

# 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	۵۲
آزمایش ۹	۶۱

## 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  $\rho$  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:

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

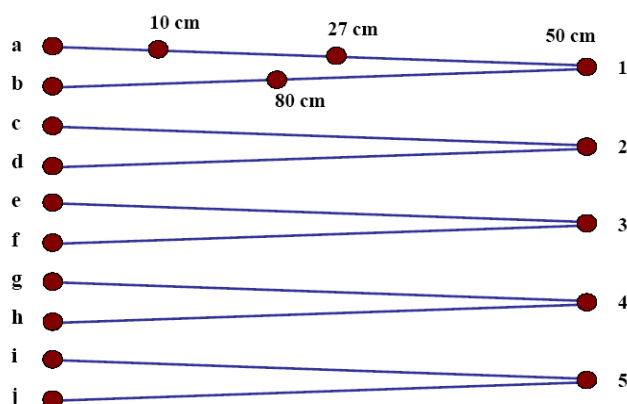
اگر منحنی نمایش تغییرات اختلاف پتانسیل دو سر سیم بر حسب اندازه جریان الکتریکی که از آن عبور می کند، خطی باشد، مقاومت الکتریکی آن ثابت است، بنابراین از قانون اهم پیروی می کند و مقاومت «اهمی» نامیده می شود، در غیر این صورت «غیر اهمی» خواهد بود.

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 سیم ها، سیم رابط ( ۷ عدد).

تخته سیم ها: تخته سیم ها مطابق شکل ۱ از پنج سیم دارای جنس و قطرهای مختلف تشکیل شده است. سیم های 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 میلی متر. سیم شماره ۴ از جنس گالوانیزه با قطر ۰/۳۰ میلی متر و سیم شماره ۵ کروم خالص با قطر ۰/۴۰ میلی متر است. طول سیم های شماره ۱ تا ۵ برابر یک متر است.

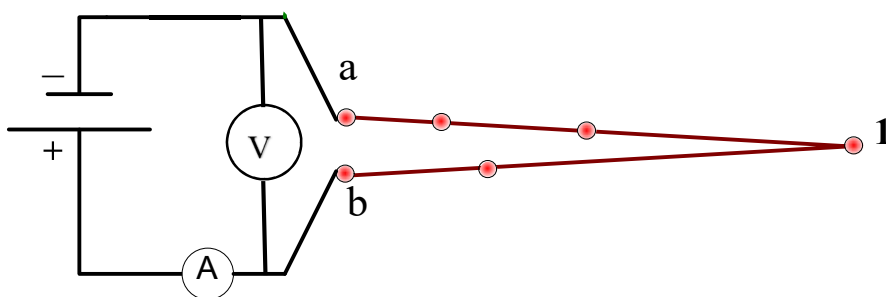


شکل ۱: ترتیب قرار گیری سیم ها بر روی تخته سیم ها

## روش آزمایش

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

- 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 اندازه گیری

- با تغییر ولتاژ منبع تغذیه، جریان را در بازه ۱۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌آمپر تغییر داده (جریان را از روی آمپرتر 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.

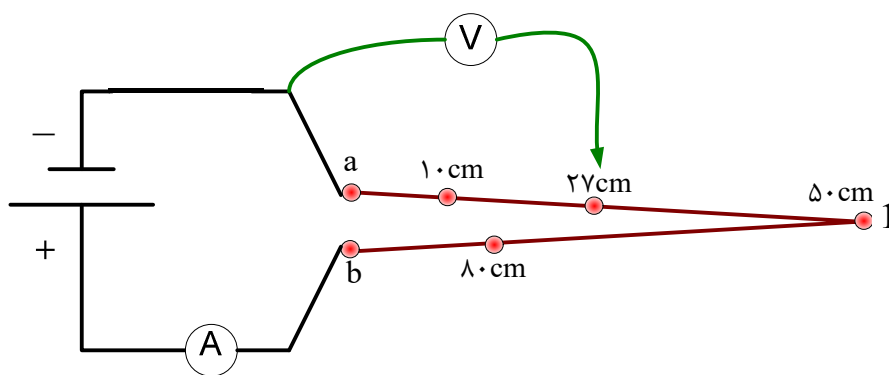
جدول ۱

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.

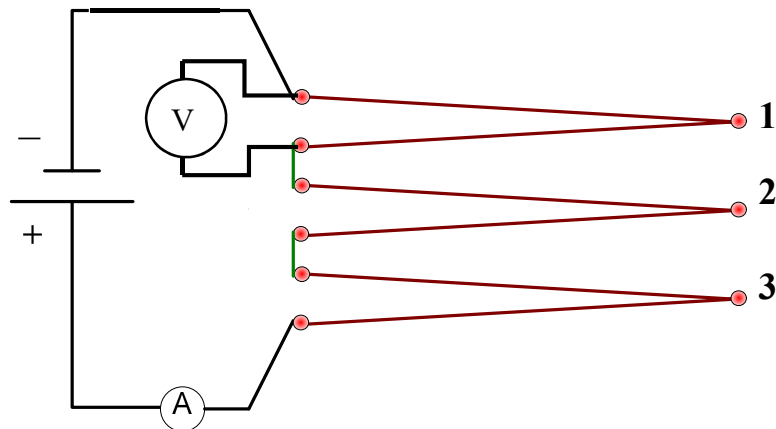
جدول ۲

$l$ (cm)	10	27	50	80	100
$V$ (V)					
$R$ ( $\Omega$ )					
$I = 250$ (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 ( $\Omega$ )			
I = ۲۵۰ (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 میلی آمپر) 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 ( $\Omega$ )			
I = ۲۵۰ (mA)			

- با استفاده از جدول ۴، مقاومت هر سیم را محاسبه کنید سپس مقاومت‌های ویژه  $\rho_3$  و  $\rho_4$  و  $\rho_5$  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.

$$\sum_i V_i = 0$$

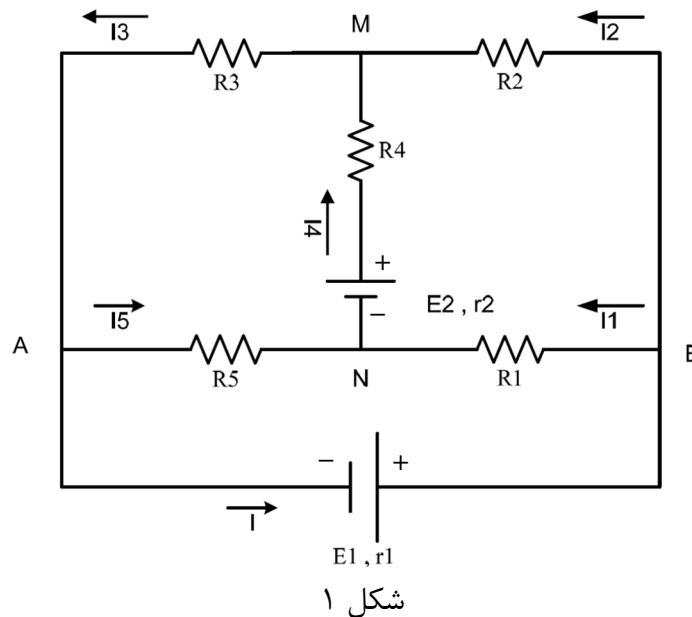
برای مثال در شکل ۱ حلقه BNMB (در جهت پاد ساعتگرد)  $R_2 I_2 - (R_4 + r_2) I_4 + E_2 - R_1 I_1 = 0$  است.



### 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

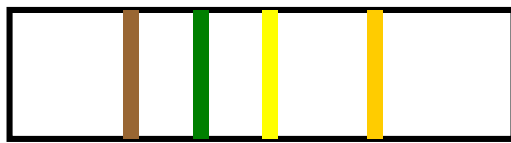
منبع تغذیه (دو کاناله)، بردبرد، ولت‌متر، آمپر‌متر، گالوانومتر، رئوستا (مقاومت قابل تنظیم)، مقاومت‌های الکتریکی، سیم‌رابط (۱۲ عدد).

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 $\pm 5\%$									



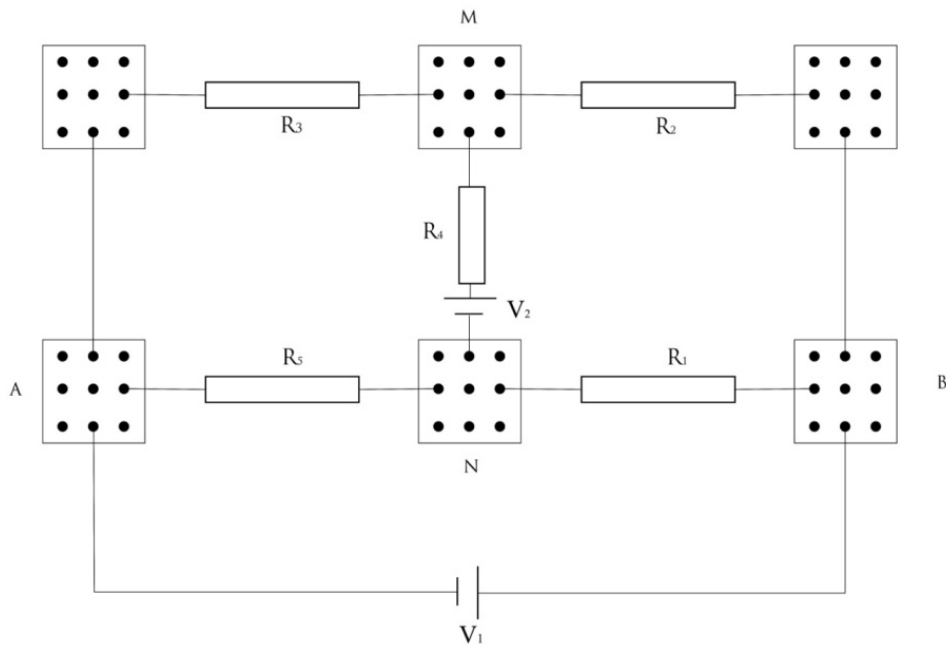
طلایی      زرد      سبز      قهوه‌ای

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

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 آمپر‌متر، 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.

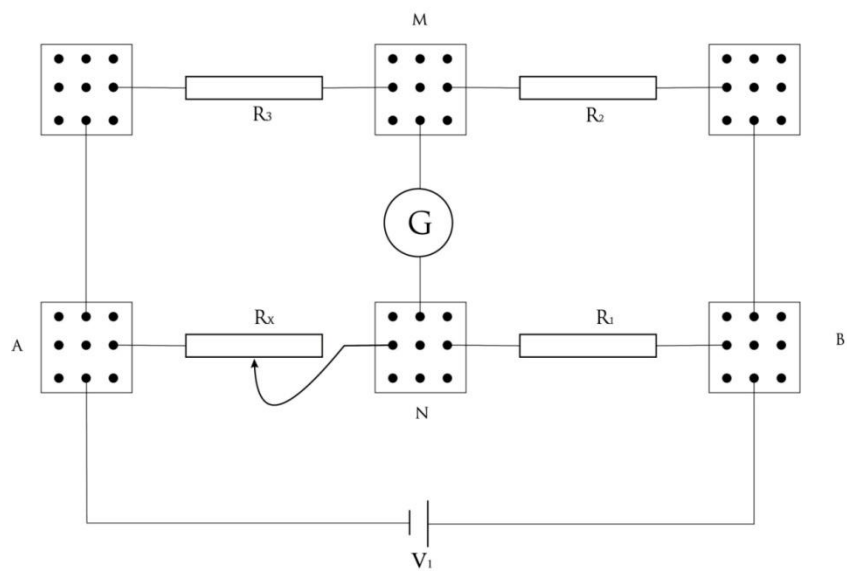
### تعیین مقاومت مجهول

- 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 وتستون 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

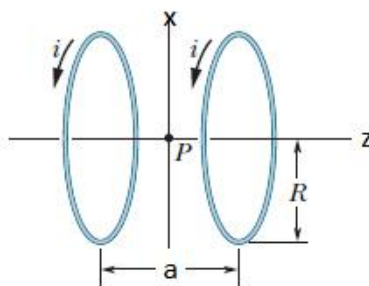
### تئوری آزمایش

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  $R$  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.

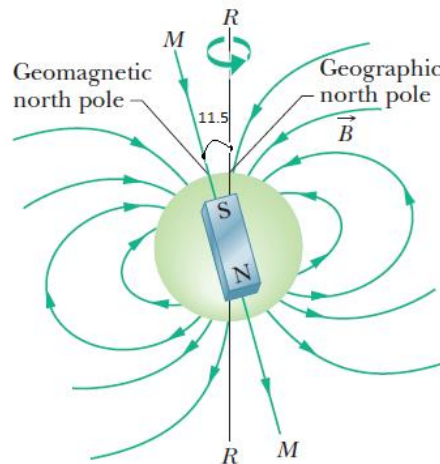
$$B(Z, r=0) = \frac{\mu_0 n I}{2R} \times \left( \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{Z - \frac{a}{2}}{R}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} + \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{Z + \frac{a}{2}}{R}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}} \right) \quad \text{رابطه 2}$$

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:

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

میدان مغناطیسی زمین:

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

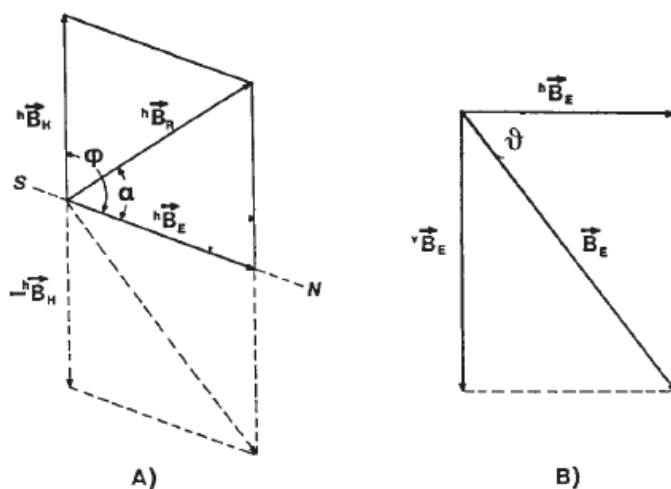


شکل ۲: راستای دوقطبی زمین و انحراف از محور چرخش

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 برآیند 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:

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

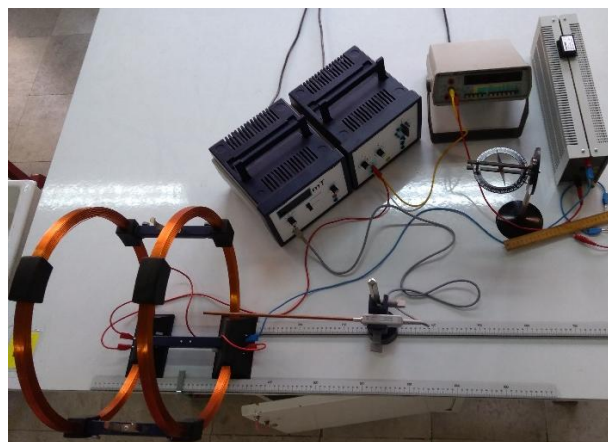
برای بدست آوردن برآیند میدان مغناطیسی زمین

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

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



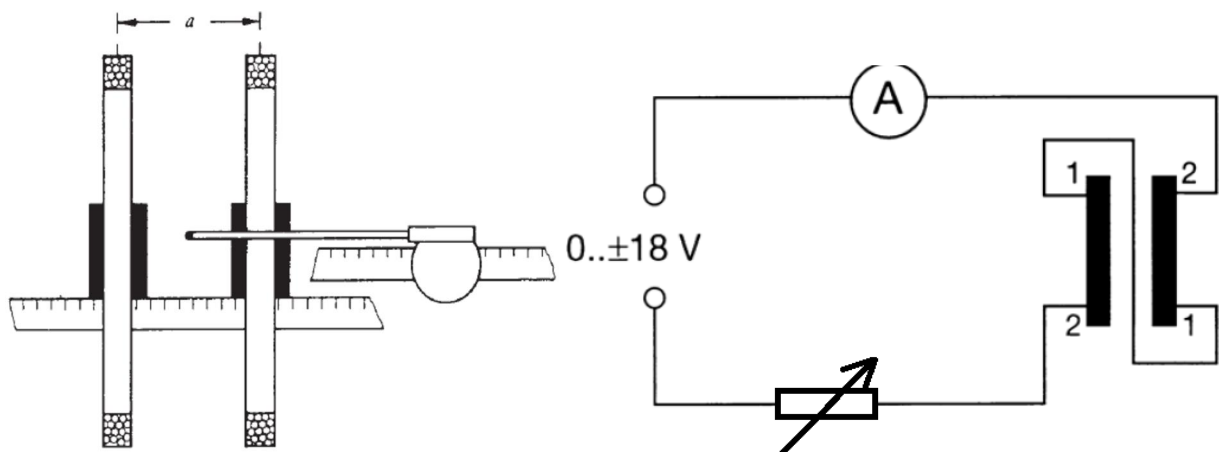
شکل ۴: چینش وسایل مورد نیاز آزمایش پیچه هلمهولتز

#### 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. 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، تسلا متر دیجیتال را روشن کرده و با پیچ تعبیه شده روی دستگاه، 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. 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 ۱۰ 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 پروب هال 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 پروب هال 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.

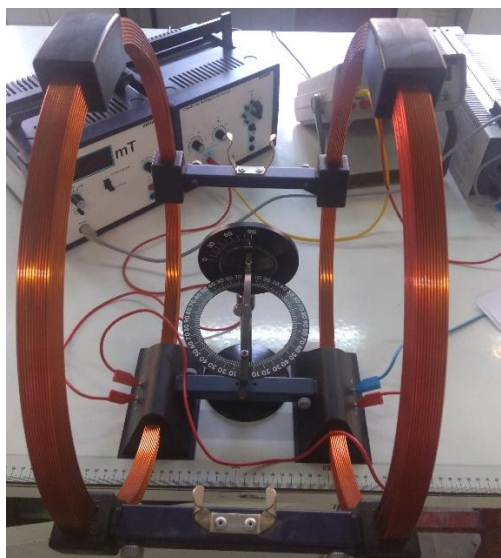
با دانستن مقدار ثابت  $k$  از روی رابطه ۳ مقدار ضریب تراوایی مغناطیسی خلا را محاسبه کنید.

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

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  $a = R$ ) 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
$\alpha$										
$\tan \alpha$										

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 پیچیه ها 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 ۷ را یادداشت کنید.

$v =$

زاویه عقربه نشان دهنده زاویه بین مولفه های عمودی  $B_E^v$  و 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 خازن ها

بررسی تجربی باردار شدن و بی بار شدن خازن ها و ظرفیت معادل خازن های سری و موازی

### تئوری آزمایش

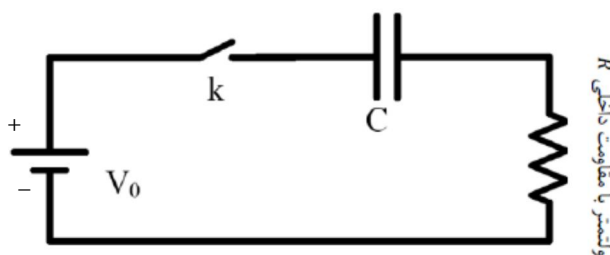
خازن از دو رسانای عایق بندی شده تشکیل شده است که اصطلاحاً صفحه نامیده می شوند. اگر دو صفحه خازن را به دو سر یک باتری وصل کنیم، بر روی صفحات آن بارهای مساوی و مخالف  $\pm q$  جمع می شوند که با ولتاژ دو سر باتری متناسبند ( $q = CV$ ).  $C$  ضریب تناسب، ظرفیت خازن نامیده می شود که به شکل و محل نسبی رساناها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

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

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

(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 می آید.)

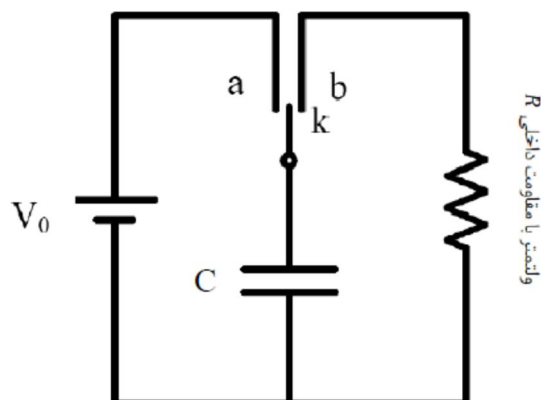
بنابراین در زمان  $t = RC$  اختلاف پتانسیل بین دو صفحه خازن  $0.63$  اختلاف پتانسیل منبع تغذیه ( اختلاف پتانسیل نهایی بین دو صفحه) است. زمان  $\tau = RC$  ثابت زمانی مدار نامیده می شود.



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)،  $\tau$  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.

$$(\text{درصد خطا: } \frac{|R - \bar{R}|}{\bar{R}} \times 100)$$

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  $\tau$  ثابت زمانی مدار،  $\tau$  را بدست آورید.
- با استفاده از  $\tau$  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  $\tau$  ثابت زمانی مدار،  $\tau$  را بدست آورید.
- با استفاده از  $\tau$  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.

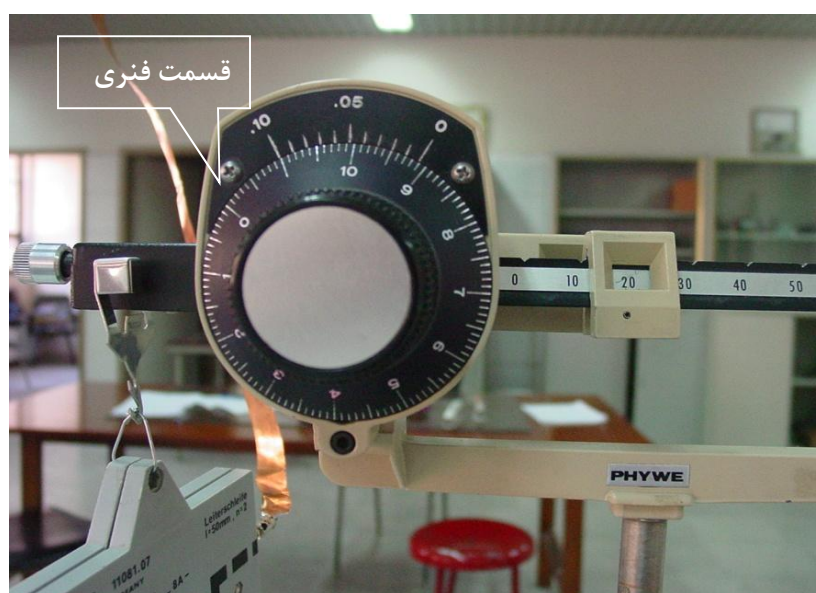
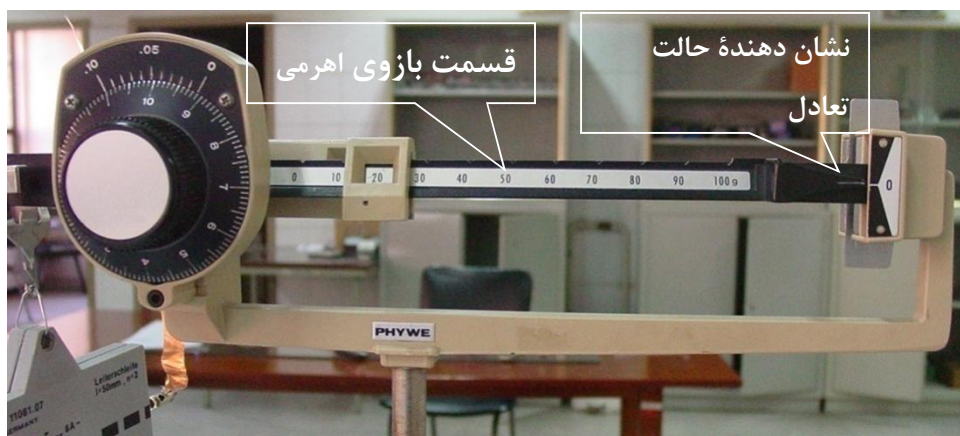
$$F = iLB \sin \theta$$

### 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.

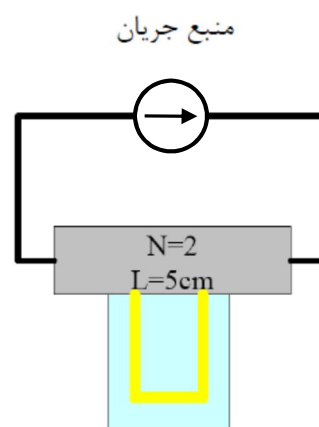
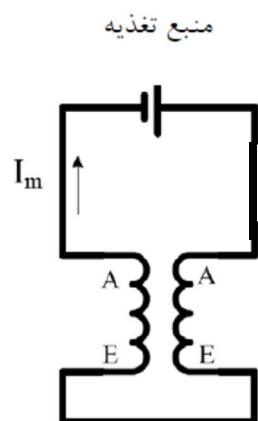


شکل ۱

## مدارهای آزمایش

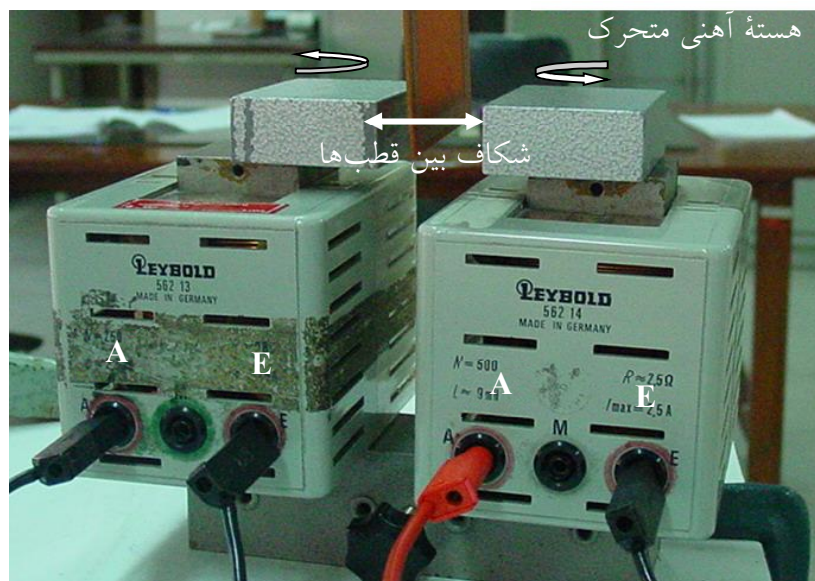
دو مدار مجزا برای انجام آزمایش بسته می‌شود :

- 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 سیم‌پیچ‌ها.

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 ب 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

$I_m = 2A$	
$i = 4A$	
$L \text{ (cm)}$	$F \text{ (mN)}$
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

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

### بستگی نیروی $F$ به $I_m$

- شکاف بین قطب‌ها را حدود یک سانتی‌متر قرار دهید و جریان عبوری از سیم‌پیچ‌ها ( $I_m$ ) 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 سیم‌پیچ‌ها ( $I_m$ ) 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  $I_m$  می‌توان نتیجه‌ای در باره تغییرات  $F$  بر حسب  $B$  گرفت؟

جدول ۳



$i = 4A$	
$L = 10\text{ cm}$	
$I_m \text{ (A)}$	$F \text{ (mN)}$
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

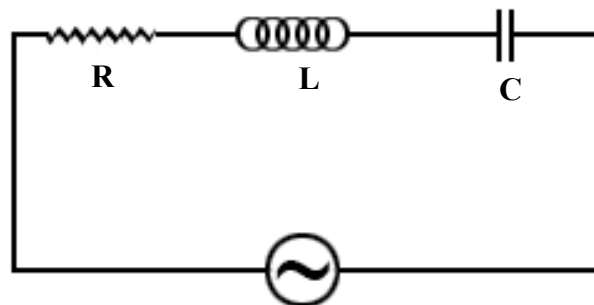
#### مطالعه مدارها با جریان متناوب

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  $\varepsilon$  که از رابطه  $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$  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  $R$  ،  $L$  ،  $C$  ،  $\omega$  و  $\varepsilon_m$  می‌توان  $i_m$  و  $\varphi$  را به دست آورد.



شکل ۱

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

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

$$V_R = \varepsilon_m \sin \omega t$$

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

از مقایسه دو رابطه نتیجه می‌شود که  $\varepsilon_m = Ri_m$  و  $\varphi = 0$  اختلاف پتانسیل و جریان نیز هم فاز هستند.

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

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

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

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  $V_Z^2$  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:

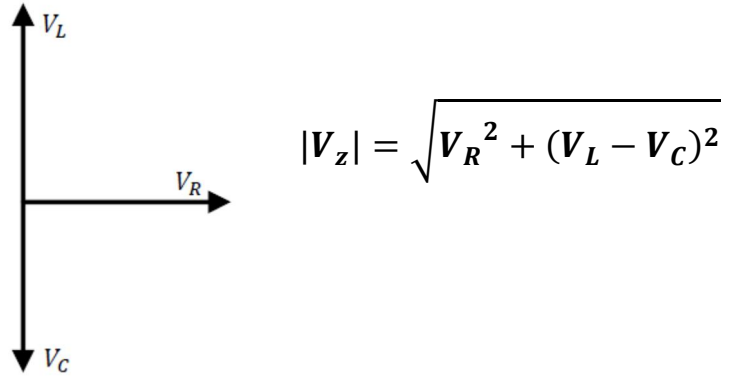
$$V = V_Z e^{j\varphi}$$

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  $L$  ( $V_L$ ) 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.

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

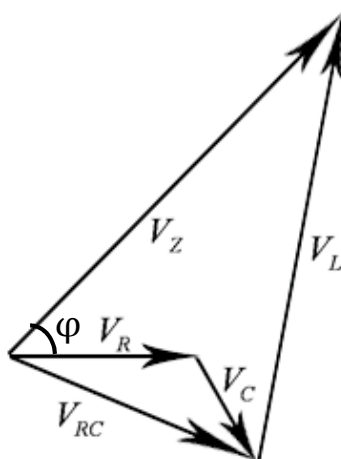


شکل 2

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 تاخیر 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 را 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

آموزش کار با اسیلوسکوپ و بررسی رابطه  $C = \frac{K\epsilon_0 A}{d}$

### 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  $C = \frac{K\epsilon_0 A}{d}$  وابستگی ظرفیت خازن به فاصله صفحات و جنس عایق بین صفحات (دی‌الکتریک) را بررسی کرد.

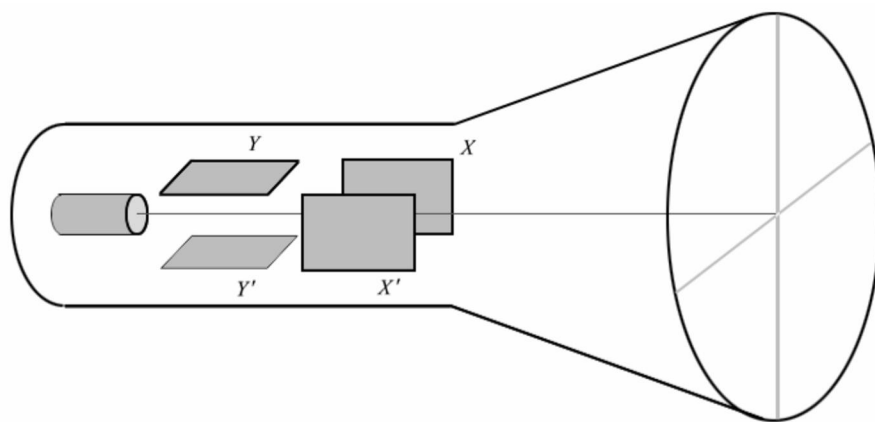
### وسایل آزمایش

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

## راهنمای استفاده از اسیلوسکوپ

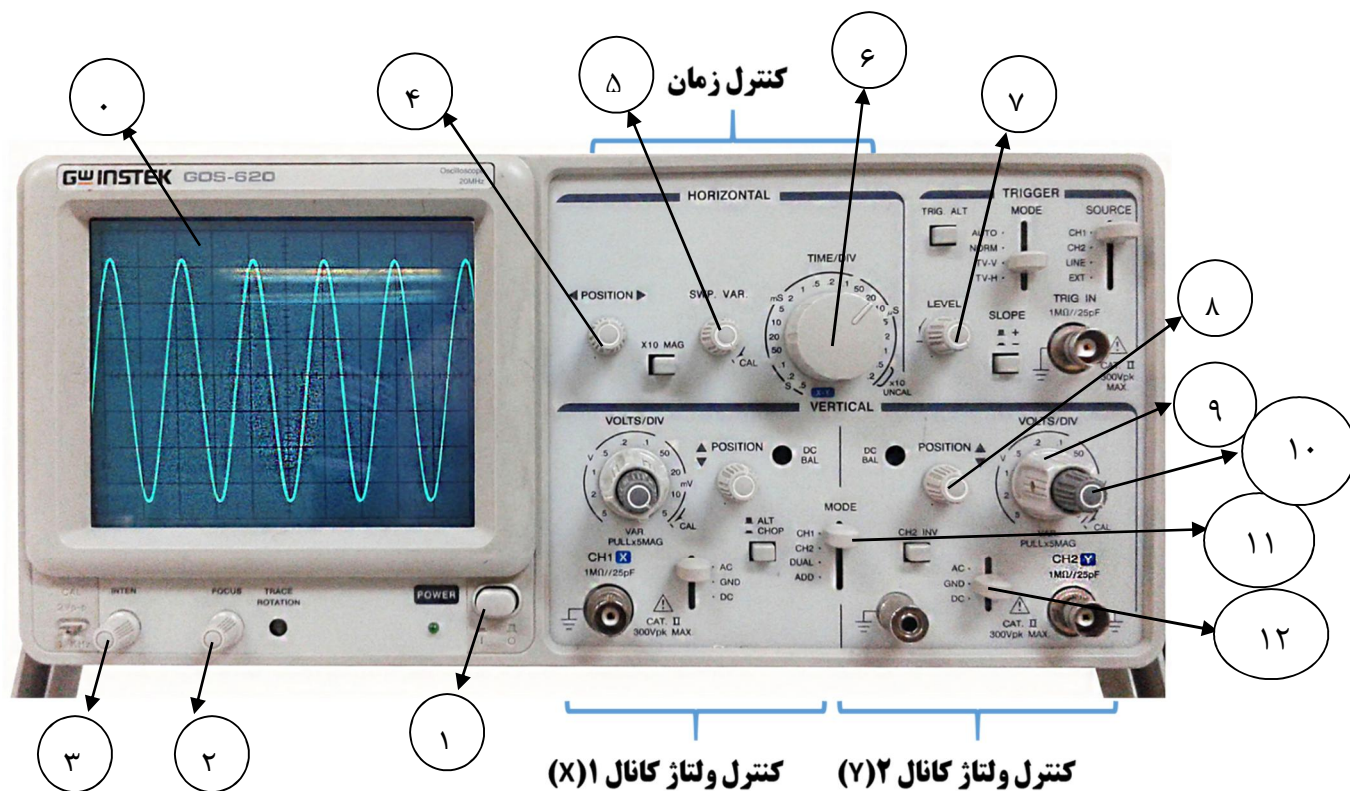
اسیلوسکوپ یا نوسان‌نما وسیله‌ای برای نمایش دو بعدی موج ورودی است. محور افقی، زمان و محور عمودی، اختلاف پتانسیل بین دو نقطه از مدار را نشان می‌دهد. علاوه بر اندازه‌گیری دامنه یک سیگنال از اسیلوسکوپ برای اندازه‌گیری فرکانس موج، اختلاف فاز و مشاهده برهم‌نهی دو موج نیز می‌توان استفاده کرد. قسمت اصلی یک اسیلوسکوپ آنالوگ لامپ آن است که اجزاء اساسی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در این لامپ، الکترون‌های ساطع شده که اشعه کاتدی را تشکیل می‌دهند، توسط قسمتی به نام تفنگ الکترونی ایجاد می‌شوند. تفنگ

الکترونی شامل یک کاتد و تعدادی آنده است، که الکترون‌ها بر اثر حرارت از کاتد ساطع می‌شوند و به وسیله آندها به صورت یک نقطه روی پرده فلورسانس انتهای لامپ متمرکز می‌شوند. بین تفنگ الکترونی و پرده فلورسانس، دو جفت صفحه موازی قرار دارد که اشعه کاتدی از بین آنها عبور می‌کند. یک جفت از صفحات، افقی و دیگری قائم بوده و به این ترتیب می‌توان با اعمال یک اختلاف پتانسیل بر آنها، اشعه کاتدی را در جهت افقی و عمودی تغییر مکان داد. ( $x$  و  $x'$  صفحات انحراف افقی اشعه کاتدی و  $y$  و  $y'$  صفحات انحراف دهنده افقی اشعه کاتدی هستند.)



شکل ۳

اگر چه کلیدهای کنترلی اسیلوسکوپ‌های مختلف، کمی با هم فرق می‌کنند ولی در مجموع در اسیلوسکوپ‌های آنالوگ تعدادی کلید یکسان وجود دارند که در ظاهر تفاوت‌هایی بین این کلیدها است ولی در نهایت وظیفه آنها در مدل‌های مختلف یکسان است.



شکل ۲

• صفحه نمایش اسیلوسکوپ : اسیلوسکوپ ها دارای یک صفحه نمایش هستند که این صفحه نمایش در راستای افقی به ۱۰ قسمت و در راستای عمودی به ۸ قسمت تقسیم می شود که برای دقت بیشتر در اندازه گیری ، در راستاهای افقی و عمودی ، خطوط وسط دارای تقسیمات ریزتری نیز می باشند به طوری که هر خانه به ۵ قسمت تقسیم شده و هر قسمت معادل ۰,۲ خانه است .

### ۱- کلید روشن / خاموش

۲- ولوم **focus**: به معنای کانونی یا تمرکز است و این ولوم ضخامت موج رسم شده بر روی صفحه اسیلوسکوپ را کم و زیاد میکند.

۳- ولوم **intensity**: این ولوم شدت نور سیگنال نمایش داده شده را کم و زیاد میکند.

۴- ولوم تغییر مکان افقی ( **Horizontal position** ) : این ولوم شکل موج را در جهت افقی جابجا میکند.

۵- ولوم **Time variable** : از این ولوم برای فشرده و باز کردن شکل موج در راستای افقی استفاده میشود. برای اندازه گیری زمان تناوب توسط اسیلوسکوپ باید حتما این ولوم را تا آخر در جهت حرکت عقربه های ساعت چرخانده شده و روی علامت Cal قرارگیرد.

۶- ولوم **Time/Div** : این ولوم دارای ضرایبی برحسب ثانیه ، میلی ثانیه و میکرو ثانیه است و این ضرایب نشان دهنده این هستند که چقدر زمان لازم است تا اشعه در راستای افقی به اندازه یک خانه جابجا شود. مثلا اگر بر روی ۰,۲ میلی ثانیه قرارگیرد یعنی اینکه در این حالت برای اینکه اشعه در راستای افقی به اندازه یک خانه جابجا شود ۰,۲ میلی ثانیه زمان لازم است.

۷- ولوم **level** : این ولوم نقطه شروع موج نشان داده شده ب روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ را معین میکند. همچنین اگر موج نشان داده شده بر روی صفحه نمایش ، در جهت افقی حرکت کند و ثابت نباشد باید به کمک این ولوم شکل موج را ثابت نگه داشت.

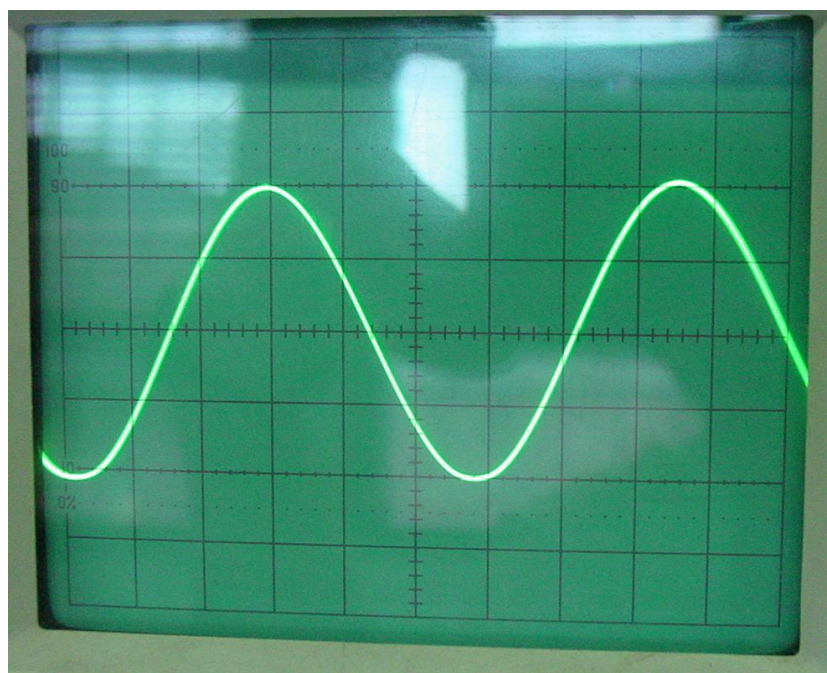
۸- ولوم **Vertical position** : این ولوم شکل موج را در راستای عمودی جابجا میکند.

۹- ولوم **Volt/Div** : این ولوم دارای ضرایبی است که این ضرایب بر حسب ولت و میلی ولت میباشند و هر ضریب بیان کننده این است که هر خانه در راستای عمودی چند ولت میباشد. این ولوم برای اندازه گیری دامنه ولتاژ به کار می رود. با تغییر این کلید ، شکل موج در راستای عمودی باز و جمع میشود. مثلا اگر بر روی ۰,۵ ولت باشد نشان دهنده این است که در صفحه نمایش اسیلوسکوپ هر خانه در راستای عمودی برابر با ۰,۵ ولت میباشد.

۱۰- ولوم **Volt variable** : این ولوم شکل موج را در راستای عمودی فشرده و باز میکند. اما اگر این ولوم از حالت Cal خارج شود دیگر مقادیر معتبر نبوده و نمیتوان اندازه ولتاژ را محاسبه نمود. بنابراین این ولوم را هنگام اندازه گیری ولتاژ باید تا آخر در جهت حرکت عقربه های ساعت چرخانده شده و روی علامت Cal قرارگیرد.

۱۱- کلید **Mode** : اگر این کلید در حالت CH1 باشد فقط سیگنال اعمال شده به کانال ۱ روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می شود و اگر این کلید در حالت CH2 باشد فقط سیگنال اعمال شده به کانال ۲ روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می شود . در صورتی که DUAL را انتخاب کنیم شکل موج های هر دو کانال همزمان روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می شوند و در صورت انتخاب ADD حاصل جمع لحظه ای دو شکل موج روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می شود .

۱۲- کلید AC-GND-DC : اگر این کلید در حالت AC باشد یک خازن در مسیر ورودی اسیلوسکوپ قرار می گیرد که سبب حذف مؤلفه DC شکل موج می گردد . یعنی در این حالت فقط سیگنال های AC روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ، نمایش داده می شوند و سیگنال های DC حذف می شوند . اما اگر این کلید در حالت DC باشد هر چه در ورودی باشد بدون تغییر در صفحه نمایش اسیلوسکوپ ، نمایش داده می شود . یعنی در این حالت مؤلفه های AC و DC روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ، نمایش داده می شوند و در صورتی که این کلید در حالت GND باشد ورودی اسیلوسکوپ به صفحات انحراف عمودی که در ادامه در رابطه با آنها صحبت می کنیم منتقل نخواهد شد بلکه این صفحات به اختلاف پتانسیل صفر ولت متصل می شوند . بنابراین در این حالت روی صفحه اسیلوسکوپ یک خط افقی دیده می شود که از آن برای تعیین خط مبنای عمودی و یا ولتاژ صفر ولت استفاده می شود .



شکل ۳

**اندازه گیری ولتاژ :** توسط اسیلوسکوپ می توان ولتاژهای AC و DC را با دقت خیلی زیاد اندازه گیری کرد . برای این منظور ابتدا ولوم Volt Variable را تا انتها در جهت حرکت عقربه های ساعت می چرخانیم و آن را در حالت Cal قرار می دهیم . سپس با قرار دادن کلید AC-GND-DC روی حالت GND اشعه را ترجیحا در وسط صفحه نمایش اسیلوسکوپ تنظیم میکنیم حال در صورتی که سیگنال ورودی ، یک سیگنال AC باشد برای بدست آوردن ولتاژ پیک آن ، تعداد خانه های اشغال شده بین محل تنظیم اشعه در حالت GND و پیک سیگنال AC را شمرده و در ضریب Volt/Div ضرب می کنیم و برای بدست آوردن ولتاژ مؤثر این سیگنال ، مقدار ولتاژ پیک بدست آمده را بر  $\sqrt{2}$  تقسیم می کنیم . به عنوان مثال در شکل ۳ یک سیگنال سینوسی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده شده است . اگر ضریب Volt/Div برابر با ۵ ولت باشد مقدار ولتاژ ماکزیمم و مؤثر این سیگنال اینگونه بدست می آید:

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

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

**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 :

$$T = 5.6 \times 0.5 ms = 2.8 ms$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2.8} = 357 Hz$$

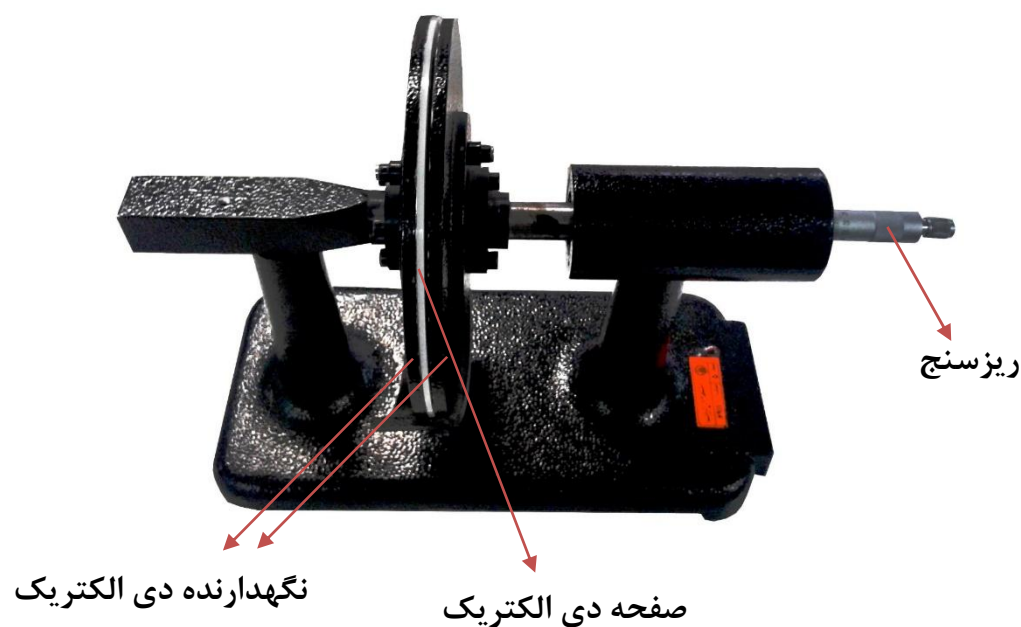
## آشنایی با نوسان ساز (اسیلاتور):

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 5

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 (ابتدا ریزسنج را سفت نبندید و یا سریع نپیچانید) اختلاف این عدد با ضخامت دی‌الکتریک صفر ریزسنج است.

### روش آزمایش

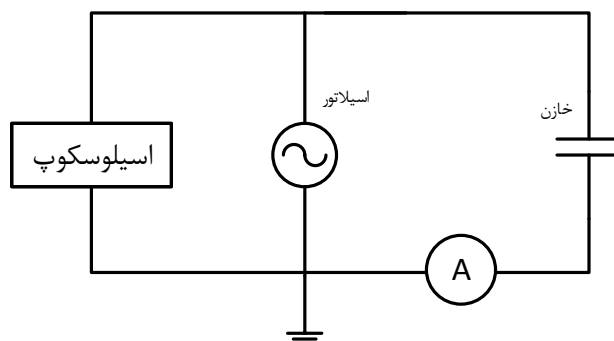
(۱) مشاهده شکل موج نوسان ساز اندازه گیری بسامد نوسانساز با نوسان نما و بدست آوردن خطای بسامد از روی نوسان نما نسبت به بسامد نوسان ساز با توجه به اینکه نوسان ساز مقدار دقیق بسامد را نشان می‌دهد.

- شکل موج نوسان ساز را سینوسی و دامنه 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 50μs است بسامد را از روی شکل موج بدست آورید خطای مطلق و خطای 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 نمی‌توانیم بدست 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 نوسان‌ساز 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 دی‌الکتریک 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 دی‌الکتریک را محاسبه کنید.

جدول ۱

$f$ (kHz)	۱	۵	۹	۱۳	۱۷	۲۱	۲۵
$I$ ( $\mu A$ )							

## تعیین ضریب گذردهی هوا

- نوسان ساز را خاموش کنید، ورقه پلکسی را از بین صفحات خازن خارج کرده و فاصله صفحات را به اندازه ۲,۸ میلی متر تنظیم کنید.
- مدار را مطابق شکل ۶ ببندید (دقت کنید که زمین اسیلوسکوپ به زمین نوسان ساز و آمپر متر وصل شود).
- تنظیم های اولیه اسیلوسکوپ را انجام دهید.
- نوسان ساز را روشن کرده و سپس دامنه ولتاژ دو سر خازن را روی ۴ ولت تنظیم کنید ( با استفاده از اسیلوسکوپ) .
- فرکانس نوسان ساز را در بازه ۱ تا ۲۵ کیلوهرتز تغییر دهید و به ازاء هر فرکانس شدت جریان را اندازه گیری 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
$I$ ( $\mu A$ )							

### 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.

$f = 14 (KHz)$							
$f (kHz)$	۱	۵	۹	۱۳	۱۷	۲۱	۲۵
$I (\mu A)$							

### 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 هم‌فرکانس 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:

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

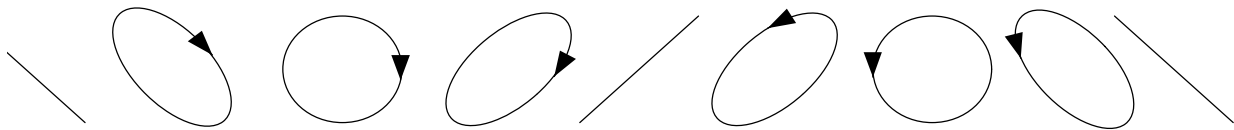
که نشان دهنده معادله یک بیضی است، که قطرهای آن در امتداد محورهای  $x$  و  $y$  هستند (بیضی استاندارد). در همین حالت اگر دامنه دو موج با هم برابر باشد  $x_0 = y_0 = a$ ، معادله یک دایره به شعاع  $a$  خواهد بود.

- 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  $\varphi$  نشان داده شده است. نماد پیکان روی این نمودارها مربوط به جهت حرکت الکترون‌ها روی صفحه اسیلوسکوپ است.



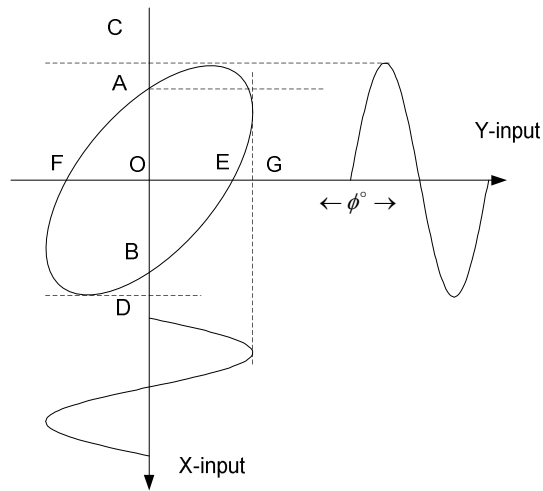
$$\varphi = -\pi, -\pi < \varphi < -\frac{\pi}{2}, \varphi = -\frac{\pi}{2}, -\frac{\pi}{2} < \varphi < 0, \varphi = 0, 0 < \varphi < \frac{\pi}{2}, \varphi = \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} < \varphi < \pi, \varphi = \pi$$

شکل ۱

- اختلاف فاز  $\varphi$ :

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  $y$  را قطع می‌کند که:

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



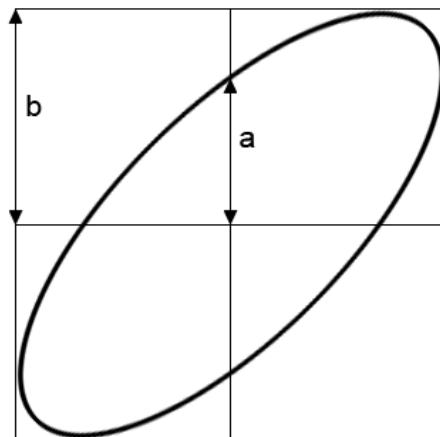
شکل ۲: نمایش بیضی پدید آمده از برهم نهی دو موج با اختلاف فاز  $0 < \varphi < \pi/2$

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:

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



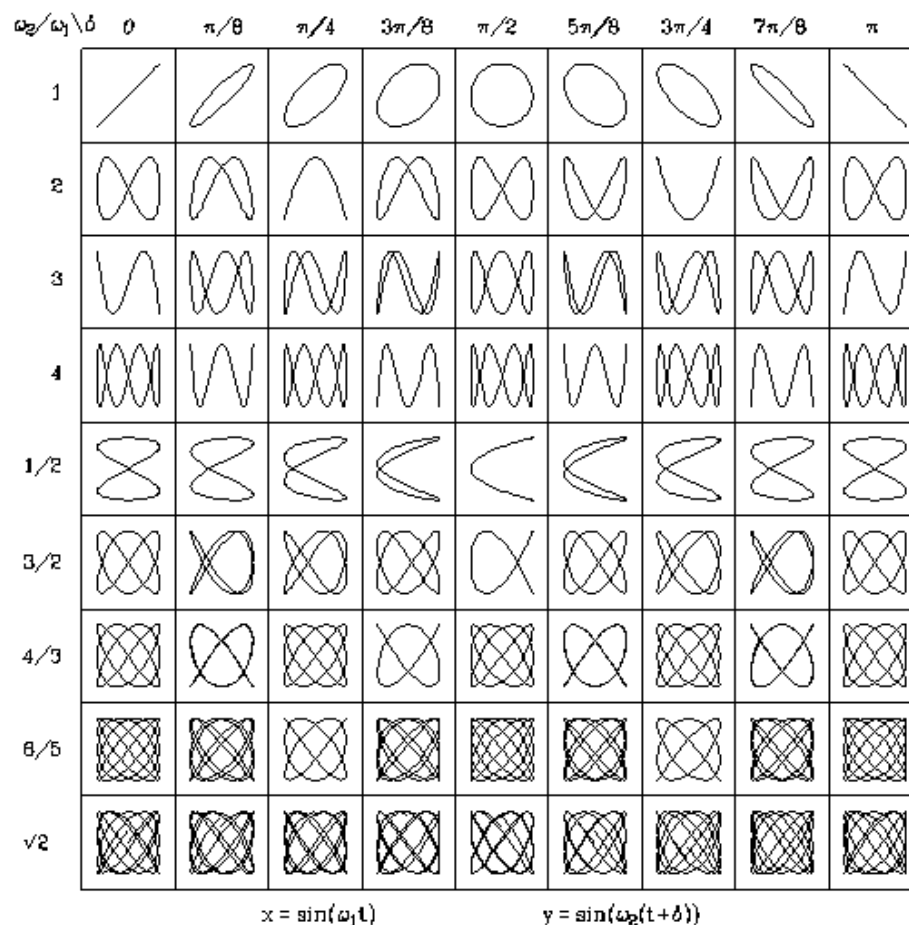
شکل ۳

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

### تعیین فرکانس مجهول

اگر  $f_x$  فرکانس یک موج سینوسی  $x = x_0 \sin \omega_x t$  و  $f_y$  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.

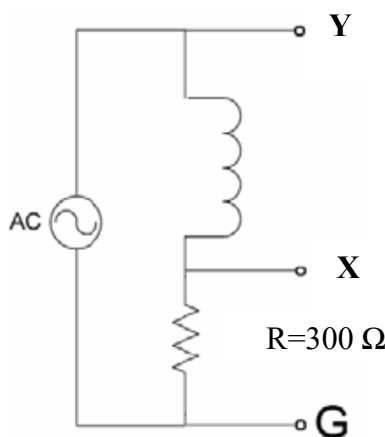
جدول ۱

فرکانس نوسان ساز	50Hz	100Hz
$\frac{N_X}{N_Y}$		
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 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 حالت DC - GND - AC 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  $\tan \varphi = \frac{X_L}{R}$  )



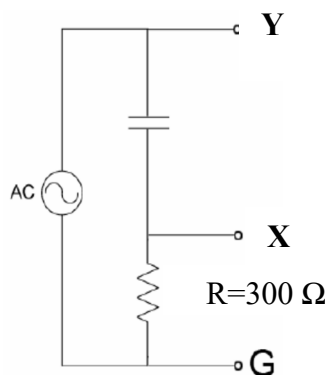
شکل ۵

جدول ۲

f (Hz)	30	60	90	120
$\sin \varphi$				
$\tan \varphi$				

### 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 G 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 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،  $\sin \phi$  را محاسبه کرده و جدول ۳ را کامل کنید.
- منحنی نمایش تغییرات  $\tan \phi$  را بر حسب معکوس فرکانس رسم کنید و با استفاده از شیب خط ظرفیت خازن را محاسبه کنید. (با استفاده از رابطه  $\tan \phi = \frac{-X_C}{R}$ )



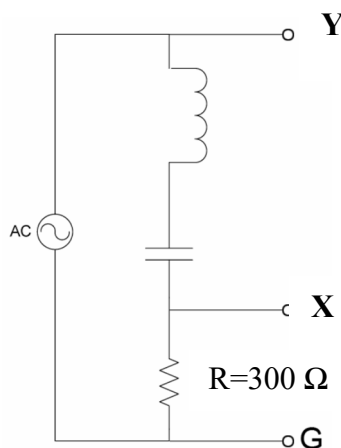
شکل ۶

جدول ۳

f (Hz)	30	60	90	120
$\sin \phi$				
$\tan \phi$				

## 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 G 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 حالت AC - GND - DC 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 حالت را برای هر دو کانال در وضعیت AC قرار دهید.
- با تنظیم فرکانس یک بیضی مشاهده می‌کنید.
- فرکانس را تغییر دهید تا تشدید حاصل شود (تشدید زمانی اتفاق می‌افتد که بیضی به خط راست تبدیل شود).
- به ازاء فرکانس‌هایی با تغییرات 10Hz و 20Hz حول فرکانس تشدید، a و b را اندازه‌گیری 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.
- ورودی قائم اسیلوسکوپ CH2 را با قرار دادن دگمه AC در حالت GND تغییرات ولتاژ دو سر مقاومت بر حسب زمان را با تغییر فرکانس نوسان ساز روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید.
- با تغییر فرکانس 10Hz تا 20Hz حول فرکانس تشدید، تغییرات دامنه ولتاژ دو سر مقاومت را مشاهده کنید و جدول ۵ را کامل کنید.
- منحنی نمایش تغییرات  $V_R$  را بر حسب فرکانس رسم کنید و روی منحنی نقطه‌ای که مربوط به فرکانس تشدید است را مشخص کنید.

جدول ۵

$f$ (Hz)			فرکانس تشدید		
$V_R$ (V)					

#### 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 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 هم‌فرکانس 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:

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

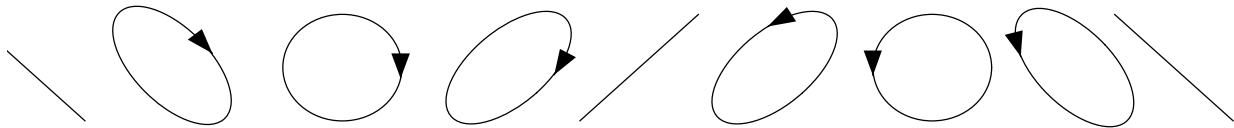
که نشان دهنده معادله یک بیضی است، که قطرهای آن در امتداد محورهای  $x$  و  $y$  هستند (بیضی استاندارد). در همین حالت اگر دامنه دو موج با هم برابر باشد  $x_0 = y_0 = a$ ، معادله یک دایره به شعاع  $a$  خواهد بود.

- 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  $\varphi$  نشان داده شده است. نماد پیکان روی این نمودارها مربوط به جهت حرکت الکترون‌ها روی صفحه اسیلوسکوپ است.



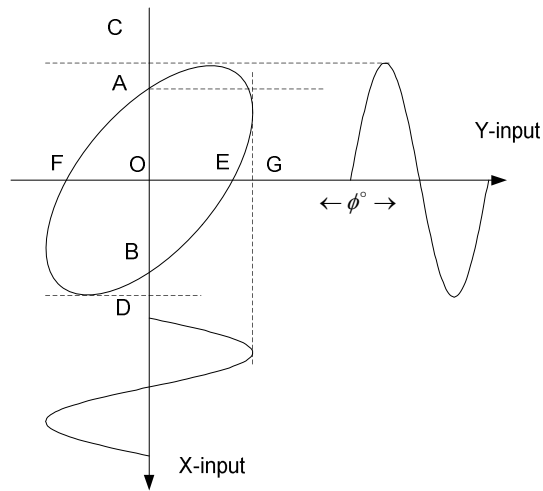
$$\varphi = -\pi, -\pi < \varphi < -\frac{\pi}{2}, \varphi = -\frac{\pi}{2}, -\frac{\pi}{2} < \varphi < 0, \varphi = 0, 0 < \varphi < \frac{\pi}{2}, \varphi = \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2} < \varphi < \pi, \varphi = \pi$$

شکل ۸

- اختلاف فاز  $\varphi$ :

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  $y$  را قطع می‌کند که:

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



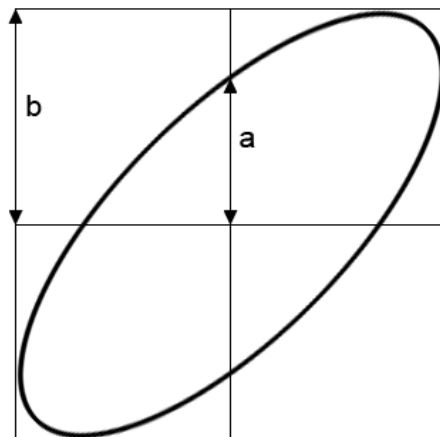
شکل ۹: نمایش بیضی پدید آمده از برهم نهی دو موج با اختلاف فاز  $0 < \varphi < \pi/2$

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:

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



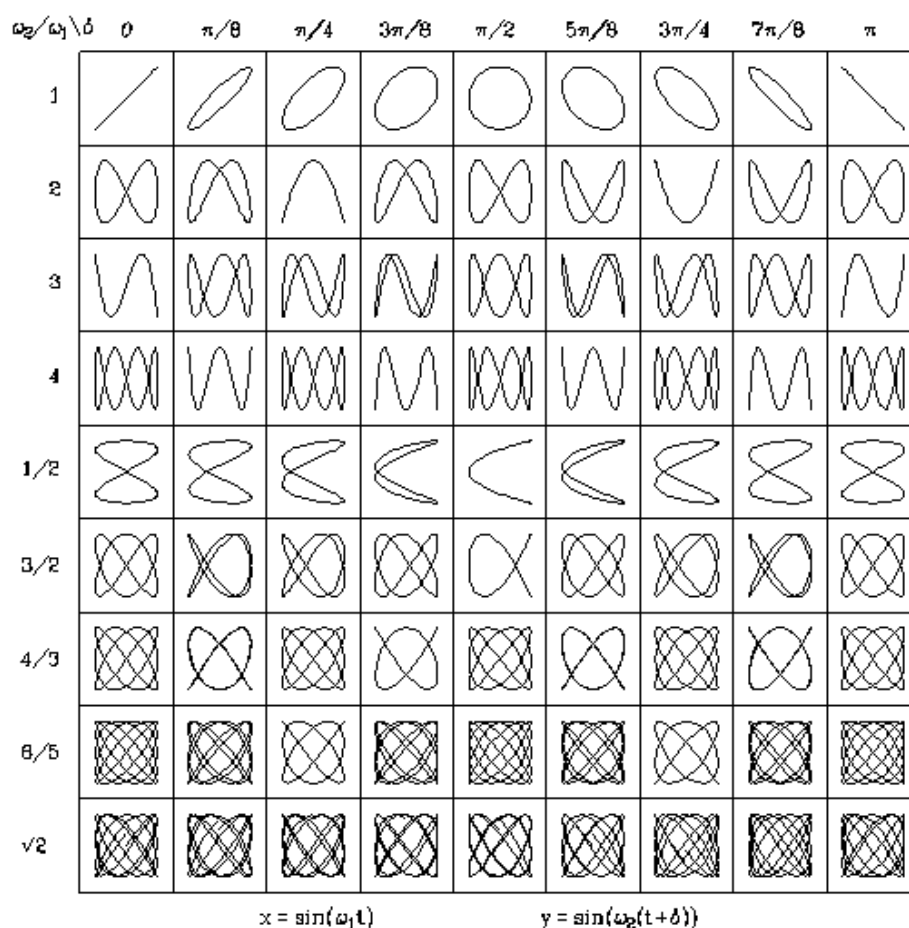
شکل ۱۰

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

## تعیین فرکانس مجهول

اگر  $f_x$  فرکانس یک موج سینوسی  $x = x_0 \sin \omega_x t$  و  $f_y$  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 ۱۱: 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

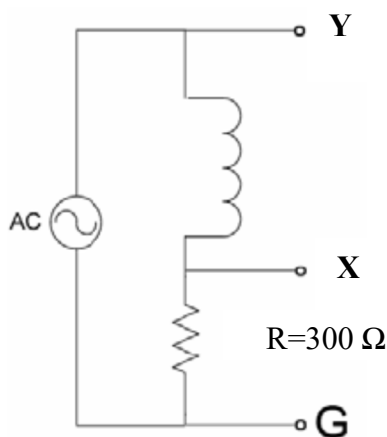
برای تعیین فرکانس مجهول، ورودی افقی اسیلوسکوپ را به یک منبع ولتاژ ۶ ولت (فرکانس مجهول) وصل کنید و ورودی قائم را نیز به نوسان ساز وصل کنید (توجه کنید که زمین نوسان ساز به زمین اسیلوسکوپ وصل شود). نوسان ساز را روی موج سینوسی قرار دهید برای دیدن منحنی‌های لیسازو در اسیلوسکوپ کنترل (TIME/DIV) را در وضعیت 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

فرکانس نوسان ساز	50Hz	100Hz
$\frac{N_X}{N_Y}$		
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 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 حالت DC - GND - AC 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  $\tan \varphi = \frac{X_L}{R}$  )



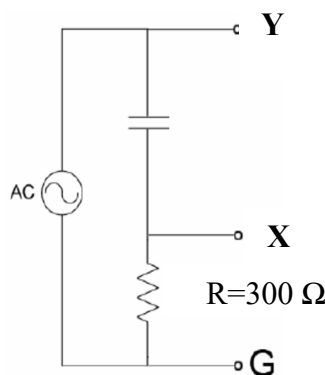
شکل ۱۲

جدول ۲

f (Hz)	30	60	90	120
$\sin \varphi$				
$\tan \varphi$				

### 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 G 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 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 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  $\tan \varphi = \frac{-X_C}{R}$  )



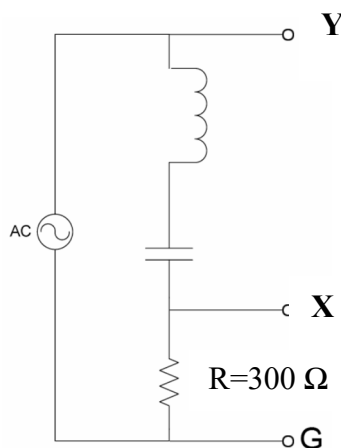
شکل ۱۳

جدول ۳

f (Hz)	30	60	90	120
$\sin \varphi$				
$\tan \varphi$				

## 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 G 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 حالت AC - GND - DC 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 حالت را برای هر دو کانال در وضعیت AC قرار دهید.
- با تنظیم فرکانس یک بیضی مشاهده می‌کنید.
- فرکانس را تغییر دهید تا تشدید حاصل شود (تشدید زمانی اتفاق می‌افتد که بیضی به خط راست تبدیل شود).
- به ازاء فرکانس‌هایی با تغییرات 10Hz و 20Hz حول فرکانس تشدید، a و b را اندازه‌گیری کرده و  $\sin \varphi$  را محاسبه کنید و جدول ۴ را کامل کنید.



شکل ۱۴

جدول ۴

<b>f</b>					
<b><math>\sin \varphi</math></b>			صفر		
<b><math>\tan \varphi</math></b>			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.
- ورودی قائم اسیلوسکوپ CH2 را با قرار دادن دگمه AC در حالت GND تغییرات ولتاژ دو سر مقاومت بر حسب زمان را با تغییر فرکانس نوسان ساز روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده کنید.
- با تغییر فرکانس 10Hz تا 20Hz حول فرکانس تشدید، تغییرات دامنه ولتاژ دو سر مقاومت را مشاهده کنید و جدول ۵ را کامل کنید.
- منحنی نمایش تغییرات  $V_R$  را بر حسب فرکانس رسم کنید و روی منحنی نقطه‌ای که مربوط به فرکانس تشدید است را مشخص کنید.

جدول ۵

f (Hz)			فرکانس تشدید		
$V_R$ (V)					

#### 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  $\varepsilon_{rms}$  جذر میانگین مربعی  $\varepsilon$  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  $\varepsilon_{rms}$  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 دهنده برای افزایش ولتاژ مولدهای برق استفاده می‌شود، سپس انرژی را با این ولتاژ انتقال می‌دهند. در انتهای خط از ترانسفورماتورهای کاهش دهنده 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 کاهش دهنده 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  $\varepsilon$  که از رابطه  $\varepsilon = \varepsilon_m \sin \omega t$  بدست می‌آید، وصل شده است. 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 قابل صرف‌نظر کردن است و سیم‌پیچ ثانویه در حالت مدار باز است. در این وضعیت سیم‌پیچ اولیه یک القاگر است

<sup>۳</sup> برای مطالعه بیشتر به کتاب فیزیک هالیدی، فصل جریان‌های متناوب مراجعه شود.

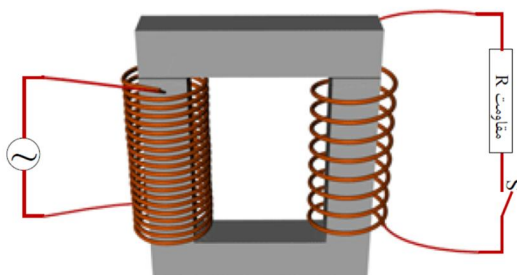
و با عبور جریان متناوب از آن، شار مغناطیسی متناوب در هسته آهنی القا می‌شود. فرض کنید تمام این شار مغناطیسی از سیم‌پیچ ثانویه عبور می‌کند، با توجه به قانون القای فاراده نیروی محرکه الکتریکی هر دور، برای هر دور سیم‌پیچ اولیه و ثانویه یکسان است

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

یا

$$V_2 rms = V_1 rms \left(\frac{N_2}{N_1}\right) \quad (۱)$$

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

$$V_1 rms I_1 rms = V_2 rms I_2 rms \quad (۲)$$

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**<sup>۴</sup>: 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.

---

<sup>۴</sup>Hysteresis



- 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.

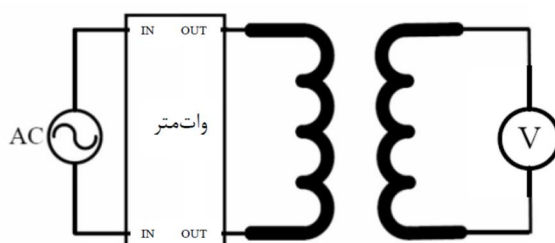
(۲) تلفات مس: به علت مقاومت اهمی در سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه، مقداری از انرژی به صورت حرارت در سیم‌پیچ‌ها تلف می‌شود. با کاهش مقاومت الکتریکی سیم‌پیچ‌ها تلفات مس را می‌توان کاهش داد.

## وسایل آزمایش

منبع تغذیه متناوب (AC)، هسته آهنی U شکل، سیم‌پیچ (دو عدد)، رثوستا، 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 ببندید (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.

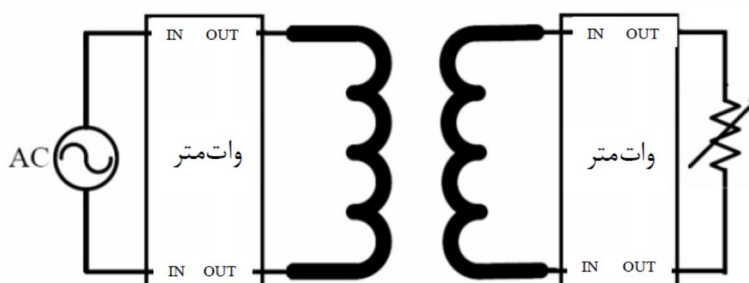
- منحنی نمایش تغییرات  $V_2$  بر حسب  $V_1$  را با روش کمترین مربعات رسم کنید و با محاسبه شیب خط، درستی رابطه  $V_2 = V_1 \left( \frac{N_2}{N_1} \right)$  را بررسی کنید.

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  $P_1$  و  $P_2$  مربوط به چه نوع تلفاتی در ترانسفورماتور هستند؟ توضیح دهید.  
( برای یک جریان مشخص )



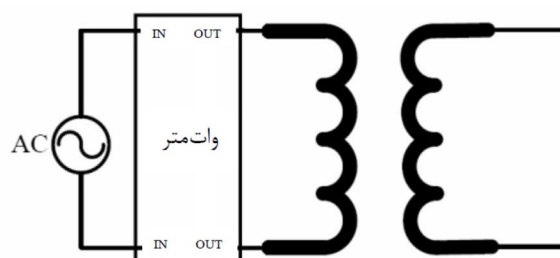
شکل ۳

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.



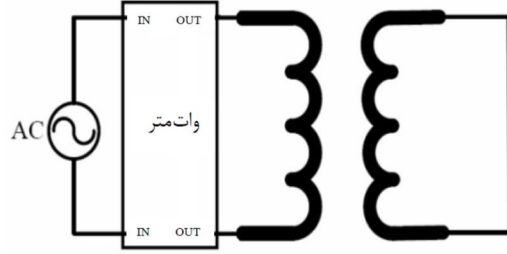
شکل ۴

جدول ۳

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

سیم‌پیچ ثانویه در وضعیت اتصال کوتاه

- ولتاژ منبع تغذیه را روی صفر تنظیم کرده و دو انتهای سیم‌پیچ 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 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.



شکل ۵

جدول ۴

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