

دستور کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

فهرست

آزمایش ۱	۳
آزمایش ۲	۸
آزمایش ۳	۱۴
آزمایش ۴	۲۲
آزمایش ۵	۲۷
آزمایش ۶	۳۴
آزمایش ۷	۴۱
آزمایش ۸	۵۱
آزمایش ۹	۵۹
نمره بندی گزارش کار	۶۶

آزمایش ۱

بررسی قانون اهم

بررسی تجربی قانون اهم و مطالعه پارامترهای مؤثر در مقاومت الکتریکی یک سیم فلزی

تئوری آزمایش

هر جسم فیزیکی، دارای مقاومت الکتریکی است. اجسام فلزی، بدن انسان، یک تکه پلاستیک، یا حتی خلأ دارای مقاومت الکتریکی هستند که قابل اندازه گیری است. اکثر فلزات در برابر جریان الکتریسته مقاومت کمی دارند و اجسام هادی نامیده می شوند. اجسامی که دارای مقاومت الکتریکی بسیار زیادی هستند، عایق نامیده می شوند. یک مقاومت ایده آل عنصری است که اندازه مقاومت الکتریکی آن ثابت است و بستگی به عوامل محیطی (مانند تغییرات دما...) ندارد. در عمل مقاومتها را بگونه ای طراحی می کنند که در برابر تغییرات دما و عوامل محیطی دیگر، اندازه مقاومت الکتریکی آنها نوسانات کمی داشته باشد.

مقاومت یک سیم طویل یکنواخت که دارای سطح مقطعی یکسان است از رابطه $R = \rho \frac{l}{S}$ به دست می آید که در آن: l طول، S سطح مقطع و ρ مقاومت ویژه سیم است. دامنه تغییرات مقاومت ویژه برای مواد مختلف وسیع است. با تقسیم مواد به فلز، نیم رسانا و عایق بازه تغییرات مقاومت ویژه آنها حدوداً برابر است با:

عایق	نیم رسانا	فلز
$10^9 - 10^{18} \Omega \cdot cm$	$10^{-2} - 10^9 \Omega \cdot cm$	$10^{-6} - 10^{-2} \Omega \cdot cm$

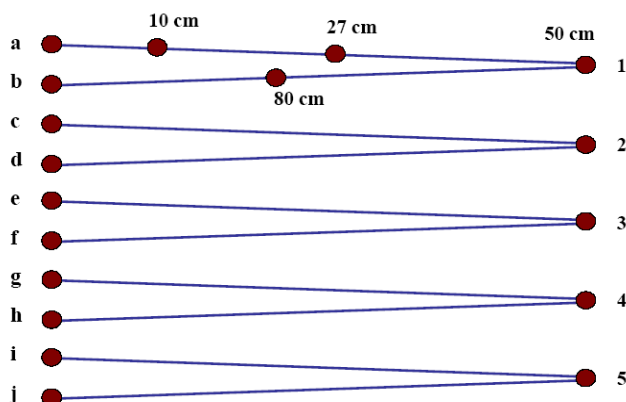
اگر منحنی نمایش تغییرات اختلاف پتانسیل دو سر سیم بر حسب اندازه جریان الکتریکی که از آن عبور می کند، خطی باشد، مقاومت الکتریکی آن ثابت است، بنابراین از قانون اهم پیروی می کند و مقاومت «اهمی» نامیده می شود، در غیر این صورت «غیر اهمی» خواهد بود.

در آزمایشگاه مقاومتها ثابت یا متغیر هستند. مقاومت های متغیر، پتانسیومتر یا رئوستا نیز نامیده می شوند و مقاومت آنها توسط تنظیم یک پیچ یا لغزش یک ابزار کنترل کننده تغییر می کند.

وسایل آزمایش

منبع تغذیه DC، آمپر متر، ولت متر، تخته سیم‌ها، سیم‌رابط (۷ عدد).

تخته سیم‌ها: تخته سیم‌ها مطابق شکل ۱ از پنج سیم دارای جنس و قطرهای مختلف تشکیل شده است. سیم‌های شماره ۱، ۲ و ۳ از جنس نیکل کروم بوده و قطر آنها به ترتیب برابر است با ۰/۲۵، ۰/۴۰ و ۰/۳۰ میلی‌متر. سیم شماره ۴ از جنس گالوانیزه با قطر ۰/۳۰ میلی‌متر و سیم شماره ۵ کروم خالص با قطر ۰/۴۰ میلی‌متر است. طول سیم‌های شماره ۱ تا ۵ برابر یک متر است.

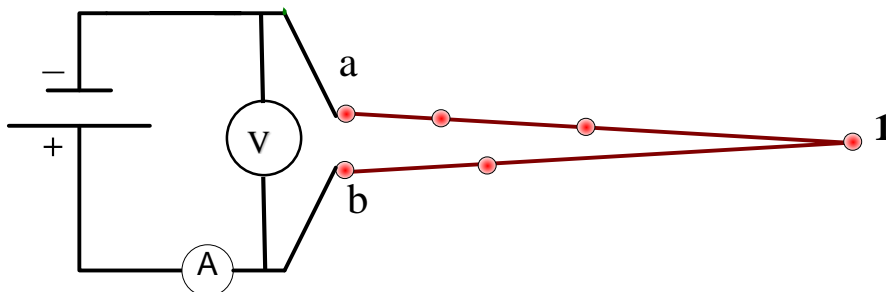


شکل ۱: ترتیب قرار گیری سیم‌ها بر روی تخته سیم‌ها

روش آزمایش

بستگی اختلاف پتانسیل دو سر سیم به اندازه جریان الکتریکی که از آن عبور می‌کند:

- از سیم شماره ۱ استفاده کرده و مدار شکل ۲ را ببندید.
- ولتاژ منبع تغذیه را روی صفر تنظیم کرده و پیچ جریان را تا آخر باز کنید. (محدودیت جریان نداشته باشید)



شکل ۲: مدار ساده اندازه‌گیری

- با تغییر ولتاژ منبع تغذیه، جریان را در بازه ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌آمپر تغییر داده (جریان را از روی آمپر متر میخوانیم) و اختلاف پتانسیل دو سر سیم a و b را اندازه‌گیری کنید (به وسیله ولت متر) سپس نتایج را در جدول ۱ ثبت کنید.

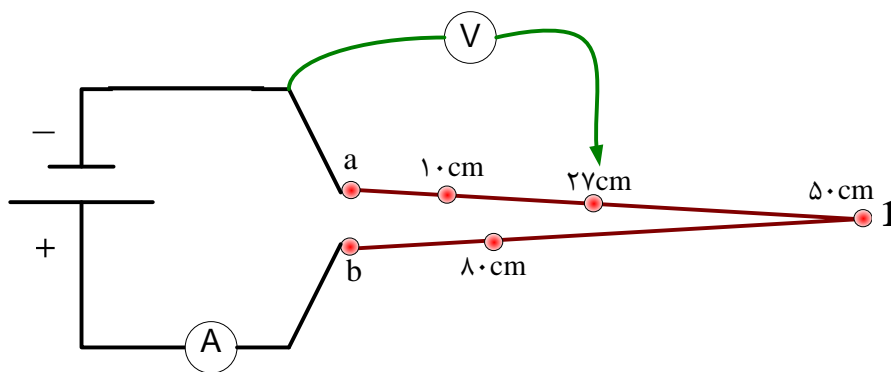
جدول ۱

I (mA)	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰
V (v)					

- منحنی نمایش تغییرات اختلاف پتانسیل دو سر سیم را بر حسب جریان رسم کنید و با استفاده از شیب خط مقاومت سیم را تعیین کنید. (شیب خط به کمک کمترین مربعات محاسبه شود).
- درصد خطای R را برای دو جریان اندازه‌گیری شده، نسبت به R محاسبه شده از روی شیب خط حساب کنید.
- آیا خط از مبدأ می‌گذرد، چرا؟
- آیا این سیم دارای مقاومت اهمی است؟

بستگی مقاومت الکتریکی به طول سیم $[R=f(L)]$

- از سیم شماره ۱ استفاده کرده و مدار شکل ۳ را ببندید. (a, b دو سر سیم شماره ۱ هستند)
- ولتاژ منبع تغذیه را روی صفر تنظیم کرده و پیچ جریان را تا آخر باز کنید.



شکل ۳

- با تغییر ولتاژ منبع تغذیه، جریان مدار را روی مقدار ثابتی (250 میلی‌آمپر) تنظیم کنید.
- با استفاده از ولت‌متر برای طول‌های داده شده در جدول ۲، اختلاف پتانسیل را نسبت به نقطه a اندازه‌گیری

کرده و در جدول ۲ ثبت کنید.

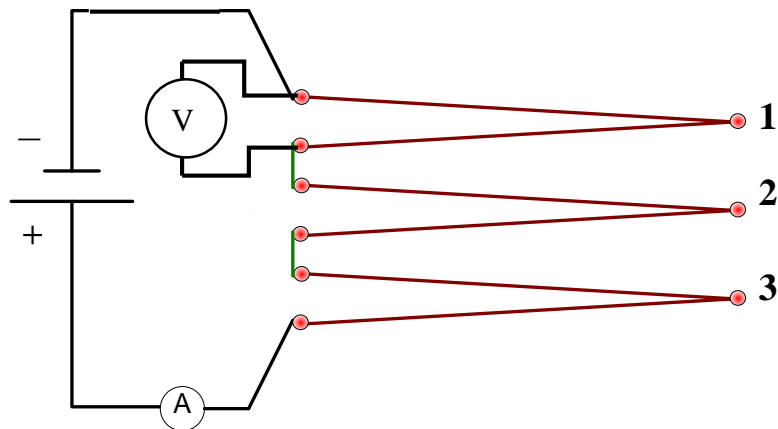
جدول ۲

l (cm)	10	27	50	80	100
V (V)					
R (Ω)					
$I = 250$ (mA)					

- منحنی نمایش تغییرات R نسبت به طول l را رسم کرده و شیب خط را به دست آورید. (شیب خط از روش کمترین مربعات محاسبه شود)

تابعیت مقاومت با قطر سیم $[R=f(s)]$

- سیم‌های شماره ۱ تا ۳ را به صورت سری، مطابق با مدار شکل ۴ به منبع تغذیه وصل کنید.
- ولتاژ منبع تغذیه را روی صفر تنظیم کرده و پیچ جریان را تا آخر باز کنید.
- با تغییر ولتاژ منبع تغذیه، جریان مدار را روی مقدار ثابتی (250 میلی‌آمپر) تنظیم کنید.



شکل ۴

- اختلاف پتانسیل دو سر هر سیم را اندازه‌گیری کرده و نتایج را در جدول ۳ ثبت کنید.

جدول ۳

شماره سیم	(1) a,b	(2) c,d	(3) e,f
-----------	---------	---------	---------

قطر (mm)	0.25	0.40	0.30
V (v)			
R (Ω)			
$I = 250 \text{ (mA)}$			

- با استفاده از فرمول $\frac{V}{I}$ مقاومت هر سیم را حساب کرده و منحنی نمایش تغییرات مقاومت بر حسب عکس سطح مقطع سیم ($R - 1/S$) را رسم کرده و شیب خط را از روش کمترین مربعات محاسبه کنید.
- با فرض این که مقاومت فقط بستگی به طول سیم و عکس سطح مقطع آن دارد با استفاده از شیب خط در دو نمودار رسم شده، مقاومت ویژه را به دست آورید و با مقایسه آنها با یکدیگر مقدار متوسط مقاومت ویژه را تعیین کنید.

تابعیت مقاومت با مقاومت ویژه $R=f(\rho)$

- سیم‌های شماره ۳ تا ۵ را به صورت سری، به منبع تغذیه وصل کنید.
 - ولتاژ منبع تغذیه را روی صفر تنظیم کرده و پیچ جریان را تا آخر باز کنید.
 - با تغییر ولتاژ منبع تغذیه، جریان مدار را روی مقدار ثابتی (250 میلی‌آمپر) تنظیم کنید.
- اختلاف پتانسیل دو سر هر سیم را اندازه‌گیری کرده و نتایج را در جدول ۴ ثبت کنید.

جدول ۴

جنس و شماره سیم	کروم نیکل e,f (۳)	گالوانیزه g,h (۴)	کروم خالص i,j (۵)
V (v)			
R (Ω)			
$I = 250 \text{ (mA)}$			

- با استفاده از جدول ۴، مقاومت هر سیم را محاسبه کنید سپس مقاومت‌های ویژه ρ_3 و ρ_4 و ρ_5 را بدست آورید.

آزمایش ۲

قوانین کیرشهف و پل و تستون

بررسی قوانین کیرشهف و استفاده از این قوانین برای تعیین مقاومت مجهول

تئوری آزمایش

قوانین کیرشهف

مدارهای الکتریکی از مولدهای الکتریکی و مقاومت‌های الکتریکی تشکیل می‌شوند. برای تعیین شدت جریان در هر شاخه از مدار و پارامترهای مجهول دیگر از قوانین کیرشهف که بر اساس قانون بقای بار و انرژی در مدار بدست می‌آیند، استفاده می‌کنیم.

• **قانون اول کیرشهف (قضیه گره - kcl):** جمع جبری شدت جریان‌هایی که به یک نقطه می‌رسند، برابر با صفر است. به عبارت دیگر بار الکتریکی با همان آهنگی که به یک نقطه از مدار وارد می‌شود، از آن خارج می‌شود.

جریانی که به گره وارد میشود را مثبت و جریانی که از گره خارج میشود را منفی در نظر میگیریم.

$$\sum_i I_i = 0$$

برای مثال در شکل ۱، در نقطه A: $I_3 - I - I_5 = 0$

در نقطه M: $I_4 + I_2 - I_3 = 0$

• **قانون دوم کیرشهف (قضیه حلقه - kvl):** مجموع تغییرات پتانسیل در هر مسیر بسته برابر با صفر است. این قضیه روشی برای بیان قانون بقای انرژی در مدارهای الکتریکی است.

برای نوشتن قانون ولتاژ در حلقه: در جهت حرکت وقتی به قطب مثبت میرسیم علامت مثبت و اگر به قطب منفی رسیدیم علامت منفی قرار میدهیم. حال اگر به مقاومت رسیدیم جهت حرکت موافق جهت جریان باشد علامت مثبت و اگر جهت حرکت مخالف جهت جریان باشد علامت منفی قرار میدهیم.

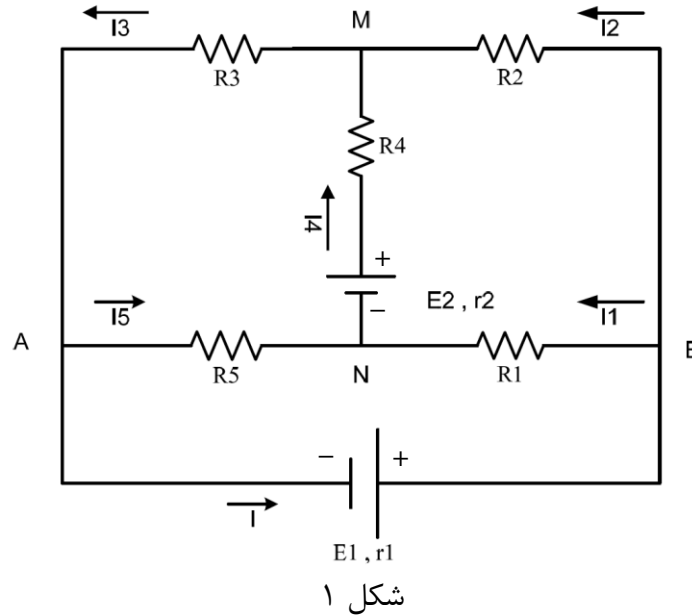
$$\sum_i V_i = 0$$

برای مثال در شکل ۱ حلقه BNMB (در جهت پاد ساعتگرد) $R_2 I_2 - (R_4 + r_2) I_4 + E_2 - R_1 I_1 = 0$ است.

تعیین مقاومت مجهول توسط پل وتستون

یکی از روش‌هایی که برای تعیین مقاومت مجهول به کار می‌رود روش پل وتستون است که معادله آن از قوانین کیرشهف (قانون گره و حلقه) به دست می‌آید. در شکل ۱ اگر بجای منبع E_2 و مقاومت R_4 یک گالوانومتر و به جای مقاومت R_5 یک رئوستا با مقاومت مجهول R_x قرار دهید وقتی جریان عبوری از گالوانومتر صفر شود، رابطه زیر بین مقاومت‌ها برقرار خواهد بود که از این رابطه می‌توان مقاومت مجهول را محاسبه کرد.

$$R_1 R_3 = R_x R_2$$



وسایل آزمایش

منبع تغذیه (دو کاناله)، بردبرد، ولت‌متر، آمپر‌متر، گالوانومتر، رئوستا (مقاومت قابل تنظیم)، مقاومت‌های الکتریکی، سیم‌رابط (۱۲ عدد).

تعیین اندازه مقاومت با استفاده از حلقه‌های رنگی روی آن: به هر حلقه رنگی روی مقاومت مطابق جدول ۱، یک عدد نسبت داده می‌شود. برای تعیین اندازه مقاومت، اگر حلقه طلایی یا نقره‌ای در سمت راست باشد، حلقه رنگی اول از سمت چپ (a) نشان‌دهنده رقم دهگان و حلقه رنگی دوم (b) بیانگر رقم یکان می‌باشد و حلقه سوم (c) رقم توان ۱۰ و یا به عبارتی تعداد صفرها را نشان می‌دهد.

$$R = ab \times 10^c$$

جدول ۱

حلقه رنگ	سیاه	قهوه‌ای	قرمز	نارنجی	زرد	سبز	آبی	بنفش	خاکستری	سفید
حلقه اول	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
حلقه دوم	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
حلقه سوم	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
حلقه چهارم	خطا: اگر حلقه نداشته باشد $\pm 20\%$ نقره‌ای $\pm 10\%$ طلایی $\pm 5\%$									



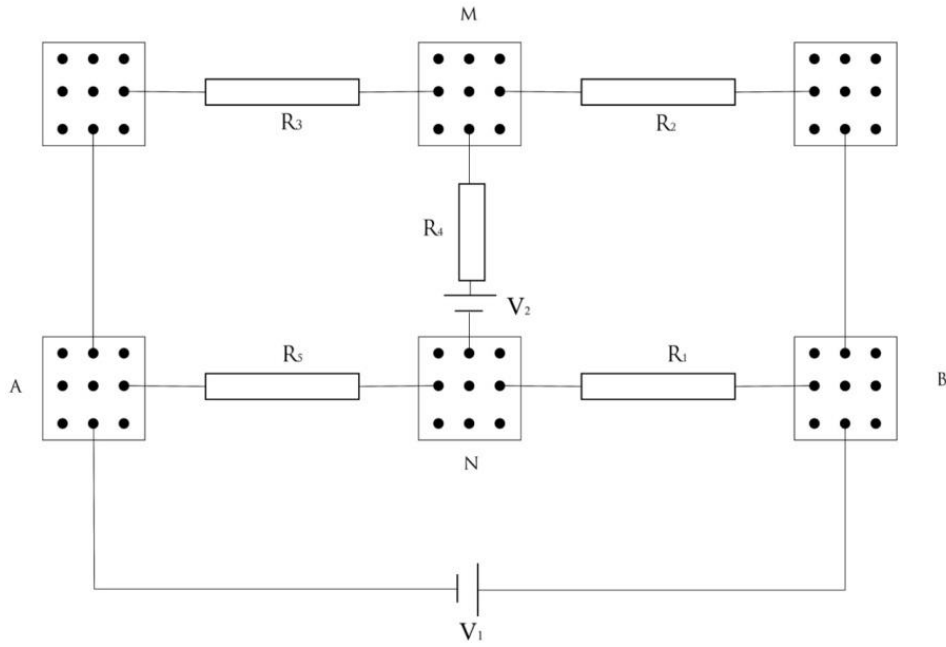
طلایی زرد سبز قهوه‌ای

$$R = 15 \times 10^4 \pm 5\%$$

علاوه بر چهار حلقه ذکر شده، حلقه دیگری نیز ممکن است وجود داشته باشد، حلقه سفید رنگ (در مقاومت‌های اروپایی) و یا طلایی رنگ (در مقاومت‌های آمریکایی) به معنی ممیز بین رقم اول و دوم است و اگر نقره‌ای باشد، نشانه ممیز قبل از دو رقم است. با استفاده از مولتی متر مقاومت های زیر را شناسایی کنید.

جدول ۲

$R_1 = 390 \Omega$	$R_2 = 220 \Omega$	$R_3 = 47 \Omega$	$R_4 = 47 \Omega$	$R_5 = 100 \Omega$
--------------------	--------------------	-------------------	-------------------	--------------------



شکل ۲

روش آزمایش

بررسی قوانین کیرشهف

- با استفاده از مقاومت‌ها (جدول ۲) مداری مطابق شکل ۲ ببندید.
- به وسیله ولت‌متر، ولتاژ منبع تغذیه‌ها را تنظیم کنید ($V_1 = 5\text{ v}$ و $V_2 = 8\text{ v}$).
- به وسیله آمپرتر، اندازه جریان‌های هر شاخه را تعیین کرده و در جدول ۳ ثبت کنید.
- قانون اول کیرشهف را با توجه به جریان‌های اندازه‌گیری شده در آزمایش تحقیق کنید.

جدول ۳

جریان هر شاخه (mA)	I_{R_1}	I_{R_2}	I_{R_3}	I_{R_4}	I_{R_5}

- در مدار شکل ۲ افت پتانسیل دو سر هر مقاومت را اندازه‌گیری کرده و در جدول ۴ ثبت کنید.
- قانون دوم کیرشهف را با توجه به ولتاژهای اندازه‌گیری شده در هر مسیر بسته تحقیق کنید.

جدول ۴

افت پتانسیل دو سر مقاومت (V)	V_{R_1}	V_{R_2}	V_{R_3}	V_{R_4}	V_{R_5}

- با استفاده از مقادیر معلوم مقاومت‌ها و ولتاژ منبع تغذیه‌ها، جریان و افت پتانسیل مربوط به هر مقاومت را محاسبه کنید.
- با مقایسه نتایج محاسبه شده (با استفاده از قوانین گره و حلقه در مدار) نتایج آزمایش، خطای هر یک را تعیین کنید.

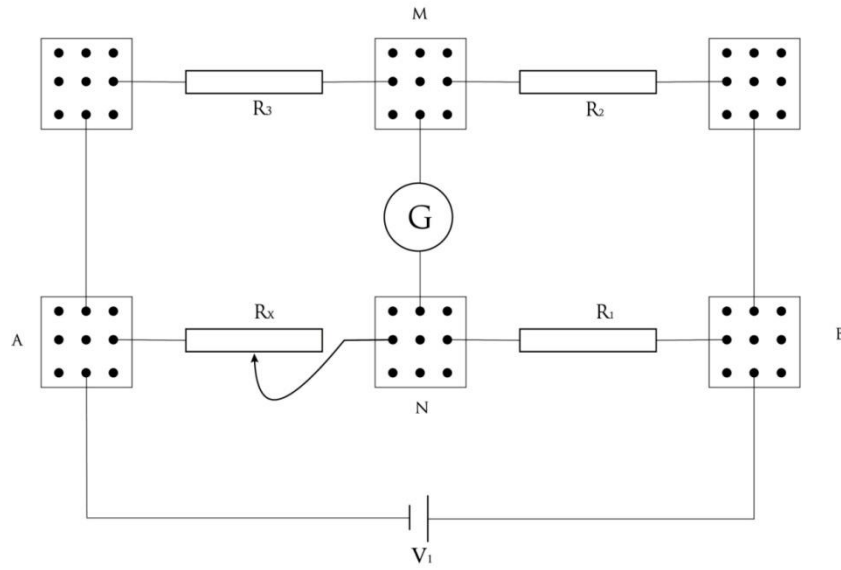
تعیین مقاومت مجهول

- منبع V_2 و مقاومت R_4 را با یک گالوانومتر و مقاومت R_5 را با یک رئوستا (مقاومت مجهول R_x) جایگزین کنید (شکل ۳).
- مقاومت رئوستا را تغییر دهید طوری که گالوانومتر جریان صفر را نشان دهد.
- در این حالت، اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R_x و جریان عبوری از آن را اندازه‌گیری کرده و در جدول ۵ ثبت کنید.

جدول ۵

$V_{R_x} (V)$	
$I_{R_x} (mA)$	

- با استفاده از جدول ۵، R_x را محاسبه کنید. همچنین با استفاده از رابطه مقاومت‌ها برای پل و تستون مقاومت مجهول را محاسبه کنید. آیا اختلافی بین این دو مقدار وجود دارد؟ توضیح دهید. درصد خطای R_x اول را نسبت به R_x دوم محاسبه کنید.



شکل ۳

پرسش ها

۱- رابطه $R_1 R_3 = R_x R_2$ را در مدار شکل ۳ اثبات کنید.

آزمایش ۳

اندازه گیری میدان مغناطیسی زمین، ضریب تراوایی مغناطیسی خلا و بررسی توزیع میدان مغناطیسی پیچه های هلمهولتز

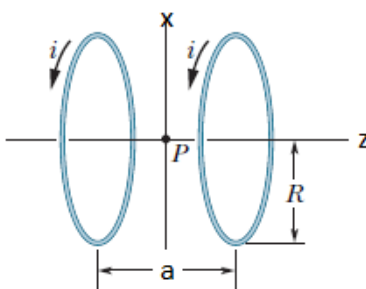
تئوری آزمایش

اندازه گیری میدان مغناطیسی پیچه های هلمهولتز در راستای محوری و به دست آوردن ضریب تراوایی مغناطیسی خلا

طبق قانون بیوساوار میدان مغناطیسی در یک پیچه حامل جریان I و با تعداد حلقه های n در راستای محور پیچه به صورت رابطه زیر بیان می شود. که شعاع حلقه ها و Z فاصله از مرکز حلقه ها در راستای محور پیچه است.

$$B(Z) = \frac{\mu_0 n I R^2}{2(R^2 + Z^2)^{3/2}} \quad \text{رابطه 1}$$

پیچه های هلمهولتز تشکیل شده اند از دو پیچه همسان که در فاصله ای برابر با شعاع شان $a = R$ نسبت به همدیگر قرار گرفته اند. (شکل ۱)



شکل ۱: پیچه های هلمهولتز

با استفاده از پیچه های هلمهولتز می توان میدان مغناطیسی یکنواخت ایجاد کرد. منحنی تغییرات میدان مغناطیسی در راستای محور پیچه ها با نسبت فاصله بین دو پیچه و شعاع پیچه ها تناسب دارد به طور کلی میدان مغناطیسی دو پیچه را روی محور پیچه ها می توان از رابطه زیر به دست آورد.

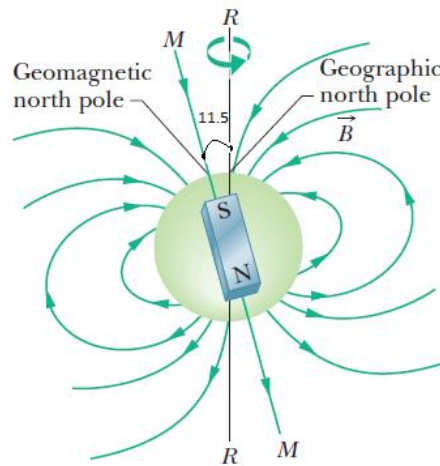
$$B(Z, r=0) = \frac{\mu_0 n I}{2R} \times \left(\frac{1}{\left(1 + \left(\frac{Z - \frac{a}{2}}{R}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{Z + \frac{a}{2}}{R}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad \text{رابطه 2}$$

که a برابر است با فاصله بین دو پیچه. در حالتی که $Z = 0$ است یا به عبارتی زمانی که میدان مغناطیسی را دقیقاً در وسط دو پیچه اندازه گیری می کنیم، خواهیم داشت:

$$B = \frac{16 \mu_0 n I}{5\sqrt{5} 2R} = KI \Rightarrow K = \frac{8 \mu_0 n}{5\sqrt{5} R} \quad \text{رابطه 3}$$

میدان مغناطیسی زمین:

میدان مغناطیسی زمین را می توان مشابه میدان مغناطیسی اطراف یک دوقطبی مغناطیسی با ممان μ $8 \times 10^{22} \frac{J}{T}$ در نظر گرفت. میدان مغناطیسی روی سطح زمین بین ۳۰ تا ۶۰ میکرو تسلا متغیر است. راستای دوقطبی زمین با محور چرخش زمین به دور خودش زاویه ۱۱,۵ درجه می سازد. (شکل ۲)

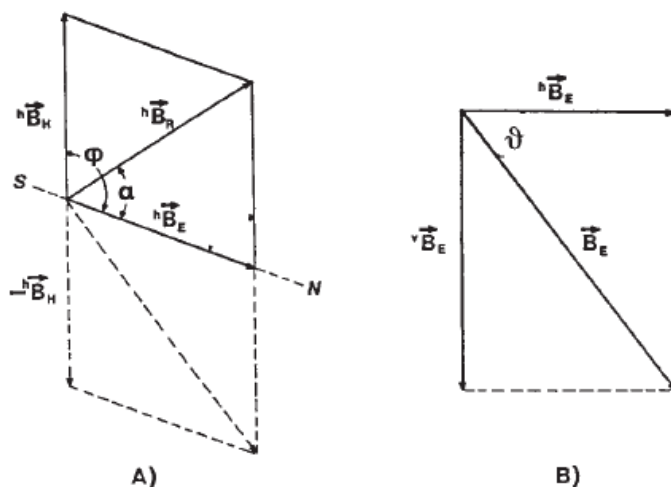


شکل ۲: راستای دوقطبی زمین و انحراف از محور چرخش

بنابراین در هر نقطه روی سطح زمین می توان میدان مغناطیسی زمین را به عمودی و افقی تقسیم کرد که راستای این دو مولفه در شکل ۳ نشان داده شده است. برای به دست آوردن اندازه این دو مولفه، میتوان یک میدان مغناطیسی مشخص در جهت معین وارد کرد و از روی برابری میدان ها میدان زمین را محاسبه کرد. اگر میدان مغناطیسی اعمالی فقط در جهت افقی B_H^h باشد و مولفه افقی میدان زمین B_E^h باشد، آنگاه طبق (شکل 3.A) خواهیم داشت:

$$\frac{B_H^h}{B_E^h} = \frac{\sin \alpha}{\sin(\varphi - \alpha)} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

رابطه 4



شکل ۳: مولفه افقی و عمودی میدان مغناطیسی زمین و مولفه افقی میدان مغناطیسی اعمالی

در حالت خاص اگر $\varphi = 90$ باشد آنگاه $B_E^h = B_H^h \cot \alpha$ و طبق رابطه ۳ می توان نوشت:

$$B_E^h \tan \alpha = IK \quad \text{رابطه 5}$$

هم چنین برای مولفه عمودی میدان مغناطیسی زمین B_E^V طبق (شکل 3.B) خواهیم داشت:

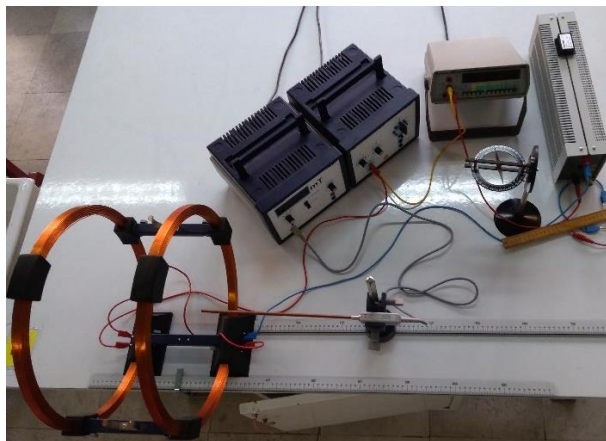
$$B_E^V = B_E^h \tan \nu \quad \text{رابطه 6}$$

برای بدست آوردن برآیند میدان مغناطیسی زمین

$$|B_E| = \sqrt{(B_E^V)^2 + (B_E^h)^2} \quad \text{رابطه 7}$$

وسایل آزمایش:

یک جفت پیچه هلمهولتز، منبع تغذیه DC، رئوستا، تسلامتر دیجیتال، پروب هال محوری، آمپر متر، مغناطیس سنج به همراه پایه مربوطه، پایه ایستاده، میله نگهدارنده، گیره متحرک، ۵ عدد سیم رابط، میله های حائل میان دو پیچه، ۲ خط کش و گیره های خط کش



شکل ۴: چینش وسایل مورد نیاز آزمایش پیچه هلمهولتز

روش آزمایش:

اندازه گیری میدان مغناطیسی دو پیچه در راستای محوری در حالت $a = R$

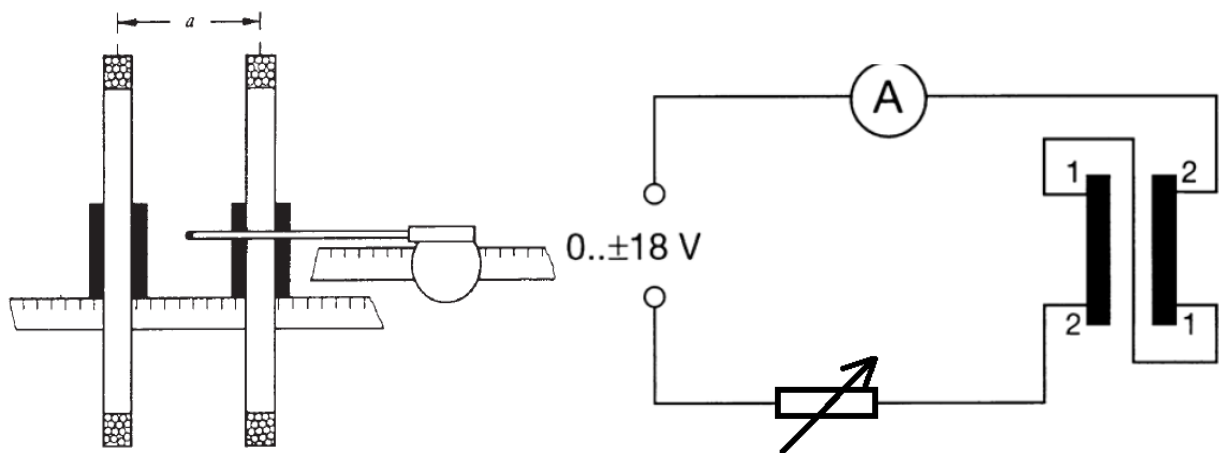
پروب هال را روی پایه اش قرار دهید. دو خط کش بلند را به وسیله گیره در فاصله ۱۰ سانتی متری از هم، طوری به میز محکم کنید که پروب هال زمانی که در راستای محوری جابجا می شود، تقریباً در مرکز حلقه پیچه ها $r = 0$ باشد.

با سری کردن پیچه ها به یک مقاومت متغیر و آمپر متر مدار را مطابق (شکل ۵ سمت راست) ببندید.

راهنمای بستن مدار پیچه های هلمهولتز با منبع تغذیه و آمپر سنج و رئوستا

قطب مثبت منبع تغذیه را که با رنگ قرمز روی دستگاه مشخص شده به آمپر متر و خروجی آمپر متر را به فیش شماره ۲ روی پیچه راست هلمهولتز وصل نمایید بعد قطب منفی منبع تغذیه را که با رنگ آبی مشخص شده به رئوستا وصل کرده و خروجی رئوستا را به فیش شماره ۲ روی پیچه چپ هلمهولتز وصل نمایید. فیش های شماره ۱ روی پیچه هلمهولتز را با سیم زرد به هم وصل کنید.

فاصله بین دو پیچه را با گذاشتن حائل، روی R تنظیم کنید. دقت کنید که برای اندازه گیری راستای محوری میدان، پروب هال می بایست در راستای محور پیچه ها قرار گیرد برای این منظور میله نگهدارنده را به پایه ایستاده متصل نموده و گیره متحرک را در ارتفاع مناسب با پیچ مربوطه محکم کنید. ارتفاع مناسب ارتفاعی است که پروب هال، به طور چشمی در راستای قطر افقی پیچه باشد. (شکل ۵ سمت چپ)



شکل ۵: سمت راست: شماتیک نوعی مدار. سمت چپ: نحوه قرارگیری پروب هال در میان پیچه ها برای اندازه گیری محوری

فاصله افقی خط کشی که پروب هال روی آن سوار است با خط کش مماس لبه میز حدود $9/5$ سانتیمتر است برای تنظیم این حالت قطعه MDF را بین دو خط کش قرار دهید تا خط کش پروب هال موازی خط کش لبه میز باشد.

تنظیم صفر تسلامتر دیجیتال: پروب هال را به تسلامتر دیجیتال متصل کنید. پس از قراردادن پروب هال در میان پیچه ها و در ارتفاع مناسب، بدون اینکه منبع تغذیه روشن باشد، تسلامتر دیجیتال را روشن کرده و با پیچ تعبیه شده روی دستگاه، سمت راست مقدار میدان نشان داده شده را صفر کنید.

قبل از روشن کردن منبع تغذیه، درستی مدار بسته شده را به کمک دستیار آموزشی مربوطه چک کنید.

مقدار پیچ جریان **A** در روی دستگاه منبع تغذیه از اول تا آخر آز مایش روی عدد ۳ قرار گیرد.

منبع تغذیه را روشن کرده ولتاژ را روی **۱۰ ولت و جریان را به وسیله رئوستا روی ۲ آمپر** تنظیم کنید. پروب هال را در راستای محور پیچه ها جابه جا کنید تا بیشینه میدان مغناطیسی بدست آید. این نقطه باید در وسط فاصله بین دو پیچه باشد. چرا؟

در همین حالت، عدد میدان را از روی تسلامتر بخوانید و مختصات مکان پایه ی پروب هال را یادداشت کنید.

مکان نقطه با میدان بیشینه را به عنوان نقطه صفر در جدول ۱ در نظر گرفته و برای باقی جابه جایی ها مقدار میدان را در جدول ۱ یادداشت کنید. برای جابه جایی های منفی خط کش را در طرف دیگر پیچه ها (در فاصله 10 سانتی متری از خط کش لبه میز) با گیره محکم کرده، نقطه صفر را با جابجایی پروب هال پیدا کنید و مجددا در راستای محور پیچه ها میدان را یادداشت کنید.

نکته: در حین جابجایی پایه، مکان جدید را از مکان نقطه صفر کسر کرده تا میزان جابجایی **D** به دست آید. توجه کنید که پروب هال بعد از جابجایی همچنان در مرکز حلقه ها واقع باشد.

جدول ۱

$D(cm)$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
$B_H(mT)$											

میدان B_H بدست آمده در جدول ۱ را بر حسب مقدار جابه‌جایی رسم کنید.

درباره تفاوت نمودار حاصله با نمودار میدان پیچه‌ها در حالتی که فاصله بین دو پیچه برابر نصف شعاع $a = \frac{R}{2}$ باشد بحث کنید.

انتظار دارید میدان پیچه‌ها در راستای شعاعی ۲ چگونه باشد؟

اگر میدان پیچه‌ها را برای مقادیر D در جهت منفی اندازه‌گیری کنیم انتظار دارید چگونه باشد؟

محاسبه ضریب تراوایی مغناطیسی و اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین در راستای عمودی و افقی

مرحله اول: به دست آوردن ثابت k و ضریب تراوایی مغناطیسی

منبع تغذیه را روی صفر تنظیم کنید. تسلامتر دیجیتالی را بدون روشن کردن منبع تغذیه روی صفر تنظیم کنید. در حالتی که پروب‌ها موازی با محور پیچه‌هاست و محور پیچه‌ها تقریباً بر سمت شمال و جنوب مغناطیسی زمین عمود است، منبع تغذیه را روشن کنید.

توجه کنید که فاصله بین پیچه‌ها همانند مرحله قبل $a = R$ باشد و پروب‌ها دقیقاً در وسط پیچه‌ها و نوک پروب هم ارتفاع قطر افقی پیچه‌ها باشد به طوری که همانند مرحله پیشین میدان مقدار بیشینه را نشان بدهد.

ولتاژ منبع را روی ۱۰ ولت و جریان را روی ۲ آمپر تنظیم کنید. با تغییر مقدار مقاومت رئوستا، جریان را افزایش دهید و مقادیر را در جدول ۲ یادداشت کنید.

جدول ۲

$I(A)$	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2
$B_H(mT)$										

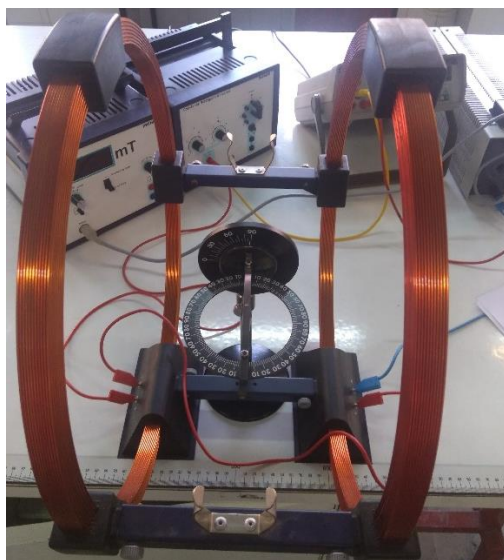
با رسم B_H بر حسب I و برازش خط، مقدار ثابت k را در رابطه ۳ بدست آورید.

با دانستن مقدار ثابت k از روی رابطه ۳ مقدار ضریب تراوایی مغناطیسی خلا را محاسبه کنید.

$$(N = 154 \text{ \& } R = 20 \text{ cm})$$

مقدار ضریب تراوایی مغناطیسی خلا را از منابع استخراج کرده، با عدد بدست آمده مقایسه کنید و مقدار خطای نسبی را گزارش کنید.

مرحله دوم: به دست آوردن مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین منبع تغذیه را خاموش کنید. تسلامتر را خاموش کرده و پروب هال را از میان پیچه ها خارج کنید. مغناطیس سنج را روی پایه مربوطه قرار داده و آن را در فاصله میان پیچه ها (در حالت $\alpha = R$) به نحوی قرار دهید که صفحه مغناطیس سنج تقریباً در وسط پیچه ها باشد. از آنجایی که تنها میدان قابل توجه اطراف، میدان مغناطیسی زمین است، عقربه مغناطیس سنج نشان دهنده قطب شمال_جنوب مغناطیسی زمین است. پیچه ها و مغناطیس سنج را چند درجه بچرخانید تا عقربه مغناطیسی عدد صفر را نشان دهد. (شکل ۶) در این حالت محور پیچه ها کاملاً عمود بر جهت شمال_جنوب مغناطیسی زمین است.



شکل ۶: نحوه قرارگیری مغناطیس سنج در میان پیچه ها

منبع تغذیه را روشن کرده و ولتاژ آن را بین ۰ تا ۵ ولت (۲/۵) ولت قرار دهید با تغییر مقاومت رئوستا از حالت حداکثر برای جریان های نوشته شده در جدول ۳ مقدار انحراف عقربه را بر حسب درجه یادداشت کنید.

جدول ۳

I_H (mA)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
α										
$\tan\alpha$										

نمودار $I \times K$ (K ثابتی است که در مرحله یک به دست آمد.) را بر حسب $\tan \alpha$ رسم کنید و با برازش خط، طبق رابطه ۵ مولفه افقی میدان مغناطیسی زمین B_E^h را محاسبه کنید.
سوال: چرا در این حالت محور پیچها باید عمود بر محور مغناطیسی زمین باشد؟

مرحله سوم: به دست آوردن مولفه عمودی میدان مغناطیسی زمین

ولتاژ و جریان را صفر کرده و منبع تغذیه را خاموش کنید. صفحه مغناطیس سنج را ۹۰ درجه بچرخانید به طوری که صفحه اش کاملاً عمود بر میز در راستای عمود بر شمال_جنوب مغناطیسی زمین باشد. زاویه عقربه v را یادداشت کنید.

$v =$

زاویه عقربه نشان دهنده زاویه بین مولفه اصلی زمین B_E و مولفه افقی B_E^h زمین می باشد. از آنجا که در قسمت قبل B_E^h را محاسبه کردید، از طریق رابطه ۶، B_E^v را به دست آورید و مقدار $|B_E|$ (برآیند دو مولفه) را با توجه به رابطه ۷ محاسبه کرده و گزارش کنید.

آزمایش ۴

باردار شدن و بی بار شدن خازن‌ها

بررسی تجربی باردار شدن و بی بار شدن خازن‌ها و ظرفیت معادل خازن‌های سری و موازی

تئوری آزمایش

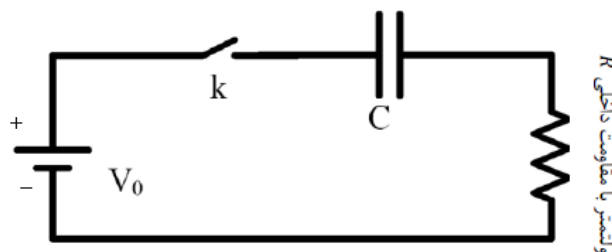
خازن از دو رسانای عایق‌بندی شده تشکیل شده است که اصطلاحاً صفحه نامیده می‌شوند. اگر دو صفحه خازن را به دو سر یک باتری وصل کنیم، بر روی صفحات آن بارهای مساوی و مخالف $\pm q$ جمع می‌شوند که با ولتاژ دو سر باتری متناسبند ($q = CV$). C ضریب تناسب، ظرفیت خازن نامیده می‌شود که به شکل و محل نسبی رساناها و همچنین محیطی که رساناها در آن قرار دارند بستگی دارد.

- **باردار شدن خازن (شارژ):** فرض کنید مطابق شکل ۱ خازن و ولت‌متر با مقاومت الکتریکی R ، به صورت سری در مدار قرار گیرند، پس از بسته شدن کلید k ، خازن بلافاصله باردار نخواهد شد بلکه بارها کم‌کم بر روی صفحات خازن جمع می‌شوند و با استفاده از اصل پایستگی انرژی (یا قضیه حلقه) اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V_c = V_0 \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right)$$

(قانون ولتاژ در مدار شکل ۱ در جهت ساعتگرد: $-V_0 + V_c + V_R = 0$ و با حل این رابطه با استفاده از معادلات دیفرانسیل ولتاژ دوسر خازن بدست می‌آید.)

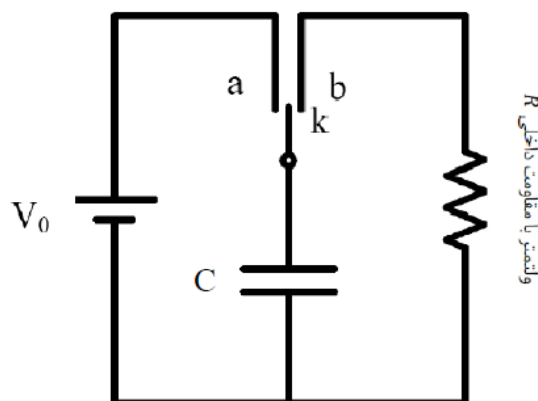
بنابراین در زمان $t = RC$ اختلاف پتانسیل بین دو صفحه خازن 0.63 اختلاف پتانسیل منبع تغذیه (اختلاف پتانسیل نهایی بین دو صفحه) است. زمان $\tau = RC$ ثابت زمانی مدار نامیده می‌شود.



شکل ۱

- بی بار شدن خازن (دشارژ): فرض کنید مطابق شکل ۲ با بستن کلید k به نقطه a خازن را باردار کنیم و سپس با بستن کلید k به نقطه b انرژی جمع شده در خازن را در مقاومت R تخلیه می‌کنیم. با استفاده از اصل پایستگی انرژی (یا قضیه حلقه) اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V_c = V_0 \left(\exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \right)$$



شکل ۲

در مدار باردار شدن و بی‌بار شدن خازن‌ها، می‌توان به جای تک خازن از چند خازن به صورت سری یا موازی استفاده کرد. ظرفیت خازن معادل در حالت موازی و در حالت سری از رابطه‌های زیر به دست می‌آیند.

$$C = C_1 + C_2 + \dots \quad \text{حالت موازی}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots \quad \text{حالت سری}$$

وسایل آزمایش

منبع تغذیه DC، دو عدد خازن $C_1 = 20 \mu F$ و $C_2 = 4 \mu F$ ، ولت‌متر، زمان‌سنج، سیم رابط (۶ عدد).

روش آزمایش

روش اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل یک خازن باردار با ولت‌متر

- خازن C_1 را با اتصال مستقیم به منبع تغذیه با ولتاژ ۱۰ ولت شارژ کنید (پس از مدت زمانی کوتاه خازن شارژ می‌شود).

- پس از جدا کردن خازن C_1 از منبع تغذیه آن را به صورت موازی به ولت‌متر وصل کنید. تغییر اختلاف پتانسیل دو سر خازن را از روی ولت‌متر مشاهده کنید (توجه داشته باشید که بار خازن از راه مقاومت داخلی ولت‌متر تخلیه می‌شود و ولتاژ آن به آهستگی کاهش می‌یابد).
- خازن C_1 را از ولت‌متر جدا کرده و دو صفحه خازن را با یک سیم به هم وصل کنید تا تخلیه شود.
- خازن را مجدداً شارژ کرده، برای مدت کوتاهی دو دست خود را به دو اتصال خازن وصل کنید سپس به وسیله ولت‌متر اختلاف پتانسیل دو سر خازن را اندازه‌گیری کنید. خواهید دید که ولت‌متر، اختلاف پتانسیل کمتری را نشان می‌دهد که به علت تخلیه خازن توسط بدن شماست (دقت کنید در تمام طول آزمایش، اتصالات خازن‌ها را با دو دست لمس نکنید).
- نتایج این قسمت را شرح دهید.

رسم منحنی باردار شدن خازن و تعیین مقاومت داخلی ولت‌متر

- مطابق شکل ۱ خازن C_1 را به صورت سری به یک منبع تغذیه (۱۰ ولت) و یک ولت‌متر وصل کنید.
- به ازاء زمانهای درج شده در جدول ۱، عددی که ولت‌متر نشان می‌دهد را در جدول ثبت کنید.
- بین اختلاف پتانسیل منبع تغذیه V_0 ، اختلاف پتانسیل دو صفحه خازن V_C و عددی که ولت‌متر نشان می‌دهد V رابطه زیر برقرار است (طبق قانون ولتاژها) :

$$V = V_0 - V_C = V_0 \left(\exp \left(-\frac{t}{RC} \right) \right)$$

- منحنی نمایش تغییرات V/V_0 را برحسب زمان روی کاغذ نیمه لگاریتمی رسم کنید.
- با استفاده از شیب خط (از روش کمترین مربعات محاسبه شود)، ثابت زمانی مدار را بدست آورده و مقاومت داخلی ولت‌متر را محاسبه کنید.

جدول ۱

t (s)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵
V (V)										
V/V_0										

رسم منحنی بی‌بار شدن خازن و تعیین مقاومت داخلی ولت‌متر

- خازن C_2 را به وسیله یک منبع تغذیه (10 ولت) باردار کنید.
- خازن را از منبع تغذیه جدا کرده و به ولت‌متر وصل کنید تا خازن از راه مقاومت داخلی ولت‌متر، تخلیه شود.
- به ازاء زمانهای درج شده در جدول ۲، عددی که ولت‌متر نشان می‌دهد را در جدول ثبت کنید.
- منحنی نمایش تغییرات V/V_0 را برحسب زمان روی کاغذ نیمه لگاریتمی رسم کنید.
- با استفاده از شیب خط (از روش کمترین مربعات محاسبه شود)، τ ثابت زمانی مدار را بدست آورده و مقاومت داخلی ولت‌متر را محاسبه کنید.
- مقدار متوسط مقاومت داخلی ولت‌متر (\bar{R}) را با استفاده از نتایج بدست آمده در دو قسمت، تعیین کنید و مقدار خطای R نسبت به \bar{R} را در هر قسمت حساب کنید.

$$\left(\frac{R - \bar{R}}{\bar{R}} \right) \times 100 \text{ (درصد خطا)}$$

جدول ۲

t (s)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵
V (V)										
V/V_0										

بررسی تجربی ظرفیت معادل خازن‌های سری

- مطابق شکل ۱ خازن C_1 و C_2 را به صورت سری به یک منبع تغذیه (10 ولت) و یک ولت‌متر وصل کنید.
- به ازاء زمانهای درج شده در جدول ۳، عددی که ولت‌متر نشان می‌دهد را در جدول ثبت کنید.
- منحنی نمایش تغییرات V را برحسب زمان روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.
- با استفاده از منحنی و تعریف τ ثابت زمانی مدار، τ را بدست آورید.
- با استفاده از τ بدست آمده و مقاومت داخلی ولت‌متر، ظرفیت معادل خازن‌ها را بدست آورید. خطای این ظرفیت را نسبت به ظرفیت معادل $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ محاسبه کنید.

جدول ۳

t (s)	۰	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵	۹۰	۱۰۵	۱۲۰	۱۳۵
V (V)										

بررسی تجربی ظرفیت معادل خازن‌های موازی

- خازن C_1 و C_2 را به صورت موازی بسته سپس به وسیله یک منبع تغذیه (۱۰ ولت) باردار کنید.
- خازن‌ها را از منبع تغذیه جدا کرده و به ولت‌متر وصل کنید تا خازن‌ها از راه مقاومت داخلی ولت‌متر، تخلیه شوند.
- به ازاء زمانهای درج شده در جدول ۴، عددی که ولت‌متر نشان می‌دهد را در جدول ثبت کنید.
- منحنی نمایش تغییرات V را برحسب زمان روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.
- با استفاده از منحنی و تعریف τ ثابت زمانی مدار، τ را بدست آورید.
- با استفاده از τ بدست آمده و مقاومت داخلی ولت‌متر، ظرفیت معادل خازن‌ها را بدست آورید. خطای این ظرفیت را نسبت به ظرفیت معادل $C = C_1 + C_2$ محاسبه کنید.

جدول ۴

t (s)	۰	۳۰	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰	۲۱۰	۲۴۰	۲۷۰	۳۰۰
V (V)											

آزمایش ۵

نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی

بررسی تجربی نیروی وارد بر سیم حامل جریان در میدان مغناطیسی و پارامترهای موثر بر آن

تئوری آزمایش

اگر سیمی به طول L حامل جریان i در میدان مغناطیسی \vec{B} قرار گیرد، نیروی \vec{F} طبق رابطه زیر بر آن وارد می‌شود.

$$\vec{F} = i\vec{L} \times \vec{B}$$

\vec{L} برداری است که بزرگی آن طول سیم، راستای آن راستای سیم و جهت آن همان جهت جریان است. نیرو با ضرب خارجی دو بردار \vec{L} و \vec{B} متناسب است که می‌توان جهت نیرو را با توجه به جهت آنها نسبت به هم و اندازه نیرو را نیز از رابطه زیر به دست آورد.

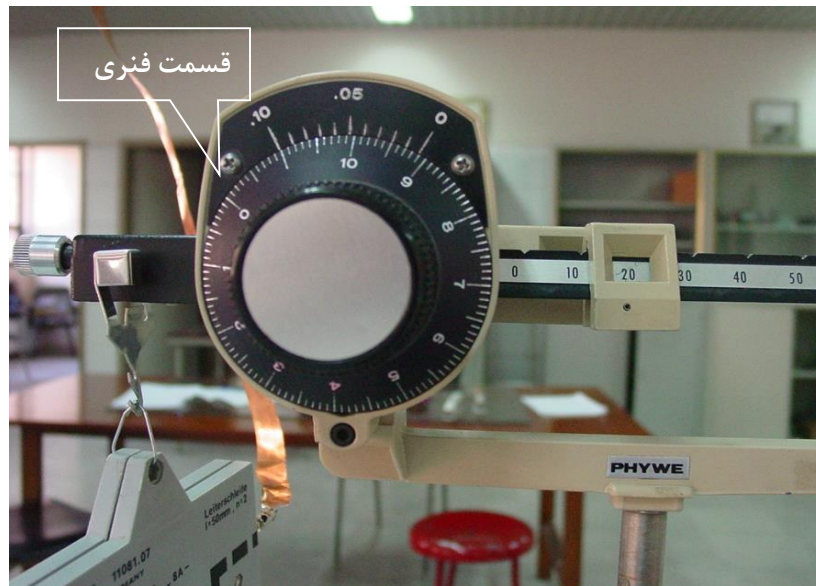
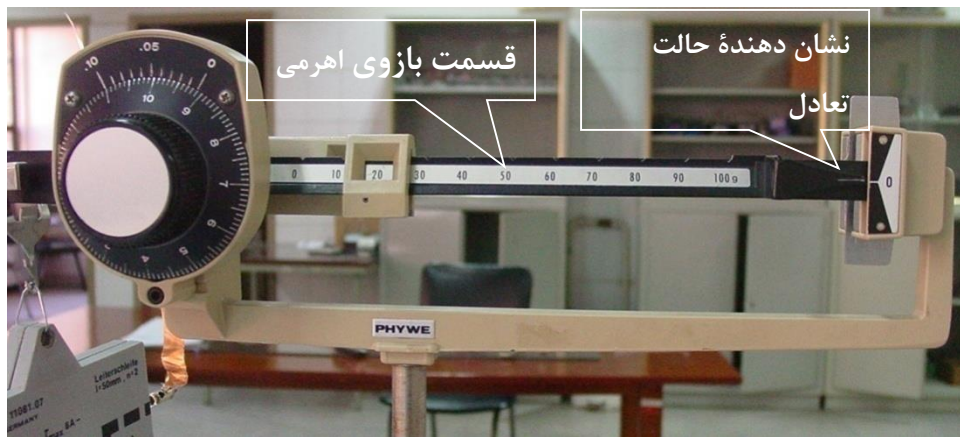
$$F = iLB \sin \theta$$

وسایل آزمایش

منبع تغذیه DC (ماکزیمم ۲ آمپر)، هسته آهنی U شکل، سیم پیچ (دو عدد)، منبع جریان، ترازو با دقت ۰/۰۱ گرم، حلقه‌های سیم به طول‌های متفاوت، سیم نواری بدون روکش، گیره، میله و پایه، سیم رابط (۳ عدد).

راهنمای کار با ترازو

ترازو شامل دو قسمت، بازوی اهرمی با دقت ۱۰ گرم و قسمت فنری با دقت ۰/۰۱ گرم است. هنگام استفاده از ترازو حلقه جریان را مطابق شکل ۱ از قلاب آن آویزان کرده و سپس تغییرات وزن را اندازه‌گیری نمایید. تغییرات وزن حلقه با اعمال و بدون اعمال میدان مغناطیسی اندازه‌گیری می‌شود، بنابراین اندازه‌گیری خطای صفر ضرورتی ندارد. در شکل ۱ ترازو در وضعیت تعادل، جرم حلقه آویزان شده را $۲۹/۱۲ = ۰/۰۲ + ۹/۱ + ۲۰$ گرم نمایش می‌دهد.

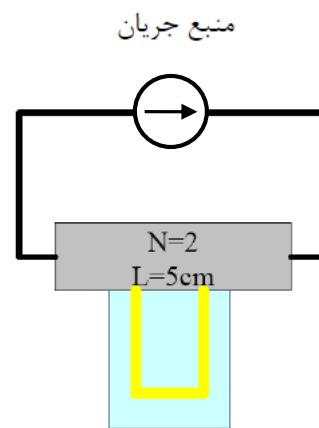
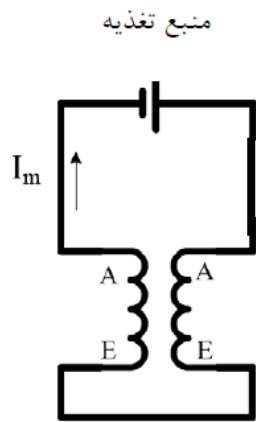


شکل ۱

مدارهای آزمایش

دو مدار مجزا برای انجام آزمایش بسته می‌شود:

- مدار برای ایجاد جریان در حلقه سیم: منبع جریان را به اتصالات بالای پایه که سیم‌های سبک و نواری از آن آویزان هستند وصل کنید (فاصله بین دو سیم نواری باید تا حد ممکن زیاد باشد و فقط کمی شکم دهند) سپس سیم‌های نواری را به حلقه سیم وصل کرده و از قلاب ترازو آویزان کنید. لازم به ذکر است که مشخصات هر حلقه مشابه شکل روی آن نوشته شده است (شکل ۲ الف).
- مدار برای ایجاد میدان مغناطیسی: با استفاده از هسته آهنی U شکل، سیم پیچ‌ها و منبع تغذیه DC، می‌توان میدان مغناطیسی یکنواخت در شکاف بین قطب‌ها ایجاد کرد. این مدار مطابق شکل ۲ ب بسته می‌شود. چرا؟



ب: روش بستن اتصالات به سیم پیچ‌ها.

شکل ۲: الف



شکل ۳: هسته آهنی متحرک که با چرخاندن آنها می‌توان فاصله بین قطب‌ها را تغییر داد. A و E محل اتصالات نشان داده شده در مدار شکل ۲ است.

روش آزمایش

بستگی نیروی F به زاویه بین سیم حامل جریان i و میدان مغناطیسی B

- شکاف بین قطب‌ها را حدود ۴ سانتی‌متر قرار دهید (شکل ۳) و جریان عبوری از سیم‌پیچ‌ها (I_m) را روی صفر تنظیم کنید.
- حلقه سیم ($L=2/5 \text{ cm}$) را در میدان مغناطیسی طوری قرار دهید که ضلع افقی آن هم‌راستا با میدان مغناطیسی باشد.
- قبل از اعمال میدان، ترازو را در حالت تعادل تنظیم کنید.
- جریان در حلقه سیم را افزایش دهید (ماکزیمم ۴ آمپر)، همیشه جهت جریان را طوری تنظیم کنید که نیروی وارد بر حلقه به سمت زمین باشد، آیا عقربه ترازو جابجا می‌شود؟
- جریان عبوری از سیم‌پیچ‌ها (I_m) را افزایش دهید (ماکزیمم ۲ آمپر)، آیا عقربه ترازو جابجا می‌شود؟
- با چرخاندن هسته U شکل حول محور قائم، مشاهدات خود را یادداشت کنید.

بستگی نیروی F به طول سیم L

- شکاف بین قطب‌ها را حدود یک سانتی‌متر قرار دهید و جریان عبوری از سیم‌پیچ‌ها (I_m) را روی صفر تنظیم کنید.
- حلقه سیم را در میدان مغناطیسی طوری قرار دهید که ضلع افقی آن عمود بر راستای میدان مغناطیسی باشد.
- جریان عبوری از سیم‌پیچ‌ها را ماکزیمم ($I_m=2A$) کنید.
- قبل از برقراری جریان در حلقه سیم، ترازو را در حالت تعادل تنظیم کنید.
- ماکزیمم جریان ($i=4A$) را در حلقه سیم برقرار کنید.
- بعد از عبور جریان از حلقه سیم به علت نیروی وارده به حلقه، دیگر حلقه سیم در وضعیت تعادل نخواهد بود، دوباره حالت تعادل را برقرار کرده و اختلاف نیرو را در دو حالت بدست آورید.
- نتایج آزمایش را در جدول ۱ ثبت کنید.
- آزمایش را با حلقه‌های دیگر با طول‌های مختلف تکرار کنید.
- منحنی نمایش تغییرات F بر حسب L رسم کنید.
- با استفاده از شیب خط و جریان i ، میدان مغناطیسی B را محاسبه کنید.

جدول ۱

$I_m = 2A$	
$i = 4A$	
L (cm)	F (mN)
۱/۲۵	
۲/۵	
۵	
۱۰	

بستگی نیروی F به جریان i

- شکاف قطب‌ها را حدود یک سانتی‌متر قرار دهید و I_m جریان سیم‌پیچ‌ها را روی صفر تنظیم کنید.
- حلقه سیم ($L=10\text{cm}$) را در میدان مغناطیسی طوری قرار دهید که ضلع افقی آن عمود بر راستای میدان مغناطیسی باشد.
- جریان عبوری از سیم‌پیچ‌ها را ماکزیمم ($I_m=2A$) کنید.
- قبل از برقراری جریان در حلقه سیم، ترازو را در حالت تعادل تنظیم کنید.
- جریان در حلقه سیم (i) را به تدریج افزایش دهید.
- با استفاده از ترازو، نیروی وارد بر حلقه سیم را تعیین کنید.
- نتایج آزمایش را در جدول ۲ ثبت کنید.
- آزمایش را با جریان‌های دیگر i تکرار کنید.
- منحنی نمایش تغییرات F بر حسب i را رسم کنید.
- با استفاده از شیب خط و طول L ، میدان مغناطیسی B را محاسبه کنید.

جدول ۲

$I_m = 2A$	
$L = 10\text{ cm}$	
i (A)	F (mN)
۱	
۲	
۳	
۴	

بستگی نیروی F به I_m

- شکاف بین قطبها را حدود یک سانتی متر قرار دهید و جریان عبوری از سیم پیچها (I_m) را روی صفر تنظیم کنید.
- حلقه سیم ($L=10\text{ cm}$) را در میدان مغناطیسی طوری قرار دهید که ضلع افقی آن عمود بر راستای میدان مغناطیسی باشد.
- ماکزیمم جریان ($i=4A$) را در حلقه سیم برقرار کنید.
- قبل از اعمال میدان، ترازو را در حالت تعادل تنظیم کنید.
- جریان در سیم پیچها (I_m) را به تدریج افزایش دهید.
- با استفاده از ترازو نیروی وارد بر حلقه سیم را تعیین کنید.
- نتایج آزمایش را در جدول ۳ ثبت کنید.
- آزمایش را با جریانهای دیگر (I_m) تکرار کنید.
- منحنی نمایش تغییرات F بر حسب I_m را برای L و i ثابت رسم کنید.
- آیا با استفاده از منحنی نمایش تغییرات F بر حسب I_m می توان نتیجه ای در باره تغییرات F بر حسب B گرفت؟

جدول ۳

$i = 4A$	
$L = 10\text{ cm}$	
I_m (A)	F (mN)
۰/۵	
۱	
۱/۵	
۲	

پرسش‌ها

۱- چرا در این آزمایش، از سیم‌های مسی بدون روکش و قابل انعطاف برای اتصال منبع جریان به حلقه سیم استفاده شده است؟

۲- چرا باید جهت نیروی مغناطیسی، به طرف پایین باشد تا نتایج آزمایش قابل قبول‌تر باشد؟

۳- چرا سیم‌های مسی بدون روکش و قابل انعطاف باید اندکی شکم داشته باشند و نباید حالت کشیده داشته باشند؟ اگر زیادی شل و یا زیادی کشیده باشند چه اتفاقی می‌افتد.

آزمایش ۶

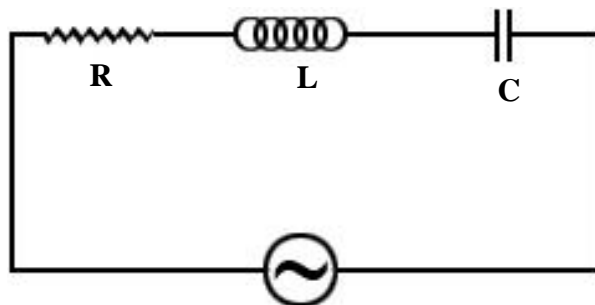
مطالعه مدارها با جریان متناوب

مطالعه و بررسی اثر مقاومت، القاگر و خازن در مدار جریان متناوب

تئوری آزمایش

مقاومت ظاهری و اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان در عناصر مختلف یک مدار RLC :

مدار شکل ۱ شامل مقاومت R ، القاگر L و خازن C است که به صورت سری به منبع تغذیه متناوب با نیروی محرکه الکتریکی \mathcal{E} که از رابطه $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \omega t$ بدست می‌آید، وصل شده‌اند. بین اختلاف پتانسیل دو سر هر عنصر و جریان عبوری از آن اختلاف فاز وجود دارد. فرض کنیم جریان در مدار به صورت $i = i_m \sin(\omega t - \varphi)$ باشد، با استفاده از R ، L ، C ، ω و \mathcal{E}_m می‌توان i_m و φ را به دست آورد.



شکل ۱

ابتدا فرض می‌کنیم هریک از عناصر به طور جداگانه به منبع تغذیه متناوب $\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \omega t$ وصل شده‌اند و اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ را بدست می‌آوریم.

• **مقاومت R** : اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R به صورت زیر است:

$$V_R = \mathcal{E}_m \sin \omega t$$

$$V_R = Ri = Ri_m \sin(\omega t - \varphi)$$

از مقایسه دو رابطه نتیجه می‌شود که $\mathcal{E}_m = Ri_m$ و $\varphi = 0$ اختلاف پتانسیل و جریان نیز هم فاز هستند.

• **القاگر L** : اختلاف پتانسیل دو سر القاگر L به صورت زیر است:

$$V_L = \varepsilon_m \sin \omega t$$

$$V_L = L \frac{di}{dt} = L \frac{d}{dt} i_m \sin(\omega t - \varphi) = L i_m \omega \cos(\omega t - \varphi) = X_L i_m \sin(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2})$$

که $X_L = L\omega$ را واکنایی القایی یا **مقاومت ظاهری القاگر** می‌نامند. از مقایسه دو رابطه نتیجه می‌شود که $\varepsilon_m = X_L i_m$ ، و اختلاف پتانسیل V_L به اندازه $\frac{\pi}{2}$ نسبت به جریان تقدم فاز دارد.

• **خازن C**: اختلاف پتانسیل دو سر خازن C به صورت زیر است:

$$V_C = \varepsilon_m \sin \omega t$$

$$V_C = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int i dt = \frac{1}{C} \int i_m \sin(\omega t - \varphi) dt = -\frac{i_m}{C\omega} \cos(\omega t - \varphi) = X_C i_m \sin\left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}\right)$$

که $X_C = \frac{1}{C\omega}$ را واکنایی خازنی یا **مقاومت ظاهری خازن** می‌نامند. از مقایسه دو رابطه نتیجه می‌شود که $\varepsilon_m = X_C i_m$ ، و اختلاف پتانسیل V_C به اندازه $\frac{\pi}{2}$ نسبت به جریان تأخیر فاز دارد. با توجه به مطالب ذکر شده در باره عناصر مختلف مدار، قانون کیرشهف را برای مدار شکل ۱ به صورت زیر می‌نویسیم:

$$\varepsilon = V_R + V_L + V_C$$

$$\varepsilon_m \sin \omega t = R i_m \sin(\omega t - \varphi) + X_L i_m \sin\left(\omega t - \varphi + \frac{\pi}{2}\right) + X_C i_m \sin\left(\omega t - \varphi - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\varepsilon_m \sin \omega t = i_m \{R \sin(\omega t - \varphi) + (X_L - X_C) \cos(\omega t - \varphi)\}$$

تعریف می‌کنیم: $\tan \alpha = \frac{X_L - X_C}{R}$ ، بنابراین معادله آخر را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\varepsilon_m \sin \omega t = \frac{i_m R \sin(\omega t - \varphi + \alpha)}{\cos \alpha}$$

برای اینکه دو طرف تساوی در تمام زمانها برقرار باشد باید $\alpha = \varphi$ باشد پس از $\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R}$ و رابطه‌های مثلثاتی می‌توان $\cos \varphi$ را به دست آورد.

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

با شرط $\alpha = \varphi$ و با استفاده از دو رابطه بالا، می‌توان i_m را بدست آورد

$$i_m = \frac{\varepsilon_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

بنابراین $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ که Z امپدانس مدار یا **مقاومت ظاهری** مدار نامیده می‌شود، در نتیجه $i_m = \frac{\varepsilon_m}{Z}$ است. این رابطه بین ولتاژ مؤثر V_Z و جریان مؤثر I نیز برقرار است ($I = \frac{V_Z}{Z}$). اگر I ماکزیمم باشد مدار در حالت تشدید است. برای اینکه I ماکزیمم باشد باید امپدانس مدار مینیمم شود، بنابراین شرط اینکه مدار در حالت تشدید باشد عبارت است از:

$$X_L - X_C = 0 \Rightarrow \omega_{res} = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

به ازاء این بسامد مدار در **حالت تشدید** خواهد بود.

مفهوم فازور: اگر تابعی مثل $v(t) = V_Z \cos(\omega t + \varphi)$ موجود باشد آنگاه بنا به تعریف فازور آنرا به شکل زیر تعریف میکنیم:

$$V = V_Z e^{j\varphi}$$

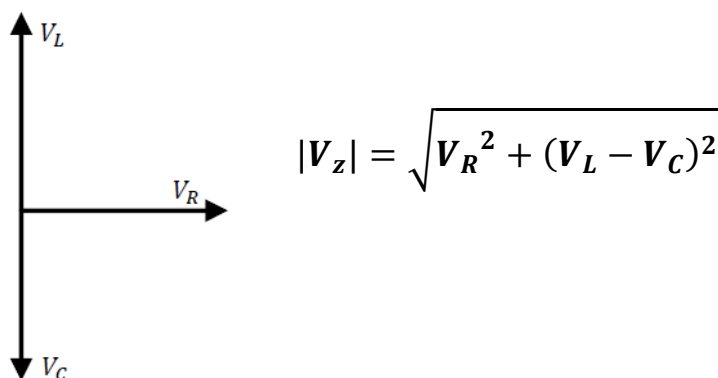
به طوری که: $|V| = V_Z$ و $\angle V = \varphi$

بررسی مدار RLC با روش رسم نمودار فازوری

روش دیگر برای مطالعه مدار RLC روش رسم نمودار فازوری است، در این روش قانون کیرشهف برای مدار RLC یک رابطه برداری است $V_Z = V_R + V_L + V_C$. اندازه هریک از بردارها برابر با اختلاف پتانسیل مؤثر دو سر هر 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 هریک از عناصر مدار برابر با زاویه بین بردار V_R و بردار اختلاف پتانسیل آن عنصر است. بنابراین اگر V_R مانند شکل ۲ در راستای افق رسم شود بردار اختلاف پتانسیل القاگر ایده‌آل L

^۲ ولتاژ و جریان مؤثر، جذر میانگین مربعی این کمیت‌ها است. برای مطالعه بیشتر به کتاب فیزیک هالیدی، فصل جریان‌های متناوب مراجعه شود.

(V_L) و خازن ایده‌آل C (V_C) عمود بر بردار V_R خواهند بود. بردار V_L به علت تقدم فاز نسبت به جریان در جهت مثبت و بردار V_C به علت تأخیر فاز نسبت به جریان در جهت منفی رسم می‌شوند.

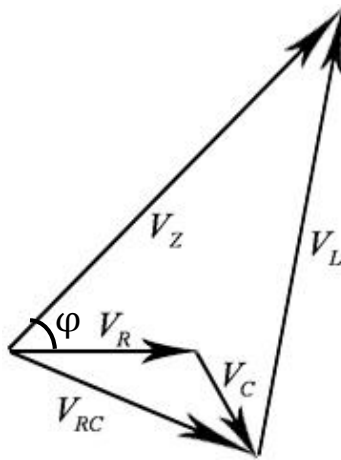


شکل 2

در عمل القاگرها و خازن‌ها ایده‌آل نبوده و دارای مقاومت اهمی (r) هستند. بنابراین بردار V_L و بردار V_C بر بردار V_R عمود نیستند. در این حالت با استفاده از خط‌کش و پرگار شکل زیر را رسم می‌کنیم. اختلاف پتانسیل مقاومت اهمی القاگر، با تصویر کردن V_L در راستای افق بدست می‌آید. اختلاف پتانسیل ناشی از القا نیز با تصویر کردن V_L در راستای قائم بدست می‌آید. ($\tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R + r}$)

رسم نمودار فازوری با معلوم بودن اندازه $(V_R - V_C - V_{RC} - V_L - V_Z)$:

به اندازه V_R یک خط افقی رسم می‌کنیم سپس دهانه پرگار را به اندازه V_C باز کرده و از انتهای V_R یک کمان می‌زنیم (به سمت پایین چون تأخیر فاز دارد). سپس دهانه پرگار را به اندازه V_{RC} باز می‌کنیم و از ابتدای V_R کمان می‌زنیم. نقطه تقاطع کمان‌ها را به ابتدا و انتهای V_R وصل می‌کنیم که تشکیل یک مثلث می‌دهد. حال دهانه پرگار را به اندازه V_L باز کرده و از انتهای V_{RC} کمان می‌زنیم (به سمت بالا چون تقدم فاز دارد). سپس به اندازه V_Z باز می‌کنیم و از ابتدای V_{RC} کمان می‌زنیم و نقطه تقاطع دو کمان را به ابتدا و انتهای V_{RC} وصل می‌کنیم که تشکیل یک مثلث می‌دهد. (شکل ۳)



شکل ۳

وسایل آزمایش

منبع تغذیه جریان متناوب (AC)، القاگر، مقاومت، خازن، ولت‌متر، سیم رابط (۷ عدد).

روش آزمایش

بررسی مدار RL

- مدار آزمایش را که شامل مقاومت R و القاگر L به صورت سری است، به منبع تغذیه متناوب وصل کنید (دقت کنید قبل از روشن کردن منبع تغذیه، ولتاژ آن روی صفر باشد تا دستگاه آسیب نبیند و ولتاژ نیز به آرامی افزایش یابد).
- ولتاژ منبع تغذیه را روی مقدار ثابتی (۲۰ ولت) تنظیم کنید.
- اختلاف پتانسیل V_L ، V_R ، و اختلاف پتانسیل دو سر مدار V_Z و جریان مدار را اندازه‌گیری کرده سپس در جدول ۱ ثبت کنید.
- نموداربرداری ولتاژها را رسم کنید و با استفاده از آن، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ دو سر مدار V_Z را بدست آورید.
- آیا V_L بر V_R عمود است؟ توضیح دهید. با استفاده از نمودار برداری، مقاومت اهمی القاگر را بدست آورید.
- امپدانس مدار Z را به دست آورید و با استفاده از آن ضریب خودالقایی القاگر را محاسبه کنید (فرکانس برق شهر ۵۰ هرتز است).

جدول ۱

V_R (V)	V_L (V)	V_Z (V)	I (mA)

بررسی مدار RC

- مدار آزمایش را که شامل مقاومت R و خازن C به صورت سری است، به منبع تغذیه متناوب وصل کنید (دقت کنید قبل از روشن کردن منبع تغذیه، ولتاژ آن روی صفر باشد تا دستگاه آسیب نبیند و ولتاژ نیز به آرامی افزایش یابد).
- ولتاژ منبع تغذیه را روی مقدار ثابتی (۲۰ ولت) تنظیم کنید.
- اختلاف پتانسیل V_C ، V_R و اختلاف پتانسیل دو سر مدار V_Z و جریان مدار را اندازه‌گیری کرده سپس در جدول ۲ ثبت کنید.
- نموداربرداری ولتاژها را رسم کنید و با استفاده از آن، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ دو سر مدار V_Z را بدست آورید. آیا V_C بر V_R عمود است؟ توضیح دهید.
- امپدانس مدار Z را به دست آورید و با استفاده از آن ظرفیت خازن را محاسبه کنید .

جدول ۲

V_R (V)	V_C (V)	V_Z (V)	I (mA)

بررسی مدار RLC

- مدار آزمایش را که شامل مقاومت R، القاگر L و خازن C به صورت سری است، به منبع تغذیه متناوب وصل کنید (دقت کنید قبل از روشن کردن منبع تغذیه، ولتاژ آن روی صفر باشد تا دستگاه آسیب نبیند و ولتاژ نیز به آرامی افزایش یابد).
- ولتاژ منبع تغذیه را روی مقدار ثابتی (۲۰ ولت) تنظیم کنید.

- اختلاف پتانسیل V_R ، V_L ، V_C ، V_{RL} و اختلاف پتانسیل دو سر مدار V_Z و جریان مدار را اندازه‌گیری کرده سپس در جدول ۳ ثبت کنید.
- نموداربرداری ولتاژها را رسم کنید و با استفاده از آن، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ دو سر مدار V_Z را بدست آورید.
- آیا V_L بر V_R عمود است؟ توضیح دهید. مقاومت اهمی القاگر را به دست آورده و با مقدار به دست آمده در مدار RL مقایسه کنید. چرا نمی‌توان با این روش مقاومت اهمی خازن را بدست آورد؟
- با استفاده از V_Z و I اندازه‌گیری شده، امپدانس مدار Z را به دست آورید. همچنین با استفاده از ضریب خودالقایی القاگر و ظرفیت خازن که در مدار RL و مدار RC محاسبه شد، امپدانس مدار Z را محاسبه کنید و با نتیجه به دست آمده، مقایسه کنید.

جدول ۳

V_R (V)	V_L (V)	V_C (V)	V_{RL} (V)	V_Z (V)	I (mA)

آزمایش ۷

بررسی ظرفیت خازن و اندازه‌گیری ضریب دی‌الکتریک

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

آموزش کار با اسیلوسکوپ و بررسی رابطه

تئوری آزمایش

اگر یک خازن در مداری با اختلاف پتانسیل متناوب $V = V_m \sin \omega t$ قرار داده شود، صفحات خازن به طور متناوب دارای بار مثبت و منفی می‌شوند.

$$q = CV = CV_m \sin \omega t$$

شدت جریان حاصل از این تغییرات بار برابر است با:

$$I = dq/dt = C\omega V_m \cos(\omega t) = C\omega V_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$X_C = \frac{1}{C\omega} \quad I_m = \frac{V_m}{X_C}$$

ولتاژ مؤثر V و جریان مؤثر I مدار از رابطه‌های $V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$ و $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ به دست می‌آیند. بنابراین رابطه بین ولتاژ و جریان مؤثر مدار نیز برابر است با:

$$I = \frac{V}{X_C} \quad X_C = \frac{1}{C\omega}$$

بازاء یک فرکانس مشخص با اندازه‌گیری V و I و استفاده از رابطه بالا می‌توان X_C (مقاومت ظاهری خازن) و سپس ظرفیت خازن را محاسبه کرد و از رابطه $C = \frac{K\varepsilon_0 A}{d}$ وابستگی ظرفیت خازن به فاصله صفحات و جنس عایق بین صفحات (دی‌الکتریک) را بررسی کرد.

وسایل آزمایش

نوسان‌ساز (اسیلاتور)، نوسان‌نما (اسیلوسکوپ)، خازن تخت که فاصله صفحات آن قابل تنظیم است، دی‌الکتریک، آمپر متر، سیم رابط (۳ عدد).

راهنمای استفاده از اسیلوسکوپ

اسیلوسکوپ دیجیتال یک ابزار بسیار مناسب برای اندازه گیری طول موج و ولتاژ در سیستم‌های مختلف است. اسیلوسکوپ ذخیره سازی دیجیتال (DSO) نوعی اسیلوسکوپ است که به جای استفاده از تکنیک‌های آنالوگ، سیگنال ورودی را به صورت دیجیتال ذخیره می‌کند. در اسیلوسکوپ‌های دیجیتال، سیگنال آنالوگ ورودی به صورت دوره‌ای نمونه‌برداری شده و به مقادیر دیجیتال تبدیل می‌شود. این مقادیر دیجیتال سپس به یک سیگنال آنالوگ برای نمایش بر روی لوله اشعه کاتدی (CRT) تبدیل می‌شوند یا برای انواع مختلف خروجی‌ها مانند نمایشگر کریستال مایع، ثبت کننده نموداری، رسم کننده یا رابط شبکه، تغییر شکل می‌دهند. این مقادیر در حافظه داخلی دستگاه ذخیره می‌شوند. مقادیر دیجیتال ذخیره شده به شکل یک نمودار دو بعدی (ولتاژ در مقابل زمان) روی صفحه نمایش، نمایش داده می‌شوند. این نمودار به مهندسان و کاربرها اجازه می‌دهد تا شکل موج سیگنال را به دقت بررسی کنند. اسیلوسکوپ‌های دیجیتال معمولاً فرم‌های موج را تجزیه و تحلیل می‌کنند و مقادیر عددی و نمایش‌های بصری را ارائه می‌دهند. این مقادیر معمولاً شامل میانگین، حداکثر و حداقل، میانگین مربعات (RMS) و فرکانس‌ها می‌شود. اسیلوسکوپ‌های دیجیتال قادر به ذخیره هزاران نمونه از یک سیگنال هستند. این داده‌ها را می‌توان برای تحلیل‌های بعدی، مقایسه با سیگنال‌های دیگر یا چاپ گزارش استفاده کرد. همچنین با استفاده از قابلیت ماشه، می‌توان رویدادهای نادر و گذرا را به راحتی ثبت و تحلیل کرد.

توضیحات اجزای پنل جلویی اسیلوسکوپ

تصویر زیر نمای جلویی یک اسیلوسکوپ معمولی را نشان می‌دهد و اجزای مختلف آن به شرح زیر نام‌گذاری شده‌اند:

۱- **نمایشگر LCD:** این صفحه نمایش کریستال مایع (LCD) است که اطلاعات مختلفی از قبیل شکل

موج سیگنال ورودی، تنظیمات دستگاه و نتایج اندازه‌گیری را نمایش می‌دهد.

۲- **کلیدهای عملکردی:** این کلیدها برای انجام عملیات‌های مختلف مانند تنظیمات، پیمایش در منو و انتخاب گزینه‌های مختلف استفاده می‌شوند.

۳- **دگمه‌ی متغیر:** این دکمه برای تنظیم دقیق پارامترهای مختلف مانند ولتاژ و زمان استفاده می‌شود.

۴- **دگمه‌ی موقعیت عمودی:** برای تنظیم موقعیت عمودی شکل موج روی صفحه نمایش استفاده می‌شود.

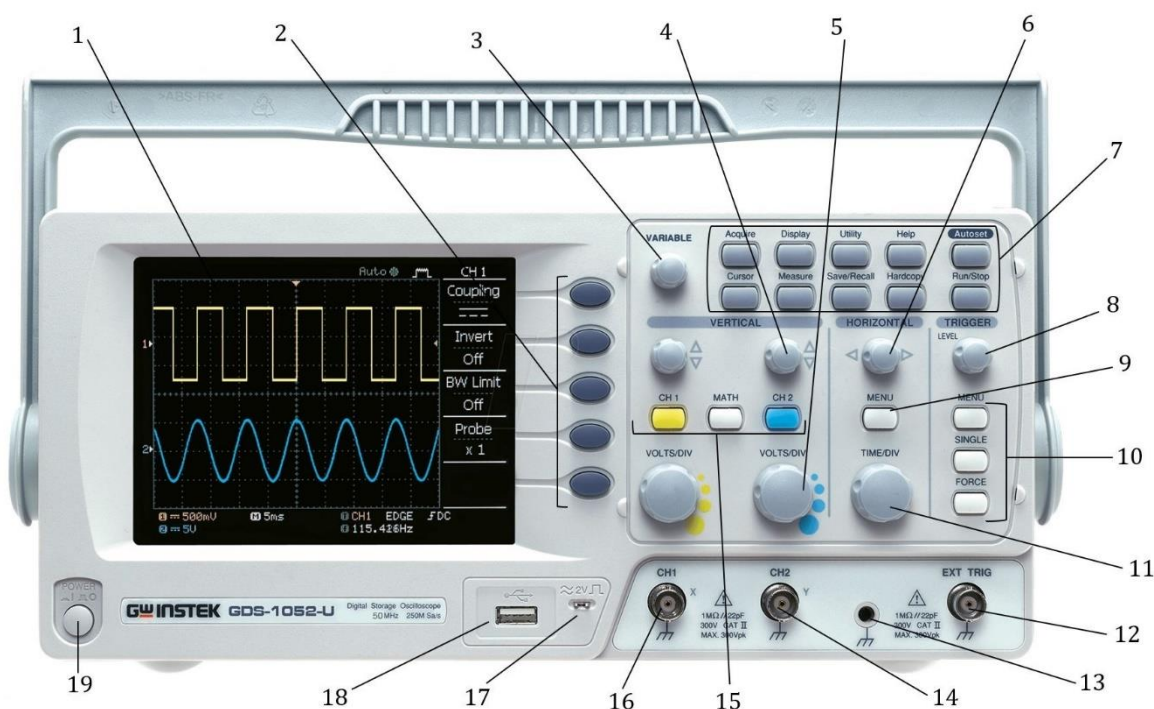
۵- دگمه‌ی ولتاژ به تقسیم: برای تنظیم مقیاس ولتاژ هر تقسیم‌بندی عمودی روی صفحه نمایش استفاده می‌شود.

۶- دگمه‌ی موقعیت افقی: برای تنظیم موقعیت افقی شکل موج روی صفحه نمایش استفاده می‌شود.

۷- کلیدهای منو: برای دسترسی به منوهای مختلف دستگاه و تنظیمات پیچیده‌تر استفاده می‌شوند.

۸- دگمه‌ی سطح ماشه: برای تنظیم سطح ولتاژی که در آن ماشه فعال می‌شود، استفاده می‌شود.

۹- کلید منوی افقی: برای تنظیم پارامترهای مربوط به محور افقی (زمان) استفاده می‌شود.



۱۰- کلیدهای ماشه: برای فعال و غیرفعال کردن ماشه و انتخاب نوع ماشه استفاده می‌شوند.

۱۱- دگمه‌ی زمان به تقسیم: برای تنظیم مقیاس زمانی هر تقسیم‌بندی افقی روی صفحه نمایش استفاده می‌شود.

۱۲- ورودی ماشه خارجی: برای اعمال یک سیگنال ماشه خارجی به اسیلوسکوپ استفاده می‌شود.

۱۳- بین زمین: برای اتصال زمین دستگاه تحت آزمایش به اسیلوسکوپ استفاده می‌شود.

۱۴- پورت کانال ۲: برای اتصال پروب به کانال دوم اسیلوسکوپ استفاده می‌شود.

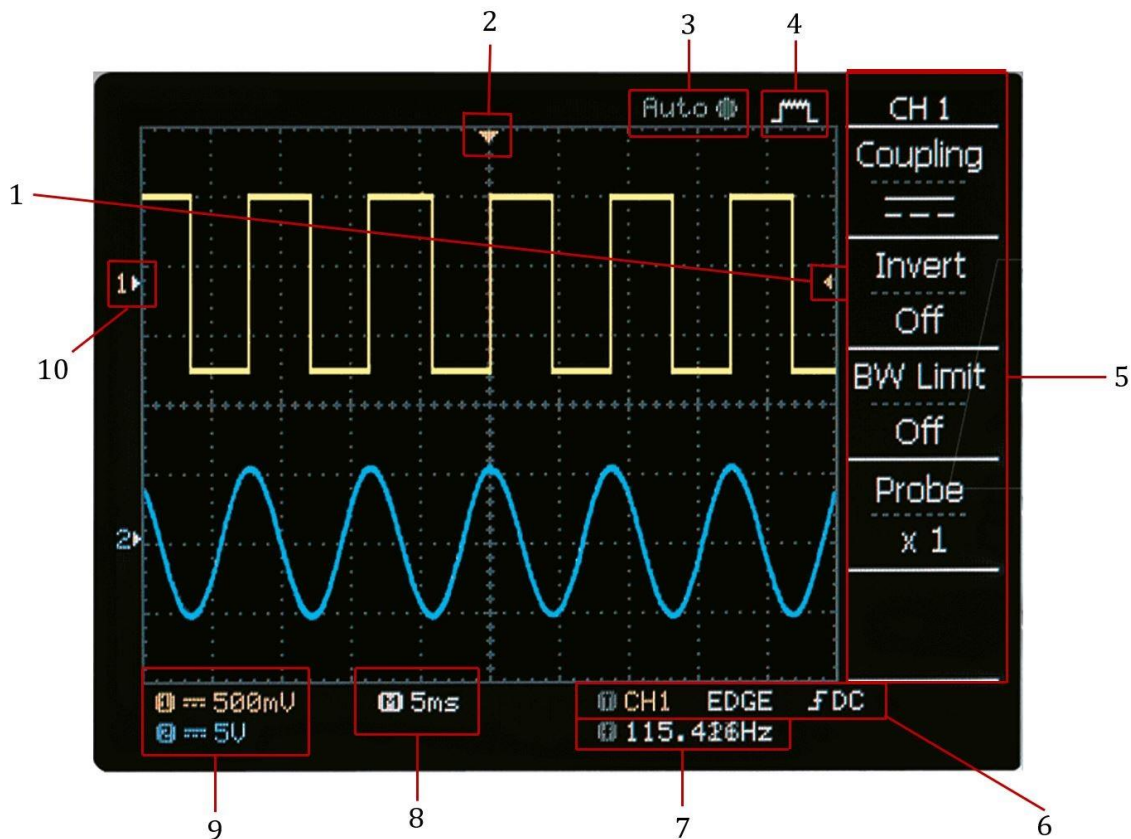
۱۵- کلیدهای محاسبات کانال ۱ و ۲: برای انجام عملیات ریاضی روی سیگنال‌های کانال ۱ و ۲ استفاده می‌شود.

۱۶- پورت کانال ۱: برای اتصال پروب به کانال اول اسیلوسکوپ استفاده می‌شود.

۱۷- خروجی جبران پروب: برای کالیبره کردن پروب‌ها استفاده می‌شود.

۱۸- پورت USB نوع A: برای اتصال اسیلوسکوپ به کامپیوتر و انتقال داده‌ها استفاده می‌شود.

۱۹- کلید روشن/خاموش: برای روشن و خاموش کردن اسیلوسکوپ استفاده می‌شود.



نمای کلی نمایشگر اسیلوسکوپ دیجیتال

تصویر بالا نمای کلی از بخش نمایشگر یک اسیلوسکوپ را نشان می‌دهد.

هر یک از عناصر نشان داده شده در تصویر، اطلاعات مهمی در مورد سیگنال ورودی و تنظیمات دستگاه ارائه می‌دهند.

۱- **موقعیت ماشه:** نشان‌دهنده نقطه‌ای است که در آن ماشه فعال می‌شود و نمونه‌برداری از سیگنال آغاز می‌شود.

۲- **موقعیت شکل موج:** نشان‌دهنده موقعیت افقی شکل موج روی صفحه نمایش است.

۳- **وضعیت ماشه:** نشان می‌دهد که ماشه فعال است یا غیرفعال.

۴- **اكتساب:** حالت اکتساب سیگنال را نشان می‌دهد (مثلاً تک شات، تکرار).

۵- **منو:** دسترسی به تنظیمات و تنظیمات مختلف دستگاه را فراهم می‌کند.

۶- **شرایط ماشه:** نوع ماشه (لبه، پالس، ویدیو) و سطح ماشه را مشخص می‌کند.

۷- **فرکانس:** فرکانس سیگنال ورودی را نشان می‌دهد.

۸- **وضعیت افقی:** تنظیمات مقیاس زمانی و حالت‌های نمایش افقی را نشان می‌دهد.

۹- **وضعیت عمودی:** تنظیمات مقیاس ولتاژ و حالت‌های نمایش عمودی را نشان می‌دهد.

۱۰- **مارکر شکل موج:** برای اندازه‌گیری دقیق پارامترهای سیگنال مانند ولتاژ، زمان و فرکانس استفاده می‌شود.

اندازه‌گیری ولتاژ: توسط سیلو سکوپ می‌توان ولتاژهای AC و DC را با دقت خیلی زیاد اندازه‌گیری کرد. با قرار دادن کلید AC-GND-DC روی حالت GND مارکر را ترجیحاً در وسط صفحه نمایش سیلو سکوپ تنظیم می‌کنیم. حال در صورتی که سیگنال ورودی، یک سیگنال AC باشد برای بدست آوردن ولتاژ پیک آن، تعداد خانه‌های اشغال شده بین محل تنظیم اشعه در حالت GND و پیک سیگنال AC را شمرده و در ضریب Volt/Div ضرب می‌کنیم و برای بدست آوردن ولتاژ مؤثر این سیگنال، مقدار ولتاژ پیک بدست آمده را بر $\sqrt{2}$ تقسیم می‌کنیم. به عنوان مثال در شکل ۳ یک سیگنال سینوسی بر روی صفحه نمایش سیلو سکوپ نمایش داده شده است. اگر ضریب Volt/Div برابر با ۵ ولت باشد مقدار ولتاژ ماکزیمم و مؤثر این سیگنال اینگونه بدست می‌آید:

$$V_m = 2 \times 5 V = 10 v$$

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7.07 \text{ v}$$

اندازه گیری زمان تناوب و فرکانس: برای اندازه گیری زمان تناوب یک موج متناوب باید ابتدا ولوم **Time variable** را در حالت Cal قرار داده و سپس تعداد خانه های در بر گرفته شده توسط یک موج متناوب را در ضریب **Time/Div** ضرب نمود .

به عنوان مثال با فرض اینکه ضریب **Time/Div** برابر با ۰,۵ میلی ثانیه و ولوم **Time variable** در حالت Cal باشد زمان تناوب شکل موج نمایش داده شده در شکل 3 را اینگونه بدست میآوریم :

$$T = 5.6 \times 0.5 \text{ ms} = 2.8 \text{ ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2.8} = 357 \text{ H}$$

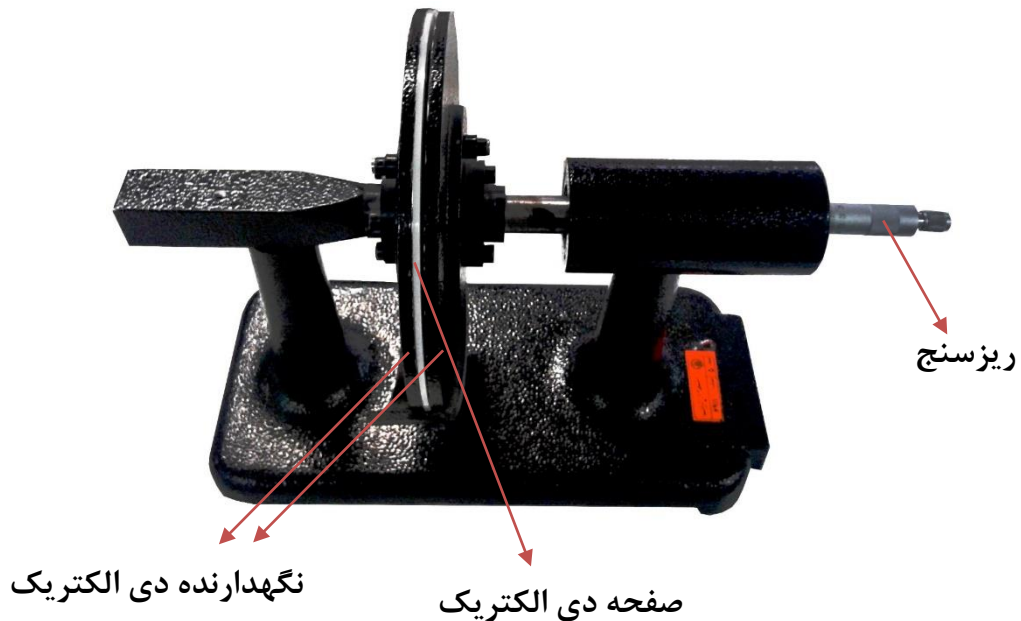
آشنایی با نوسان ساز (اسیلاتور):

نوسان ساز ، یک منبع تغذیه AC است که برق متناوب با دامنه ولتاژ و فرکانس های مختلف تولید میکند.



شکل ۴

خازن مسطح با ظرفیت قابل تغییر:



شکل ۵

شکل ۵ یک خازن با صفحه‌های مسطح نشان می‌دهد که از دو صفحه آلومینیومی دایره‌ای شکل به شعاع ۱۰ سانتیمتر تشکیل شده و بطور عمودی مقابل هم قرار دارند. صفحه سمت راست در شکل متحرک بوده و به کمک ریزسنجی که به پشت آن متصل است می‌توان فاصله صفحات را با دقت بالایی تنظیم کرد. لازم به ذکر است که ریزسنج‌ها خطای صفر دارند که برای همه ی دستگاه‌ها متفاوت است ، برای بدست آوردن خطای صفر ریزسنج

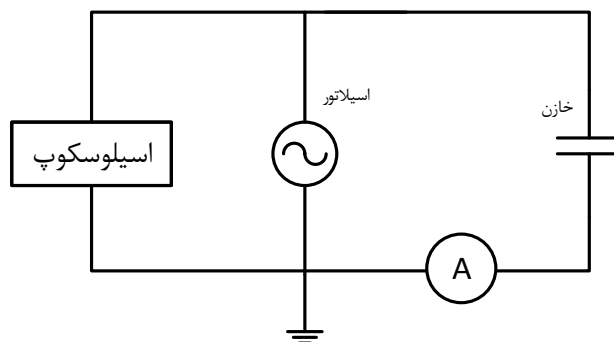
ابتدا دی‌الکتریک را که ضخامت آن 2.8 میلیمتر است بین صفحات خازن قرار دهید سپس ریزسنج را به آرامی ببندید، جایی که ریز سنج کمی سفت شد، عدد روی آن را بخوانید (ابتداً ریزسنج را سفت نبندید و یا سریع نپیچانید) اختلاف این عدد با ضخامت دی‌الکتریک خطای صفر ریزسنج است.

روش آزمایش

(۱) مشاهده شکل موج نوسان ساز اندازه گیری بسامد نوسانساز با نوسان نما وبدست آوردن خطای بسامد از روی نوسان نما نسبت به بسامد نوسان ساز با توجه به اینکه نوسان ساز مقدار دقیق بسامد را نشان میدهد.

- شکل موج نوسان ساز را سینوسی ودامنه ولتاژ آن را ۴ ولت تنظیم کرده و بسامد آن را 10 KHz قرار داده با استفاده از نوسان نما در حالتی که ولوم **Time/Div** روی **50 μ s** است بسامد را از روی شکل موج بدست آورید خطای مطلق وخطای نسبی را برای بسامد 10 KHz حساب کنید با توجه به اینکه نوسان ساز بسامد دقیق را نشان میدهد چرا با نوسان نما مقدار دقیق بسامد را نمی توانیم بدسن آوریم؟
- توجه نمایید بعد از مرحله ۲ به بعد ولتاژ نوسان ساز را روی ۴ ولت تنظیم کردید نوسان نما را خاموش نمایید تا عمر مفید آن افزایش یابد .

(۲) تعیین ضریب دی‌الکتریک



شکل ۶

- مدار را مطابق شکل ۶ ببندید(دقت کنید که زمین اسیلوسکوپ به زمین نوسان ساز و آمپر متر وصل شود).

- تنظیم‌های اولیه اسیلوسکوپ را انجام داده و قبل از روشن کردن نوسان‌ساز، مدار را به دستیار آزمایشگاه نشان دهید.
- به کمک دی‌الکترونیک پلکسی، مطابق با روشی که در بالا ذکر شد صفر ریزسنج را تعیین کنید.
- نوسان‌ساز را روشن کرده چند ثانیه صبر کنید و سپس دامنه ولتاژ دو سر خازن را روی ۴ ولت تنظیم کنید.
- فرکانس نوسان‌ساز را در بازه ۱ تا ۲۵ کیلوهرتز تغییر دهید و به ازاء هر فرکانس شدت جریان را اندازه‌گیری کرده و جدول ۲ را کامل کنید.
- نمودار جریان بر حسب فرکانس را رسم کرده و با استفاده از شیب خط ظرفیت خازن را حساب کرده و ثابت دی‌الکترونیک را محاسبه کنید.

جدول ۱

f (kHz)	۱	۵	۹	۱۳	۱۷	۲۱	۲۵
I (μA)							

تعیین ضریب گذردهی هوا

- نوسان‌ساز را خاموش کنید، ورقه پلکسی را از بین صفحات خازن خارج کرده و فاصله صفحات را به اندازه ۲,۸ میلی‌متر تنظیم کنید.
- مدار را مطابق شکل ۶ ببندید (دقت کنید که زمین اسیلوسکوپ به زمین نوسان‌ساز و آمپر متر وصل شود).
- تنظیم‌های اولیه اسیلوسکوپ را انجام دهید.
- نوسان‌ساز را روشن کرده و سپس دامنه ولتاژ دو سر خازن را روی ۴ ولت تنظیم کنید (با استفاده از اسیلوسکوپ).
- فرکانس نوسان‌ساز را در بازه ۱ تا ۲۵ کیلوهرتز تغییر دهید و به ازاء هر فرکانس شدت جریان را اندازه‌گیری کرده و جدول ۳ را کامل کنید.
- نمودار جریان بر حسب فرکانس را رسم کرده و با استفاده از شیب خط ظرفیت خازن را حساب کنید. ضریب گذردهی هوا را محاسبه کرده و با ضریب گذردهی خلاء مقایسه کنید.

جدول ۲

f (kHz)	۱	۵	۹	۱۳	۱۷	۲۱	۲۵
I (μA)							

بستگی ظرفیت خازن مسطح به فاصله صفحات

- مدار را مطابق شکل ۶ ببندید (دقت کنید که زمین اسیلوسکوپ به زمین نوسان ساز و آمپر متر وصل شود).
- تنظیم‌های اولیه اسیلوسکوپ را انجام دهید.
- فرکانس نوسان ساز را روی فرکانس مشخصی (۱۴ کیلوهرتز) تنظیم کنید.
- فاصله بین صفحات خازن را تغییر داده، هر دفعه شدت جریان را اندازه‌گیری کنید و جدول ۴ را کامل کنید.
- نمودار جریان بر حسب عکس فاصله ($1/d$) را رسم نموده و به کمک آن رابطه ظرفیت خازن با فاصله صفحات را نتیجه‌گیری کنید.

جدول ۳

$f = 14(KHz)$							
$d(mm)$	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
I (μA)							

پرسش‌ها

- ۱- چگونه می‌توان با استفاده از اسیلوسکوپ جریان را اندازه‌گیری کرد؟
- ۲- خطاهای آزمایش را بررسی کرده و دلایل آن را ذکر کنید.

آزمایش ۸

مشاهده منحنی‌های لیسازو و مطالعه مدارها با جریان متناوب

استفاده از اسیلوسکوپ برای مشاهده منحنی‌های لیسازو و مطالعه مدارها با جریان متناوب

تئوری آزمایش

منحنی‌های لیسازو و اندازه‌گیری اختلاف فاز

منحنی‌های لیسازو تصاویری هستند که در آنها یک موج بر حسب موج دیگر رسم می‌شود، به عبارت دیگر متغیر زمان از معادله‌های دو موج حذف می‌شود. به کمک منحنی‌های لیسازو، می‌توان اختلاف فاز میان دو موج سینوسی هم‌فراکانس و نیز نسبت فرکانسی دو موج سینوسی را به دست آورد. دو موج سینوسی $x = x_0 \sin \omega t$ و $y = y_0 \sin(\omega t + \varphi)$ را در نظر می‌گیریم و برای آن که حرکت نقطه‌ای تحت تاثیر این دو موج را بررسی کنیم حالت‌های گوناگونی را در نظر می‌گیریم:

- دو موج هم فاز باشند، یعنی $\varphi = 0$:

$$\begin{cases} x = x_0 \sin \omega t \\ y = y_0 \sin \omega t \end{cases} \Rightarrow y = \frac{y_0}{x_0} x$$

که نشان دهنده یک خط راست است، با توجه به اینکه x و y هر دو محدود هستند در حقیقت یک پاره خط خواهیم داشت.

- دو موج دارای اختلاف فاز $\varphi = \frac{\pi}{2}$ باشند:

$$\begin{cases} x = x_0 \sin \omega t \\ y = y_0 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = y_0 \cos \omega t \end{cases}$$

با حذف زمان از معادله‌های بالا رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(\sin \omega t)^2 + (\cos \omega t)^2 = \left(\frac{x}{x_0} \right)^2 + \left(\frac{y}{y_0} \right)^2 = 1$$

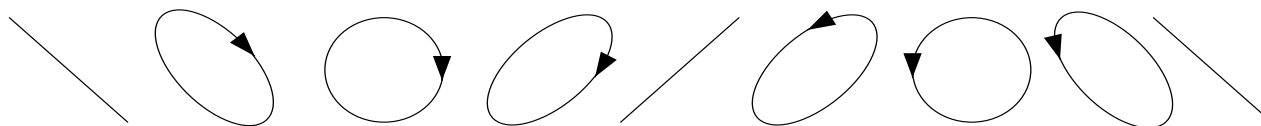
که نشان دهنده معادله یک بیضی است، که قطرهای آن در امتداد محورهای x و y هستند (بیضی استاندارد). در همین حالت اگر دامنه دو موج با هم برابر باشد $x_0 = y_0 = a$ ، معادله یک دایره به شعاع a خواهد بود.

- دو موج دارای اختلاف فاز $\varphi = \pi$ باشند:

$$\begin{cases} x = x_0 \sin \omega t \\ y = y_0 \sin(\omega t + \pi) = -y_0 \sin \omega t \end{cases} \Rightarrow y = -\frac{y_0}{x_0} x$$

که نشان دهنده‌ی یک پاره خط در ربع دوم و چهارم است.

در شکل ۱ تصویرهای گوناگون پدید آمده برای مقدارهای مختلف φ نشان داده شده است. نماد پیکان روی این نمودارها مربوط به جهت حرکت الکترون‌ها روی صفحه اسیلوسکوپ است.



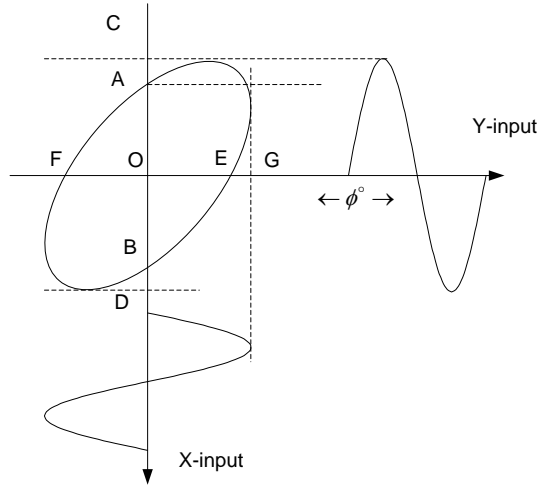
$$\varphi = -\pi, -\pi < \varphi < -\frac{\pi}{2}, \varphi = -\frac{\pi}{2}, -\frac{\pi}{2} < \varphi < 0, \varphi = 0, 0 < \varphi < \frac{\pi}{2}, \varphi = \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} < \varphi < \pi, \varphi = \pi$$

شکل ۱

- اختلاف فاز φ :

اکنون فرض می‌کنیم که دو موج دارای فرکانس برابر و اختلاف فاز آنها $0 < \varphi < \pi/2$ باشد، تصویر پدید آمده از ترکیب دو موج، یک بیضی مانند شکل ۲ است. این بیضی هنگامی محور y ها را قطع می‌کند که:

$$\begin{cases} x = x_0 \sin \omega t = 0 & \Rightarrow \omega t = k\pi \\ y = y_0 \sin(\omega t + \varphi) & \Rightarrow y = y_0 \sin(k\pi + \varphi) = \pm y_0 \sin \varphi \end{cases}$$



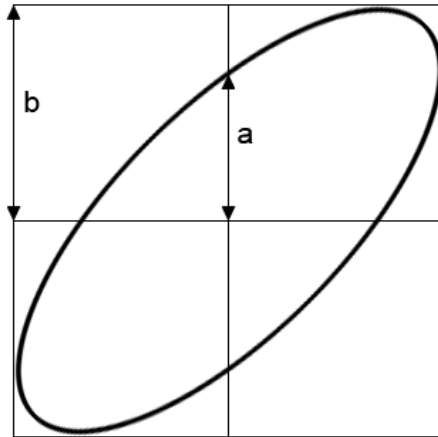
شکل ۲: نمایش بیضی پدید آمده از برهم نهی دو موج با اختلاف فاز $0 < \varphi < \pi/2$

به این ترتیب داریم:

$$y|_{x=0} = y_0 \sin \varphi \Rightarrow \varphi = \text{Arc sin} \left(\frac{y_{x=0}}{y_0} \right)$$

اگر a و b را طوری تعریف کنیم که $y_{x=0} = a$ و $y_0 = b$ باشد (شکل ۳)، اختلاف فاز برابر است با:

$$\varphi = \text{Arc sin} \left(\frac{a}{b} \right)$$



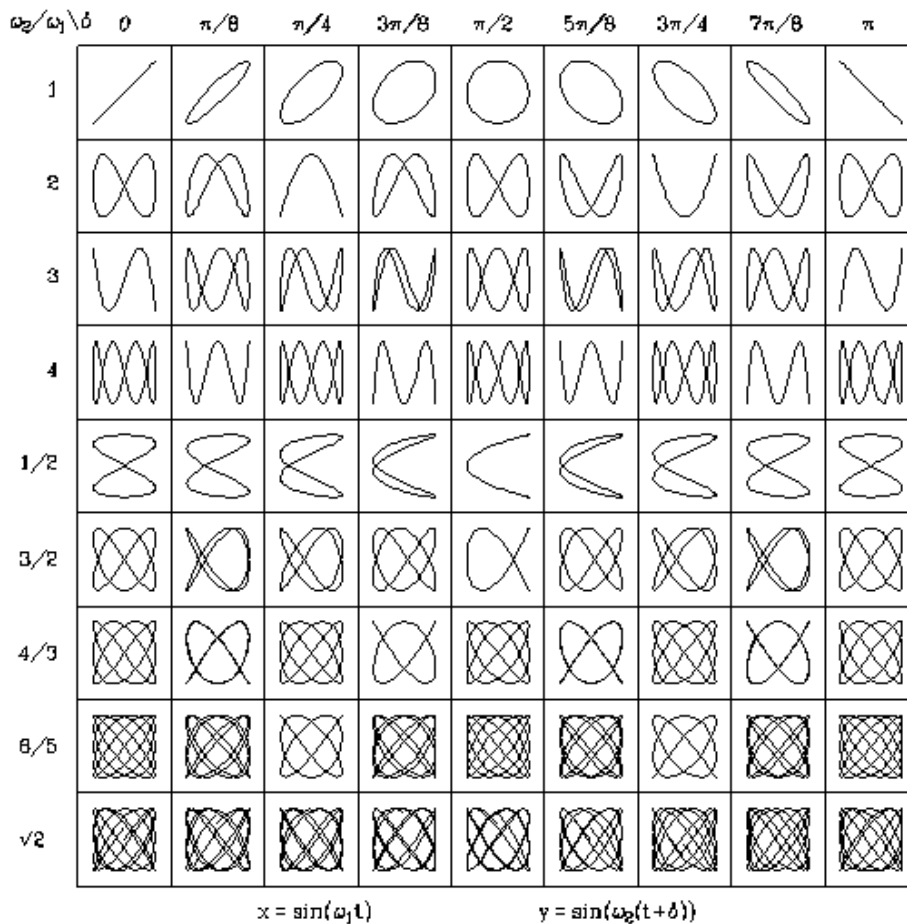
شکل ۳

برای دقت بیشتر می‌توان طول‌های $2a$ و $2b$ را بر روی صفحه اسیلوسکوپ اندازه‌گیری کرد.

تعیین فرکانس مجهول

اگر فرکانس یک موج سینوسی $x = x_0 \sin \omega_x t$ و فرکانس موج سینوسی $y = y_0 \sin \omega_y t$ باشد، چنان اسیلوسکوپ بدهیم، تصویرهایی پدید می‌آید که در جهت Y را به ورودی Y و موج X را به ورودی X چه موج : محورهای مختصات دارای بیشینه‌هایی خواهند بود

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{N_x}{N_y} = \frac{\text{تعداد نقطه‌های بیشینه در امتداد محور افقی}}{\text{تعداد نقطه‌های بیشینه در جهت محور قائم}}$$



شکل ۴: منحنی‌های لیسازو

بررسی مدار جریان متناوب شامل اجزاء مقاومت، خازن و القاگر

برای مطالعه تئوری مدار RLC به قسمت تئوری آزمایش ۶ مراجعه کنید.

وسایل آزمایش

نوسان ساز (اسیلاتور)، اسیلوسکوپ ، منبع تغذیه ۶ ولت با فرکانس مجهول، جعبه مقاومت، خازن، القاگر، سیم رابط (۶ عدد).

برای آشنایی کار با اسیلوسکوپ به آزمایش ۷ مراجعه کنید.

روش آزمایش

• تعیین فرکانس موج با استفاده از منحنی‌های لیسازو

برای تعیین فرکانس مجهول، ورودی افقی اسیلوسکوپ را به یک منبع ولتاژ ۶ ولت (فرکانس مجهول) وصل کنید و ورودی قائم را نیز به نوسان ساز وصل کنید (توجه کنید که زمین نوسان ساز به زمین اسیلوسکوپ وصل شود). نوسان ساز را روی موج سینوسی قرار دهید برای دیدن منحنی‌های لیسازو در اسیلوسکوپ کنترل (TIME/DIV) را در وضعیت XY قرار دهید، سپس با تغییر دادن فرکانس نوسان ساز، وضعیتی پایدار از برهم‌نهی دو موج، پدید آورید که بر یکی از منحنی‌های لیسازو منطبق باشد. در این حالت با توجه به نسبت فرکانس موج‌های ورودی یکی از منحنی‌های نشان داده شده در شکل ۴ را خواهیم داشت. با توضیحات ذکر شده در بخش تعیین فرکانس مجهول، می‌توان فرکانس مجهول را تعیین کرد.

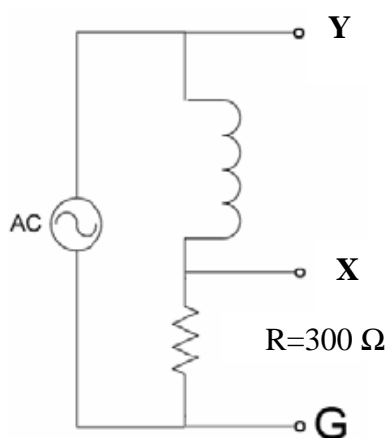
جدول ۱

100Hz	فرکانس نوسان ساز
	$\frac{N_X}{N_Y}$
	فرکانس مجهول

تعیین ضریب خودالقایی القاگر (L)

- با استفاده از یک القاگر و مقاومت $R=300 \Omega$ مدار را مطابق شکل ۵ ببندید. نقطه‌های X و G را به ورودی افقی و نقطه‌های Y و G را به ورودی قائم وصل کنید که G معرف زمین اسیلوسکوپ است (توجه کنید که زمین نوسان ساز به زمین اسیلوسکوپ وصل شود).
- کنترل (TIME/DIV) را در وضعیت XY قرار دهید و کنترل VOLTS/DIV را برای هر دو کانال روی عددی یکسان تنظیم کنید.

- کلید سه حالت AC - GND - DC را برای هر دو کانال در حالت GND قرار داده و با کنترل Position محور افقی و قائم، نقطه نورانی را در وسط صفحه قرار دهید و بعد از تنظیم زمین، کلید سه حالت را برای هر دو کانال در وضعیت AC قرار دهید.
- با تنظیم فرکانس در بازه ۳۰ تا ۱۲۰ هرتز یک بیضی مشاهده می‌کنید. با تکرار آزمایش برای فرکانسهای مختلف در بازه ذکر شده و اندازه‌گیری a و b ، $\sin \varphi$ را محاسبه کرده و جدول ۲ را کامل کنید.
- منحنی نمایش تغییرات $\tan \varphi$ را بر حسب فرکانس رسم کنید و با استفاده از شیب خط ضریب خودالقایی القاگر را محاسبه کنید. (با استفاده از رابطه $\tan \varphi = \frac{X_L}{R}$)



شکل ۵

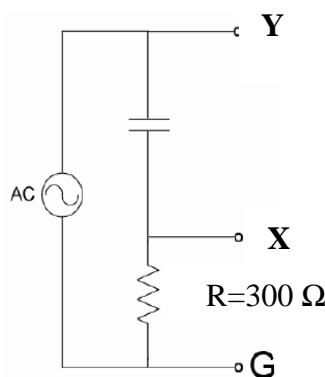
جدول ۲

f (Hz)	30	60	90	120
sin φ				
tan φ				

تعیین ظرفیت خازن (C)

- با استفاده از یک خازن $10\mu\text{f}$ و مقاومت $R=300\ \Omega$ مدار را مطابق شکل ۶ ببندید. نقطه‌های X و G را به ورودی افقی و نقطه‌های Y و G را به ورودی قائم وصل کنید که معرف زمین اسیلوسکوپ است (توجه کنید که زمین نوسان‌ساز به زمین اسیلوسکوپ وصل شود).
- کنترل (TIME/DIV) را در وضعیت XY قرار دهید و کنترل VOLTS/DIV را برای هر دو کانال روی عددی یکسان تنظیم کنید.

- کلید سه حالته AC-GND-DC را برای هر دو کانال در حالت GND قرار داده و با کنترل Position محور افقی و قائم، نقطه نورانی را در وسط صفحه قرار دهید و بعد از تنظیم زمین، کلید سه حالته را برای هر دو کانال در وضعیت AC قرار دهید.
- با تنظیم فرکانس در بازه ۳۰ تا ۱۲۰ هرتز یک بیضی مشاهده می‌کنید. با تکرار آزمایش برای فرکانسهای مختلف در بازه ذکر شده و اندازه‌گیری a و b ، $\sin \varphi$ را محاسبه کرده و جدول ۳ را کامل کنید.
- منحنی نمایش تغییرات $\tan \varphi$ را بر حسب معکوس فرکانس رسم کنید و با استفاده از شیب خط ظرفیت خازن را محاسبه کنید. (با استفاده از رابطه $\tan \varphi = \frac{-X_C}{R}$)



شکل ۶

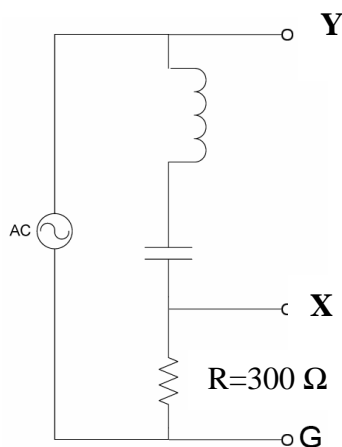
جدول ۳

f (Hz)	30	60	90	120
sin φ				
tan φ				

مدار تشدید

- با استفاده از یک القاگر، خازن $10\mu\text{f}$ و مقاومت $R=300\ \Omega$ مدار را مطابق شکل ۷ ببندید. نقطه‌های X و G را به ورودی افقی و نقطه‌های Y و G را به ورودی قائم وصل کنید که معرف زمین اسیلوسکوپ است (توجه کنید که زمین نوسان‌ساز به زمین اسیلوسکوپ وصل شود).
- کنترل (TIME/DIV) را در وضعیت XY قرار دهید و کنترل VOLTS/DIV را برای هر دو کانال روی عددی یکسان تنظیم کنید.
- کلید سه حالته DC-GND-AC را برای هر دو کانال در حالت GND قرار داده و با تنظیم‌کننده Position محور افقی و قائم، نقطه نورانی را در وسط صفحه قرار دهید و بعد از تنظیم زمین، کلید سه حالته را برای هر دو کانال در وضعیت AC قرار دهید.

- با تنظیم فرکانس یک بیضی مشاهده می کنید.
- فرکانس را تغییر دهید تا تشدید حاصل شود (تشدید زمانی اتفاق می افتد که بیضی به خط راست تبدیل شود).
- به ازاء فرکانسهایی با تغییرات 10Hz و 20Hz حول فرکانس تشدید، a و b را اندازه گیری کرده و $\sin \varphi$ را محاسبه کنید و جدول ۴ را کامل کنید.



شکل ۷

جدول ۴

f					
$\sin \varphi$			صفر		
$\tan \varphi$			صفر		

- منحنی نمایش تغییرات $\tan \varphi$ را بر حسب فرکانس رسم کنید و روی منحنی قسمتی که مربوط به فرکانس تشدید است را مشخص کنید. درباره اختلاف فاز در قبل و بعد از فرکانس تشدید بحث کنید.

پرسش‌ها

- ۱- چرا هنگامی که مدار شامل یک القاگر و یک مقاومت به طور سری باشد، ولتاژ نسبت به جریان، تقدم فاز دارد؟
- ۲- چرا هنگامی که مدار شامل یک خازن و یک مقاومت به طور سری باشد، ولتاژ نسبت به جریان تأخیر فاز دارد؟
- ۳- فرکانس تشدید چه رابطه‌ای با پارامترهای R، L و C دارد؟ توضیح دهید.

آزمایش ۹ ترانسفورماتور

بررسی تجربی ترانسفورماتور و مقایسه با یک ترانسفورماتور ایده‌آل

تئوری آزمایش

توان متوسط در مدار جریان متناوب برابر است با: $P_{av} = \varepsilon_{rms} i_{rms} \cos \varphi$ که ε_{rms} جذر میانگین مربعی ε و i_{rms} جذر میانگین مربعی جریان مدار است. به ازاء $\cos \varphi = 1$ ، اختلاف فاز بین جریان و ولتاژ صفر است و برای بدست آوردن یک توان معین می‌توان ε_{rms} و i_{rms} را به گونه‌ای انتخاب کرد که حاصلضرب آنها مقدار ثابتی باشد. بنابراین به وسیله‌ای نیاز داریم که با توجه به محدودیتهای فنی بتواند اختلاف پتانسیل مدار را کاهش یا افزایش دهد و همزمان حاصلضرب $\varepsilon_{rms} i_{rms}$ را ثابت نگه دارد. ترانسفورماتور جریان متناوب چنین وسیله‌ای است.

در مرکز تولید برق (نیروگاه) و در محل مصرف (منزل یا کارخانه) بنا به دلایل ایمنی بهتر است با ولتاژهای نسبتاً کم کار کنیم از طرف دیگر برای انتقال انرژی الکتریکی از نیروگاه تا محل مصرف بهتر است که جریان کمترین مقدار ممکن باشد تا تلفات اهمی خطوط انتقال به حداقل برسد. از ترانسفورماتورهای افزایش ولتاژ مولدهای برق استفاده می‌شود، سپس انرژی را با این ولتاژ انتقال می‌دهند. در انتهای خط از ترانسفورماتورهای کاهنده ولتاژ استفاده کرده و اختلاف پتانسیل را تا حد قابل مصرف کاهش می‌دهند.

قابل تغییر بودن ولتاژ به وسیله ترانسفورماتورها مهم‌ترین علت استفاده از آنها در صنعت است. در صنعت جوشکاری که حرارتی فوق‌العاده مورد نیاز است، باید مقدار جریان زیاد و ولتاژ نسبتاً کم باشد. در این مورد از ترانسفورماتور کاهنده استفاده می‌شود.

ساده‌ترین نوع ترانسفورماتور در شکل ۱ نشان داده شده است این ترانسفورماتور از دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه که بر روی یک هسته با خاصیت نفوذپذیری مغناطیسی بالا (مانند آهن) پیچیده شده‌اند، تشکیل شده است. سیم‌پیچ اولیه با N_1 دور به منبع تغذیه متناوب با نیروی محرکه الکتریکی ε که از رابطه $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$ بدست می‌آید، وصل شده‌است. سیم‌پیچ ثانویه با N_2 دور، تا زمانی که کلید S باز است در حالت مدار باز است و جریانی از آن عبور نمی‌کند. فرض می‌کنیم مقاومت سیم‌پیچهای اولیه و ثانویه و همچنین تلفات مغناطیسی در هسته آهنی

^۳ برای مطالعه بیشتر به کتاب فیزیک هالیدی، فصل جریان‌های متناوب مراجعه شود.

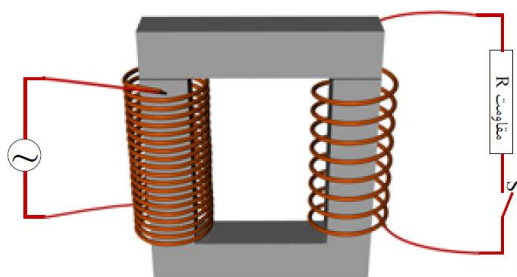
قابل صرفنظر کردن است و سیم‌پیچ ثانویه در حالت مدار باز است. در این وضعیت سیم‌پیچ اولیه یک القاگر است و با عبور جریان متناوب از آن، شار مغناطیسی متناوب در هسته آهنی القا می‌شود. فرض کنید تمام این شار مغناطیسی از سیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند، با توجه به قانون القای فاراده نیروی محرکه الکتریکی هر دور، برای هر دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه یکسان است

$$\left(-\frac{d\Phi_B}{dt}\right)_{rms} = \frac{V_1 rms}{N_1} = \frac{V_2 rms}{N_2}$$

یا

$$V_2 rms = V_1 rms \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \quad (1)$$

اگر $N_2 > N_1$ باشد، ترانسفورماتور افزایشنده و اگر $N_2 < N_1$ باشد ترانسفورماتور کاهشنده است.



شکل ۱

وقتی کلید S بسته می‌شود از مدار ثانویه جریان عبور می‌کند. این جریان شار مغناطیسی متناوب خود را در هسته آهنی القا می‌کند و این شار با توجه به قانون فاراده و قانون لنز یک نیروی محرکه الکتریکی مخالف در سیم‌پیچ اولیه ایجاد می‌کند. بنابراین هر دو سیم‌پیچ به صورت القاگر متقابل کاملاً جفت شده عمل می‌کنند. به علت ثابت بودن نیروی محرکه الکتریکی سیم‌پیچ اولیه، جریان در سیم‌پیچ اولیه به صورتی تغییر می‌کند که نیروی محرکه الکتریکی مخالف تولید شده به وسیله سیم‌پیچ ثانویه در آن راه، خنثی کند. به ویژه در یک ترانسفورماتور ایده‌آل اختلاف فاز بین جریان و اختلاف پتانسیل به سمت صفر میل کرده و در نتیجه ضریب توان $\cos \varphi$ به سمت یک میل می‌کند. بنابراین برای ترانسفورماتور ایده‌آل

$$V_1 rms I_1 rms = V_2 rms I_2 rms \quad (2)$$

یعنی توان داده شده بوسیله مولد به سیم‌پیچ اولیه با توان مصرف شده در بار مقاومتی سیم‌پیچ ثانویه برابر است. از ترکیب معادله‌های (۱) و (۲) نتیجه می‌شود:

$$\frac{I_1 rms}{I_2 rms} = \frac{N_2}{N_1}$$

یعنی نسبت جریان‌ها به نسبت عکس تعداد حلقه‌هاست.

تلفات در ترانسفورماتور

ترانسفورماتورها در عمل دارای تلفات هستند یعنی توان خروجی برابر توان ورودی نیست. بازده ترانسفورماتور (R) را می‌توان به وسیله اندازه‌گیری توان ورودی و خروجی بدست آورد:

$$R = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}}$$

تلفات در یک ترانسفورماتور از دو قسمت تشکیل شده است، (۱) تلفات در هسته آهن (۲) تلفات در سیم‌پیچ اولیه و سیم‌پیچ ثانویه (تلفات مس).

(۱) تلفات در هسته آهن از سه عامل زیر ناشی می‌شود:

- **تلفات هیستریزیس:** تلفاتی است که در اثر کاهش و افزایش میدان مغناطیسی در هسته به وجود می‌آید. جریانی که از سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور عبور می‌کند متناوب است بنابراین با افزایش جریان، میدان مغناطیسی در یک جهت معین در هسته به وجود می‌آید و وقتی جریان کاهش می‌یابد میدان مغناطیسی نیز در جهت ذکر شده کاهش می‌یابد. با کاهش جریان بازاء جریان صفر میدان مغناطیسی هسته صفر نمی‌شود. این مقدار باقی مانده را پسماند مغناطیسی می‌نامند. حذف پسماند مغناطیسی همواره با از دست دادن مقداری انرژی همراه است. تلفات حاصل از پسماند مغناطیسی به بسامد جریان بستگی دارد و با افزایش بسامد جریان تلفات هیستریزیس نیز افزایش می‌یابد. با انتخاب جنس هسته ترانسفورماتور از آلیاژ مناسب آهن (آهن و چهار درصد سیلیس) می‌توان تلفات هیستریزیس را کاهش داد.

- **تلفات جریان فوکو:** با عبور جریان متناوب از سیم‌پیچ اولیه ترانسفورماتور، شار مغناطیسی در هسته به طور متناوب تغییر می‌کند. طبق قانون لنز، جریانی به نام جریان فوکو در هسته ایجاد می‌شود که با عامل تغییر شار مغناطیسی مخالفت می‌کند و باعث کاهش شار مغناطیسی می‌شود، در نتیجه توان خروجی ترانسفورماتور کاهش می‌یابد. جریان فوکو همچنین باعث گرم شدن هسته می‌شود. اندازه جریان فوکو بستگی به مقاومت الکتریکی هسته دارد، بنابراین برای کاهش تلفات حاصل از جریان فوکو، هسته را از آلیاژ مناسب انتخاب کرده و آن را از ورقه‌هایی که نسبت به همدیگر عایق هستند می‌سازند. تلفات حاصل از جریان فوکو همچنین به بسامد جریانی که از سیم‌پیچ اولیه عبور می‌کند، بستگی دارد و متناسب با مجذور بسامد جریان است.

- تلفات پراکندگی شار مغناطیسی: اگر در مسیر شار مغناطیسی یک شکستگی وجود داشته یا سطح مقطع هسته کوچک باشد، مقداری از شار مغناطیسی از هسته ترانسفورماتور خارج می‌شود، این شار پراکنده شده، از سیم‌پیچ ثانویه نخواهد گذشت و باعث کاهش توان می‌گردد.

۲) تلفات مس: به علت مقاومت اهمی در سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه، مقداری از انرژی به صورت حرارت در سیم‌پیچ‌ها تلف می‌شود. با کاهش مقاومت الکتریکی سیم‌پیچ‌ها تلفات مس را می‌توان کاهش داد.

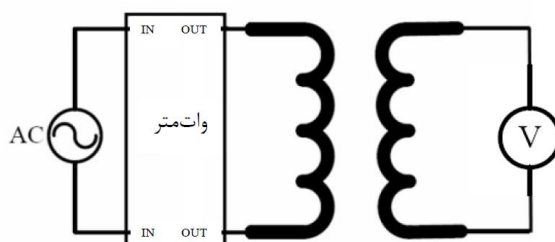
وسایل آزمایش

منبع تغذیه متناوب (AC)، هسته آهنی U شکل، سیم‌پیچ (دو عدد)، رئوستا، وات‌متر (دو عدد)، ولت‌متر، سیم رابط (10 عدد).

روش آزمایش

اندازه‌گیری جریان، توان و ولتاژ در وضعیتی که در مدار سیم‌پیچ ثانویه مصرف کننده نباشد:

- مدار آزمایش را مطابق شکل ۲ ببینید (دقت کنید قبل از روشن کردن منبع تغذیه، ولتاژ آن روی صفر باشد تا دستگاه آسیب نبیند و ولتاژ نیز به آرامی افزایش یابد).
- ولتاژ سیم‌پیچ اولیه را در بازه 30-15 ولت تغییر دهید و جریان سیم‌پیچ اولیه، توان ورودی، ولتاژ سیم‌پیچ ثانویه را اندازه‌گیری کرده، در جدول ۱ ثبت کنید.



شکل ۲

- منحنی نمایش تغییرات I_1 و P_1 را بر حسب V_1 رسم کرده و توضیح دهید.

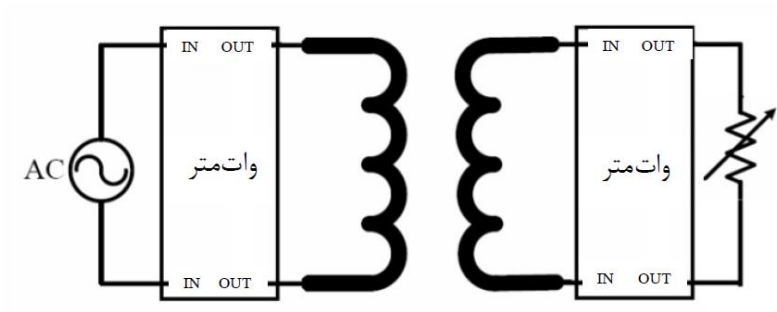
- منحنی نمایش تغییرات V_2 بر حسب V_1 را با روش کمترین مربعات رسم کنید و با محاسبه شیب خط، درستی رابطه $V_2 = V_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$ را بررسی کنید.

جدول ۱

$N_1 = 250$ و $N_2 = 500$				
V_1 (V)	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰
I_1 (mA)				
P_1 (W)				
V_2 (V)				

اندازه‌گیری جریان، توان و ولتاژ در وضعیتی که در مدار سیم‌پیچ ثانویه مصرف کننده باشد :

- با قرار دادن رئوستا در مدار سیم‌پیچ ثانویه، مدار آزمایش را مطابق شکل ۳ ببندید.
- با تغییر مقاومت رئوستا جریان سیم‌پیچ ثانویه را در بازه صفر تا یک آمپر تغییر دهید و به ازاء هر جریان P_2 ، I_1 و P_1 را اندازه‌گیری کرده و در جدول ۲ ثبت کنید.
- منحنی نمایش تغییرات I_1 بر حسب I_2 را با روش کمترین مربعات رسم کنید و با محاسبه شیب خط، درستی رابطه $I_1 = I_2 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$ را بررسی کنید.
- اختلاف توان‌های اندازه‌گیری شده P_2 و P_1 مربوط به چه نوع تلفاتی در ترانسفورماتور هستند؟ توضیح دهید. (برای یک جریان مشخص)



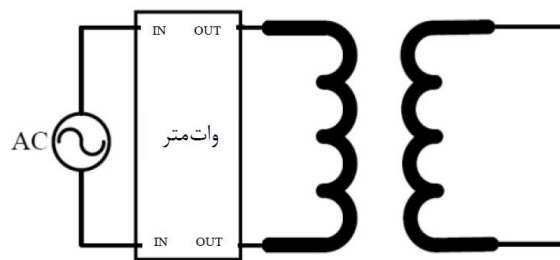
شکل ۳

جدول ۲

$N_1 = 500$ و $N_2 = 250$ و $V_1 = 30$ (V)				
I_2 (mA)	۲۵۰	۵۰۰	۷۵۰	۱۰۰۰
P_2 (W)				
I_1 (mA)				
P_1 (W)				

سیم‌پیچ ثانویه در وضعیت اتصال باز

- مدار آزمایش را مطابق شکل ۴ ببندید (سیم‌پیچ ثانویه در وضعیت مدار باز است).
- جریان سیم‌پیچ اولیه و توان ورودی را اندازه‌گیری کرده، در جدول ۳ ثبت کنید.



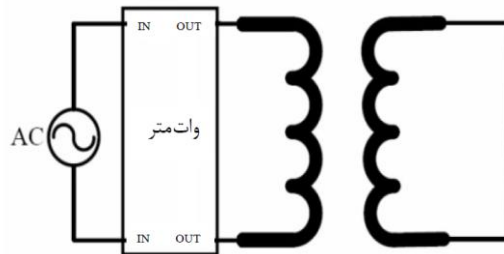
شکل ۴

جدول ۳

$N_1 = 500$ و $N_2 = 250$ و $V_1 = 30$ (V)			
$I_1 =$	(mA)	$P_1 =$	(W)

سیم پیچ ثانویه در وضعیت اتصال کوتاه

- ولتاژ منبع تغذیه را روی صفر تنظیم کرده و دو انتهای سیم پیچ ثانویه را به هم وصل کنید (شکل ۵).
- با تغییر ولتاژ منبع تغذیه I_1 را برابر با I_1 آخرین ستون جدول ۲ تنظیم کرده و جدول ۴ را کامل کنید.
- آیا مجموع توانهای اندازه گیری شده در حالت اتصال باز و اتصال کوتاه (جدول ۳ و جدول ۴)، با اختلاف توان ورودی و خروجی در آخرین ستون جدول ۲، برابر است؟ توضیح دهید.



شکل ۵

جدول ۴

$N_1 = 500$ و $N_2 = 250$			
$I_1 =$	(mA)	$V_1 =$	(V)
معلوم		$P_1 =$	(W)

نمره بندی گزارش کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

آزمایش ۱

بستگی اختلاف پتانسیل دو سرسیم به اندازه جریان الکتریکی که از آن عبور می کند

- رسم منحنی و تعیین شیب با روش کمترین مربعات (۳ نمره)
- محاسبه خطای مقاومت در ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی آمپر (۱ نمره)
- سؤالها (۱ نمره)

بستگی مقاومت الکتریکی به طول سیم $[R=f(L)]$

- رسم منحنی و تعیین شیب با روش کمترین مربعات (۳ نمره)

تابعیت مقاومت با قطر سیم $[R=f(s)]$

- تعیین مقاومت سیم های ۱ و ۲ و ۳ (۱/۵ نمره)
- رسم منحنی و تعیین شیب با روش کمترین مربعات (۳ نمره)
- محاسبه مقاومت ویژه با استفاده از شیب خط (۱ نمره)

تابعیت مقاومت با مقاومت ویژه $R=f(\rho)$

- تعیین مقاومت ۳ و ۴ و ۵ (۱/۵ نمره)
- مقاومت ویژه سیم های ۳ و ۴ و ۵ (۳ نمره)

پرسش ها

- طراحی آزمایش (۲ نمره)

نمره بندی گزارش کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

آزمایش ۲

بررسی قوانین کیرشهف

- بررسی قانون اول کیرشهف در دو گره (برای مثال M و N) مدار (۲ نمره)
- بررسی قانون دوم کیرشهف در سه حلقه انتخابی از مدار (۶ نمره)
- محاسبه جریان و افت پتانسیل مربوط به هر مقاومت با استفاده از مقادیر معلوم مقاومت‌ها و ولتاژ منبع تغذیه‌ها (۶ نمره)
- تعیین خطای هر یک از جریان‌های I_1 تا I_5 ($2/5$ نمره)

تعیین مقاومت مجهول

- تعیین مقاومت مجهول از نظریه و با اندازه‌گیری (۱ نمره)
- محاسبه خطای R_x ($0/5$ نمره)

پرسش‌ها

- اثبات رابطه پل وتستون (۲ نمره)

نمره بندی گزارش کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

آزمایش ۳

- اندازه گیری میدان مغناطیسی دو پیچه در راستای محوری تکمیل جدول ۱ در حالت $a=R$ (۲/۵نمره)
- اندازه گیری میدان مغناطیسی دو پیچه در راستای محوری تکمیل جدول ۲ (۲/۵نمره)
- بدست آوردن مؤلفه افی میدان زمین تکمیل جدول ۳ (۳نمره)
- رسم نمودار جدول ۱ میدان مغناطیسی B_H بر حسب فاصله از مرکز پیچه (۲ نمره)
- رسم نمودار جدول ۲ میدان مغناطیسی B_H بر حسب جریان پیچه و محاسبه ضریب تراوایی (۳ نمره)
- رسم نمودار جدول ۳ و محاسبه مؤلفه افقی میدان مغناطیسی زمین (۳ نمره)
- بدست آوردن مؤلفه عمودی میدان زمین (۲ نمره)
- جواب دادن سوالات متن دستور کار آزمایش (۲ نمره)

نمره بندی گزارش کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

آزمایش ۴

رسم منحنی باردار شدن خازن و تعیین مقاومت داخلی ولت‌متر

- رسم منحنی نمایش تغییرات V/V_0 بر حسب زمان روی کاغذ نیمه لگاریتمی (۲/۵ نمره)
- تعیین ثابت زمانی و محاسبه مقاومت داخلی ولت‌متر (۳ نمره)

رسم منحنی بی‌بار شدن خازن و تعیین مقاومت داخلی ولت‌متر

- رسم منحنی نمایش تغییرات V/V_0 بر حسب زمان روی کاغذ نیمه لگاریتمی (۲/۵ نمره)
- تعیین ثابت زمانی و محاسبه مقاومت داخلی ولت‌متر (۳ نمره)
- محاسبه میانگین مقاومت داخلی ولت‌متر (۱ نمره)
- محاسبه خطا در هر قسمت (۱ نمره)

بررسی تجربی ظرفیت معادل خازن‌های سری

- رسم منحنی نمایش تغییرات V بر حسب زمان روی کاغذ میلیمتری (۱/۵ نمره)
- تعیین ظرفیت معادل خازن‌ها با استفاده از منحنی رسم شده (۱ نمره)
- محاسبه ظرفیت معادل خازن‌ها با استفاده از نظریه (۰/۵ نمره)
- محاسبه خطا (۰/۵ نمره)

بررسی تجربی ظرفیت معادل خازن‌های موازی

- رسم منحنی نمایش تغییرات V بر حسب زمان روی کاغذ میلیمتری (۱/۵ نمره)
- تعیین ظرفیت معادل خازن‌ها با استفاده از منحنی رسم شده (۱ نمره)
- محاسبه ظرفیت معادل خازن‌ها با استفاده از نظریه (۰/۵ نمره)
- محاسبه خطا (۰/۵ نمره)

نمره بندی گزارش کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

آزمایش ۵

بستگی نیروی F به زاویه بین سیم حامل جریان i و میدان مغناطیسی B

- شرح مشاهدات (۲ نمره)

بستگی نیروی F به طول سیم L

- رسم منحنی نمایش تغییرات F بر حسب L (۲ نمره)
- محاسبه شیب نمودار با روش کمترین مربعات و تعیین میدان مغناطیسی B (۳ نمره)

بستگی نیروی F به جریان i

- رسم منحنی نمایش تغییرات F بر حسب i (۲ نمره)
- محاسبه شیب نمودار با روش کمترین مربعات و تعیین میدان مغناطیسی B (۳ نمره)
-

بستگی نیروی F به I_m

- رسم منحنی نمایش تغییرات F بر حسب جریان I_m (۲ نمره)
- محاسبه شیب نمودار با روش کمترین مربعات و تعیین بستگی نیروی مغناطیسی به I_m (۳ نمره)

پرسش‌ها

- پاسخ به پرسش‌ها (۳ نمره)

نمره بندی گزارش کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

آزمایش ۶

مدار R-L

- رسم نمودار برداری ولتاژها با استفاده از جدول ۱ (۲ نمره)
- تعیین اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان مدار (۱ نمره)
- دلیل عمود نبودن V_L بر V_R و تعیین مقاومت اهمی القاگر (۲ نمره)
- تعیین امپدانس (مقاومت ظاهری) مدار و ضریب خود القایی القاگر (۱ نمره)

مدار R-C

- رسم نمودار برداری ولتاژها با استفاده از جدول ۲ (۲ نمره)
- تعیین اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان مدار (۱ نمره)
- تعیین امپدانس (مقاومت ظاهری) مدار و ظرفیت خازن (۱ نمره)

مدار R-L-C

- رسم نمودار برداری ولتاژها با استفاده از جدول ۳ (۴ نمره)
- تعیین اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان مدار (۱ نمره)
- تعیین مقاومت اهمی القاگر (۱ نمره)
- چرا نمی‌توان با این روش مقاومت اهمی خازن را بدست آورد؟ (۲ نمره)
- تعیین امپدانس (مقاومت ظاهری) مدار و مقایسه آن با مقدار بدست آمده از تئوری (۲ نمره)

نمره بندی گزارش کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

آزمایش ۷

اندازه‌گیری خطای نوسان‌ساز

- اندازه‌گیری سه فرکانس نوسان‌ساز و محاسبه خطا (۲ نمره).

تعیین ضریب دی‌الکتریک

- رسم نمودار جریان بر حسب فرکانس با استفاده از روش کمترین مربعات (۳ نمره).
- محاسبه ظرفیت خازن با استفاده از شیب خط و تعیین ثابت دی‌الکتریک (۳ نمره).

تعیین ضریب گذردهی هوا

- رسم نمودار جریان بر حسب فرکانس با استفاده از روش کمترین مربعات (۳ نمره).
- محاسبه ظرفیت خازن با استفاده از شیب خط (۱/۵ نمره).
- تعیین ضریب گذردهی هوا و مقایسه با ضریب گذردهی خلا (۱/۵ نمره).

بستگی ظرفیت خازن مسطح به فاصله صفحات

- رسم نمودار شدت جریان بر حسب عکس فاصله $(1/d)$ با استفاده از روش کمترین مربعات و نتیجه‌گیری رابطه ظرفیت خازن با فاصله صفحات (۳ نمره).

پرسش‌ها

- پاسخ به پرسشها (۳ نمره)

نمره بندی گزارش کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

آزمایش ۸

اندازه گیری فرکانس مجهول با به کار بردن منحنی‌های لیسازو

- اندازه گیری فرکانس مجهول با استفاده از منحنی‌های لیسازو (۱ نمره)

تعیین ضریب خودالقایی القاگر

- رسم منحنی نمایش تغییرات $\tan \varphi$ بر حسب فرکانس با استفاده از روش کمترین مربعات (۴ نمره).
- تعیین ضریب خودالقایی القاگر با استفاده از شیب خط (۲ نمره).

تعیین ظرفیت خازن

- رسم منحنی نمایش تغییرات $\tan \varphi$ بر حسب معکوس فرکانس با استفاده از روش کمترین مربعات (۴ نمره).
- تعیین ظرفیت خازن با استفاده از شیب خط (۲ نمره).

مدار تشدید

- رسم منحنی نمایش تغییرات $\tan \varphi$ بر حسب فرکانس و تعیین فرکانس تشدید (۴ نمره).

پرسش‌ها

- پاسخ به پرسشها (۳ نمره)

نمره بندی گزارش کار آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

آزمایش ۹

اندازه‌گیری جریان، توان و ولتاژ در وضعیتی که در مدار سیم‌پیچ ثانویه مصرف کننده نباشد

- رسم منحنی نمایش تغییرات I_1 و P_1 بر حسب V_1 و توضیح در باره آنها (هرمنحنی ۴ نمره).
- رسم منحنی نمایش تغییرات V_2 بر حسب V_1 با روش کمترین مربعات و بررسی درستی رابطه $V_2 = V_1 \left(\frac{N_2}{N_1}\right)$ با استفاده از شیب خط (۳ نمره)

اندازه‌گیری جریان، توان و ولتاژ در وضعیتی که در مدار سیم‌پیچ ثانویه مصرف کننده باشد

- رسم منحنی نمایش تغییرات I_1 بر حسب I_2 را با روش کمترین مربعات و بررسی درستی رابطه $I_1 = I_2 \left(\frac{N_2}{N_1}\right)$ با استفاده از شیب خط (۳ نمره).
- اختلاف توان‌های اندازه‌گیری شده P_1 و P_2 مربوط به چه نوع تلفاتی در ترانسفورماتور هستند؟ توضیح دهید (۳ نمره).
- آیا مجموع توان‌های اندازه‌گیری شده در حالت اتصال باز و اتصال کوتاه (جدول ۳ و جدول ۴)، با اختلاف توان ورودی و خروجی در آخرین ستون جدول ۲، برابر است؟ توضیح دهید (۳ نمره).