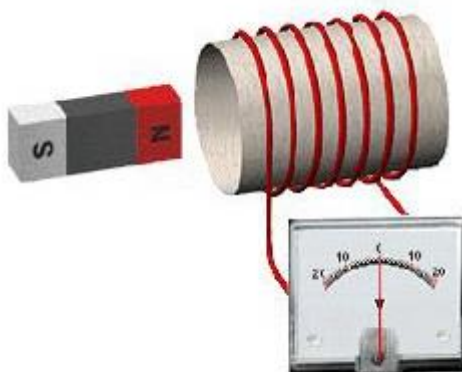
$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (3)$$

اگر شار مغناطیسی عبوری از سطح که توسط یک حلقه رسانای بسته محدود شده است با زمان تغییر کند، یک جریان و یک نیروی محرکه در حلقه القا می‌شود. نیروی محرکه القایی عبارتست از (قانون فاراده) :

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (4)$$

علامت منفی در رابطه بالا به خاطر قانون لنز منظور شده است. طبق قانون لنز جهت جریان القایی به گونه ای است که میدان مغناطیسی حاصل از این جریان با تغییر شار مغناطیسی‌ای که این جریان را القا می‌کند، مخالفت می‌کند.

اگر مانند شکل زیر یک آهنربا را از جهت N به یک سیملوله نزدیک کنیم، طبق قانون لنز جریان القایی در



جهتی است که با تغییرات شار درون سیملوله مخالفت می‌کند. یعنی این جریان باعث ایجاد قطب همنام در ابتدای سیملوله می‌شود و این موضوع مانعی در مقابل حرکت آهنربا به سمت سیملوله ایجاد می‌کند. از طرف دیگر اگر همین آهنربا از سیملوله دور می‌شد، طبق قانون لنز جهت جریان القایی به گونه ای بود تا با کاهش شار مغناطیسی درون آن مخالفت شود. این جریان باعث می‌شود تا در

سمت نزدیک آهنربا، قطب ناهمنام آن ایجاد شود. بنابراین در مجموع جهت جریان القایی درون یک پیچه به گونه ای است که با حرکت آهنربا درون خود مخالفت کرده و نیرویی در جهت مخالف به آن وارد می کند. حال اگر ما به جای پیچه یک میله رسانا قرار دهیم، جهت جریان القایی درون آن مانند مشابه پیچه خواهد بود و با حرکت آهنربا درون خود مخالف می کند.

اجرای آزمایش :

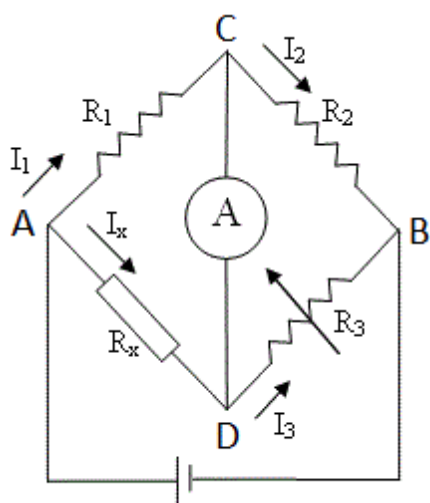
دستگاه را مطابق شکل سوار کرده و زمان سنج را روشن میکنیم. ابتدا استوانه غیرمغناطیسی را درون لوله انداخته و سپس آهنربای استوانه را درون لوله می اندازیم. همانطور که در فیلم های آموزشی مشاهده می شود، زمان سقوط بین این دو استوانه تفاوت فاحشی باهم دارند.



- با توجه به فیلم های آموزشی زمان سقوط کدام استوانه بیشتر است؟
- با رسم شکل جهت جریان القایی و نیروهای وارد بر آهنربا، هنگامی که استوانه مغناطیسی در وسط میله قرار دارد، را نشان دهید.
- آیا می توان (با چشم پوشی از مقاومت هوا) یک شتاب ثابت برای سقوط استوانه مغناطیسی در نظر گرفت؟ چرا؟

ج) تعیین مقاومت با استفاده از پل وتستون و پل تار

تئوری آزمایش :



همانطور که در شکل دیده می‌شود، پل وتستون ترکیبی از چهار مقاومت R_1 تا R_4 است به طوریکه اختلاف پتانسیل دو نقطه C و D صفر شود.

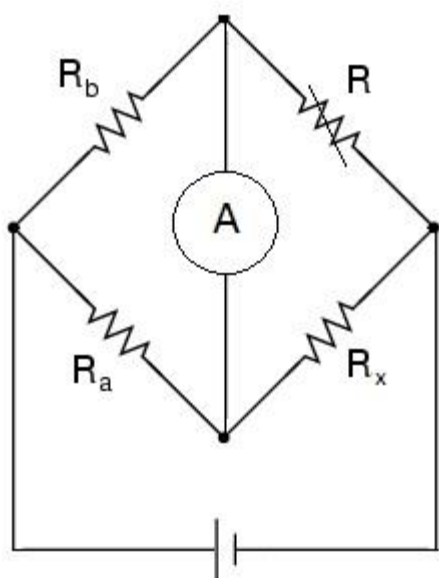
یکی از کاربردهای متداول پل وتستون، اندازه‌گیری سریع و دقیق مقاومت مجهول R_x می‌باشد. بدین منظور همانند شکل، مقاومت مجهول را درون مدار قرار می‌دهیم. سپس مقاومت R_3 را آنقدر تغییر داده تا آمپر متر جریان صفر را نشان دهد. تحت این شرایط داریم:

$$\begin{cases} V_{AC} = V_{AD} \Rightarrow R_1 I_1 = R_x I_x \\ V_{CB} = V_{DB} \Rightarrow R_2 I_2 = R_3 I_3 \\ I_1 = I_2, I_x = I_3 \end{cases} \Rightarrow \frac{R_1 I_1}{R_2 I_2} = \frac{R_x I_x}{R_3 I_3} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_3}$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{R_1}{R_2} \times R_3 \quad (4)$$

بنابراین با استفاده از رابطه (4) می‌توان مقدار R_x را تعیین کرد.

اجرای آزمایش :



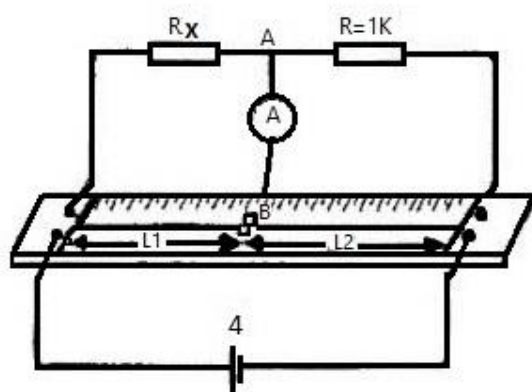
مدار را مطابق شکل زیر می‌بندیم. مقاومت R را آنقدر تغییر می‌دهیم تا از آمپر متر جریانی عبور نکند. مقدار مقاومت متغیر در این حالت در بخش دیتاها آمده است. با استفاده از این مقدار و رابطه (4) جدول زیر را کامل کنید.

ولتاژ	R_a	R_b	R	R_x
10 V	4.7 K Ω	10 K Ω		

- پل تار

تئوری آزمایش :

پل وتستون را می‌توان به صورت ساده تری که پل تار نام دارد سوار نمود. شکل زیر مدار پل تار را نشان می‌دهد که از یک رشته سیم یکنواخت یک متری تشکیل شده است.



با تنظیم سرمتحرک (B) می‌توان ولتاژ بین دو نقطه A و B را صفر نمود. در نتیجه از آمپر متر جریانی عبور نمی‌کند. در این صورت مقاومت‌های R و R_x و سیم‌های L_1 و L_2 مانند چهار شاخه پل وتستون می‌باشند. در یک پل تار متقارن روابط به صورت زیر هستند :

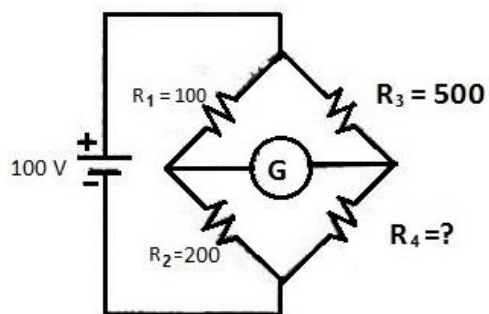
$$\frac{R_x}{R} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{L_1}{L_2} \Rightarrow R_x = \frac{L_1}{L_2} \times R$$

اجرای آزمایش :

مدار را مطابق شکل بالا (مانند فیلم های آموزشی) می‌بندیم. مقاومت مجهول R_x است. مقدار $R_1 = 1K\Omega$ و ولتاژ DC برابر 4V می‌باشد. سر متحرک پل را حرکت می‌دهیم، تا جایی که هیچ جریانی از شاخه AB عبور نکند. سپس طول L_1 و L_2 را به دست می‌آوریم. نتایج حاصل در بخش داده ها آمده اند. با استفاده از این نتایج و تئوری آزمایش جدول زیر را کامل کنید.

R_x	L_1	L_2	R_1	ولتاژ
				4v

پرسش :



1) در مدار مقابل مقاومت R_4 را طوری حساب کنید که مدار

پل به حالت تعادل درآید. همچنین نسبتهای $\frac{V_{R_3}}{V_{R_4}}$ و $\frac{V_{R_1}}{V_{R_2}}$

را حساب کنید.