

# دستور کار آزمایشگاه فیزیک ۲

مؤلف

جواد قاسمی

تدوین رایانه ای

مرجان صوری

دانشگاه اراک

فروردین ۱۳۸۶

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳	فصل ۱: آشنایی با قطعات و مصرف کننده های موجود در آزمایشگاه فیزیک پایه ۲
۲۴	فصل ۲: آشنایی با وسایل اندازه گیری و طرز استفاده از آن ها
۳۰	فصل ۳: آشنایی با منابع تغذیه
۳۵	فصل ۴: تئوری و روش انجام آزمایش های فیزیک پایه ۲
۳۶	آزمایش شماره ۱: تحقیق قانون اهم و اندازه گیری مقاومت مجهول
۴۰	آزمایش شماره ۲ اندازه گیری مقاومت مجهول به روش پل وتستون و پل تار
۴۳	آزمایش شماره ۳: تحقیق رابطه $R = \rho \frac{1}{A}$ در جسم رسانا
۴۶	آزمایش شماره ۴: تحقیق تغییرات مقاومت الکتریکی بر حسب دما
۵۰	آزمایش شماره ۵: تعیین رابطه مقاومت های سری و موازی
۵۲	آزمایش شماره ۶: تحقیق قوانین ولتاژ و جریان کیرشهف
۵۶	آزمایش شماره ۷: اندازه گیری مقاومت درونی ولت متر و آمپر متر
۵۹	آزمایش شماره ۸: اندازه گیری مقاومت درونی منبع تغذیه
۶۱	آزمایش شماره ۹: مطالعه خازن در جریان مستقیم و بررسی شارژ و دشارژ خازن
۶۴	آزمایش شماره ۱۰: تحقیق قوانین الکترومغناطیس و بررسی نحوه کار ترانسفورماتورها
۷۴	آزمایش شماره ۱۱: مطالعه مدارات RC و RL و RLC در جریان متناوب
۷۹	آزمایش شماره ۱۲: آشنایی با اسیلوسکوپ

# فصل ۱

## آشنایی با قطعات و مصرف کننده ها در آزمایشگاه فیزیک پایه ۲

- مقاومت ها
- خازن ها
- سیم پیچ ها
- قطعات نیمه رسانا

## ۱- مقاومت:

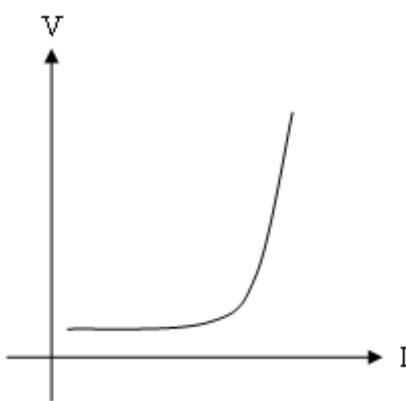
۱-۱- **مقاومت اهمی:** به مقاومتی گفته می شود که نسبت ولتاژ اعمال شده، به جریان گرفته شده از آن یک مقدار ثابت باقی بماند یعنی:

$$R = \frac{V}{I} = \text{ثابت}$$

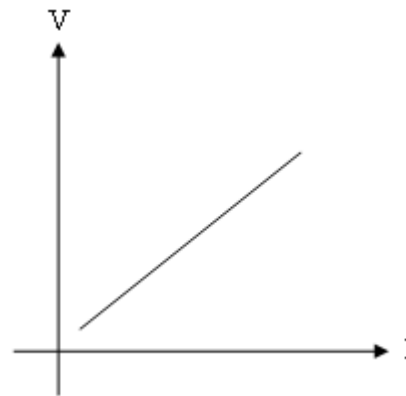
به بیانی نمودار تغییرات ولتاژ به جریان این مقاومت خطی باشد. آنگاه به این گونه مقاومت ها، مقاومت های اهمی می گویند.

شکل الف: منحنی تغییرات (V-I) قطعات اهمی است.

شکل ب: منحنی تغییرات (V-I) یک دیود نیمه رسانا است که نمونه یک قطعه غیر اهمی می باشد.



شکل ب



شکل الف

۲-۱- موارد استفاده از مقاومت اهمی در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی

الف: محدود کردن جریان (کنترل جریان) و تقسیم ولتاژ در نقاط مختلف مدار.

ب: ایجاد حرارت

ج: تطبیق و همسنگ نمودن مقاومت ورودی و خروجی در مدارهای الکترونیکی

د: تطابق ولتاژ بین دو طبقه در تقویت کننده ها

و: تعیین پهنای باند و فرکانس قطع در تقویت کننده ها، فیلترها و موارد مشابه

### ۳-۱- انواع مقاومت های اهمی


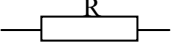
۱-۳-۱- مقاومت های ثابت

۲-۳-۱- مقاومت های متغیر

۳-۳-۱- مقاومت های تابع عوامل فیزیکی (دما، نور و ...)

### ۱-۳-۱- مقاومت های ثابت

مقاومت هایی هستند که مقدار آن ها ثابت بوده و تابع عواملی چون گرما، فرکانس، میدان

مغناطیسی، نور، رطوبت و ... نباشند و آن ها را با نماد  یا  مشخص می کنند.

مشخصه های یک مقاومت ثابت عبارتند از:

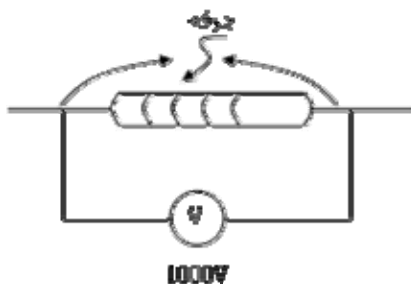
**الف: مقدار اهم مقاومت:** از مهمترین مشخصه مقاومت بوده که یا عدد اهم، بر روی آن نوشته شده و یا به صورت نوارهای رنگی مقدار گذاری شده اند. (که طریقه خواندن این مقاومت های رنگی را در ۴-۱ خواهیم گفت)

**ب: خطا یا تلورانس:** از آنجا که وسیله ای با دقت صفر و بدون خطا وجود ندارد، در حین فرایند تولید مقاومت، به طور ناخواسته به مقاومت مورد نظر مقداری اضافه یا کم خواهد شد که البته این مقدار با نظارت بیشتر و با استفاده از دستگاه های دقیقتر کمتر می شود. لذا شرکت سازنده، موظف است این بازده تغییرات را به مصرف کننده های مقاومت معرفی کند که به تلورانس مقاومت معروف است. مثلا مقاومت های ۱۰۰ اهمی با تلورانس ۱۰٪ ممکن است بین ۹۰ و ۱۱۰ اهم باشند.

**ج: تحمل حرارتی:** به بیشترین دمایی که مقاومت های غیر سیمی در حین کار می توانند تحمل کند قبل از آنکه تغییر ماهیت بدهند، تحمل حرارتی گویند و در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ درجه سانتیگراد است.

د: **بیشترین توان مصرفی:** به بیشترین توانی که مقاومت می تواند در مقابل عبور جریان و تحمل ولتاژ از خود نشان دهد، قبل از آنکه بسوزد، ماکزیمم توان مقاومت گویند و از رابطه  $P=IV$  یا  $P^2=RI$  محاسبه می شود. هر مقاومتی یک مقدار مشخصی از توان مصرفی را تحمل می کند. رایج ترین توان های یک مقاومت ساخته شده به صورت  $1/16$  و  $1/8$  و  $1/4$  و  $1/2$  و  $1$  و  $2$  و  $3$  و  $5$  وات هستند که معمولاً از روی ابعاد فیزیکی آن قابل تشخیص می باشند.

ه: **بیشینه افت ولتاژ DC:** در مقاومت های با اهم بالا، بیشترین افت ولتاژ DC مجاز از مهمترین عوامل مربوط به مقاومت محسوب می شود. بطور مثال اگر بخواهیم افت ولتاژ DC مجاز یک مقاومت  $1$  مگا اهمی و  $1$  وات را بدست آوریم از رابطه  $V = \frac{P^2}{R}$  معلوم می شود که این توان با ولتاژ  $1000$  ولت محقق می شود که در عمل چنین ولتاژی را نمی توان به مقاومت اعمال کرد. چون ممکن است با میدان الکتریکی ایجاد شده دو سر مقاومت جرقه بزند که برای رفع این مشکل باید اندازه چنین مقاومتی را بزرگ درست کنند تا تحمل چنین اختلاف پتانسیلی را داشته باشد.



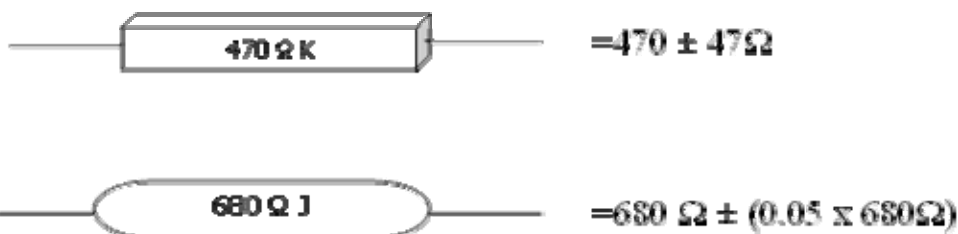
$$V = \sqrt{R.P} = \sqrt{10^6} = 1000 \text{ ولت}$$

و: **ضریب حرارتی محیطی:** به تأثیر گرمای محیط بر مقدار اهم مقاومت ضریب حرارتی محیطی می گویند. هر قدر این ضریب کمتر باشد بیانگر آن است که دمای محیط کمتر روی مقاومت تأثیر می گذارد. ضریب حرارتی می تواند مثبت یا منفی باشد. به طور مثال این تغییر اهم می تواند در هنگام لحیم کاری صورت بگیرد که از اهمیت بالایی برخوردار است.

ز: بیشینه بسامد کار: به بیشترین فرکانسی که مقاومت می تواند در هنگام کار با منبع تغذیه متناوب تحمل کند، قبل از آنکه ساختار مقاومتی آن فرو بریزد و خواص غیر از مقاومت به خود بگیرد، بیشینه بسامد کار مقاومت گویند.

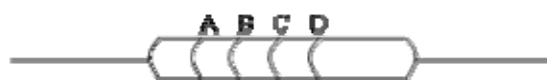
### مقدار مقاومت:

مهمترین مشخصه یک مقاومت، تعیین مقدار اهم آن است که یا عدد اهم مقاومت را روی مقاومت نوشته اند، مانند مقاومت سیمی و آجری که دو نمونه از آن ها در شکل زیر آورده شده است.



و یا به صورت نوارهای رنگی مشخص شده اند که می توان از طریق زیر آن را مشخص نمود.

- در صورتی که مقاومت، چهار نوار رنگی داشته باشد



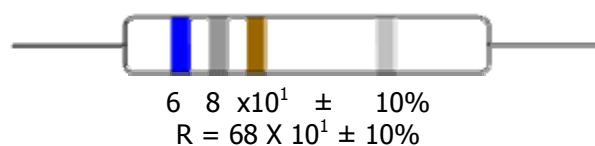
چنانچه به هر رنگ یک عدد نسبت دهیم، مقاومت رنگی از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$R = AB \times 10^C \pm D\%$$

که در این رابطه D تلورانس است

تلورانس نوار چهارم	ضریب نوار سوم	اعداد صحیح		رنگ
		نوار اول	نوار دوم	
-	0	0	-	سیاه
1%	1	1	1	قهوه ای
2%	2	2	2	قرمز
-	3	3	3	نارنجی
-	4	4	4	زرد
-	5	5	5	سبز
-	6	6	6	آبی
-	-	7	7	بنفش
-	-	8	8	خاکستری
-	-	9	9	سفید
5%	x 0.1	-	-	طلایی
10%	x 0.01	-	-	نقره ای
20%	-	-	-	بی رنگ

جدول (۱): استاندارد کد نوارهای رنگی مقاومت



نکته: مقاومت های ۵ رنگ با اندک تفاوتی از رابطه زیر پیروی می کنند:

$$R=ABC \times 10^D$$

یعنی فقط به جای دو رنگ اول، سه رنگ اول کنار یکدیگر می نشینند و رنگ چهارم توان و رنگ آخر همان تلورانس محسوب می شود.

مقاومت های با تلورانس ۲۰٪ را سری E-6 و مقاومت های با تلورانس ۱۰٪ را سری E-12 و مقاومت های با تلورانس ۵٪ را سری E-24 و مقاومت های با تلورانس ۲٪ را سری E-48 و تلورانس ۱٪ را با سری E-96 و ۰/۵٪ را با E-192 معرفی می کنند.

9.1	8.2	7.5	6.8	6.2	5.6	5.1	4.7	4.3	3.9	3.6	3.3	3.0	2.7	2.4	2.2	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.0	E <sub>24</sub> سری
8.2	6.8	5.6	4.7	3.9	3.3	2.7	2.2	1.8	1.5	1.2	0.1	E <sub>12</sub> سری												
6.8		4.7		3.3		2.2		1.5		1.0		E <sub>6</sub> سری												

با داشتن جدول بالا می توان مقاومت های استاندارد را به دست آورد. برای مثال عدد ۴,۷ در هر سه سری می توان پی برد که مقاومت های

$$0.47\Omega, 4.7\Omega, 470\Omega, 4.7\Omega, 47\Omega, 470\Omega, 4.7\Omega$$

در هر سه سری موجود هستند.

استانداردهای دیگری نیز برای بیان مقدار مقاومت به کار می رود. این روش بیشتر برای مقاومت های بالای یک وات به کار می رود. در این روش R بیانگر اهم و K بیانگر کیلو و M بیانگر مگا اهم است. و برای تلورانس ۲۰٪ حرف M و تلورانس ۱۰٪ حرف K و تلورانس ۵٪ حرف J معرفی شده است.

مثال:

$$10RJ=10\Omega\pm\%5$$

$$3K3K=3.3K\Omega\pm\%10$$

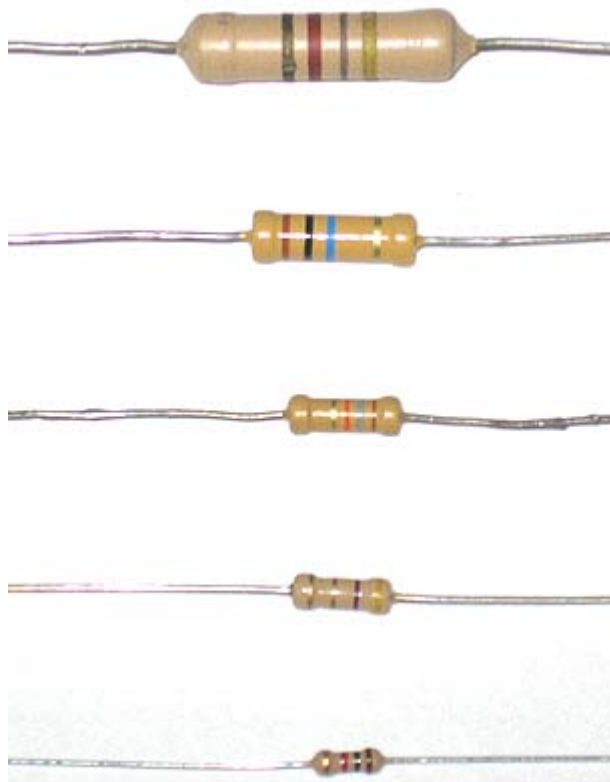
$$6M8J=6.8M\Omega\pm\%5$$

$$22KK=22K\Omega\pm\%10$$

$$470RM=470\Omega\pm\%20$$

توان قابل تحمل با توجه به ابعاد مقاومت:

شکل زیر چند نمونه مقاومت کربنی با نوار های رنگی با توان های مختلف و ابعاد آنها آورده شده است.



قدرت (وات)	قطر $D_{mm}$	طول $L_{mm}$
17	8	2
14	5.5	1
9.5	3.5	0.5
6.25	2.25	0.25
4	1.5	0.125

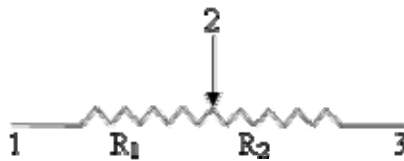
جدول سایز بندی و وات مقاومت ها

### ۱-۳-۲ مقاومت های متغیر

الف: مقاومت های متغیری که تابع عوامل محیطی و فیزیکی نیستند.  
ب: مقاومت های متغیری که تابع عواملی چون حرارت، نور، ... هستند.

الف: این نوع مقاومت ها را می توان با تغییر مکان یا تغییر زاویه ی محور متحرک آن تنظیم کرد. شکل زیر چند نمونه از مقاومت های متغیر را نشان می دهد.

شکل زیر علامت اختصاری مقاومت متغیر را نشان می دهد.



همانطور که مشخص شده است، مقاومت متغیر می تواند دارای سه ترمینال باشد که دو تای آنها نسبت به هم ثابت است و تابع گردش محور نیست. مقدار این مقاومت بر روی بدنه مقاومت متغیر، نوشته می شود.

**ترمینال متغیر**، به اتصال لغزنده متصل است و این اتصال لغزنده می تواند به وسیله ی گردش محور روی لایه ی کربن حرکت کند و مقدار مقاومت این ترمینال را نسبت به ترمینال های ثابت تغییر دهد. این نوع مقاومت های متغیر کربنی که در بازار به پتانسیومتر یا ولوم معروف هستند، بر دو گونه یافت می شوند.

۱- اگر تغییر مقاومت بین ترمینال های ۱ و ۲ یا ۲ و ۳ نسبت به حرکت محور متحرک خطی باشد، مقاومت متغیر خطی گویند.



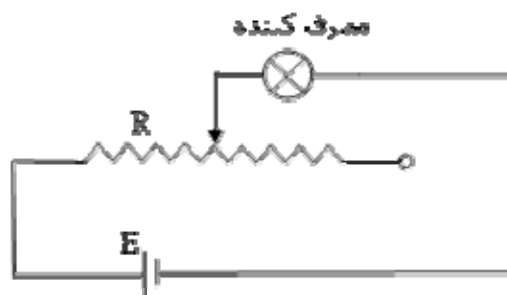
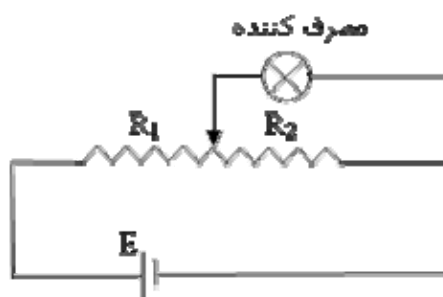
۲- اگر تغییرات نسبت به یکدیگر غیرخطی باشند (مثلا لگاریتمی)، مقاومت متغیر را لگاریتمی گویند.



### رئوستا

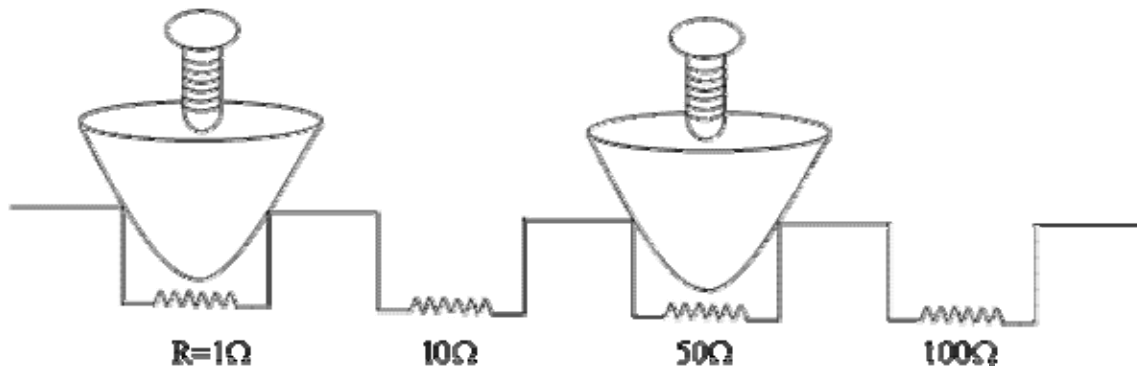
گونه‌ی دیگری از مقاومت‌های متغیر که از خانواده‌ی پتانسیومترهای خطی هستند و همچنین دارای سه ترمینال می‌باشند رئوستاها هستند. جنس رئوستاها برخلاف پتانسیومترها از سیم بوده و بدین خاطر از توان بالاتری نسبت به مقاومت‌های متغیر کربنی برخوردارند.

شکل‌های زیر دو نمونه کاربرد و طریقه اتصال رئوستا را نشان می‌دهند.



## جعبه ی مقاومت:

می توان این جعبه را جزء دسته مقاومت های متغیر قرار داد و به گونه ایی است که تعدادی مقاومت با مقادیر معلوم را درون یک جعبه بصورت سری قرار داده اند و عملا با انتخاب هر تعداد از آنها، می توان مقادیر مشخص و دلخواهی را در ترمینال خروجی آن ایجاد نمود. شکل زیر نمای خارجی و درونی یکی از جعبه ها را نشان می دهد.

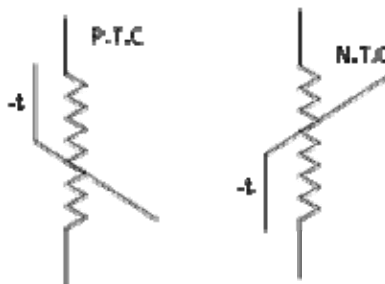


ب: مقاومت های متغیر تابع عوامل فیزیکی (محیطی):

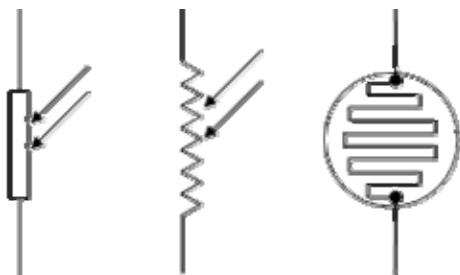
۱. **مقاومت های تابع حرارت (ترمیتور):** تأثیر حرارت بر مقدار مقاومت به دو گونه می تواند باشد. اگر در اثر افزایش دما، مقاومتشان کاهش یابد به آنها ترمیتورهای با ضریب حرارت منفی یا N.T.C می گویند. که غالبا به شکل های دیسکی و استوانه ای یافت می شود.

دسته دیگری از ترمیتورها با افزایش دما، مقاومتشان افزایش می یابد و به آنها ترمیتورهای با ضریب حرارتی مثبت یا P.T.C می گویند.

شکل زیر علامت اختصاری و چند نمونه از ترمیتورهای NTC و PTC را نشان می دهد.



۲. **مقاومت تابع نور:** مقاومت تابع نور (L.D.R) فوتوریتور به مقاومتی گفته می شود که با تغییرات نور تابیده شده به سطح آن، مقدار مقاومتش تغییر کند. در واقع مقاومت به شدت نور تابیده شده به آن وابسته است.



نمای ظاهری مقاومت تابع نور و علامت اختصاری LDR

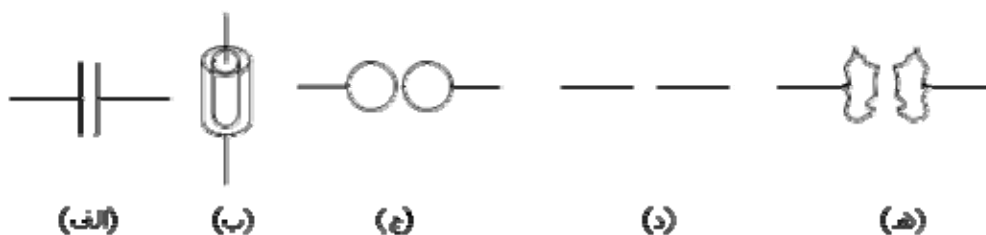
## ۲- خازن

خازن المانی است که انرژی الکتریکی را در خود ذخیره می کند و ساختمان آن از دو قسمت تشکیل شده است.

**الف) صفحات هادی:** که به آن جوشن نیز می گویند. معمولاً از ورقه های نازک از جنس آلومینیوم، روی یا نقره ساخته می شوند.

**ب) عایق بین صفحات هادی:** که به آن دی الکتریک نیز گفته می شود. معمولاً خازن ها از نظر نوع دی الکتریک به کار رفته در ساختمان آنها نام گذاری و تقسیم بندی می شوند.

شکل زیر انواع قرار گرفتن صفحات هادی مقابل یکدیگر و شکل خازن را نشان می دهد.



**ب:** خازن استوانه ای مثل کابل کوکسیال  
**د:** یک سیم پاره شده

**الف:** خازن با صفحات تخت  
**ج:** دو کره مقابل هم دیگر  
**ه:** دو صفحه مواج شده مقابل یکدیگر

## مشخصات خازن:

- ظرفیت خازن
- ولتاژ کار ماکزیمم
- ضریب حرارتی خازن
- حداکثر فرکانس کار
- ضریب تلفات خازن

**ظرفیت خازن:** نسبت بار الکتریکی ذخیره شده در خازن به ولتاژ آن را ظرفیت خازن می نامند و رابطه  $C = \frac{Q}{V}$  بیانگر آن است که مقدار ظرفیت خازن فقط به مشخصات فیزیکی از قبیل اندازه و فاصله صفحات و جنس دی الکتریک وابسته بوده و بر حسب فاراد (F) بیان می شود.

**ولتاژ کار ماکزیمم:** این ولتاژ که معمولاً روی بدنه خازن به همراه ظرفیت خازن نوشته می شود، ولتاژی است که به دو سر خازن اعمال می شود بدون اینکه دی الکتریک میان صفحات یونیزه شود و بطوری که خازن بتواند در شرایط عادی کار کند که مقدار آن به فاصله صفحات و جنس دی الکتریک وابسته است.

از طرفی به مقدار ولتاژ ماکزیمم که به ضخامت دی الکتریک و جنس آن بستگی دارد استحکام دی الکتریک نیز گفته می شود.

معمولاً استحکام دی الکتریک را بر حسب ولت بر میکرومتر بیان می کنند. جدول زیر ضریب ثابت دی الکتریک و استحکام چند عایق دی الکتریک مشخص شده است.

نوع عایق	ضریب دی الکتریک (K)	استحکام دی الکتریک (V/μm)
هوا	1	3
پارافین	2 – 2.2	15 – 30
کاغذ خشک	2.3 – 3.5	6 – 9
فیبر	3.5 – 5	4 – 11
شیشه	5.5 – 10	4 – 10
میکا	5.5 – 8	80

ضریب حرارتی: وابستگی ظرفیت خازن به حرارت را ضریب حرارتی خازن می گویند.

حداکثر فرکانس کار: از آنجا که خازن در مدارهای متناوب از خود مقاومت ظاهری نشان می دهد (که آن را با  $X_c$  معرفی می کنند) این مقاومت ظاهری با فرکانس را بطه عکس دارد.

$$x_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

در نتیجه تا جایی که با افزایش فرکانس این امپدانس روند کاهشی داشته باشد خازن درست کار می کند ولی از یک فرکانس مشخص به بالا تغییر خاصیت می دهد، به این حد فرکانسی، حداکثر فرکانس کار خازن می گویند.



ضریب تلفات خازن: ضریب تلفات خازن به صورت رابطه زیر تعریف می شود

$$D = \frac{1}{2\pi f C R}$$

R مقاومت اهمی صفحات خازن، C ظرفیت آن و f فرکانس منبع است.

## انواع خازن ها

### • خازن ثابت

۱. بدون قطبیت 
۲. دارای قطبیت (الکترولیتی) 

### • خازن متغییر

خازن های بدون قطبیت: این خازن ها در انواع مختلف

۱. خازن های کاغذی

۲. خازن های سرامیکی

۳. خازن های عدسی

۴. خازن تانتالیومی

۵. خازن میکا

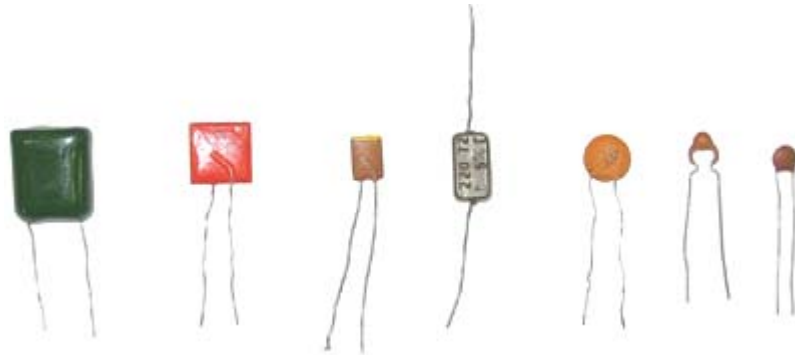
۶. خازن روغنی

و غیره می باشد.

**خازن های کاغذی:** دی الکتریک این نوع خازن ها از یک صفحه نازک کاغذ متخلخل تشکیل شده است که یک دی الکتریک مناسب درون آن تزریق می شود. جوشن های این نوع خازن نیز معمولا از جنس آلومینیوم است. این خازن ها دارای ابعاد فیزیکی بزرگی بوده و غالبا دارای ولتاژ کار بالایی می باشند.

**خازن های سرامیکی:** این نوع خازن ها معمولا دارای روکش سرامیکی می باشند و در ولتاژهای بالا کار می کنند و همچنین در مدار های با فرکانس زیاد از این نوع خازن ها استفاده می نمایند. ظرفیت این خازن ها معمولا بین 100PF تا 0.1 $\mu$ F می باشند.

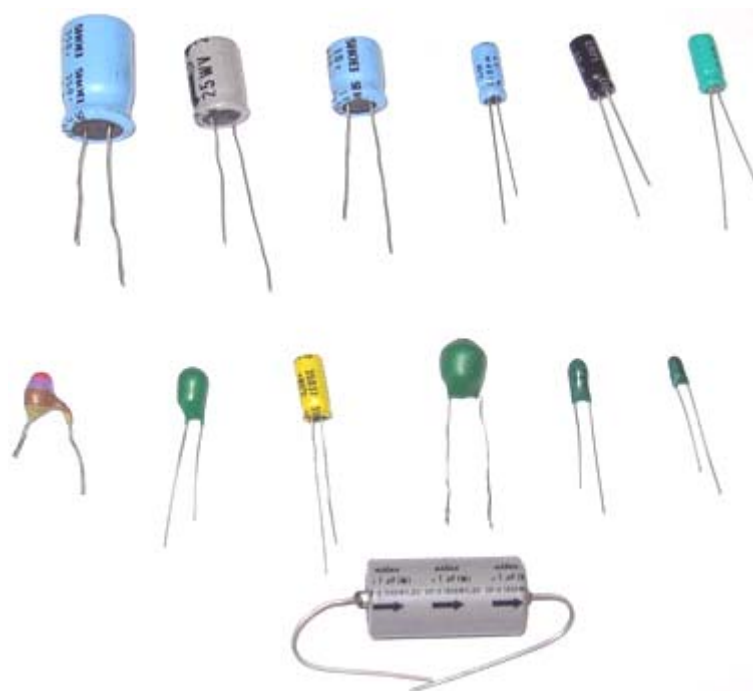
شکل زیر نمونه هایی از خازن های بدون قطبیت را نشان می دهد.



**خازن های دارای قطبیت (الکترولیتی):** در میان خازن ها بیشترین ظرفیت را خازن های الکترولیتی دارند. ظرفیت زیاد این خازن ها، ناشی از به کار بردن یک لایه دی الکتریک نازک به ضخامت تقریبی یک نانومتر است. چنین لایه ای عملاً به وسیله اکسیداسیون آندی یک فلز مناسب تهیه شده و میان صفحات خازن قرار می گیرد و به خاطر همین ضخامت کم لایه دی الکتریک و نزدیک شدن صفحات خازن به یکدیگر، دارای ولتاژ کار کمی می باشد.

خازن های الکترولیتی اکثراً قطبی بوده و دارای کاتد و آند هستند بنابراین هنگام استفاده از آن، پایه های خازن اشتباه وصل نشود. در غیر این صورت واکنش های الکتروشیمیایی درون خازن اتفاق می افتد که باعث معیوب شدن می گردد.

شکل زیر نمونه هایی از خازن دی الکتریک را نشان می دهد.



خازن های الکترولیتی با توجه به مواد دی الکتریک در انواع مختلف ساخته می شوند که هر کدام با توجه به مواد به کار برده شده در آنها دارای مشخصات خاصی هستند.

**خازن های متغیر:** با تغییر سه عامل می توان ظرفیت خازن را تغییر داد.

۱. فاصله صفحات

۲. سطح مقطع صفحات

۳. نوع دی الکتریک

رایج ترین روش ساخت خازن های متغیر، تغییر سطح مقطع صفحات است. شکل زیر یک نمونه خازن متغیر را نشان می دهد که شامل یک دسته صفحه ثابت و متحرک می باشد که تمام صفحات متغیر به محور چرخان متصل می باشد و با چرخاندن محور می توان صفحات متحرک را درون صفحات ثابت قرار داد و بدین ترتیب سطح موثر صفحات خازن و ظرفیت آن را افزایش داد. ماکزیمم چرخش محور در خازن های متغیر ۱۸۰ درجه است.

روش دیگری که جهت ساخت خازن متغیر از آن استفاده می شود و بیشتر در سنسورهای خیلی حساس کاربرد دارد روش تغییر دی الکتریک است. به عنوان مثال در سنسور های حساس به گاز شیمیایی و یا دود حاصل از آتش سوزی که باعث تغییر ظرفیت خازن شده و فرمان به صدا در آمدن آژیر خطر و یا فرمان عملیاتی را به سیستم ها می دهند.

### نحوه خواندن مقدار ظرفیت خازن:

امروزه سازندگان مختلف، روی خازن های ساخته شده ظرفیت آنرا می نویسند و فقط روی بعضی از خازن ها مثل خازن عدسی، به جای نوشتن مستقیم ظرفیت یک عدد سه رقمی را ذکر می کنند. که اگر دو رقم اول را در کنار هم بنویسیم و به مقدار عدد سوم (عدد سمت راست) در جلوی آن، صفر قرار دهیم، عدد بدست آمده ظرفیت خازن بر حسب پیکو فاراد (PF) می باشد. به عنوان مثال اگر بر روی خازنی عدد ۴۷۳ نوشته شده باشد ظرفیت آن برابر است با  $C=47000PF$  یعنی ظرفیت این خازن  $0.047\mu F$  است.



و چنانچه بر روی بعضی از خازن ها نوار های رنگی کشیده شده باشد می توانیم از روش خواندن مقاومت های رنگی استفاده نماییم ولی عدد حاصل بر حسب پیکو فاراد خوانده می شود. (که این روش جهت کدگذاری خازن ها دیگر رایج نیست)

## تست خازن

برای آزمایش خازن جهت سالم یا معیوب بودن آن ابتدا باید اتصالات آن را باز نموده تا دو سر خازن آزاد شود. سپس آن را دشارژ (تخلیه) نموده و به یکی از روش های زیر عمل شود. که روش دوم و سوم برای خازن های صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد.

**روش اول:** آومتر را روی قسمت اهم متر رنج ( $\times 1$ ) یا ( $R \times 1$ ) قرار گیرد و سیم های رابط آن به دو سر خازن متصل گردد. حالت هایی که اتفاق می افتد عبارتند از:

الف) عقربه اهم متر ابتدا سریع تا آخر صفحه مدرج (سمت راست صفحه) انحراف یافته سپس آهسته به سمت چپ صفحه مدرج برمی گردد. در این حالت خازن شارژ و دشارژ شده، نتیجتاً سالم است.

ب) اگر عقربه پس از انحراف سریع به سمت چپ صفحه مدرج برنگردد و در همان سمت راست صفحه مدرج بایستد خازن از داخل اتصال کوتاه شده لذا باید تعویض گردد.

ج) اگر عقربه هیچگونه حرکتی نداشته باشد خازن از داخل قطع بوده لذا باید تعویض گردد.

**روش دوم:** دو سر خازن را چند بار به مدت خیلی کم به ولتاژ ۲۲۰ شهر وصل نموده سپس آن را از برق جدا نموده دو سر آن را توسط یک پیچ گوشتی اتصال کوتاه نمایید لذا حالت های زیر اتفاق می افتد:

الف) جرقه ناشی از اتصال، کم و رنگ آن سرخ است نتیجتاً خازن خراب است.

ب) جرقه ناشی از اتصال، شدید و رنگ آبی دارد که دلیل سالم بودن خازن است.

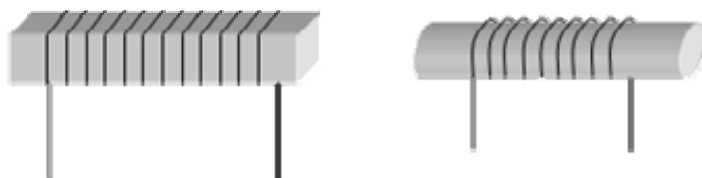
**روش سوم:** دو سر خازن را چند بار و هر بار به مدت زمان خیلی کوتاه به ولتاژ برق شهر وصل نموده و سپس آن را از برق جدا و به دو سر آومتر وصل کنید. البته باید آومتر روی رنج ولتاژ مستقیم ۱۰۰۰ ولت باشد. اگر بار قابل ملاحظه ایی روی جوشن های خازن ذخیره شده باشد ولتاژ اندازه گیری شده بالا و خازن سالم است.

از آنجائیکه ولتاژ موثر برق شهر ۲۲۰ ولت است حداکثر ولتاژی که روی خازن اعمال می شود برابر است با :  $u = \sqrt{2} \times 220 = 310 [volt]$  اگر خازن خراب باشد، بار ذخیره شده روی جوشن های خازن خیلی کم و در نتیجه ولتاژ پایین است.

### سیم پیچ (سلف)

سلف که از جنس سیم با تعداد حلقه های مشخص تشکیل شده است المانی است که قادر است در خود انرژی الکتریکی ذخیره کند که این عمل توسط میدان الکترومغناطیسی صورت می گیرد و بیشترین کاربرد آن در ترانسفورماتور ها می باشد.

شکل زیر دو نمونه سیم پیچ با هسته های استوانه ای و مکعبی را نشان می دهد.



ترانسفورماتور ها که از خانواده ی سلف ها می باشند از دو قسمت اصلی تشکیل شده اند:

**الف) سیم پیچ:** که از پیچاندن طول معینی از یک هادی با روکش عایق به دور یک پایه ی عایق شکل می گیرد.

**ب) هسته:** که درون سیم پیچ قرار می گیرد تا مسیر مناسبی برای میدان مغناطیسی فراهم آورد.

انتخاب جنس هسته بسته به میزان تلفات و فرکانس منبع اولیه ممکن است تغییر کند ولی معمولاً جنس هسته ها را از آهن نرم و در مواردی از فریت ها (زغال) و گاهی از هوا انتخاب می کنند.

در فرکانس های زیاد (مثلاً بیشتر از ۵۰ مگا هرتز) به علت استفاده از سلف های با خود القایی کم جنس هسته از هوا است ولی در سلف های با خودالقایی زیاد در صورتی که هسته از هوا باشد ابعاد سلف بزرگ می شود بنابراین به کار بردن یک هسته مناسب الزامی است.

در صفت الکترونیک معمولاً هسته ها را از جنس فریت ها می سازند.

مشخصه های سلف:

الف) ضریب خود القای سیم پیچ  $L$

ب) ضریب کیفیت یک سلف  $Q$

ج) ماکزیمم فرکانس کار

الف) ضریب خودالقایی سلف ( $L$ ): مهمترین مشخصه سلف، خود القایی آن است، و اینگونه تعریف می شود.

(زاویه بین راستای میدان) \* (سطح مقطع حلقه های سلف) \* (میدان مغناطیسی) =  $\phi$

جریان عبوری از سلف/شار مغناطیسی ایجاد شده اطراف سیم پیچ =  $L = \frac{\phi}{I}$  ضریب خودالقایی

$$\phi = \sin^{-1} \frac{B}{A}$$

واحد  $L$  هانری است و واحدهای کوچک آن میلی هانری و میکروهانری هستند.

\* عوامل موثر بر ضریب خودالقایی سیم پیچ

- تعداد دور سیم پیچ در واحد طول
- قطر سیم به کار رفته
- قطر حلقه های سیم پیچ
- طول سیم پیچ

ب) ضریب کیفیت یک سلف ( $Q$ ): یک سلف با طول معین از یک سیم هادی ساخته می شود، بنابراین دارای مقاومت اهمی نیز هست بنابراین یک سلف واقعی از یک سلف ایده آل و یک مقاومت سری شده با آن مطابق شکل زیر تشکیل شده است.



طبق تعریف ضریب کیفیت یک سلف، نسبت به راکتانس سلف به مقاومت آن در یک فرکانس معین است یعنی:

$$Q = \frac{x_L}{R} = \frac{2\pi fL}{R}$$

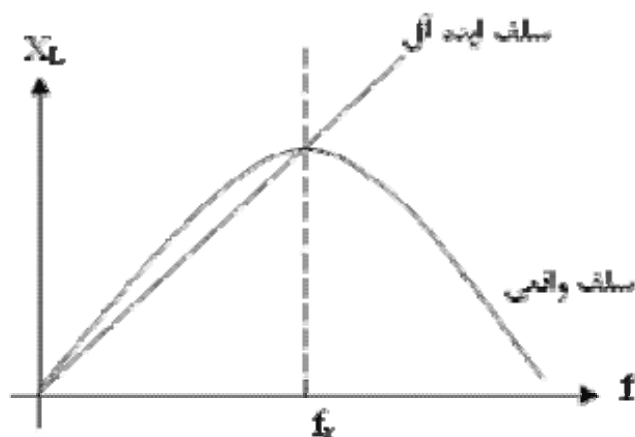
در نتیجه هر قدر مقدار R را کاهش دهیم، ضریب کیفیت سلف زیادتر می شود که می توان این کار را علاوه بر کوچک کردن سیم پیچ و در نتیجه کوچک شدن R با بالا بردن فرکانس در مدار نیز انجام داد.

(افزایش ضریب کیفیت  $\leftrightarrow$  افزایش فرکانس)

ج) ماکزیمم فرکانس کار: گفتیم با افزایش فرکانس می توان Q را افزایش داد ولی توجه داشته باشید که این کار مقاومت ظاهری سیم پیچ نیز افزایش می یابد

$$X_L = 2\pi f L$$

در عمل، افزایش مقاومت ظاهری سیم پیچ یا همان امپدانس سلف، تا فرکانس مشخصی ادامه می یابد و یک حد فرکانس به بالا، سلف خواص دیگری از خود نشان می دهد مثلا ممکن است خاصیت خازنی در آن ظاهر شود که امپدانس آن کاهش یابد. شکل زیر منحنی امپدانس سلف بر حسب فرکانس اعمال شده به آن را در حالت واقعی و ایده آل نشان می دهد.



# فصل ۲

## آشنایی با وسایل اندازه گیری و طرز استفاده از آنها

- تشریح علایم روی صفحه مدرج یک مولتی متر عقربه ای و طرز کار گالوانومتر
- نحوه خواندن مقادیر ولتاژ و جریان و اهم و ...
- طرز استفاده و قرار گرفتن ولت متر، آمپر متر و اهم متر در مدار
- چند تذکر مهم


## تشریح علایم روی صفحه مدرج یک مولتی متر عقربه ای و طرز کار گالوانومتر


شکل زیر نمونه ای از مولتی متر عقربه ای را نشان می دهد.





یادآوری: مولتی متر یا همان آوومتر (A.V.O) به معنی یک دستگاه چندکاره می باشد که قابلیت اندازه گیری کمیت های مختلف را دارا می باشد.


بر روی صفحه مدرج هر کدام از این مولتی مترها، علایمی وجود دارد که بیانگر مفهومی است. مثلا:


۱- علامت : به معنای توجه و دقت است. مثلا در خلال اندازه گیری ولتاژ زیاد، دقت شود رنج ولت متر روی ولتاژ کم نباشد.


۲- علامت : نوع ساختمان گالوانومتر را مشخص می کند. این علامت بیان کننده دستگاه از نوع قاب گردان است.



۳- علامت  : نشان دهنده توانایی دستگاه در اندازه گیری AC و DC است. اگر شکل دیود

زیر علامت  باشد مفهوم آن است که در داخل دستگاه برای اندازه گیری ولتاژ AC ابتدا ولتاژ را با دیود یکسو و سپس توسط دستگاه گالوانومتر آن را اندازه گیری می کنند. همچنین اعداد همچون ۲,۵ یا ۱,۵ و یا ... تلورانس دستگاه را نشان می دهند، یعنی خطای دستگاه در انحراف کامل ۲,۵ و ۱,۵ و یا ... درصد است.

۴- علامت  : نحوه قرار گرفتن دستگاه را مشخص می کند و مفهوم آن این است که هنگام اندازه گیری کمیت، باید دستگاه کاملا در حالت افقی قرار گیرد.

۵- علامت  : بیانگر ولتاژ آزمایش دستگاه تا ۳۰۰۰ ولت است.

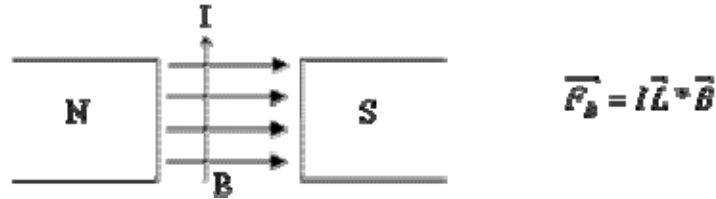
۶- علامت  : نشان دهنده وجود مدارهای الکترونیکی در دستگاه است. که معمولا جریان و ولتاژ AC اعمالی به آوومتر ابتدا توسط این مدارها یکسو شده آنگاه اندازه گیری می شوند.

۷- علامت  : این علامت در بسیاری از آووومترها وضعیت باتری داخل آوومتر را از نظر مقدار ولتاژ نشان می دهد. برای این منظور، یک رنج ولتاژ مخصوص تست باتری مولتی متر بر روی صفحه مدرج وجود دارد و این محدوده را دو رنج قرمز یا سبز جدا و متمایز می کنند که در صورت قرار گرفتن عقربه در این محدوده بیانگر سالم بودن باتری می باشد. و اگر کلید سلکتور در حالت  قرار گیرد، عقربه دستگاه وضعیت باتری را نشان می دهد.

۸- عدد حساسیت  $\frac{\Omega}{V}$  : از دیگر علایم روی صفحه مدرج، عدد حساسیت با علامت  $\frac{\Omega}{V}$  می باشد که هر قدر این عدد بزرگتر باشد، دستگاه حساس تر است. در آووومترهای غیر الکترونیکی، عکس عدد  $\frac{\Omega}{V}$ ، میزان جریانی را که آوومتر لازم دارد تا عقربه آن ۱۰۰٪ منحرف شود، نشان می دهد. مثلا اگر حساسیت یک آوومتر غیر الکترونیکی  $K10 \frac{\Omega}{V}$  باشد این دستگاه برای انحراف کامل عقربه نیاز به جریانی برابر  $100 \mu A = (K10 \frac{\Omega}{V})^{-1}$  دارد.

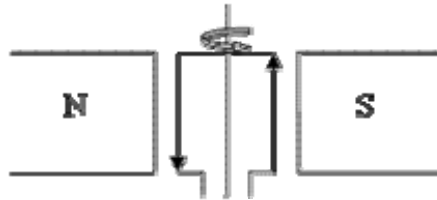
**گالوانومتر:** قبل از آنکه ساختمان داخلی گالوانومتر را تشریح کنیم، یادآوری بعضی از مطالب خالی از بهره نیست.

**یادآوری:** هنگامی که یک سیم حامل جریان را درون یک میدان مغناطیسی آهنربایی قرار می‌دادیم به سیم نیرویی وارد می‌شد که جهت آن نیرو و مقدار آن از قاعده دست راست بدست می‌آمد.

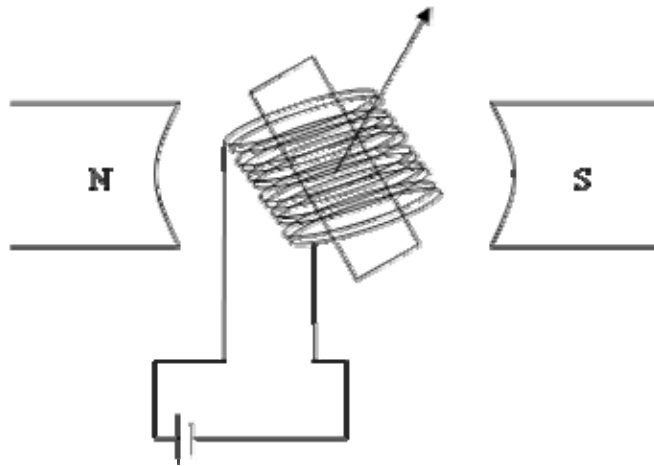



$F_B$  نیروی وارد شده به سیم بود و ضرب برداری بیان می‌کرد که سیم حامل جریان به طرف داخل صفحه حرکت می‌کند.

حال اگر به جای یک سیم، از یک حلقه سیم استفاده کنیم (شکل زیر را ببینید) می‌بینید که این حلقه حول محور تقارن آن شروع به حرکت دورانی می‌کند و اصطلاحاً به آن گشتاور نیرو وارد می‌شود.



این گشتاور نیرو با زیاد شدن تعداد این حلقه‌ها قوی‌تر می‌شود. چنانچه به این حلقه‌های سیم که عموماً حول یک هسته فلزی قرار می‌گیرند، عقربه‌ای متصل کنیم می‌توانیم با تغییرات جریان عبوری از این سیم پیچ، مقدار گشتاور نیروی اعمال شده به آن را تنظیم و درجه بندی کنیم. همچنین برای بازگرداندن این عقربه برای مواقعی که از آن استفاده نمی‌کنیم، می‌توان از نیروی بازگرداننده یک فنر استفاده نمود و در نهایت به این مجموعه گالوانومتر اطلاق می‌شود. و برحسب اینکه این سیم پیچ (پیچه) چه مقدار جریان و ولتاژ را تحمل می‌کند قبل از آنکه به آن آسیب برسد، می‌توان از آن به عنوان آمپر متر و ولتمتر برای مقادیر جریان و ولتاژهای کم استفاده نمود.



نماد گالوانومتر را معمولا با علامت  نشان داده و حداکثر جریان و ولتاژ را با  $I_G$  و  $V_G$  نشان می دهند.

### طرز استفاده و قرار گرفتن ولت متر، آمپر متر و اهم متر در مدار

**الف) ولت متر:** ولت متر وسیله ای است که جهت اندازه گیری اختلاف پتانسیل دو نقطه از مدار استفاده می شود. و برای سنجش دو نوع ولتاژ یعنی AC (متناوب) و DC (مستقیم) به کار می رود و قبل از نصب ولت متر باید حالت دستگاه مولتی متر را با توجه به نوع ولتاژ به کار گرفته شده (که غالبا از روی منبع تغذیه مورد استفاده در مدار مشخص می شود) تعیین کرد سپس از آن استفاده نمود.

طریقه نصب ولت متر در مدار به صورت موازی بوده و باید دقت داشت که شروع اندازه گیری باید از رنج های بزرگتر (حالت هایی با اندازه گیری بیشتر ولتاژ) آغاز گردد. تا باعث صدمه در ولت متر نگردد. شکل زیر نمونه ای از نصب ولت متر در مدار را نشان می دهد.

### چند نکته:

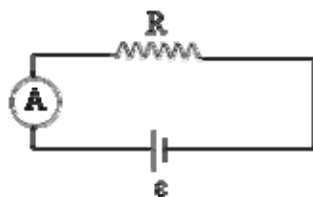
(۱) هنگام استفاده ولت متر DC عقربه ای باید توجه داشت که در صورت جابجا زدن سرهای مثبت و منفی در ولت متر جهت حرکت عقربه ها عکس خواهد شد و در این هنگام کافی است جای سیم های مثبت و منفی را در ولت متر عوض کرد.

۲) برای استفاده از مولتی متر دیجیتالی جهت اندازه گیری ولتاژ، ضمن رعایت نکات بالا (۱- انتخاب وضعیت DC و AC و ۲- موازی وصل نمودن ولت متر) کافی است دوسری های متصل به ولت متر را در مکان های COM و V نصب نمایید. که در صورت جابجا زدن این دو سیم عدد ولت متر فقط منفی نشان داده می شود ولی به لحاظ قدرمطلق تفاوتی نمی کند و جای نگرانی نیست.

ب) آمپر متر: برای اندازه گیری شدت جریان عبوری از یک شاخه از مدار به کار می رود. و به صورت سری در مدار قرار می گیرد.

- آمپر متر نیز مانند ولت متر باید قبل از نصب در مدار، در حالت AC و DC قرار داده شده (برحسب نیاز) سپس رنج آن را در بالاترین حالت قرار داده (در صورت عدم اطلاع از مقدار جریان) و آن را مطابق شکل زیر به صورت سری در مدار مورد نظر قرار دهید. و در صورتی که عقربه آمپر متر انحراف کمی داشت آنرا پله پله حساس کرده تا بیشترین انحراف را به خود بگیرد. آمپر متر عقربه ای نیز مثل ولت متر عقربه ای در صورت جابجا نصب کردن سیم های دو سر آمپر متر در جهت عکس منحرف می شود که در صورت مشاهده این عمل جای سیم های ورودی آمپر متر باید تعویض شود.

- جهت اندازه گیری جریان های DC و AC هنگام استفاده از آمپر متر دیجیتالی ضمن رعایت نصب صحیح دستگاه و انتخاب حالت آمپر متر، کافی است سیم های رابط آمپر متر در محل های COM و A یا COM و mA نصب شوند. اینجا نیز در صورت جابجا نصب نمودن سیم ها فقط عدد مورد نظر منفی نشان داده می شود.



یادآوری: همانطور که در شکل می بینید، نصب آمپر متر با قطع مدار همراه است ولی برای نصب ولت متر نیازی به قطع مدار نیست.

# فصل ۳

آشنایی با منابع تغذیه









# فصل ۴

تئوری و روش انجام آزمایش های فیزیک پایه ۲

# آزمایش شماره ۱

## پل وتسون و پل تار

تعیین مقدار مقاومت مجهول:

- همان طور که می دانید اولین معلوماتی که، باید از یک مقاومت دانست، مقدار اهم آن است و همیشه نمی توان مقدار اهم یک مقاومت را از روی آن مشخص نمود. لذا برای پیدا کردن این مقدار روش های زیر را به کار می گیریم.
- روش های تعیین مقاومت مجهول:

۱. استفاده از اهم متر

۲. روش جانشانی

۳. روش پتانسیومتر (با استفاده از قانون اهم)

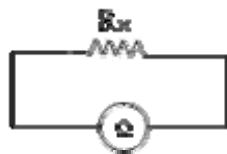
۴. روش پل وتستون

۵. روش پل تار

- که در این آزمایش ۳ روش اول را مطرح می کنیم و در آزمایش شماره ۲ روشهای ۴ و ۵ را مورد مطالعه قرار می دهیم.

روش اول: استفاده از اهم متر

مقامتی را که مقدار اهم آن به ظاهر معلوم می باشد مشخص نموده و به اهم متر متصل نمایید و مقدار خوانده شده را با مقدار نوشته شده بر مقاومت مقایسه کنید.



الف) عدد خوانده شده با اهم متر چقدر است؟

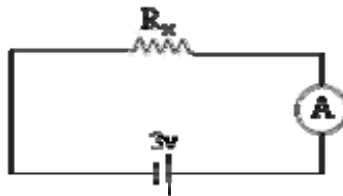
ب) مقدار خوانده شده از روی مفاومت چقدر است؟

دلیل اختلاف این دو مقدار را توضیح دهید.

د) آیا ممکن است اهم متر خطا داشته باشد. چرا؟

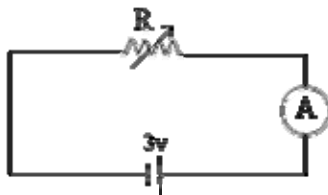
### روش دوم: روش جانمایی

الف) مدار روبرو را ببندید. (ولتاژ منبع را حدود ۳ ولت قرار دهید)



ب) جریان عبوری از این مدار را با دقت اندازه گیری نمایید و عدد را یادداشت کنید.

ج) حال مقاومت مجهول را برداشته و به جای یک جعبه مقاومت با دقت ۰,۱ اهم قرار دهید. (شکل زیر)



د) بدون آنکه آمپر متر و منبع تغذیه را تغییر دهید با تغییر اهم جعبه مقاومت، سعی کنید همان جریان خوانده شده در قسمت (ب) را ایجاد نمایید.

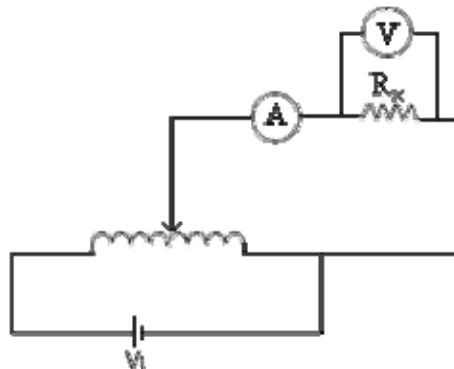
ه) چه اتفاقی افتاده است؟ آیا می توانید مقدار مقاومت  $R_x$  را مشخص کنید؟ آن را بنویسید.

و) آیا این آزمایش خطایی دارد؟ خطاهای احتمالی را حدس بزنید.

روش سوم: روش پتانسیومتر (با استفاده از قانون اهم)

الف) قانون اهم را به خاطر بیاورید.

ب) مدار شکل روبرو را تشکیل دهید.



تذکره: فراموش نکنید که هدف ما پیدا کردن مقدار  $R_x$  می باشد و فرض می کنیم مقدار اهم آن را نمی دانیم

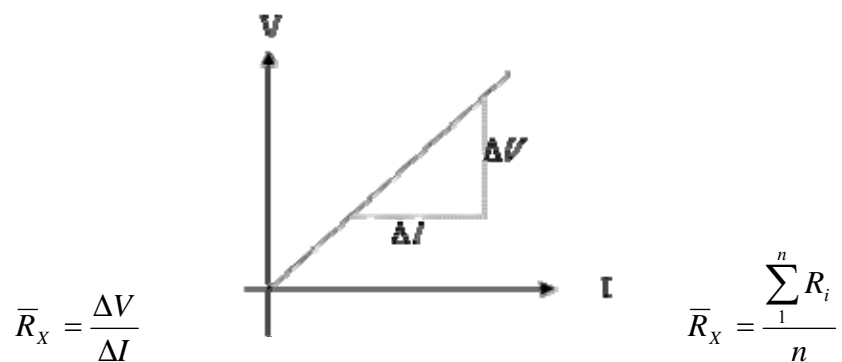
ج) ولتاژ منبع را روی عدد دلخواهی (ترجیحا کمتر از ۵ ولت) قرار دهید و تا آخر آزمایش به آن دست نزنید.

د) با تغییر دادن سر لغزنده رئوستا، جریان و ولتاژهای مختلفی را مشاهده می کنید. این مقادیر را در جدول زیر یادداشت نمایید.

I	V	$R_x = V/I$

ه) با استفاده از قانون اهم برای هر جفت جریان و ولتاژ بدست آمده، مقدار مقاومت مجهول ( $R_x$ ) را بدست آورید و در ستون آخر محاسبه کنید.

و) با استفاده از روش میانگین گیری و روش ترسیم نمودار مقدار مقاومت مجهول میانگین را بدست آورید.



ح) خطاهای احتمالی در این آزمایش را بیان کنید.

ط) مزایا و معایب ۳ روش قبل را با هم مقایسه نمایید.

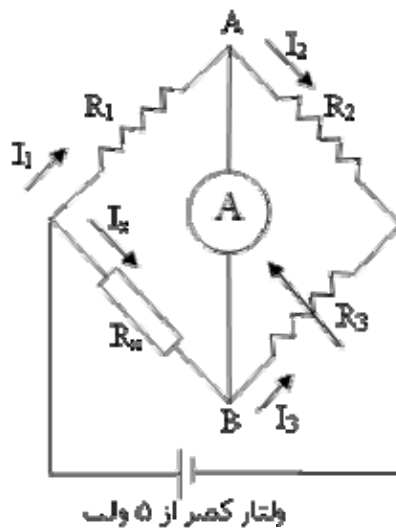
ی) چه قطعه‌هایی را اهمی گویند؟

## آزمایش شماره ۲

### اندازه گیری مقاومت مجهول به روش پل وتستون و پل تار

قسمت اول (پل وتستون): هدف از این آزمایش پیدا کردن مقدار  $R_x$  (مقاومت مجهول) به روشی دیگر است.

الف) مدار زیر را ببندید. (ولتاژ منبع تغذیه را کمتر از ۵ ولت اعمال کنید)



مدار پل وتستون

ب) در صورتی که عقربه آمپرتر عددی را نشان دهد سعی نمایید با تغییر دادن در جعبه مقاومت ( $R_2$ ) آمپرتر را صفر کنید. آن عددی از جعبه مقاومت که می تواند عقربه آمپرتر را روی صفر بیاورد یادداشت کنید.

ج) مقدار  $R_1$  و  $R_2$  را که مقاومت های ثابت و معلومی هستند نیز یادداشت نمایید. سپس مقدار  $R_x$  را از رابطه زیر حساب کنید.  $R_x \times R_2 = R_1 \times R_3$  (این رابطه را پل وتستون گویند)

د) مقدار  $R_x$  بدست آمده از رابطه را، با عدد نوشته شده بر روی مقامت مجهول مقایسه و درصد خطای آنرا بدست آورید.

## سئوالات تشریحی:

۱- لازم به یادآوری است که شرط برقراری رابطه پل وتسون آن است که از آمپر متر جریانی عبور نکند. با این شرایط رابطه فوق را اثبات کنید.

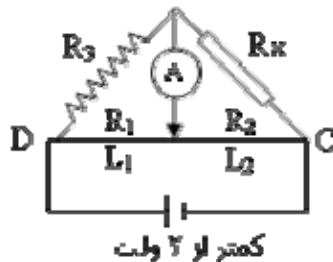
(راهنمایی: در لحظه ای که آمپر متر صفر می شود. یعنی  $V_B = V_A$ )

۲- در صورتی که حداکثر مقدار جعبه مقاومت از مقدار مورد نظر ما که باید آمپر متر را صفر کند، کوچکتر باشد چه راهکاری را پیشنهاد می کنید.

۳- در صورتی که بخواهیم آزمایش را با دقت نسبتاً خوبی انجام دهیم نکاتی که به نظر می رسد، شرح دهید.

**قسمت دوم (پل تار):** یک روش دیگر برای پیدا کردن مقاومت مجهول  $R_X$  روش پل تار می باشد که از نظر تحلیل مداری، همان پل وتسون می باشد.

الف) مدار زیر را ببندید. ولتاژ منبع تغذیه را کمتر از ۲ ولت اعمال کنید. همچنین  $R_2$  معلوم و  $R_X$  مجهول است. به نقاط D و C هم یک سیم فلزی با طول مشخص متصل شده و سر دوم آمپر متر هم بر روی سیم DC بطور لحظه ای اتصال داده می شود.



ب) زمانی که لغزنده آمپر متر را به سیم DC اتصال می دهید، عقربه آمپر متر حرکت می کند، فقط یک نقطه از سیم DC است که اگر اتصال آمپر متر در آن نقطه قرار گیرد، آمپر متر را صفر می کند. بوسیله خط کشی که زیر سیم قرار گرفته طول سیم مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  را مشخص نمایید و آنها را  $L_1$  و  $L_2$  بنامید.

ج) حال با استفاده از رابطه ی پل تار که به راحتی از رابطه پل وتسون نتیجه می شود مقدار  $R_X$  را

$$R_X = \frac{L_2}{L_1} \times R_3$$

مثال: اگر  $L_1=47\text{cm}$  و  $L_2=53\text{cm}$  و  $R_3=100\Omega$  باشد آنگاه  $R_x$  معلوم شده است.

### سؤال:

۱- رابطه پل تار را با استفاده از تحلیلی که در آزمایش پل وتسون به کار بردیم اثبات کنید.

۲- علت اینکه تاکید کردیم ولتاژ منبع کمتر از ۲ ولت باشد چیست؟

۳- الف) مواردی را ذکر کنید که رعایت آنها در بستن مدار و انجام آزمایش موجب دقیق تر شدن این کار گردد.

ب) یکی از مواردی که ممکن است خطای زیاد ایجاد کند آن است که  $L_1$  و  $L_2$  اختلاف زیادی با هم داشته باشند. علت را توضیح دهید.

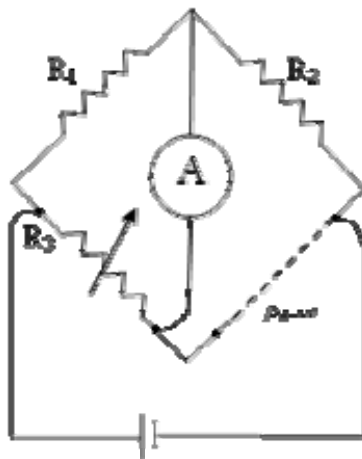
### آزمایش شماره ۳

$$R = \rho \frac{l}{A} \text{ تحقیق رابطه}$$

این رابطه مربوط به مقاومت سیم هاست و بیان می کند که مقاومت سیم ها با طول سیم ( $L$ ) نسبت مستقیم و با سطح مقطع آن ( $A$ ) نسبت عکس دارد و جنس سیم هم در مقدار مقاومت موثر بوده و با مقاومت سیم رابطه مستقیم دارد. این آزمایش ۳ مرحله دارد:

**مرحله اول:**  $\rho$  و  $A$  را ثابت بگیرید و  $L$  طول سیم را تغییر دهید و ببینید مقاومت سیم چگونه تغییر می کند. برای آنکه مقاومت سیم ها را بدست آوریم از آزمایش پل وتستون استفاده می کنیم.

الف) مدار زیر را ببندید.



تذکر: از آنجا که مقاومت سیم خیلی کوچک است، باید دقت شود مقاومت روبروی آن  $R_1$  را نسبت به  $R_2$  چندین برابر بزرگتر در نظر گرفت تا آزمایش بهتر صورت گیرد.

ب) جدول زیر را کامل کنید (فقط کافی است با هر بار تغییر طول سیم عددی از جعبه مقاومت که آمپر متر را صفر می کند در جدول یادداشت نموده و محاسبات را بعدا سر فرصت انجام دهید)

نوع سیم	d(mm)	L(cm)	R <sub>3</sub>	R <sub>x</sub> =R <sub>2</sub> /R <sub>1</sub> *R <sub>3</sub>
نیکل کروم	0.5	50		
نیکل کروم	0.5	100		
نیکل کروم	0.5	150		
نیکل کروم	0.5	200		

ج) بدون آنکه R<sub>x</sub> مقاومت سیم ها را یادداشت کنید میتوانید با مقایسه R<sub>2</sub> های بدست آمده آزمایش را حدس بزنید. چگونه؟

د) مواردی را که در آزمایش خطا ایجاد می کند ذکر کنید.

ه) نمودار R<sub>x</sub> بر حسب L را رسم نموده و از روی نمودار مقدار ρ را بدست آورید.

$$\left(\frac{\rho}{A} = \frac{\Delta R_x}{\Delta L} \text{ : راهنمایی}\right)$$

مرحله دوم: طول L و جنس ρ را ثابت بگیرید و سطح مقطع A را تغییر دهید.

الف) برای آنکه مقاومت سیم ها با قطر های متفاوت را بدست آوریم از مدار پل وتسون استفاده می کنیم.

ب) مدار قبل را بدون آنکه تغییر دهید به کار برید.

ج) جدول زیر را تکمیل کنید.

جنس سیم	L(cm)	d(mm)	R <sub>3</sub>	R <sub>x</sub> =R <sub>2</sub> /R <sub>1</sub> *R <sub>3</sub>	A	1/A
نیکل کروم	50	0.25				
نیکل کروم	50	0.35				
نیکل کروم	50	0.45				
نیکل کروم	50	0.5				

د) در صورتی که آزمایش صحیح صورت بگیرد نمودار R<sub>x</sub> بر حسب یک خط راست می شود.

ضمن رسم نمودار با استفاده از شیب خط یک بار دیگر مقدار  $\rho$  نیکل کروم را با استفاده از فرمول زیر بدست آورید.

$$\frac{\Delta R_x}{\Delta\left(\frac{1}{A}\right)} = \rho l$$

**مرحله سوم:** بررسی نقش  $\rho$  در مقاومت سیم

قطر و طول سیم را ثابت گرفته و جنس سیم ها را تغییر می دهیم و مقاومت آنها را با استفاده از مدار پل وتسون بدست می آوریم.

الف) جدول زیر را کامل کنید.

$\rho$	$R_x$	$R_3$	A	d(mm)	L(cm)	جنس سیم
				0.5	50	نیکل کروم
				0.5	50	کنستانتین
				0.5	50	برنج

ب) مقاومت ویژه و رسانندگی سیم های مختلف را با همدیگر مقایسه کنید.

سؤال: اکنون توضیح دهید اگر بخواهیم برای انتقال برق از نقطه ای به نقطه ی دیگر (که فاصله این دو نقطه از همدیگر نسبتاً زیاد است) استفاده کنیم چه شرایطی را باید برای این سیم ها مدنظر داشته باشیم که در غیر این صورت چه مشکلاتی ممکن است رخ دهد.

## آزمایش شماره ۴

### تحقیق تغییر مقاومت الکتریکی بر حسب دما

توضیح: هدف از این آزمایش بررسی تغییرات مقاومت الکتریکی یک رسانا با دماست.

می دانیم مقاومت ویژه فلزها پیوسته با افزایش دما افزایش می یابد. در گستره محدودی تا حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد رسانندگی فلزها تقریباً با رابطه زیر مشخص می شود.

$$\rho_T = \rho_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

(۱-۴)

که در آن  $\rho_0$  مقاومت ویژه در دمای مرجع  $T_0$  (معمولاً ۰ یا ۲۰ درجه سانتیگراد) و  $\rho_T$  مقاومت ویژه در دمای  $T$  است. و ضریب  $\alpha$  را ضریب دمایی مقاومت ویژه می نامند. و طوری انتخاب می شود که در گستره دماهای انتخاب شده معادله با تجربه کاملاً سازگار باشد. در جدول زیر مقدار  $\rho$  و  $\alpha$  مربوط به فلزات مختلف درج شده است.

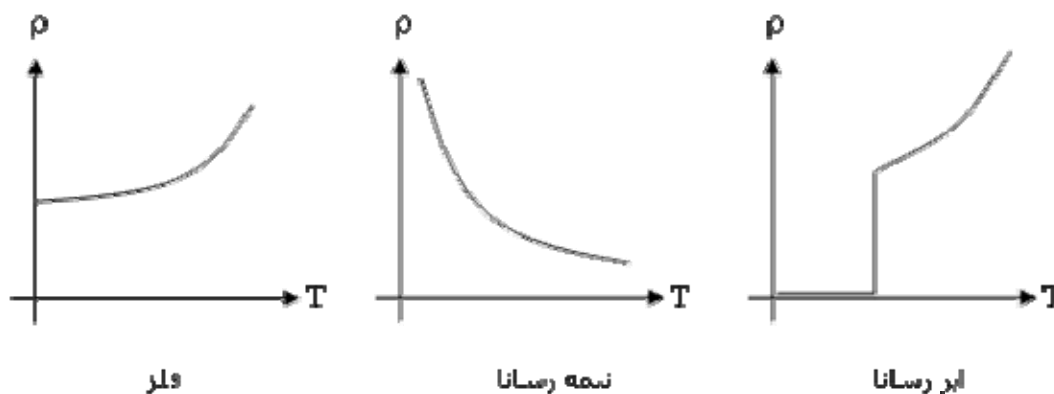
مقاومت ویژه چند ماده در دمای اتاق ۲۰ درجه سانتیگراد

ضریب دمایی مقاومت ویژه $\alpha(K^{-1})$	مقاومت ویژه $\rho(\Omega.m)$	ماده
$4.1 \times 10^{-3}$	$1.62 \times 10^{-8}$	نقره
$4.3 \times 10^{-3}$	$1.69 \times 10^{-8}$	مس
$4.4 \times 10^{-3}$	$2.75 \times 10^{-8}$	آلمینیوم
$4.5 \times 10^{-3}$	$5.25 \times 10^{-8}$	تنگستن
$6.5 \times 10^{-3}$	$9.68 \times 10^{-8}$	آهن
$3.9 \times 10^{-3}$	$10.6 \times 10^{-8}$	پلاتین
$2 \times 10^{-6}$	$48.2 \times 10^{-8}$	منگانه <sup>۱</sup>
$-70 \times 10^{-3}$	$2.5 \times 10^{+3}$	سیلیسیم خالص
	$8.7 \times 10^{-4}$	سیلیسیم نوع n <sup>۲</sup>
	$2.8 \times 10^{-3}$	سیلیسیم نوع p <sup>۲</sup>
	$10^{10} - 10^{14}$	شیشه
	$\sim 10^{16}$	کوارتز مذاب

۱. آلمانی است که به طور خامی به منظور داشتن  $\alpha$  ی کوچک ساخته شده است.
۲. این نوع نیمه رسانا از سیلیسیم با ناخالصی تسخیر ساخته شده و دارای چگالی حاملهای بار  $10^{23} \text{ cm}^{-3}$  می باشد.
۳. این نیز سیلیسیم با ناخالصی آلمینیوم تهیه شده و دارای چگالی حاملهای بار  $10^{23} \text{ cm}^{-3}$  است.

مقاومت ویژه سیلیسیوم ذاتی (غیر فلز) با افزایش دما کاهش می یابد. یعنی ضریب دمایی مقاومت آن منفی است. در عرض مقاومت ویژه آلیاژ مانگانس (منگائین) در عمل تابع دما نیست.

در شکل زیر تغییر مقاومت ویژه با دما در فلزها، نیمه رساناها و یک ابررسانا نشان داده شده است.

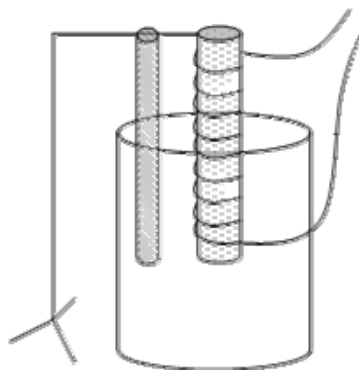


مقاومت ویژه نیم رسانا در برابر افزایش دما کاهش چشمگیری دارد.

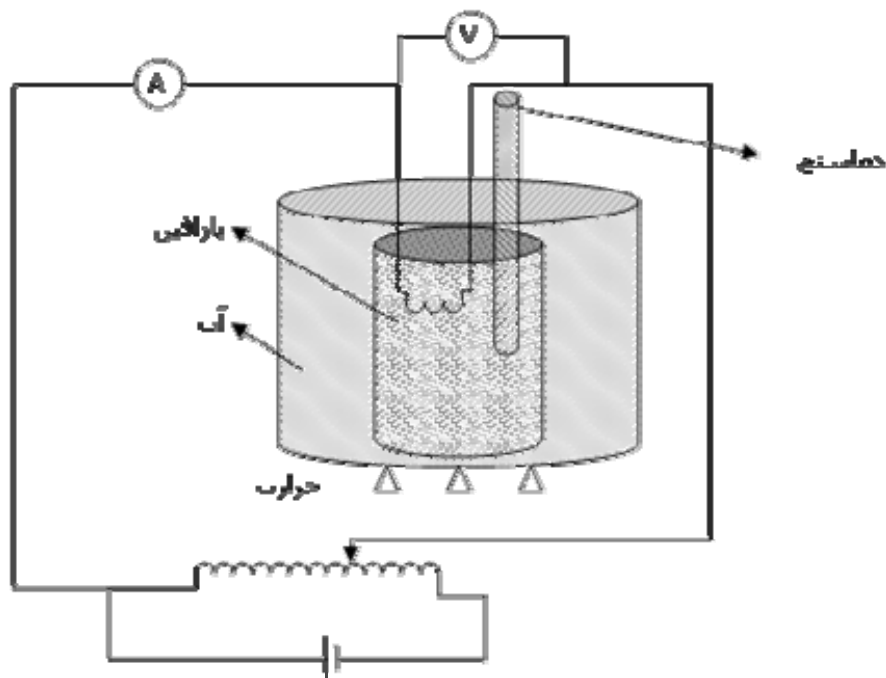
بعضی از مواد و از آن جمله چند آلیاژ و اکسید فلزی، خاصیتی به نام ابر رسانندگی از خود نشان می دهند و با کاهش دما مقاومت ویژه ابتدا به طور هموار، (نظیر فلزها) کاهش می یابد و سپس در یک دمای بحرانی  $T_C$  گذار فازی به وقوع می پیوندد و مقاومت ویژه به صفر سقوط می کند. همین که جریانی در یک حلقه ابررسانا برقرار شود بدون وجود میدان محرک تا ابد ادامه می یابد. اکسید مختلطی از ایریدیم، مس، و باریوم با  $T_C$  برابر  $110\text{K}$  (دمای جوش نیتروژن) ساخته شده است.

**لوازم مورد نیاز:** منبع تغذیه، رئوستا، آمپر متر، ولت متر، سیم مقاومت دار، بشر کوچک و بزرگ، پارافین، آب، منبع گرما، دماسنج.

**شرح آزمایش:** مطابق شکل زیر بشر حاوی پارافین مایع را در داخل بشر حاوی آب قرار داده و مجموعه را روی منبع گرما قرار می دهیم.



دماسنج را داخل ظرف پارافین قرار داده دمای اولیه را در قسمت ثبت نتایج یادداشت می کنیم ( $T_0$ ). اینک سیم مقاومت دار را مطابق مدار شکل زیر در مدار قرار داده منبع تغذیه را روی ۲ ولت تنظیم کرده ولتاژ و جریان در دمای  $T_0$  را از روی ولت متر و آمپر متر خوانده و یادداشت می کنیم.



اکنون منبع گرما را روشن کرده و به ازای هر ۵ درجه افزایش دما ( $T$ ) مقدار جریان را خوانده و در جدول (۱-۴) یادداشت کنید و از روی رابطه (۱-۴)، با دانستن  $R$  سیم مقاومت دار، مقدار  $R_T$  را بدست آورده و یادداشت کنید.

نمودار تغییرات  $T$  بر حسب  $R$  را رسم کنید.

توجه داشته باشید که رابطه (۱-۴) را می توان بر حسب مقاومت اهمی  $R$  به صورت زیر نوشت:

$$R_T = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)]$$

(۲-۴)

در این صورت با بدست آوردن  $V$  و  $I$  در هر مرحله به کمک قانون اهم روابط را تحقیق کنید.

نتایج آزمایش:

$$T_0 = \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$\rho_0 = \text{ (}\Omega\text{m)}$$

$$R_0 = V_0 / I_0 = \quad \Omega$$

$R_0$	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$R_4$	$R_5$	$R_6$

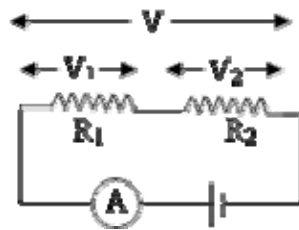
$T_0$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$	$T_6$

## آزمایش شماره ۵

### تحقیق رابطه به هم بستن مقاومت های سری و موازی

قسمت اول: تحقیق رابطه به هم بستن مقاومت های سری

مداری مطابق شکل زیر ببندید و مقاومت را به طور سری در مدار قرار دهید و مقدار ولتاژ منبع تغذیه را روی ۳ ولت قرار دهید.



با اندازه گیری مقادیر  $V_1$  و  $V_2$  و  $V$  کل و  $I$  ابتدا ثابت کنید که

$$V = V_1 + V_2$$

سپس با توجه به اینکه از تمام مدار یک جریان ثابت  $I$  عبور خواهد کرد و به کمک رابطه:

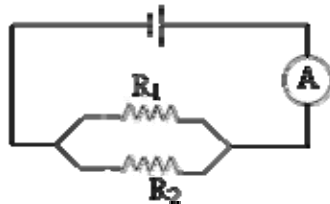
$$\frac{V}{I} = \frac{V_1}{I} + \frac{V_2}{I}$$

و نتیجه گیری از قانون اهم ثابت کنید که:

$$R = R_1 + R_2 \text{ (معادل سری)}$$

قسمت دوم: تحقیق رابطه به هم بستن مقاومت های موازی

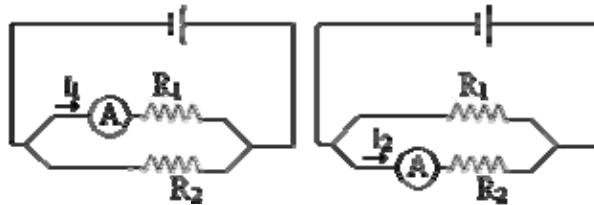
مداری مطابق شکل زیر ببندید و دو مقاومت  $R_1$  و  $R_2$  را بطور موازی در مدار قرار داده و حتما مقدار ولتاژ منبع تغذیه را روی ۳ ولت تنظیم کنید.



ابتدا به کمک یک ولت متر تحقیق کنید که

$$V = V_1 + V_2 \text{ کل}$$

سپس مطابق شکل زیر جریان شاخه های  $I_1$  و  $I_2$  را اندازه گیری کنید.



ثابت کنید که:  $I = I_1 + I_2$  کل

$$\frac{I}{V} = \frac{I_1}{V_1} = \frac{I_2}{V_2} \text{ سپس با توجه به رابطه}$$

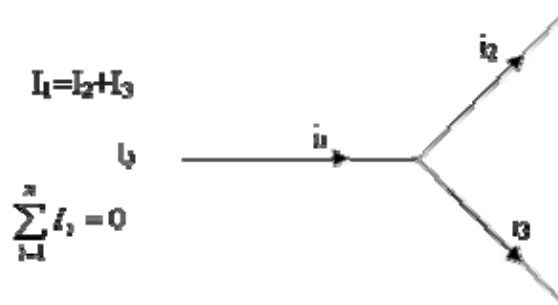
$$\frac{1}{R_{\text{معادل}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ و نتیجه گیری از قانون اهم ثابت کنید که:}$$

## آزمایش شماره ۶

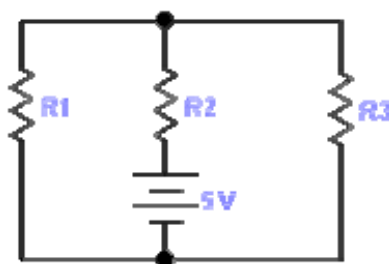
### تحقیق قوانین ولتاژ و جریان کیرشهف

قسمت اول: بررسی قانون KCL

قانون جریان کیرشهف یا KCL: جمع جریان های وارد شده به یک گره برابر با جمع جریان های خارج شده از همان گره می باشد.

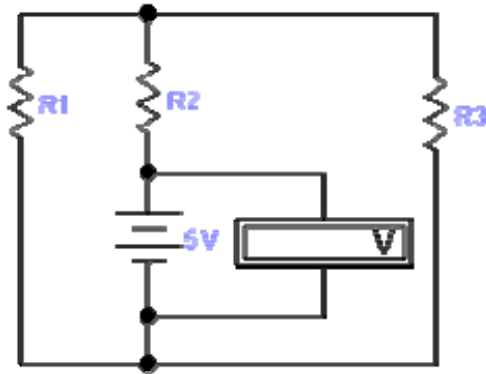


الف) مدار مقابل را ببندید. ( $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  را به دلخواه در نظر بگیرید)



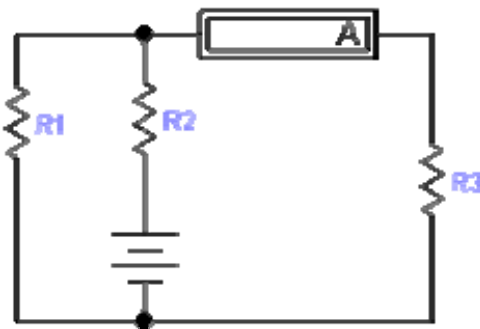
تذکره: هنگامی که منبع تغذیه را روی ولتاژ ۵ ولت تنظیم می کنید باید منبع تغذیه در مدار حضور داشته باشد نه خارج مدار.

شکل زیر در حال تنظیم منبع تغذیه با ولت متر



ب) برای آنکه قانون KCL را در گره A در بطور تجربی تحقیق کنید بوسیله آمپر متر جریان های  $i_1$  و  $i_2$  و  $i_3$  را بدست آورید و در جدول شماره ۱ یادداشت نمایید.

تذکره: قراردادن آمپر متر در مدار با قطع مدار همراه است. شکل زیر یک نمونه اندازه گیری جریان را نشان می دهد.

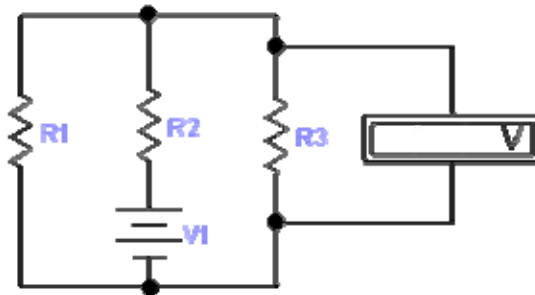


	$i_3$	$i_2$	$i_1$
اندازه گیری بوسیله آمپر متر			
محاسبه از طریق حل مدار			
مقایسه و درصد خطا			

ج) در صورتی که آمپر متر خطای کمی داشته باشد؛ عددی که با آمپر متر بدست می آید نسبت به اعدادی که از طریق حل تئوری مدار بدست آمده اند، واقعی تر و بهتر است. چرا؟

## قسمت دوم: بررسی قانون KVL

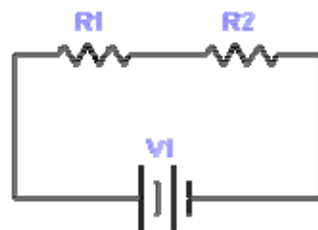
قانون ولتاژ کیرشهف یا KVL: جمع جبری اختلاف پتانسیل های یک حلقه از مدار صفر است.  
الف) مدار زیر را در نظر بگیرید.



ب) بوسیله ولت متر، ولتاژ دو سر مقاومت های  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  و منبع تغذیه ( $V$ ) را یادداشت نمایید. (شکل بالا ولت متر در حال اندازه گیری ولتاژ دو سر مقاومت  $R_3$  را نشان می دهد که معادل  $R_2 I_2$  یا  $V_2$  می باشد)

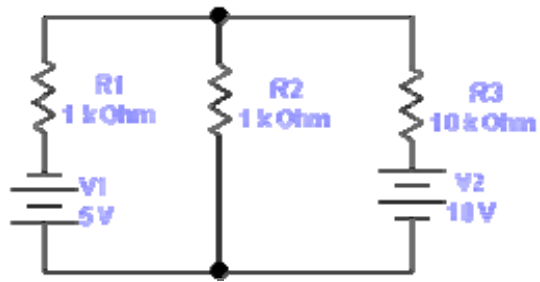
ج) اختلاف پتانسیل های بدست آمده برای روابط (KVL) را، که در حلقه ها نوشته شده است، قرار داده و صحت قانون KVL را تحقیق کنید.

یادآوری: KVL مدار تک حلقه ای زیر معادل  $V - IR_1 - IR_2 = 0$  می باشد که نشان می دهد جمع اختلاف پتانسیل های دو سر مقاومت ها برابر ولتاژ منبع می باشد.



د) در صورتی که اعداد به دست آمده از ولت متر کاملا روابط KVL نوشته شده در حلقه را ارضاء نمی کند، علت آن اختلاف جزئی را شرح دهید.

ه) مدار زیر را حل کنید.

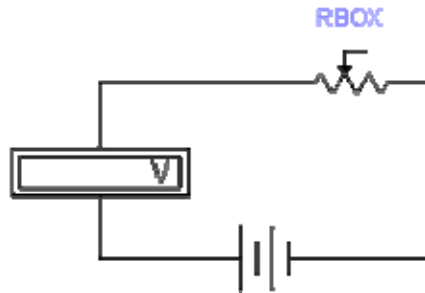


## آزمایش شماره ۷

### مقاومت درونی ولت متر و آمپر متر

قسمت اول: تعیین مقاومت درونی ولت متر

الف) مدار زیر را ببندید (جعبه مقاومت از نوع مگا اهمی است). به عبارتی ولت متری را که قصد دارید مقاومت درونی آن را به دست آورید با یک جعبه مقاومت مگا اهمی و یک منبع تغذیه سری کنید.



ب) جعبه مقاومت  $R$  را صفر کرده آنگاه ولتاژ منبع تغذیه را آنقدر زیاد کنید تا ولت متر حداکثر انحراف مورد نظر در آن رنج را نشان دهد. (در این لحظه ولت متر عدد  $E$  را نشان می دهد  $V=E$ )

ج) مقاومت جعبه را تغییر دهید و جدول زیر را کامل کنید.

$R(M\Omega)$	0	1	3	5	7	9
$V$						
$1/V$						

د) با در نظر گرفتن رابطه  $\frac{1}{V} = \frac{1}{R_V E} \times R + \frac{1}{E}$  نمودار  $\frac{1}{V}$  بر حسب  $R$  -  $(R_{BOX})$  را در کاغذ شطرنجی یا با استفاده از نرم افزار Excel رسم کنید.

هـ: محل تقاطع خط با محور  $R$ ، مقدار  $R_V$  (مقاومت درونی ولت متر) را مشخص می کند. چرا؟

و: ولت متر را از مدار جدا کرده و دو سر آن را به اهم متر بنید  $RV$  بدست آمده از طریق اهم متر را با مقدار بدست آمده از روی نمودار مقایسه کرده و درصد خطای آن را مشخص نمایید.

### سؤال:

۱- توضیح دهید چرا در این آزمایش از جعبه مقاومت مگاهمی استفاده شده است؟

۲- عدد خوانده شده توسط ولت متر چه چیزی را نشان می دهد؟

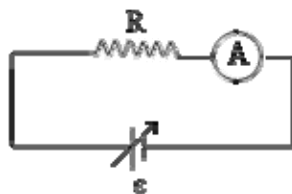
۳- مقاومت درونی منبع تغذیه چقدر می تواند در درصد خطای آزمایش مؤثر باشد؟

۴- رابطه  $\frac{1}{V} = \frac{1}{R_V E} \times R + \frac{1}{E}$  را اثبات نموده و تشریح نمایید.

۵- در صورتی که می توانید، روش های دیگری را برای بدست آوردن مقاومت درونی ولت متر نام برده و شرح دهید.

### قسمت دوم: تعیین مقاومت درونی آمپر متر

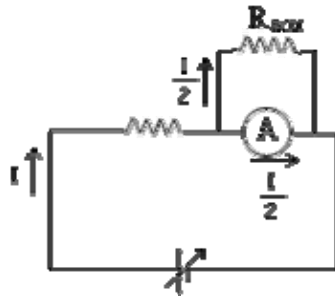
الف) مدار زیر را ببندید. (آمپر متر را در حالت رنج موردنظر قرار دهید و با یک مقاومت بالای ۱۰۰ اهم و یک منبع تغذیه سری کنید.)



ب) ولتاژ منبع تغذیه را آرام آرام از صفر زیاد کرده تا آمپر متر حداکثر مقدار خود را نشان دهد و این عدد را یادداشت نمایید

ج) حالا یک جعبه مقاومت با حساسیت ۰,۱ اهمی را با آمپر متر موازی نمایید.

د) آنقدر جعبه مقاومت را تغییر دهید تا عدد قبلی آمپرمتر که برابر  $I$  بود، نصف گردد. ( $I/2$ )



ه) در این حالت عدد جعبه را یادداشت نمایید. مقاومت آمپرمتر  $R_a$  برابر عدد نشان داده شده توسط جعبه مقاومت است، چرا؟

و) رنج آمپرمتر را تغییر داده و آزمایش را تکرار کنید.

ح) آمپرمتر را از مدار خارج کرده، اهم متر را به آن نصب نمایید و مقدار مقاومت آمپرمتر را در هر دو رنج؛ بوسیله ی اهم متر بخوانید و درصد خطای آزمایش را از رابطه روبرو بدست آورید.

### سؤال:

۱- آیا رنج های مختلف آمپرمتر مقاومت های درونی متفاوتی دارند؟ چرا؟

۲- نقش مقاومت  $R$  در مدار چیست؟

۳- گالوانومتر چیست؟ ساختمان داخلی آن را ترسیم نمایید

۴- در صورتی که بخواهیم گالوانومتر را به آمپرمتر و ولت متر تبدیل کنیم چه کاری باید انجام شود؟

۵- روابط تبدیل گالوانومتر به ولت متر و آمپرمتر را اثبات کنید.

۶- در صورتی که یک آمپرمتر حداکثر جریان  $0.1$  آمپر را اندازه بگیرد و مقاومت درونی  $5$  اهم داشته باشد و بخواهیم جریان یک آمپر را اندازه بگیرد چه باید بکنیم؟ با رسم مدار توضیح دهید.

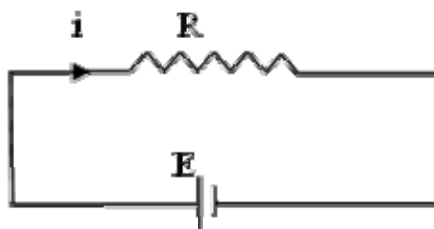
۷- روشهای دیگری برای بدست آوردن مقاومت درونی آمپرمتر طراحی نمایید.

## آزمایش شماره ۸

### اندازه گیری مقاومت درونی منبع تغذیه

تئوری آزمایش: هنگام استفاده از منبع تغذیه مثلا در شکل زیر می توانیم بنویسیم:

$$V = E - ri \quad (۱-۸)$$



که در آن  $E$  نیروی محرکه منبع،  $r$  مقاومت درونی منبع (مقاومتی که منبع در مدارهای الکتریکی از خود نشان می دهد) و  $V$  اختلاف پتانسیل دو سر مولد وقتی با نیروی محرکه برابر است که  $i=0$  باشد و یا  $i=0$  باشد. در حالت دوم اگر  $i=0$  باشد طبعاً جریانی از مدار نمی گذرد. یعنی مدار باز است و  $E=V$  می شود.

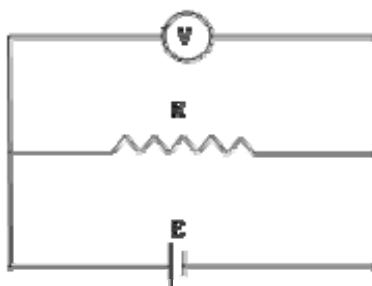
پس برای این که نیروی محرکه منبع را اندازه بگیریم کافی است دو قطب آن را مستقیم به ولت متر وصل کرده و  $E$  را اندازه بگیریم. چون مقاومت درونی ولت متر زیاد است و اجازه عبور جریان را از منبع نمی دهد آنگاه  $E \approx V$  خواهد بود.

از رابطه (۱-۸) می توانیم را را بدست آوریم:

$$r = \frac{E - V}{i} \quad (۲-۸)$$

وسایل مورد نیاز: ولت متر، مقاومت های زیر ۱۰۰ اهم، منبع تغذیه یا باتری، سیم رابط.

روش اجرای آزمایش: ابتدا منبع تغذیه را روشن کرده مطابق دستور بالا نیروی محرکه منبع (E) را اندازه گیری کرده و سپس مدار شکل زیر را سوار نموده و با استفاده از رابطه (۸-۲) و جایگزینی رابطه  $i = \frac{V}{R}$  در آن در نهایت رابطه (۸-۳) بدست می آید.



$$r = \frac{(E - V)R}{V} \quad (۸-۳)$$

مقاومت های مختلف زیر ۱۰۰ اهم را در مدار قرار داده هر بار  $V$  مربوطه را اندازه می گیریم و جدول زیر را پر کرده و  $I$  را برای هر مورد بدست آورده و میانگین می گیریم و مقاومت درونی منبع برای ولتاژ حاصل می شود.

R								
V								

### سؤال:

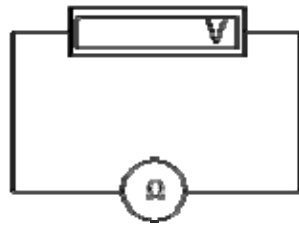
- ۱- چرا در این آزمایش از مقاومت های کوچک (زیر ۱۰۰ اهم) استفاده می شود؟
- ۲- اگر سلکتور منبع تغذیه را تغییر دهیم، مقاومت درونی منبع تغییر می کند یا خیر؟
- ۳- آیا با اهم متر می توانیم مقاومت منبع را به طور مستقیم اندازه گیری کنیم؟

## آزمایش شماره ۹

### بررسی شارژ و دشارژ خازن

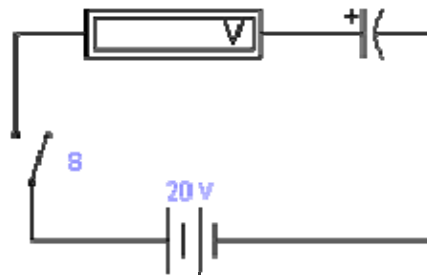
قسمت اول: شارژ خازن

الف) اهم متر را به دو سر ولت متر زده و مقاومت درونی ولت متر دیجیتالی را یادداشت نمایید.



ب) دو سر خازن موردنظر را (که حدود ۵ تا ۱۰ میکرو فاراد است) با یک سیم اتصال کوتاه نمایید.

ج) مدار زیر را ببندید.



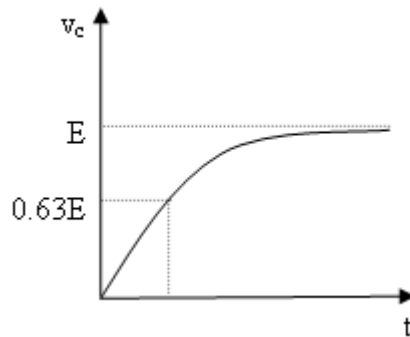
$T_{(s)}$	5	10	15	20	30	40	50	...	240	260	280	300
V												
$V_C = E - V$												

د) حال کلید S و زمان سنج را همزمان استارت نمایید.

دقت کنید با گذشت زمان عددی که ولت متر نشان می دهد، رفته رفته کم می شود؛ به عبارتی خازن در حال شارژ شدن است.

ه) آزمایش را تا ۲۰۰ الی ۳۰۰ ثانیه ادامه دهید و جدول زیر را کامل کنید. (V ولتاژی است که ولت متر در هر لحظه نشان می دهد)

و) نمودار ( $t-V_c$ ) رسم نمایید.



ز) از روی نمودار مقدار t را در ازای  $0.63E$  بدست آورید و آن را یادداشت نمایید.

ح) عدد بدست آمده، ثابت زمانی خازن نام دارد مقدار ظرفیت خازن را از روی ثابت زمانی بدست آورید. ( ثابت زمانی خازن برابر  $R_V C$  است)

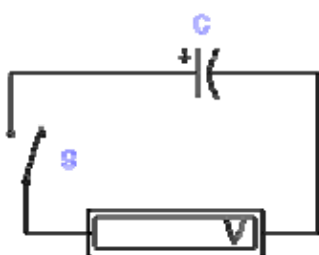
**سؤال:**

۱. رابطه مربوط به شارژ خازن را اثبات کنید.  $V_C = E(1 - e^{\frac{-t}{R_V C}})$
۲. نقش ولت متر را در مدار قسمت (ج) توضیح داده، بگویید عددی را که نمایش می دهد نشانگر چیست؟
۳. ثابت زمانی را تعریف کنید و بگویید چنانچه مقدار ثابت زمانی آزمایش کوچک باشد چه مشکلی در ترسیم منحنی شارژ خازن پیش می آید؟
۴. چرا در ابتدا دو سر خازن را اتصال کوتاه می کنیم؟

### قسمت دوم: دشارژ خازن (تخلیه بار از روی صفحات خازن)

الف) ابتدا خازن مورد نظر (۵ الی ۱۰ میکرو فاراد) را به منبع تغذیه ۲۰ ولت وصل کرده و چند ثانیه آن را در حالت شارژ قرار می دهیم. اکنون  $V_C=20V$  است. قصد داریم آن را آرام آرام دشارژ کرده سپس منحنی آن را رسم کنیم.

ب) مدار زیر را ببندید. (ولت متر با مقاومت درونی  $R_V$  را با کلید S و خازن سری کنید)



ج) کلید S و زمان سنج را همزمان استارت نموده و جدول زیر را کامل نمایید.

$T(s)$	0	5	10	15	20	30	40	...	200	220	240	260
$V_C$												

د) منحنی  $V_C$  بر حسب  $t$  را رسم نموده و مقدار  $t$  را در ازای  $0.37E$  از روی منحنی به دست آورید.

ه) مقدار ظرفیت خازن را از رابطه  $\tau = R_V C$  (ثابت زمانی خازن) بدست آورده و با ظرفیت خازن در حالت شارژ مقایسه کنید.

### سؤال:

۱. نقش ولت‌متر دیجیتالی را در مدار دشارژ خازن توضیح دهید.
۲. ثابت زمانی خازن را در حالت دشارژ تعریف کنید.
۳. ظرفیت خازن  $0.01nF$  می باشد. مشخص نمایید ظرفیت این خازن چند پیکوفاراد می باشد.

## آزمایش شماره ۱۰

### تحقیق قوانین الکترومغناطیس و بررسی نحوه کار ترانسفورماتورها

قسمت اول: تحقیق قوانین الکترومغناطیس

مقدمه:

پدیده آهنربایی ۲۵۰۰ سال پیش در شهر ماگنیزیا مشاهده شد. آهنربا دارای دو قطب شمال N و جنوب S است. دو قطب مخالف یا غیرهمنام یکدیگر را جذب و دو قطب مشابه یا همنام یکدیگر را دفع می کنند عقربه قطب نما به این دلیل رو به شمال می ایستد که زمین شبیه یک آهنربا عمل می کند بطوریکه قطب شمال جغرافیایی زمین به قطب جنوب مغناطیسی آن بسیار نزدیک است. محور مغناطیسی زمین کاملا موازی محور جغرافیایی (محور چرخش) آن نیست لذا عقربه قطب نما از امتداد (شمال-جنوب) جغرافیایی انحرافی دارد که از نقطه ای به نقطه ای دیگر تغییر می کند و زاویه انحراف مغناطیسی نامیده می شود. همچنین امتداد شمال-جنوب مغناطیسی افقی نیست و با سطح افق زاویه ای می سازد که آن را زاویه میل مغناطیسی می نامند.

قطب های مغناطیسی همواره به صورت جفت ظاهر می شوند.

در سال ۱۸۱۹ هانس کریستین اورستد دانشمند دانمارکی کشف کرد که وقتی عقربه قطب نما در مجاور سیم حامل جریان قرار می گیرد منحرف می شود. تحقیقات مشابه توسط آندره آمپر در فرانسه صورت گرفت و چند سال بعد مایکل فاراد در انگلستان و جوزف هانری در امریکا کشف کرد که حرکت دادن آهنربا در مجاور یک حلقه رسانا باعث پیدایش جریان الکتریکی در حلقه می شود و نیز عبور جریان الکتریکی متغیر از یک حلقه باعث پیدایش جریان الکتریکی در حلقه دیگر می شود که در مجاورت حلقه اول قرار دارد اینها نخستین ارتباط میان جریان الکتریکی و میدان مغناطیسی را نشان داد که منجر به معادلات ماکسول شد که همچون معادلات نیوتن در مکانیک اصول قوانین الکترومغناطیسی بشمار می آیند.

زمانی که بار مثبت نقطه ای با سرعت  $V$  از محلی شروع به حرکت می کند در صورتی که نیروی منحرف کننده  $F$  بر آن اثر کند در اطراف بار القای مغناطیسی  $B$  وجود دارد که مقدار آن از رابطه:

$$F=qV \times B \text{ یا } F=qVB \sin \theta$$

به دست می آید که در آن  $\theta$  زاویه بین  $V$  و  $B$  است.

میدان مغناطیسی را با خطوطی فرضی بنام خطوط القا نمایش می دهیم به طوری که در هر نقطه امتداد  $B$  بر خطوط القا مماس است و مقدار مطلق بردار  $B$  در هر نقطه با تعداد خطوط القایی که از واحد سطح عمود بر امتداد این خطوط عبور می کنند متناسب است. کل خطوط القا که از یک سطح دلخواه عبور می کند شار مغناطیسی نامیده می شود.

$$\phi_B = \int B \cdot ds$$

اگر  $B$  یکنواخت باشد:

$$\phi = B \cdot s \cdot \cos \alpha$$

که  $\alpha$  زاویه بین خط عمود بر سطح با امتداد  $B$  است.

بنابر قانون فارادی، تغییر شار  $\Phi$  باعث ایجاد جریان القایی می شود این تغییر شار را می توان یک مغناطیس یا یک مدار بسته حامل جریان بوجود آورد.

نیروی محرکه القایی  $e$  در یک مدار با تغییر شار مغناطیسی متناسب است:

$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$

بر طبق قانون لنز جهت جریان القایی بگونه ای است که همواره بوسیله آثار الکترومغناطیسی که ایجاد می کند با عامل به وجود آورنده جریان مخالفت می کند. در واقع جهت جریان القایی بگونه ای است که با شار مغناطیسی که به وجود می آورد، تغییر شار مغناطیسی تولید کننده خودش را خنثی می کند.

علامت منفی در رابطه بالا به دلیل قانون لنز ظاهر می شود.

به منظور ایجاد جریان القایی باید  $\Phi$  یا  $B$  یا  $S$  یا  $\alpha$  تغییر کند.

علاوه بر بردار القایی  $B$  که نیروی میدان مغناطیس بر بار متحرک را مشخص می کند بردار دیگری به نام بردار شدت میدان مغناطیسی به شکل زیر تعریف می شود.

$$H = \frac{B_0}{\mu_0} = \text{القای مغناطیسی در خلاء/ثابت تراوایی مغناطیسی}$$

شدت میدان در داخل حلقه ها متناسب است با شدت جریانی که آن را بوجود آورده است و از طرفی شار مغناطیسی با شدت میدان متناسب است لذا:

$$L I = \Phi$$

در سیم پیچ بر اثر تغییر شار مغناطیسی نیروی محرکه خودالقایی بوجود می آید:

$$e = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

که این مفهوم دینامیکی I است در عمل جریان خود القایی عموماً در زمان قطع و وصل جریان در مدار های الکتریکی بوجود می آید (L را ضریب خودالقایی می گویند و واحد آن هانری است).

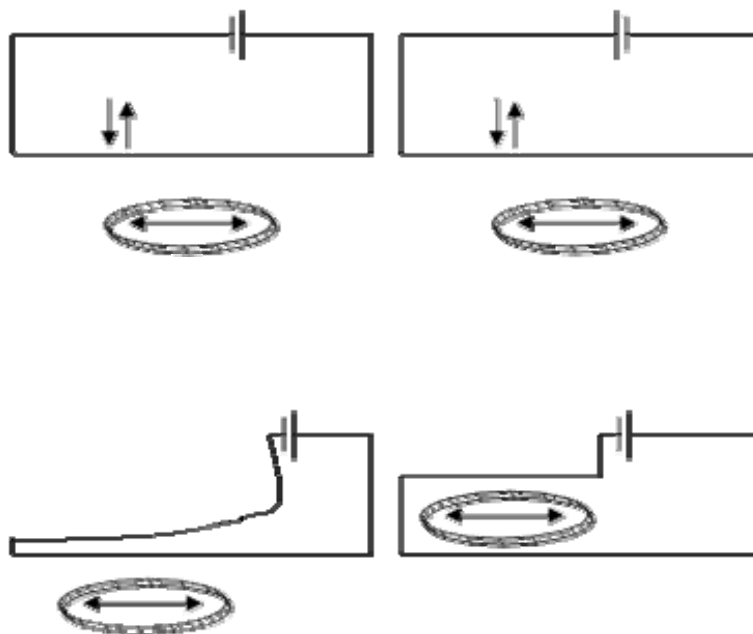
**منظور از آزمایش:** بررسی آزمایش ارستد، فارادی، قانون دست راست آمپر، قانون لنز، در مورد جریان های القایی و خود القایی.

توجه: در اجرای آزمایش های زیر بیشتر جنبه ی مشاهده ای تا اندازه گیری و بدست آوردن عدد مورد توجه است.

**روش اجرای آزمایش:**

**الف) تعیین قطب های یک قطب نما بعنوان یک ابزار اندازه گیری ساده مغناطیسی:** عقربه قطب نما یک مغناطیس دائمی کوچک است که در بیشتر آزمایش های این بخش به صورت یک ابزار اندازه گیری مورد استفاده قرار خواهد گرفت لذا در مرحله نخست باید قطب های شمال و جنوب مغناطیسی آن را تعیین کند به این منظور قطب نمایی را که در اختیار دارید به صورت افقی در دست قرار دهید و با توجه به مقدمه این بخش و جهت های شمال و جنوب جغرافیایی که در محل آزمایش از آنها اطلاع دارید قطب N و S قطب نما را تعیین کنید.

ب) تحقیق قانون دست راست آمپر و بررسی آزمایش ارستد: می خواهیم بررسی کنیم که آیا در اطراف سیم حامل جریان میدان مغناطیسی بوجود می آید لذا سیم دو سر فیش را به قطب های مثبت و منفی منبع تغذیه DC وصل کرده و عقربه مغناطیسی را که در اختیار دارید مطابق حالت های مختلف شکل زیر قرار داده و نتیجه هر حالت آنچه را که مشاهده می کنید یادداشت کنید.



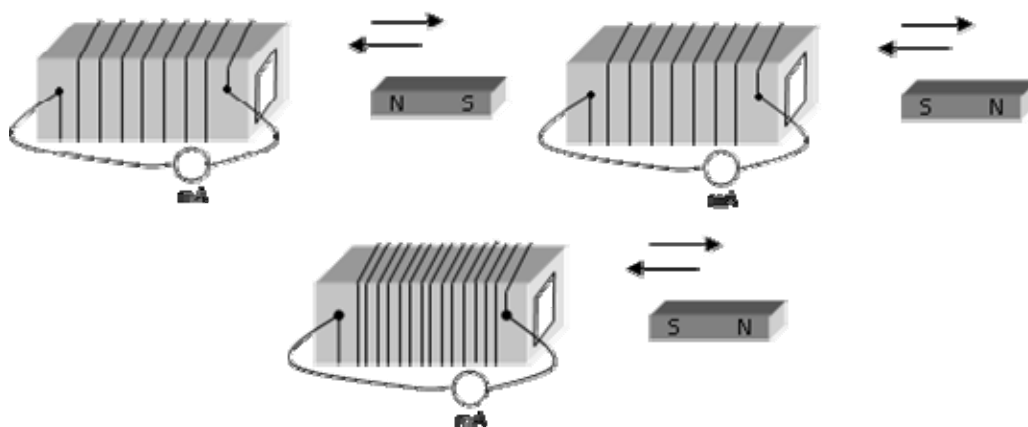
توجه داشته باشید که تعریف قانون دست راست آمپر به شرح زیر است:

اگر از یک سیم جریانی عبور کند و در اطراف سیم میدان مغناطیسی ایجاد می شود بنا به تعریف اگر انگشت شصت دست راست را در جهت قراردادی جریان (+ به -) قرار دهیم نوک چهار انگشت نیمه خمیده دست راست در هر نقطه جهت میدان مغناطیسی ایجاد شده در آن نقطه را نشان می دهد.

ارتباط کارهایی را که انجام داده اید با رابطه زیر تحقیق کنید:

$$B = \mu_0 \frac{NI}{d}$$

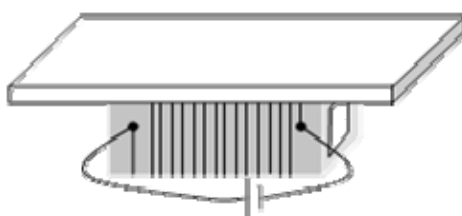
پ) **تحقیق قانون فارادی:** بر طبق قانون فارادی بوسیله یک میدان مغناطیسی می توان در یک سیم پیچ جریانی القایی ایجاد نمود لذا به کمک سیم پیچ و میلی آمپر متر عقربه ای مداری به شکل زیر تشکیل داده و در هر حالت تغییر عقربه میلی آمپر متر عقربه ای را مشاهده و نتایج را ثبت کنید.



ارتباط کارهایی را که انجام داده اید با رابطه زیر تحقیق کنید.

$$e = - \frac{d\phi}{dt}$$

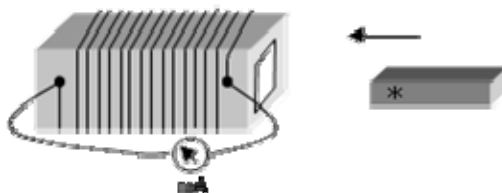
ت) **مشاهده خطوط فلو یا شار مغناطیسی:** مداری مطابق شکل زیر به کمک سیم پیچ و منبع DC و صفحه پلاستیکی ایجاد کرده و پس از پاشیدن براده های آهن روی صفحه پلاستیکی و با نگاه داشتن صفحه پلاستیکی و زدن ضربه های متوالی خطوط فلو یا شار و قطب های مغناطیسی را مشاهده کنید.



ث) **تعیین قطب های بوجود آمده در سیم پیچ:** مدار حالت (ت) را در نظر گرفته پس از جمع آوری صفحه پلاستیکی و براده های آهن به کمک قطب نما قطب های سیم پیچ متصل به منبع تغذیه روشن را تعیین کنید بر طبق قانون عکس دست راست در جهت ورود جریان مثبت به سیم

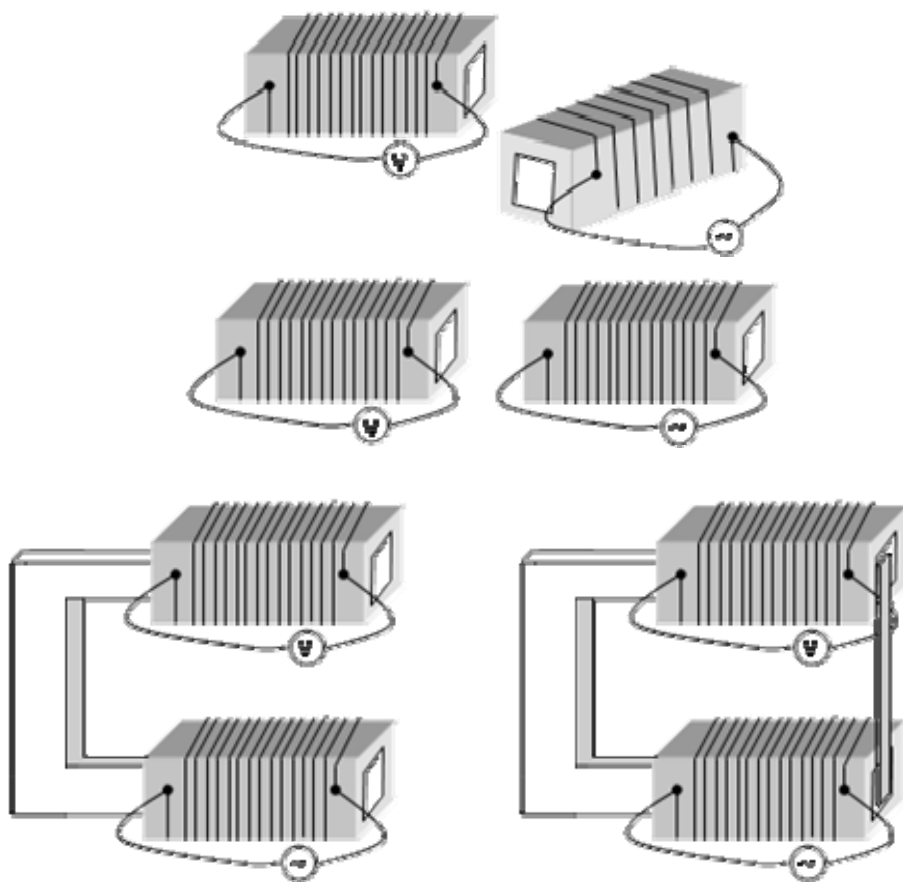
پیچ و جهت پیچیده شدن سیمپیچ باشد نوک انگشت شصت دست راست جهت قطب N را در سیم پیچ نشان خواهد داد. این را تحقیق کنید.

ج) تعیین قطب مجهول آهنربا: مطابق شکل زیر آهنربای تیغه ای را درون کاغذ پیچیده و آن را به داخل سیم متصل به میلی آمپر متر وارد کنید آیا می توانید از روی جهت حرکت عقربه میلی آمپر متر، قطبی را که وارد سیم پیچ کرده اید تعیین کنید.

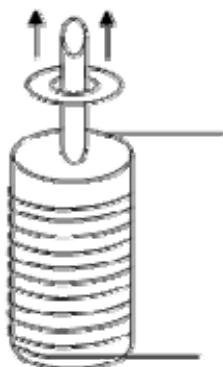


چ) تحقیق رابطه:  $\phi_B = \oint B \cdot ds = \int B \cos \phi dA = \int B \cdot dA$

مدارهای شکل زیر را به ترتیب ایجاد کرده و یک سیم پیچ را به ولت متر دیجیتال و دیگری را به منبع تغذیه AC در حدود چند ولت متصل کرده سپس در هر قسمت وضعیت بوجود آمده را نسبت به رابطه  $\phi_B = \oint B \cdot ds$  تحقیق کرده و توضیح دهید.



ح) مشاهده و توضیح پدیده حلقه تامسون: سیم پیچ شکل زیر را به منبع تغذیه AC متصل کرده و رفتار حلقه فلزی را توجیه کنید.



سؤال:

۱. مواد از نظر خاصیت مغناطیسی به چند نوع تقسیم می شوند؟ نام ببرید.
۲. نقش اسپین الکترون ها در خواص مغناطیسی مواد چیست؟

### قسمت دوم: کار با ترانسفورماتور

مقدمه:

ترانسفورماتور دستگاهی است که بر اساس علم الکترومغناطیس عمل می کند و به منظور ذخیره انرژی مغناطیسی و یا انتقال انرژی مورد استفاده قرار می گیرند. ترانسفورماتورها میدان مغناطیسی را در منطقه خاصی محدود و یا باعث افزایش اندازه میدان مغناطیسی می شوند.

ساختمان اصلی ترانسفورماتورها از یک هسته مغناطیسی ساخته شده که به دور آن دو سری سیمپیچ قرار گرفته است این هسته می تواند از جنس مواد پارامغناطیسی یا فرومغناطیسی باشد.

نقش هسته در ترانسفورماتورها حفظ میدان مغناطیسی ناشی از یک سیم پیچ و انتقال آن با حداقل تلفات به سیم پیچ دیگر است.

در ترانسفورماتور سیم پیچی را که به منبع تغذیه متصل است اولیه و سیم پیچ دیگر را ثانویه می نامند.

زمانی که جریان متناوبی به دو سر سیم پیچ اولیه وصل شده شار مغناطیسی متناوبی را ایجاد می کند که از طریق هسته که در لحظه درون آن دوقطبی های میکروسکوپی مغناطیسی متعددی تشکیل شده است که باعث قطع خطوط فلو یا شار مغناطیسی در سیم پیچ اولیه و ایجاد یک نیروی محرکه القایی در آن می شود که در هر لحظه در حالت ایده آل با نیروی محرکه اعمالی اولیه معادل است و اندازه آن برابر است با:

$$e_p = -K n_p \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

که در رابطه بالا  $e$  عبارتست از نیروی محرکه القایی (بر حسب ولت)،  $n_p$  عبارتست از تعداد دور سیم پیچ اولیه،  $K$  عبارتست از یک ضریب ثابت (تراوایی مغناطیسی)،  $(K=1)$ ، عبارتست از تغییر شار مغناطیسی نسبت به زمان و بر حسب وبر بر ثانیه و علامت (-) ناشی از قانون لنز است. (اگر  $f$  بر حسب ماکسول باشد:  $K=10^{-8}$ ) به همین ترتیب در سیم پیچ ثانویه نیروی محرکه القایی بوجود می آید که برابر است با:

$$e_s = -K n_s \frac{\Delta \phi}{\Delta t}$$

با تقسیم دو رابطه بالا به یکدیگر خواهیم داشت:

$$\frac{e_p}{e_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{n_p}{n_s}$$

که رابطه ترانسفورماتورها نامیده می شود.

در حالت ایده آل که درون ترانسفورماتور انرژی مصرف نمی شود و تلفات وجود ندارد لذا:

$$V_p I_p \cos \theta_p = V_s I_s \cos \theta_s \quad , \quad \theta_p = \theta_s$$

بنابراین:

$$V_p I_p = V_s I_s$$

یا به عبارتی:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p}$$

یعنی نسبت جریان ها در ترانسفورماتورهای ایده آل به نسبت عکس تعداد حلقه ها است.

## خصوصیات فیزیکی ترانسفورماتورها:

۱- چنانچه ترانسفورماتور به مصرف کننده ای متصل نباشد یعنی در طرف ثانویه باری موجود نباشد مانند یک سلف با مقاومتظاهری خیلی بزرگ عمل می کند لذا جریانی که این سلف می کشد بسیار اندک خواهد بود.

۲- ترانسفورماتورها به طور غیر ایده آل ساخته می شوند لذا راندمان آنها کمتر از ۱۰۰٪ و در حالت بسیار خوب در حدود ۹۵٪ می باشد.

$$E_{\text{eff}} = \frac{P_s}{P_p} = \text{توان خروجی / توان مصرفی} = \text{راندمان ترانسفورماتور}$$

۳- تلفات در ترانسفورماتور از دو قسمت تشکیل می شود:

الف) تلفات ناشی از سیم پیچ (مقاومت سیم ها)

ب) تلفات ناشی از هسته

تلفات هسته آهنی سیم پیچ ها ناشی از:

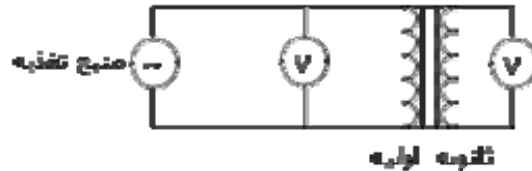
۱. اتلاف هیسترسیز
۲. جریان های گردابی فوکو
۳. پراکندگی شار یا فلو است.

اگر تعداد دور سیم پیچ ثانویه کمتر از اولیه باشد چون ولتاژ کاهش می یابد لذا ترانسفورماتور را کاهنده می نامند و در صورتیکه سیم پیچ ثانویه تعداد دوری بیش از اولیه داشته باشد آن را افزاینده می نامند.

ترانسفورماتور ها در پست های انتقال نیرو، خطوط بار، دستگاه های جوشکاری، و ابزار برقی دیگر استفاده می شود.

## روش آزمایش:

مطابق شکل زیر مدار ترانسفورماتور را بسته و در حالت های نشان داده شده در جدول ولتاژ اولیه را در حدود ۳ تا ۴ ولت تنظیم و ولتاژ ثانویه را در حالت های مختلف بدست آورده و در جدول نوشته و از آن نتیجه گیری نمایید.



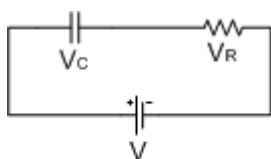
$V_s$	$V_p$	تعداد دور سیم پیچ
		$n_1 = n_2$
		$n_1 > n_2$
		$n_1 < n_2$

## پرسش:

۱. پسماند یعنی چه؟
۲. جریان های گردابی فوکو یعنی چه؟
۳. چرا هسته های ترانسفورماتور به صورت ورقه ورقه ساخته می شود؟
۴. منحنی هیستریز چیست؟

## آزمایش شماره ۱۱

### مطالعه مدارات RC و RL و RLC در جریان متناوب

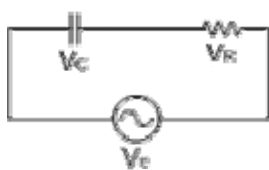


یادآوری: همان طور که آزمایش شارژ خازن را انجام دادیم (مدار مقابل را در نظر بگیرید) مشاهده کردیم که در هر لحظه رابطه جبری زیر برقرار بود.

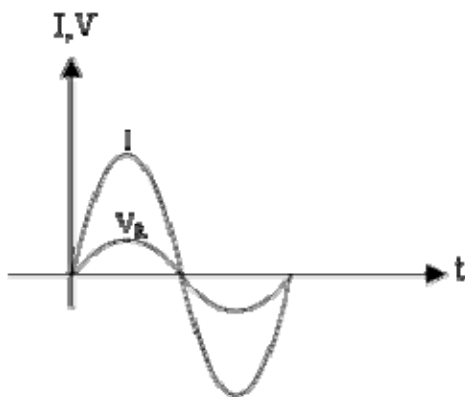
$$|V| = |V_C| + |V_R|$$

و زمانی که خازن شارژ می شد آنگاه روابط  $V_C=V$  و  $V_R=0$  و  $I=0$  برقرار می شد. در این هنگام هیچ جریانی از مدار عبور نمی کرد و برای خازن مقاومتی خیلی بزرگ در نظر می گرفتیم. (مقاومت خازن  $\approx \infty$ )

**آزمایش اول:** حال ببینیم هنگامی که منبع تغذیه را عوض می کنیم چه اتفاقی رخ می دهد. (مدار مقابل شامل خازن، مقاومت و منبع سینوسی شهری با فرکانس ۵۰ هرتز می باشد) چنانچه به وسیله ولت متر AC (متناوب) مقادیر  $V_C$  و  $V_R$  و  $V_e$  را اندازه گیری نماییم رابطه جبری  $V_R+V_C=V_e$  دیگر برقرار نیست. و روابط به صورت برداری حاکم می شود یعنی  $\vec{V}_e = \vec{V}_C + \vec{V}_R$  (به طور مثال  $5=|V_e|$  و  $3=V_C$  و  $4=V_R$  را اندازه گیری می نماید)



حال فرض کنید جریان مدار به صورت  $I=I_m \sin \omega t$  تعریف گردد آنگاه  $IR=I_m R \sin \omega t=V_R$  یعنی بین جریان و ولتاژ دو سر مقاومت هیچگونه اختلاف فازی ایجاد نمی شود. (نمودار زیر را مشاهده کنید).



ولی از آنجایی که داریم

$$q = \frac{-1}{\omega} I_m \cos \omega t \quad , \quad q = \int I dt \quad , \quad V_C = \frac{q}{C}$$

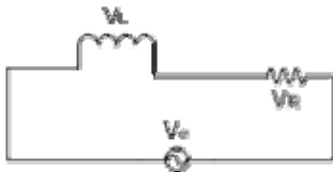
خواهیم داشت:

$$-\cos \omega t = \sin(\omega t - \pi/2) \rightarrow q = 1/\omega I_m \sin(\omega t - \pi/2) \rightarrow V_C = (1/C\omega) I_m \sin(\omega t - \pi/2)$$

چنانچه در رابطه آخر که ولتاژ دو سر خازن را بیان می کند اینگونه تعریف گردد که (مقاومت)  $V_C=IX$  پس می توان مقدار  $\frac{1}{C\omega}$  را معادل مقاومت خازنی در نظر گرفت و واحد آن را اهم نامید که معمولا این مقاومت ظاهری (راکتانس خازنی) را با  $X_C$  نشان می دهند.

آزمایش دوم: حال مدار RL مقابل را در نظر بگیرید.

اگر  $I_m \sin \omega t = I_L$  باشد آنگاه  $R I_m \sin \omega t = V_R$  اما با توجه به تعریف القابیدگی می توانیم بنویسیم  $L \frac{dI}{dt} = V_L$  و با توجه به رابطه جریان خواهیم داشت



شکل (a)

$$V_L = L \omega I_m \sin(\omega t + \pi/2)$$

یا به عبارتی (مقاومت)  $V_L = I_X$

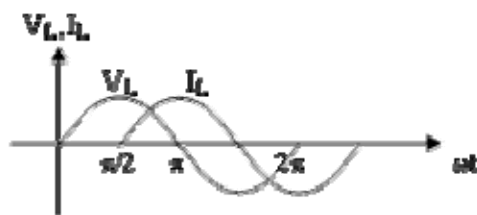
باز هم برای سیم پیچ همانند خازن در جریان متناوب مقاومتی تعریف می شود که به آن راکتانس سلفی یا مقاومت ظاهری سلفی می گویند و می نویسیم  $\omega X_L = L$  که یکای آن اهم است یا به عبارتی  $V_L = I_L X_L$ . مقایسه دو معادله

$$V_L = X_L I_m \sin(\omega t + \pi/2)$$

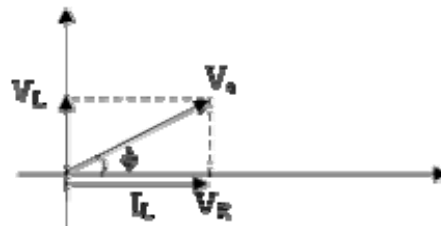
و

$$I_L = I_m \sin \omega t$$

نشان می دهد که هرگاه در مدار متناوب، سیم پیچ وجود داشته باشد، اختلاف فازی برابر  $\phi = \pi/2$  بین جریان و ولتاژ در سیم پیچ پدید می آید.



الف)  $V_L$  به اندازه  $90^\circ$  درجه نسبت به  $I_L$  جلو است



ب) وجود سیم پیچ در مدار باعث شد بین  $V_s$  و  $I_L$  و جریان مدار به اندازه  $\phi$  اختلاف فاز ایجاد شود.

با توجه به نمودار (ب) و فرض  $V_e = IZ$  داریم:

$$\cos \phi = \frac{V_R}{V_e} = \frac{R}{Z}$$

در این رابطه به  $Z$  امپدانس کل مدار می گویند. و می توان آن را بدست آورد.

$$\vec{V}_e = V_R \hat{j} + V_L \hat{j} \Rightarrow IZ = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L)^2} \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

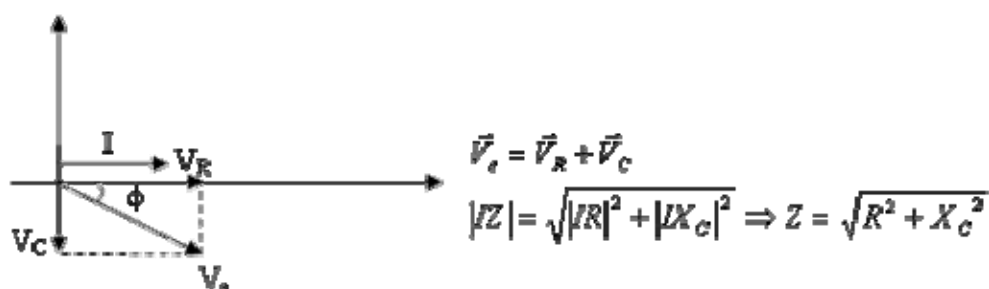
با داشتن  $\phi$  و  $R$  می توان  $Z$  و در نتیجه  $X_L$  را معلوم کرد و اگر فرکانس منبع معلوم باشد ( $v=50\text{Hz}$ ) داریم  $X = 2\pi vL$  آنگاه  $L$  ضریب خودالقایی سیم پیچ برحسب هانری معلوم می شود.

در مدار شکل (a) فرکانس منبع ثابت بود حال اگر فرکانس منبع قابل تغییر باشد عکس العمل مدار (a) به تغییرات فرکانس را می توان بررسی کرد.

با اندکی دقت متوجه می شوید که چه مفاهیمی در رابطه  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  یا  $X_C = \frac{1}{2\pi vC}$  نهفته است. و منطبق بر اطلاعات قبلی ما از خازن می باشد.

مثلا هنگامی که منبع DC در مدار وجود داشت، فرکانس مدار صفر بود. ( $v=0$ ) لذا مقاومتی که برای خازن تصور کردیم، یعنی مقاومت بی نهایت با این رابطه همخوانی دارد. ( $X_C \rightarrow \infty$ ) و حال که فرکانس جریان صفر نیست دیگر  $X_C$  بینهایت نبوده و جریانی در مدار ایجاد می شود که در واقع به دلیل شارژ و دشارژ خازن ایجاد می شود. (نه به خاطر عبور جریان از صفحات خازن، چون همطور که می دانید صفحات خازن از همدیگر جدا هستند)

همچنین اگر به رابطه آخر توجه کنیم مشاهده می کنیم که بین جریان و ولتاژ دو سر خازن  $\pi/2$  اختلاف فاز ایجاد شد، یا به تعبیری، همانطور که از نمودار فازوری معلوم می شود بین جریان و ولتاژ کل اختلاف فاز  $\phi$  ایجاد می شود که این  $\phi$  تنها بر اثر وجود خازن در جریان متناوب ایجاد گردید. اما داریم:



که در این رابطه اخیر،  $Z$  مقاومت ظاهری یا امپدانس کل مدار است. می توان روابط زیر را نوشت.

$$\cos \phi = \frac{V_R}{V_e} = \frac{R}{Z}$$

با داشتن  $V_R$  و  $V_e$  به وسیله ولت متر AC، مقدار  $\phi$  معلوم می شود و از آنجا  $Z$  معلوم می گردد. و با معلوم بودن  $Z$  و رابطه  $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$  و  $R$  می توان  $X_C$  را پیدا کرد. و از آنجا که  $X_C = \frac{1}{2\pi\nu C}$  و  $\nu = 50\text{Hz}$  معلوم است، می توان  $C$  ظرفیت خازن مورد نظر را یافت.

## آزمایش شماره ۱۲

### آشنایی با اسیلوسکوپ

دستگاه اسیلوسکوپ یا نوسان نگار برای مطالعه شکل یک نوسان و مشخصات دیگر آن مثل: پریود، طول موج، فرکانس، ولتاژ بکار می‌رود. این وسیله همچنین می‌تواند جهت اندازه‌گیری جریان مستقیم (DC) بکار برده شود.

#### ساختمان اسیلوسکوپ:

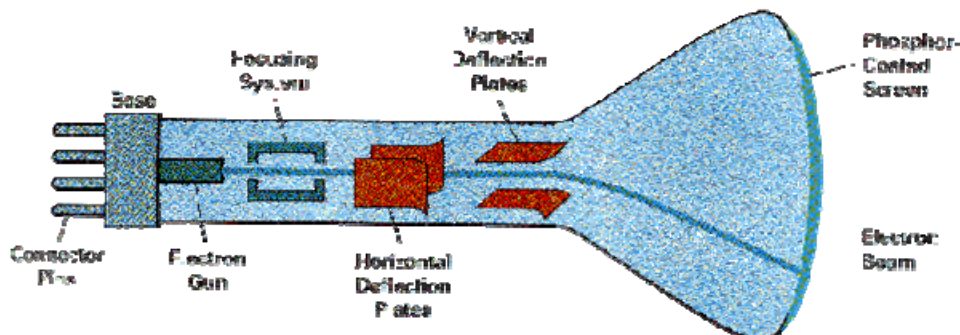
اسیلوسکوپ تشکیل شده است از یک تیوپ یا یویه کاتودی یا لامپ پرتو کاتودی (CRO – Cathode Ray Oscilloscope)

لامپ پرتو کاتدی دارای سه بخش است:

(الف) تفنگ الکترونی که برای تولید کردن باریکه الکترونی است.

(ب) سیستمی برای انحراف الکترون.

(ج) پرده ای با اندودی از ماده ای شیمیایی که انرژی باریکه را به انرژی نور مرئی تبدیل می‌کند. این اجزاء در یک محفظه شیشه ای تخلیه شده جای داده می‌شوند. شکل زیر یک لامپ پرتو کاتدی را نشان می‌دهد.



## کلیدهای اسیلوسکوپ

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

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

### گروه کنترل شامل:

الف) کلید روشن و خاموش: این کلید که با power مشخص می شود برای روشن و خاموش کردن است. پس از روشن کردن چند ثانیه طول می کشد تا اسیلوسکوپ به حالت عادی خود برگردد.

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

پ) کلید تمرکز اشعه: این کلید با FOCUS نمایان است و برای تنظیم نقطه نورانی بکار می رود.

### گروه کنترل عمودی:

که برای موقعیت و وضعیت عمودی اشعه است شامل:

الف) کلید INPUT: این کلید محل ورودی سیگنال به اسیلوسکوپ است و به صورت یک سوکت BNC می باشد. سیگنال توسط یک سیم کواکسیال به این رابط BNC وصل می شود.

ب) کلید انتخاب ورودی: این کلید دارای سه وضعیت AC-GND-DC است و نحوه ارتباط سیگنال ورودی ره به داخل اسیلوسکوپ تعیین می کند. اگر کلید در حالت AC قرار گیرد تنها قسمت متناوب سیگنال ورودی به مدارات اسیلوسکوپ می رود.

اگر در حالت DC قرار گیرد مقادیر DC موج را که به همراه دارد به مدارهای داخلی وصل می کند در حالت GNC ورودی تقویت کننده به زمین وصل می شود.

پ) **موقعیت عمودی:** که با کلید position مشخص شده است میتواند اشعه را در راستای عمودی حرکت دهد.

ت) **کلید VOLTS/DIV** یا زمان بر قسمت یا تضعیف کننده مرحله ای: میدانیم که بهره تقویت کننده اسیلوسکوپ بایستی قابل تغییر باشد تا بتواند سیگنال های مختلف با دامنه های متفاوت رت روی صفحه نمایش دهد و از صفحه خارج نشود. این کلید که با VOLTS/DIV مشخص شده است وقتی سیگنال به ورودی اعمال شود و روی صفحه اسیلوسکوپ نمایش داده شود، مقدار واقعی آن به بعد از تقسیمات که روی صفحه اشغال شده و مقدار تضعیف کننده بستگی دارد. برای مثال یک سیگنال به شرح زیر بدست می آید.

تقسیم ۶,۴ = دامنه پیک تا پیک روی صفحه.

(قسمت/ولت) ۰,۲ = مقدار تضعیف کننده.

۱,۲۸ = مقدار واقعی.  $۶,۴ \times ۰,۲ =$

علاوه بر تضعیف کننده مرحله ایی که بصورت پله ایی تغییر می کند روی این کلید، یک ولوم قرمز رنگ وجود دارد که به صورت پیوسته تغییر می کند که همیشه بایستی در وضعیتی قرار گیرد که موج را یک برابر کند، تا بتوانیم اندازه گیری دقیقی داشته باشیم.

### گروه کنترل افقی:

این گروه کلیدها تعیین کننده وضعیت انحرافی افقی اشعه و نحوه جاروب صفحه اسیلوسکوپ هستند و شامل کلیدهای زیر است.

الف) **جاروب افقی:** که با SEC/DIV یا زمان بر قسمت مشخص شده است این کلید اصلی ترین کلید کنترلی افقی است و برای کنترل زمان حرکت اشعه در مسیر افقی صفحه است و نشان می دهد که چقدر زمان طول می کشد تا اشعه یک قسمت روی صفحه را طی کند این کلید بر حسب ثانیه به تقسیم (SEC/DIV) یا میلی ثانیه به تقسیم (MSEC/DIV) و میکرو ثانیه به

تقسیم ( $\mu\text{SEC}/\text{DIV}$ ) تنظیم شده است. و به صورت ناپیوسته حرکت داده می شود بدین ترتیب می توان با اندازه گیری تعداد تقسیمات افقی که یک موج کامل اشغال کرده طول موج و در نتیجه فرکانس موج را محاسبه کرد، مثلا در همان شکل قبلی محاسبات چنین است:

تقسیم  $4,8 =$  تعداد تقسیمات یک موج.

ثانیه  $0,2 =$  کلید کنترل جاروب افقی.

ثانیه  $0,096 = 0,2 \times 4,8 =$  زمان تناوب یک سیکل کامل.

هرتز  $1,04 = 1/0,096 =$  زمان تناوب  $1/ =$  فرکانس.

البته روی کلید جاروب افقی ( $\text{SEC}/\text{DIV}$ ) یک کلید پیچشی قرمز رنگ دیگر وجود دارد که بجای تغییرات پله ای امکان تغییرات پیوسته را ایجاد می کند.

ب) **موقعیت افقی:** این کلید position نشان داده شده است که برای تغییر افقی سیگنال به چپ و راست به کار می رود و از آن برای دقت در اندازه گیری تقسیمات افقی یک سیگنال بکار می برند.

پ) **چند برابر کننده:** اگر جاروی افقی بر روی این کلید قرار داشته باشد مثلا ( $10 \text{ MEG} *$ ) آنگاه جاروب با سرعت  $10$  برابر یعنی  $1 \text{ MSEC}/\text{DIV}$  حرکت می کند.

ت) **کلید SWEEP MODE یا حالت های مختلف جاروب:** که با  $\text{MODE}$  مشخص شده است این کلید دارای سه حالت  $\text{AUTO}$  و  $\text{NORM}$  و  $\text{X-Y}$  است.

در حالت  $\text{AUTO}$  حتی اگر سیگنال ورودی وصل نباشد جاروب افقی به صورت متناوب انجام می گردد و در حالت  $\text{NORM}$  حتما باید سیگنال ورودی باشد تا جاروب افقی انجام شود وگرنه صفحه اسیلوسکوپ تاریک است در حالت  $\text{X-Y}$  مدار تریگر قطع شده و از کانال های  $1$  و  $2$  به عنوان محور  $\text{X}$  (افقی) و محور  $\text{Y}$  (عمودی) استفاده می شود.

### گروه کنترل تریگر:

تریگر در ایکترونیک به آتش کردن و یا تحریک کردن معنی شده است در اسیلوسکوپ به معنی زمان شروع جاروب افقی است. در مدل های قدیمی اسیلوسکوپ این زمان به صورت ثابت صورت می گیرد یعنی مدار تریگر را طوری تنظیم می کردند که هرگاه سیگنال ورودی در جای خاصی باشد؛ مثلا در حال عبور از صفر به سمت یک مقدار مثبت (شروع سیکل مثبت) است مدار تریگر

تحریک شده و جاروب افقی صورت می گیرد. در نتیجه همیشه سیگنال ورودی از شروع سیکل مثبت بر روی صفحه نمایش داده می شود. به این گونه اسیلوسکوپ نوع تریگر داخلی ثابت می گویند در مدارهای جدید تریگر قابل کنترل است و می توان در یک زاویه مشخص از سیگنال ورودی مدار تریگر را به کار انداختن سیگنال ورودی از آن لحظه به بعد دیده شود.

قسمت کنترل تریگر دارای کلیدهای زیر است:

الف) سطح تریگر که با LEVEL مشخص می شود. توسط این کلید چرخان می توان زمان شروع تریگر را طوری تنظیم کرد که مطابق باشد با زمان یک دامنه مشخص از سیگنال ورودی، دامنه سیگنال مورد نظر میتواند منفی، مثبت یا صفر باشد.

ب) کلید نوع اتصال تریگر که با SOURCE نشان داده شده است دارای پنج حالت است.

۱. V.MODE اگر چنانچه دکمه در وضعیت V.MODE قرار گیرد موج دندانانه آره ای به صفحات انحراف افقی وصل می باشد. و از این کلید وقتی استفاده می شود که از هر دو کانال استفاده شود.
۲. CH<sub>1</sub> در این حالت کلید MODE باید در وضعیت CH<sub>1</sub> یا CH<sub>2</sub> قرار گیرد.
۳. CH<sub>2</sub> سمت چپ در همان وضعیت قرار گیرد.
۴. LINE این وضعیت وقتی است که برق شهر بجای موج دندانانه آره ای بکار می رود.
۵. EXT در این حالت موج دندانانه آره ای داخلی قطع شده و می توان از خارج توسط ورودی EXT به صفحات افقی موج دلخواه وصل کرد.

ج) کلیدهای کوپلینگ (coupling) سه حالت، AC و FRAME و LINE دارد که در دو حالت اخیر برای کارهای ویدئویی و تلویزیون انتخاب می شود سطح LEVEL اثر ندارد و از یک سطح ولتاژ مشخص از موج دستگاه خود به خود نزدیک می کند. حالت AC وقتی است که برای فرکانس های خیلی بالا استفاده می شود. کلیدهای مدهای ورودی که با (MODE) مشخص شده است چهار حالت دارد:

الف) کانال یک (CH<sub>1</sub>) و کانال دو (CH<sub>2</sub>) که نشان دهنده این است که چه کانالی روی صفحه دیده شود.

ب) ALT یا (Alternate) برای دیدن همزمان دو موج که با کانال های ۱ و ۲ وارد شده اند، در این حالت بایستی فرکانس موج ها زیاد باشد تا چشمک بر روی صفحه دیده نشود. زیرا الکترون یک بار موج کانال ۱ و یک بار موج کانال ۲ را نشان می دهد.

پ) CHOPE این حالت برای دیدن همزمان دو کانال ولی برای موج های با فرکانس کم می باشد زیرا در این حالت یک لحظه از کانال ۱ و یک لحظه از کانال ۲ نمایش می دهد.



## انجام آزمایش های مربوط به اسیلوسکوپ

### نام آزمایش: کار با اسیلوسکوپ

هدف آزمایش: شناخت پانل اسیلوسکوپ، کالیبره کردن اسیلوسکوپ، کالیبره کردن پروب نحوه اعمال سیگنال به اسیلوسکوپ، اندازه گیری دامنه ولتاژ، اندازه گیری زمان تناوب و محاسبه فرکانس سیگنال.

قبل از شروع آزمایش به یاد داشته باشید که کلیه دستگاه های اندازه گیری از جمله اسیلوسکوپ بسیار حساس هستند؛ لذا هنگام کار کردن با اسیلوسکوپ به نکات زیر دقت کنید.

۱. هنگام تغییر رنج کلید سلکتورها، به آرامی و با دقت، رنج ها را عوض کنید زیرا کنتاکت ثابت اکثر سلکتورها از نوع مدار چایی است و احتمال خراب شدن آنها زیاد است.
۲. شدت نور را، مخصوصاً هنگامی که اسیلوسکوپ روی X-Y قرار دارد بیش از اندازه زیاد نکنید، در این حالت موج جاروب صفحات انحراف افقی قطع می شود و روی صفحه حساس فقط یک نقطه نقش می بندد. در این حالت اشعه به طور مداوم به صفحه می تابد و مواد فسفرسانس آن نقطه را خراب می کند. این خرابی منجر به ایجاد یک لکه سیاه روی صفحه می شود.
۳. کلید های فشاری روی پانل اسیلوسکوپ را هنگام تغییر حالت به آرامی فشار دهید.
۴. اسیلوسکوپ را در مکانی قرار دهید که امکان افتادن آن به طور مطلق وجود نداشته باشد.
۵. اسیلوسکوپ را در مکانی قرار دهید که اطراف آن حرارت زیاد (مانند بخاری و ...) وجود دارد یا نور خورشید مستقیماً به آن می تابد قرار ندهید.
۶. سیم پروب را هیچگاه نکشید.
۷. چنانچه ولتاژ مورد اندازه گیری در ابتدا مشخص نیست از حالت ۱۰\* (ضربدر ۱۰) پروب استفاده کنید رنج کلید سلکتور Volt/Div را در بیشترین مقدار خود قرار دهید.
۸. چنانچه بعد از روشن کردن اسیلوسکوپ اشعه روی صفحه حساس ظاهر نشد از مربی آزمایشگاه کمک بگیرید.

## آزمایش شماره (۱)

این آزمایش مربوط به شناخت پانل یک اسیلوسکوپ است. قبل از روشن کردن اسیلوسکوپ مراحل زیر را اجرا کنید.

الف) کلید سلکتور Time/div را روی عدد ۱ ms قرار دهید.

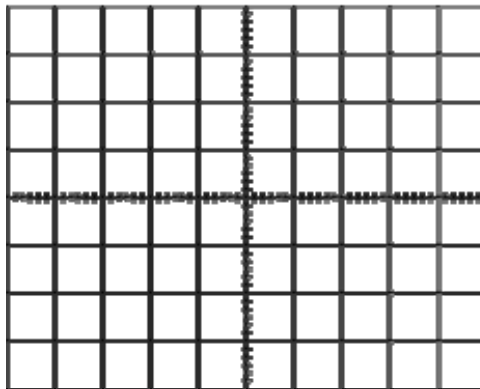
ب) کلید سلکتور Volt/Div را روی عدد ۵ ولت قرار دهید.

پ) ولوم تغییر وضعیت افقی و عمودی را در وسط بگذارید.

ت) کلید AC-GND-DC را در حالت GND قرار دهید.

ث) کلید Source trig را در حالت INT و CH<sub>1</sub> قرار دهید.

ج) اسیلوسکوپ را روشن کنید، بعد از مدت کوتاهی روی صفحه حساس اسیلوسکوپ یک خط ظاهر می شود. ولوم های INTEN و FOCUS را طوری تغییر دهید که خط ظاهر شده در روی صفحه حساس دارای شدت نور کافی در کمترین ضخامت باشد. در صورتی که خط مشاهده شده دقیقاً موازی خط افقی مدرج روی صفحه حساس نیست از مربی آزمایشگاه بخواهید به کمک یک پیچ گوشتی کوچک، خط را دقیقاً موازی درجه بندی محور افقی کند. حال خط مشاهده شده را در شکل زیر رسم کنید.



سپس کلید سلکتور Time/Div را روی ۰,۱ ثانیه قرار دهید. آنچه را که روی صفحه حساس می بینید در شکل زیر رسم کنید و همین آزمایش را در حالت ۱ ms نیز تکرار کنید و شکل موج را در همان شکل با رنگ متفاوت رسم کنید.

سؤال) چرا وقتی کلید سلکتور Time/Div روی حالت 1 ms است شکل موج آن با شکل موج در حالت 0,1 ثانیه متفاوت است.

سؤال) نقش کلید Time/Div چیست و ضرایب این کلید بیان کننده چه چیزی هستند؟

حال کلید سلکتور Time/Div را روی عدد 50ms قرار دهید و اثرهای اشعه را روی صفحه حساس ببینید. در این حالت ولوم Time Variable را بر عکس عقربه های ساعت بچرخانید و همزمان با چرخاندن ولوم اثرهای آن را روی صفحه حساس مشاهده کنید.

سؤال) نقش ولوم Variable Time چیست؟

## آزمایش شماره (۲) کالیبره کردن اسیلوسکوپ

برای اعمال ولتاژ به اسیلوسکوپ از پروب استفاده می کنند. همچنین در روی پانل اسیلوسکوپ پینی وجود دارد که روی این پین ولتاژ مربعی با دامنه حدود ۰.۵ ولت و فرکانس تقریبی ۱ KHz که در داخل اسیلوسکوپ تولید می شود، قابل دریافت است. این ولتاژ مربعی برای تنظیم پروب بکار می رود.

برای انجام این کار موج مربعی روی پانل اسیلوسکوپ را توسط پروب به ورودی اسیلوسکوپ وصل می کنیم.



شکل موج روی صفحه حساس را مطابق شکل بالا تنظیم کنید. برای این کار کلید سلکتور Time/Div را روی 0.2ms و کلید سلکتور Volt/Div را روی 0.1v قرار دهید و با تغییر ولوم قرمز رنگی که روی سلکتور Time/Div قرار دارد پیروز آن موج را به 10ms تنظیم نمایید. و تا پایان آزمایش نباستی به این ولوم ها دست بزنید همین کار را برای کانال دیگر انجام دهید.

زمانی که موج مربعی به اسیلوسکوپ وصل است مراحل زیر را انجام دهید:

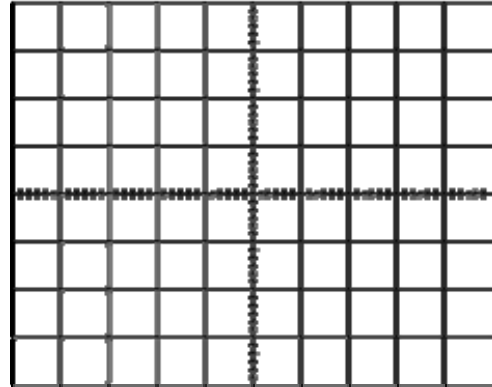
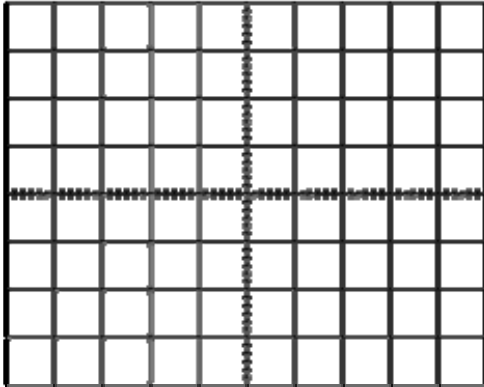
الف) کلید AC-GND-DC را در حالت GND قرار دهید.

ب) نقطه صفر را روی اولین خانه از پایین تنظیم کنید.

پ) کلید AC-GND-DC را در حالت DC قرار دهید.

ت) کلید Volt/Div را یک بار روی ۰,۵ ولت و بار دیگر روی ۰,۱ ولت قرار دهید.

ث) در هر دو حالت شکل مشاهده شده را روی شکل زیر رسم کنید. (با دو رنگ مختلف)



سؤال: نقش کلید Volt/Div چیست؟

سؤال: ضرایب کلید Volt/Div چه چیزی را نشان می دهند؟

### آزمایش شماره (۳)

همان طور که در درس تئوری نیز خوانده اید یکی از موارد کاربرد اسیلوسکوپ، اندازه گیری ولتاژ است. برای انجام آزمایش مراحل زیر را انجام دهید.

الف) ولتاژ منبع تغذیه DC را به کمک مولتی متر دقیقاً روی ۳ ولت تنظیم کنید.

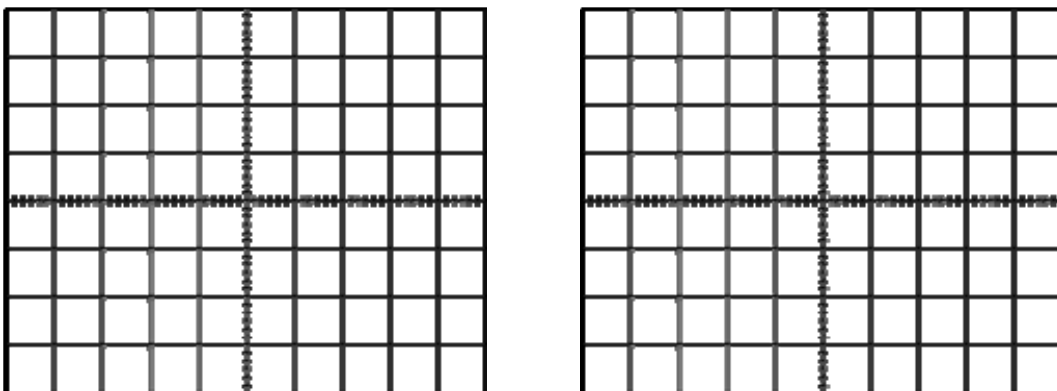
ب) کلید انتخاب AC-GAN-DC را روی حالت DC قرار دهید.

پ) به کمک سیم های رابط و پروب این ولتاژ را به اسیلوسکوپ که نقطه صفر آن را قبلاً تنظیم کرده اید وصل کنید.

ت) کلید سلکتور Time/Div را روی ۱ ولت بگذارید.

ث) مکان سلکتور Volt/Div را روی ۱ ولت بگذارید.

مکان صفر و مکان جدید خط مشاهده شده (تغییر مکان اشعه در جهت عمودی) را در شکل زیر رسم کنید.



سؤال: آیا به ازای هر ولت به اندازه یکی از تقسیمات انحراف اشعه داشته ایم؟

ج) حال کلید سلکتور Volt/Div را روی عدد ۰,۵ ولت قرار دهید و شکل انحراف اشعه در جهت عمودی را در شکل بالا با رنگ دیگر رسم کنید.

سؤال: از منحنی های شکل بالا چه نتیجه ای می گیرید؟

سؤال : برای خواندن ولتاژ چگونه باید عمل کرد؟

سؤال: اندازه گیری ولتاژ در کدام حالت از شکل بالا دقیقتر صورت می گیرد؟

#### آزمایش شماره (۴)

در این قسمت از آزمایش، می خواهیم شکل موج سیگنال AC را روی صفحه اسیلوسکوپ ببینیم. برای این کار مراحل زیر را انجام دهید:

الف) سیگنال ژنراتور صوتی را روشن کنید و آن را روی فرکانس 1kHz قرار دهید.

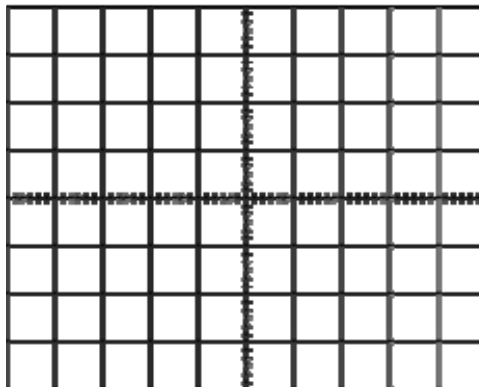
ب) پروب اسیلوسکوپ را به ترمینال های خروجی سیگنال ژنراتور صوتی وصل کنید.

پ) شکل ولتاژ خروجی را در حالت سینوسی قرار دهید.

ت) با ولوم تنظیم، دامنه سیگنال را طوری تنظیم کنید که دامنه سیگنال روی صفحه حساس برابر ۳ خانه شود و شکل موج را در شکل زیر رسم کنید.

ث) در شکل زیر کلید AC-GAN-DC را در حالت AC قرار دهید و شکل موج را مشاهده کنید. چه فرقی بین شکل موج نشان داده شده در در حالت AC و DC دارد؟

ج) دامنه و مقدار موثر موج سینوسی شکل زیر را حساب کنید.



## آزمایش شماره (۵) اندازه گیری زمان تناوب

همان طور که دیدید مدت زمانی طول می کشد تا اشعه از یک خانه به خانه دیگر حرکت کند. لذا می توان زمان تناوب (مدت زمان یک سیکل کامل) سیگنال ها را محاسبه کرد.

برای انجام این عمل مراحل زیر را انجام دهید:

الف) فرکانس سیگنال ژنراتور را در حدود ۲۵ KHz در حالت موج سینوسی قرار دهید.

ب) پروب اسیلوسکوپ را به سیگنال ژنراتور وصل کنید.

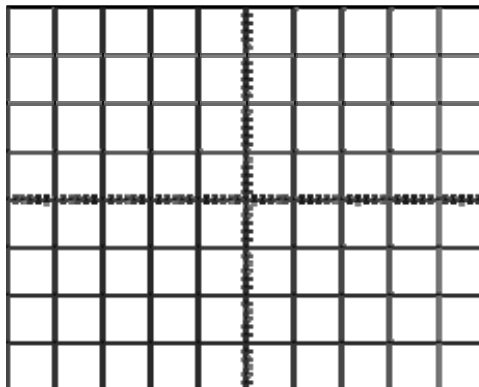
پ) شکل موج نقش بسته روی صفحه حساس را در شکل زیر رسم کنید.

ت) زمان تناوب سیگنال اعمالی به اسیلوسکوپ را با کمک رابطه زیر محاسبه نمایید.

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

با داشتن زمان تناوب یک سیگنال می توان با استفاده از رابطه فوق فرکانس را محاسبه کرد.

$$f = \frac{1}{T(\text{sec})} \text{ Hz}$$



بنابراین توسط اسیلوسکوپ های معمولی نمی توان فرکانس را به طور مستقیم اندازه گیری کرد؛ بلکه ابتدا باید زمان تناوب آن را از روم صفحه حساس محاسبه کرد و سپس به کمک رابطه بالا مقدار فرکانس را به دست آورد.

ث) حال دامنه و فرکانس سیگنال ژنراتور را به دلخواه تغییر دهید و کلید سلکتور های Time/Div

را طوری تنظیم کنید که حدود دو سیکل کامل و دامنه ۳ خانه روی صفحه حساس نقش بندد.

ج) شکل موج روی صفحه حساس را در شکل رسم کنید.

چ) دامنه و فرکانس موج رسم شده در شکل را محاسبه کنید.

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

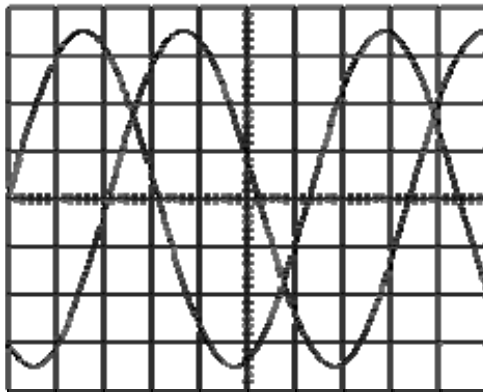
## آزمایش شماره (۶) اندازه گیری اختلاف فاز

در اندازه گیری اختلاف فاز، با استفاده از اسیلوسکوپ دو کاناله، دو سیگنال را به دو کانال اعمال می کنیم. روی صفحه اسیلوسکوپ شکل موج دو کانال به طور همزمان نشان داده می شوند و با استفاده از شکل موج ها می توان به آسانی اختلاف فاز بین آنها را محاسبه کرد. روش محاسبه اختلاف فاز در روابط زیر آمده است.

به عنوان مثال اختلاف فاز دو سیگنال در شکل زیر برابر است با:

$$\text{درجه } ۵۷,۱۴ = ۳۶۰ / ۶,۳ = \text{ فاز به ازای هر خانه}$$

$$\text{درجه } ۱۱۴,۲۸ = ۲ \times ۵۷,۱۴ = \text{ اختلاف فاز دو سیگنال}$$



الف) مدار شکل زیر را روی برد برد یا برد آزمایشگاهی ببندید.

ب) خروجی آنها را به کانال های اسیلوسکوپ وصل کنید.

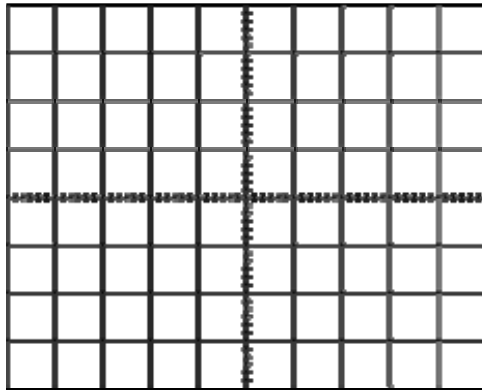
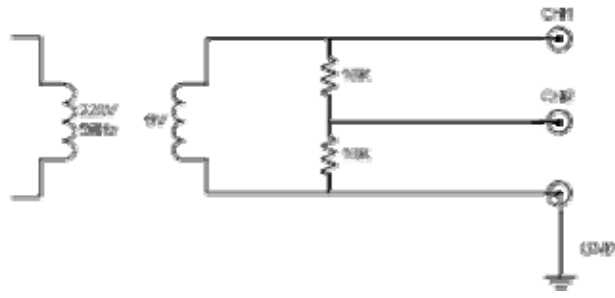
پ) شکل موج ظاهر شده روی صفحه حساس را در شکل زیر رسم کنید.

ت) اختلاف فاز بین دو سیگنال کانال های ۱ و ۲ اسیلوسکوپ را محاسبه کنید.

ث) کلید حالت را روی CHOP قرار دهید زیرا فرکانس منبع ۵۰ Hz است.

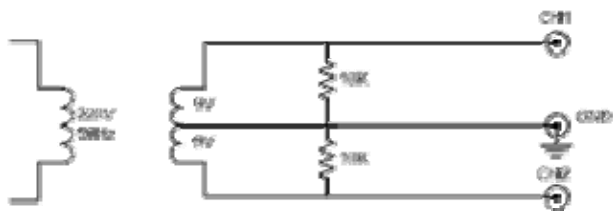
تعداد خانه های دربرگرفته شده توسط یک سیکل / ۳۶۰ = اختلاف فاز به ازای هر خانه

اختلاف فاز به ازای هر خانه × تعداد خانه های اختلاف فاز = اختلاف فاز



## آزمایش شماره (۷)

مدار شکل زیر را ببندید و مراحل آزمایش شماره (۶) را تکرار کنید.



اسیلوسکوپ را تنظیم و سپس مقادیر رنج را یادداشت کنید.

$$\text{Volt/Div} = \text{CH}_1$$

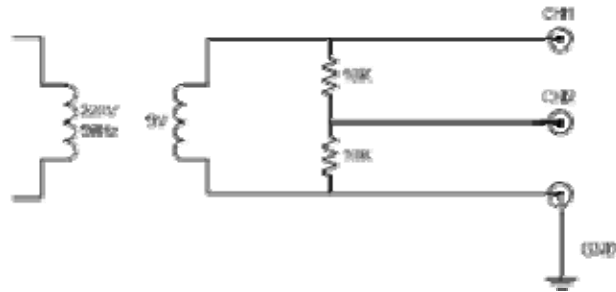
$$\text{Volt/Div} = \text{CH}_2$$

$$\text{Time/Div} =$$

$$\text{Source Trig} = \text{CH}_1 \text{ or } \text{CH}_2 \text{ or line}$$

## آزمایش شماره (۸)

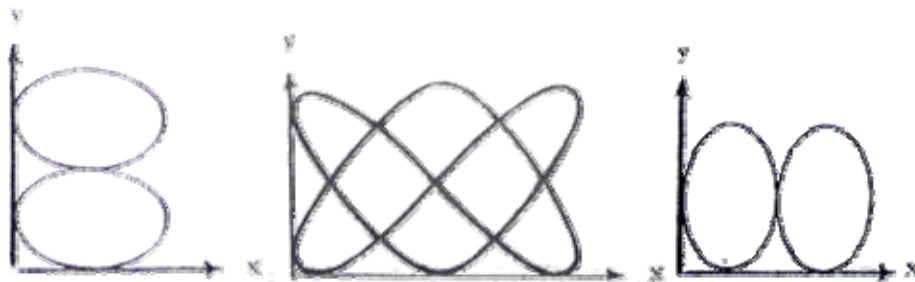
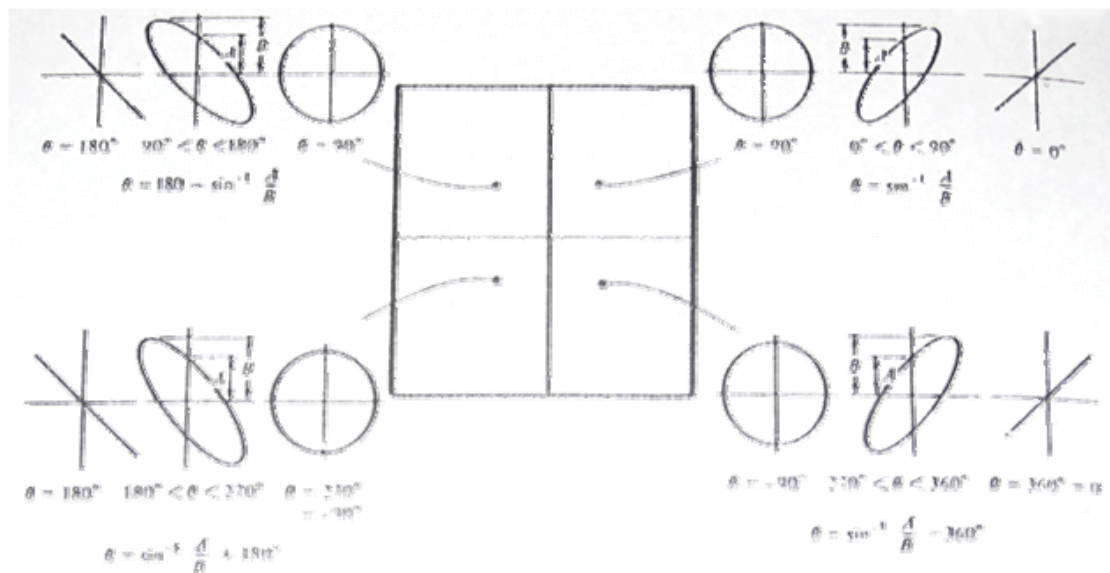
مدار شکل زیر را ببندید و مراحل آزمایش (۶) را تکرار نمایید.



## منحنی های لیسازور:

اگر دو نیرو در امتداد های عمود بر هم به جسمی وارد شوند و هر کدام از آنها یک حرکت نوسانی به جسم بدهند تحت تاثیر این دو نیرو مسیر بسته ایی را طی می کند که شکل آن مسیر ها را لیسازور گویند.

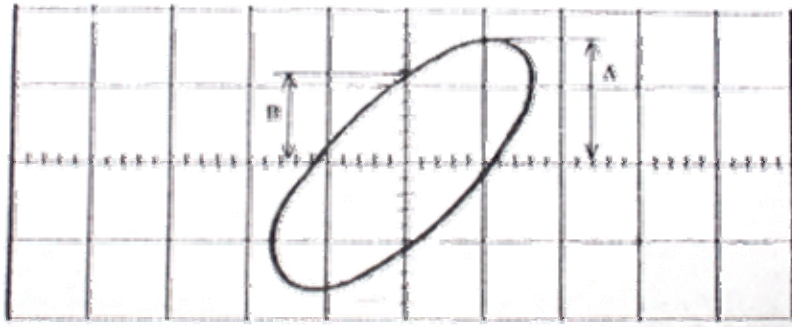
موقعی که پرتو الکترونی از میان صفحه های خازنی عبور کند تحت اثر میدان الکتریکی دارای حرکت نوسانی خواهد بود و روی صفحه اسیلوسکوپ یک خط مشاهده می شود. اکنون اگر به دو خازن دو ولتاژ نوسانی متصل شود الکترون ها در دو سطح عمودبرهم نوسان خواهند داشت. در حالتی که نسبت بسامد دو ولتاژ متغییر دو عدد درست باشد یکی از اشکال لیسازور روی صفحه اسیلوسکوپ تشکیل می شود.



## اندازه گیری اختلاف فاز به روش اشکال لیسازور:

روش اندازه گیری اختلاف فاز توضیح داده شده، یکی از دقیق ترین روش های اندازه گیری اختلاف فاز است. روش دیگری نیز وجود دارد که بیشتر در اسیلوسکوپ های یک کاناله از آن استفاده می شود.

در شکل زیر در این روش از اشکال لیسازور استفاده می شود. یک نمونه از اشکال لیسازور رسم شده است در این روش MODE باید روی X-Y قرار گیرد.



اختلاف فاز از رابطه زیر به دست می آید.

$$\phi = \sin^{-1} \frac{B}{A}$$

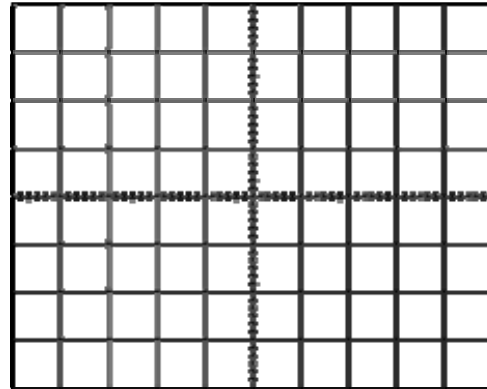
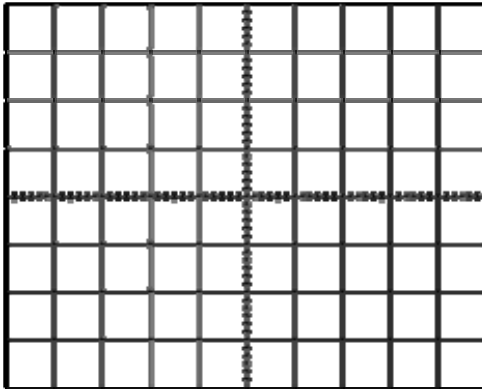
A و B تعداد خانه ها هستند.

### آزمایش شماره (۹)

اختلاف فاز مدار شکل آزمایش شماره ۶ را به صورت اشکال لیسازور بدست آورده و شکل لیسازور را در شکل زیر رسم کنید.

### آزمایش شماره (۱۰)

اختلاف فاز مدار شکل آزمایش شماره ۸ را به صورت اشکال لیسازور بدست آورده و شکل لیسازور را در شکل زیر رسم کنید.



## آزمایش شماره (۱۱)

در صورتی که فرکانس یکی از ولتاژهای متناوب معلوم باشد به کمک شکل های لیسازور می توان بسامد مجهول ولتاژ دیگر را بدست آورد برای این کار لیسازور حاصل را در مستطیلی قرار می دهند و از رابطه  $F_2 = \frac{n_1}{n_2} F_1$  فرکانس مجهول را بدست می آورند.

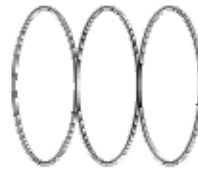
$F_1$  بسامد معلوم،  $F_2$  بسامد مجهول،  $n_2$  تعداد نقاط تماس در امتداد لبه افقی مستطیل و  $n_1$  تعداد نقاط تماس در امتداد لبه قائم مستطیل است مانند شکل زیر که  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{4}{2}$  است.



$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{2}{2}$$



$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{4}{2}$$



$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{6}{2}$$

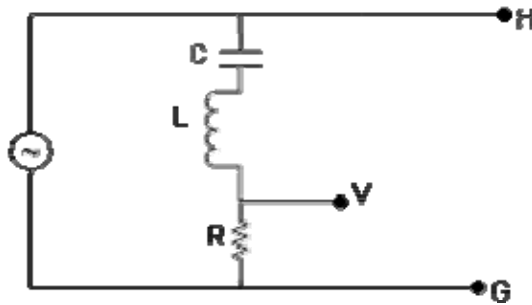


$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{6}{4}$$

## آزمایش شماره (۱۲)

### رزنانس (همنوایی)

خازن C و مقاومت R و سلف L را بصورت سری به یکدیگر متصل کرده و مطابق شکل زیر به نوسان ساز وصل کنید.



نقاط H و G را به ورودی افقی و V و G را به ورودی قائم وصل کنید (توجه داشته باشید که نقطه V و G به زمین ورودی ها وصل شده باشد) در فرکانسی که راکتانسی سلف برابر راکتانس خازن باشد مدار در حال تشدید است.

یعنی  $2\pi f L = \frac{1}{2\pi f C}$  و فرکانس تشدید  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  خواهد شد در این حالت امپدانس مدار به صورت مقاومت خالص در آمده و مساوی با R خواهد بود و جریان (که متناسب با انحراف Y است) با ولتاژ (که متناسب با انحراف X است) همفاز می گردد.

دامنه سیگنال را برای انحراف های X و Y از دیدگاه اسیلوسکوپ یکسان کنید. (در حالت تشدید شکل بیضی به خط مورب تبدیل می شود)

یعنی X و Y همفاز شوند (در این صورت شکل منحنی به چه صورتی در می آید؟) به تغییر شکل منحنی در هنگام کاهش یا افزایش فرکانس توجه کرده و شکل های حاصله را رسم نمایید.