دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

دستور کار

آزمایشگاه فیزیک پایه II (الکتریسیته و مغناطیس)

تهیه و تنظیم: آزمایشگاه فیزیک پایه

فهرست ..... صفحه

رسم نمودار با Excel ۲

آشنایی با قطعات و مصرف کننده‌ها ۹

تحقیق قانون $R = \rho \frac{L}{A}$ ۲۸

اندازه‌گیری مقاومت درونی منبع تغذیه ۳۱

پل وتسون و پل تار ۳۳

قانون اهم و کیرشهف ۳۷

شارژ و دشارژ خازن ٤١

ترانسفورماتور ٤٦

بررسی مدارهای RLC در جریان متناوب ۵۰

اسیلوسکوپ ۵۸

در تهیه گزارش کار نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- موضوع آزمایش ـ نام ونام خانوادگی ـ تاریخ انجام آزمایش ـ تاریخ نوشتن گزارش کار
- هدف از انجام آزمایش
- وسایل مورد نیاز و دقت آنها
- تئوری آزمایش با ذکر روابط و رسم نمودارها
- روش انجام آزمایش
- انجام محاسبات و محاسبه خطا
- پاسخ دادن به سوالات آخر هر دستور کار
- استنباط شخصی از آزمایش

مقدمه:

این دستور کار با توجه به امکانات آزمایشگاهی موجود جمع‌آوری شده است و مطمئنا عاری از اشتباه نخواهد بود. لذا از کلیه اساتید و دانشجویان محترم بعلت وجود بعضی از نقایص عذر خواهی نموده و منتظر نظرات سازنده شما هستیم.

مهر ماه ۱۳۹۳

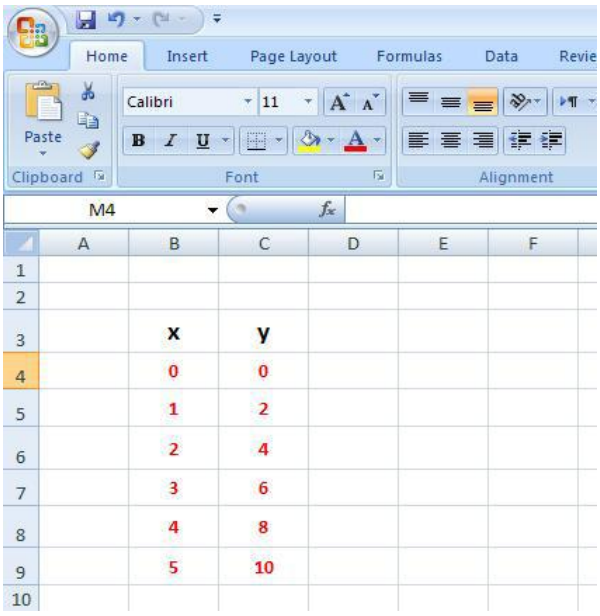
آزمایشگاه فیزیک

دانشگاه قم

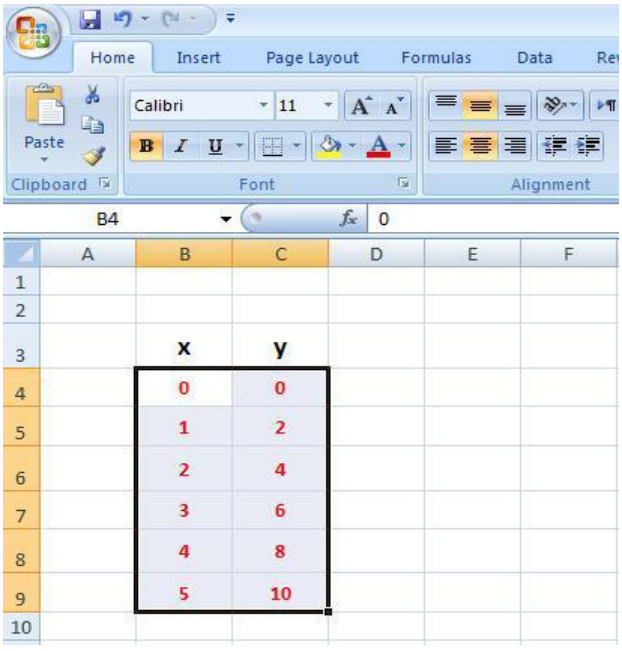
آموزش نرم افزار Excel

رسم نمودار:

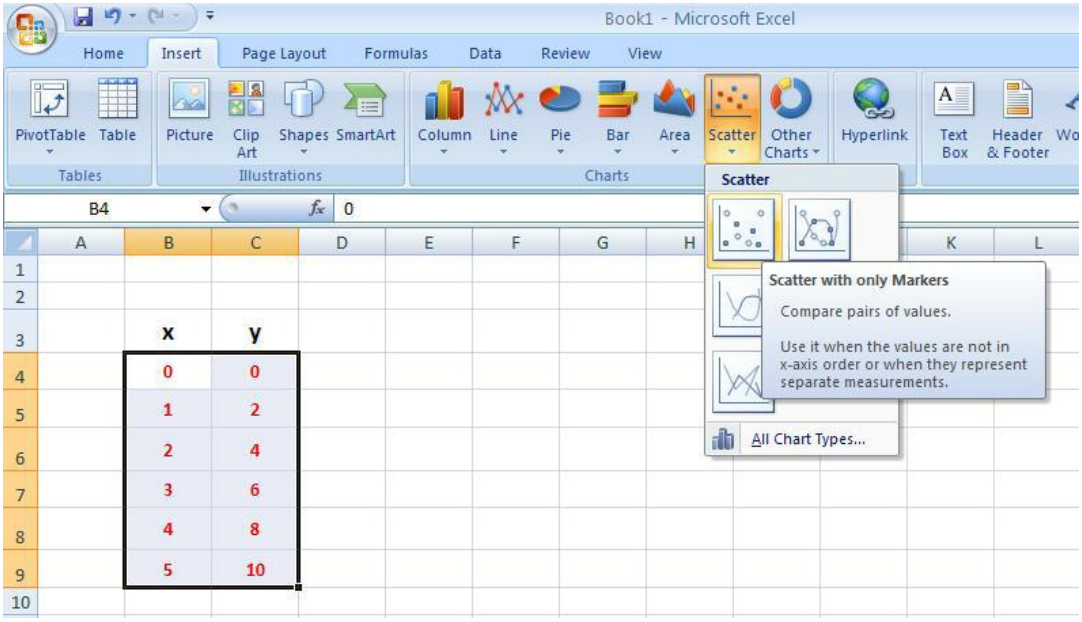
۱ـ اگر داده‌های یک آزمایش (دیتا) در اختیار باشد برای رسم نمودار کافی است مقادیر X و Y مربوط به آزمایش را در دو ستون مجزا بترتیب مطابق شکل زیر در خانه‌های یک صفحهٔ کاری (Sheet) اکسل وارد کنیم.



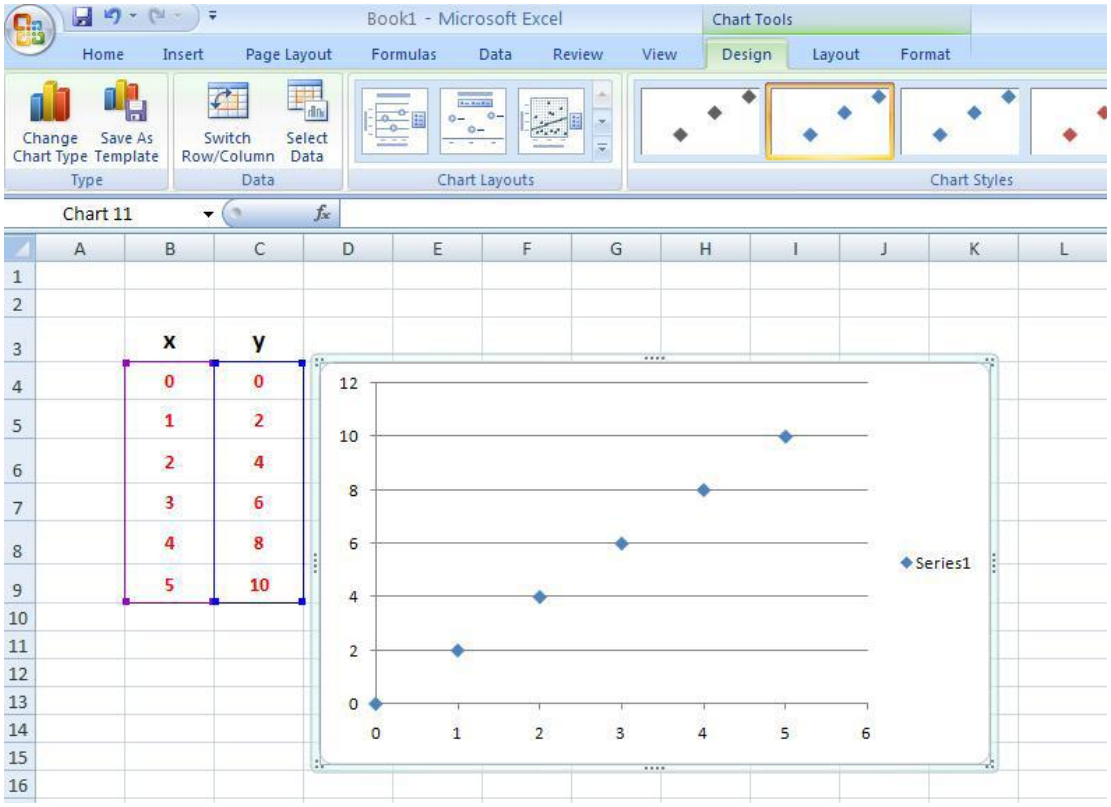
۲ـ سپس هر دو ستون داده‌ها را (X و Y) مطابق شکل زیر انتخاب می‌کنیم.



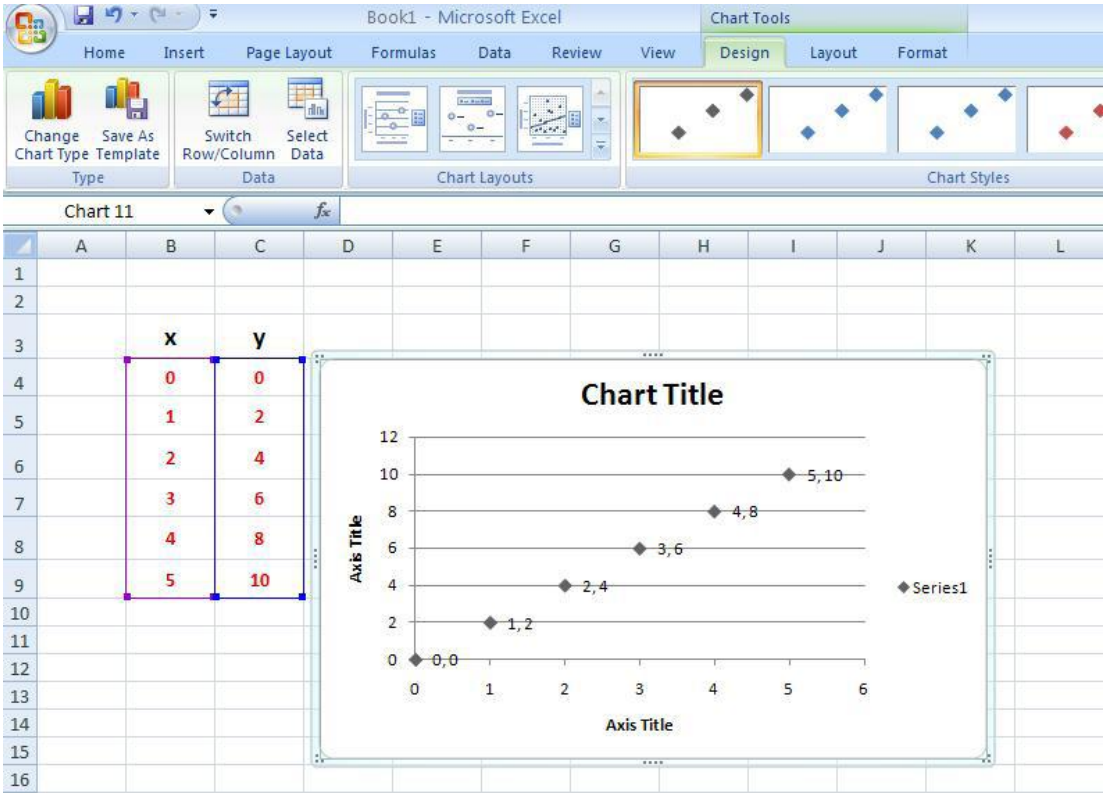
۳ـ حال از منوی بالای صفحه Insert را انتخاب می‌کنیم و سپس از زیر منوی Charts بر روی گزینهٔ Scatter کلیک کرده و اولین حالت را انتخاب می‌کنیم.



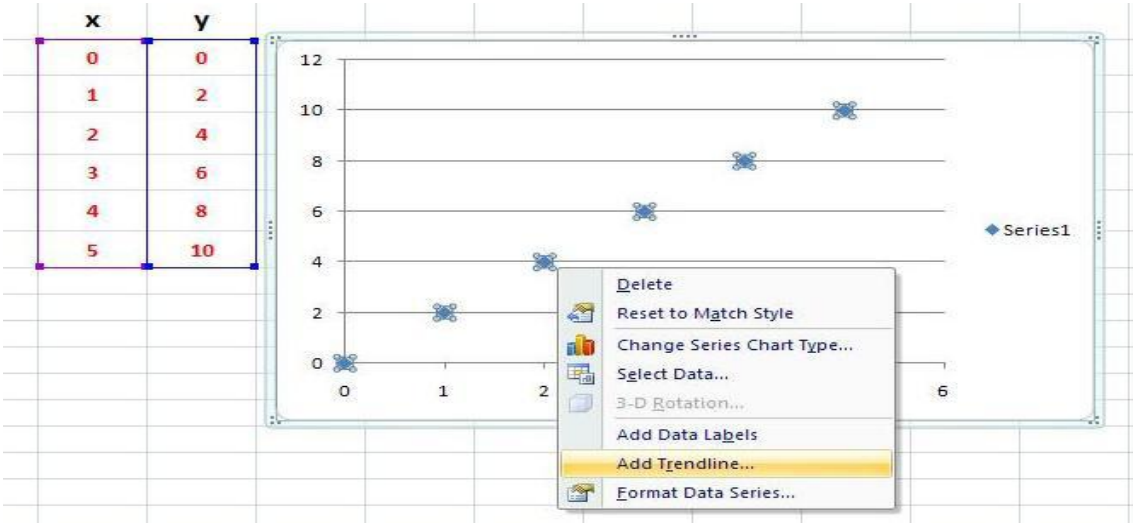
٤ـ مطابق شکل زیر یک نمودار از نقاط گسسته ظاهر خواهد شد که بیانگر داده‌ها (X و Y) می‌باشند.



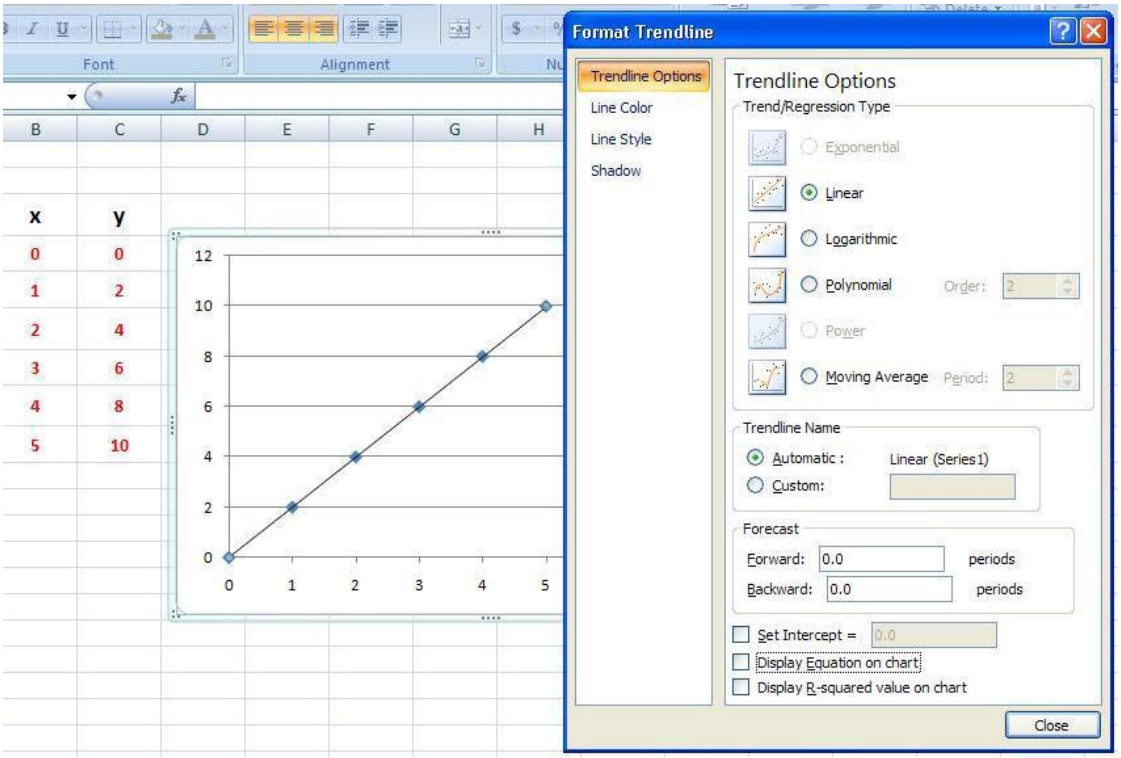
۵ – برای مشخص کردن عنوان نمودار و برچسب محورهای مختصات می‌بایست ابتدا بر روی نمودار کلیک کنیم تا منوی Design ظاهر شود سپس بر روی گزینهٔ Chart Layouts کلیک کنیم و اولین زیر منوی آنرا (Layout۱) انتخاب می‌کنیم.



٦ـ اگر بخواهید از نقاط گسستهٔ نمودار منحنی‌هایی عبور دهید می‌بایست بر روی یکی از نقاط نمودار رفته و مطابق شکل زیر کلیک راست کنید.

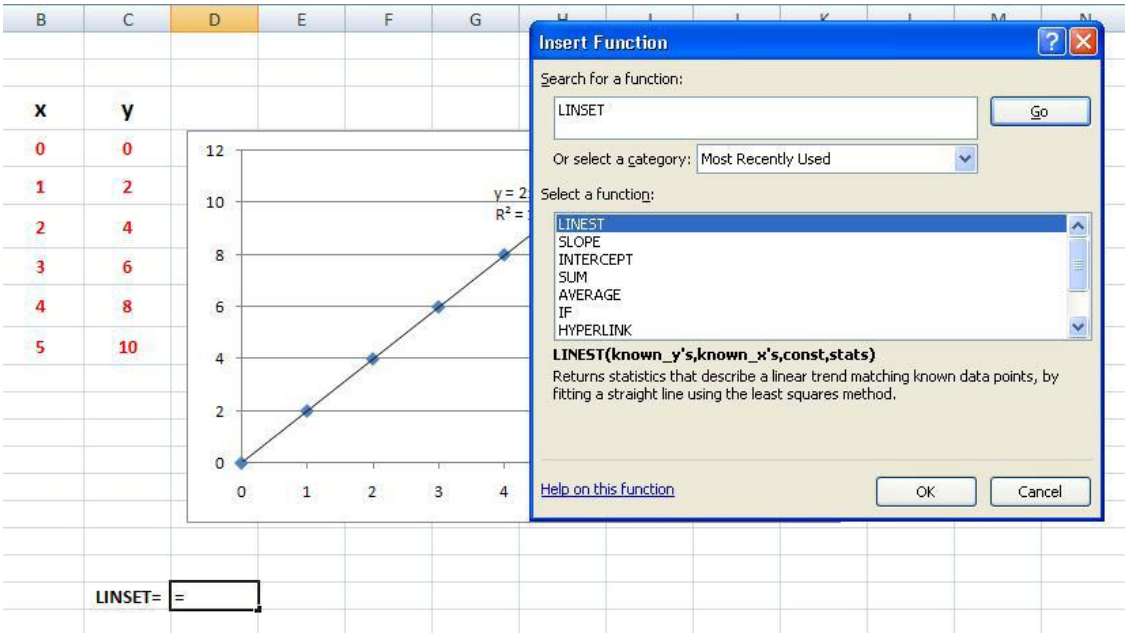


۷ـ در منوی ظاهر شده می‌توانید منحنی‌های مختلفی را از نقاط نمودار بگذرانید. اگر گزینه Linear را از قسمت Trend/Regression Type انتخاب کنید آنگاه مطابق شکل زیر یک خط از این نقاط عبور داده می‌شود. این خط معروف به خط رگرسیون است.

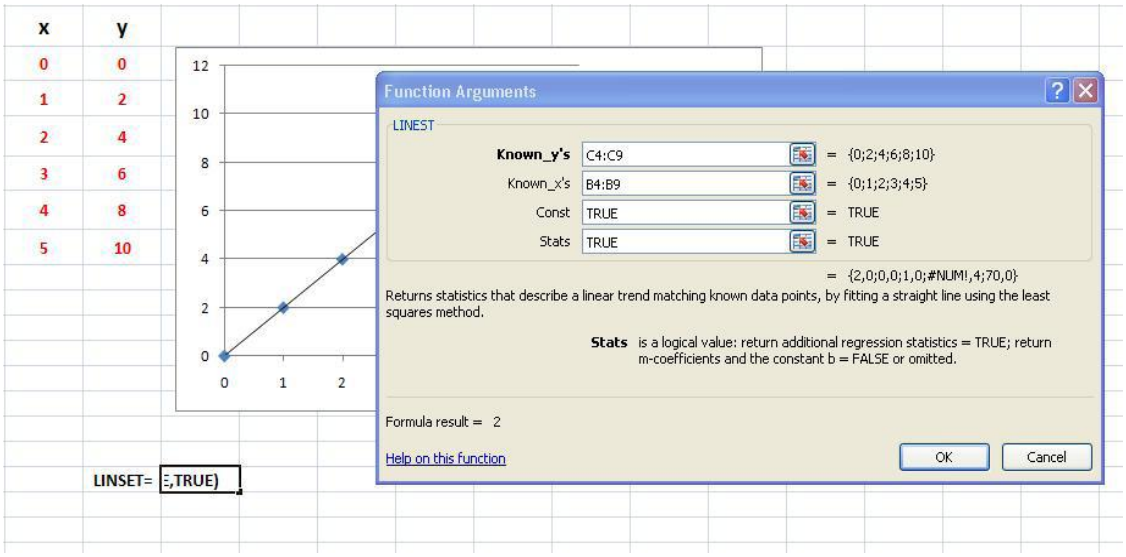


۸ ـ در ادامه اگر بخواهید معادلهٔ منحنی عبوری از نقاط نمودار و عبارتی مجذوری (R^2) که معیاری برای میزان تطبیق کمیات با نمودار است، را بدست آورید کافی دو عبارت Display Equation on Chart و Display R-squared value on Chart را علامت بزنیم و سپس Close را فشار دهید.

۹ـ حال اگر بخواهید خطای ضرایب a و b را در خط عبوری (y=ax+b) از نقاط نمودار – این خط با استفاده از روش کمترین مجذورات (Least Squares Method) به منظور یافتن یک خط راست که بهترین تطبیق را با داده‌های آزمایش دارد، رسم می‌شود – پیدا کنید کافی است در بالای صفحه بر روی گزینهٔ =کلیک کنید و مطابق شکل زیر عبارت LINSET را در قسمت Search for a Function تایپ کنید و کلید ok را فشار دهید.

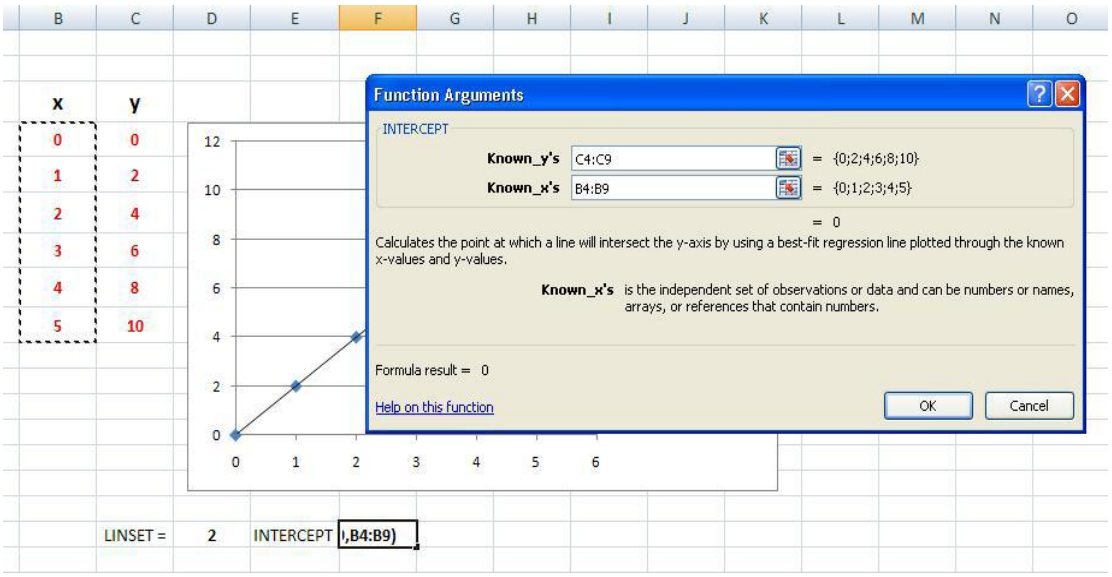


۱۰ـ در صفحه زیر می‌بایست جلوی عبارت Known_y's کلید کنید و مقادیر مربوط به Y را از بالا به پایین وارد کنید. به همین شکل جلوی عبارت Known_x's کلید کنید و مقادیر مربوط به X را از بالا به پایین وارد کنید. سپس عبارت True را در مقابل هر دو قسمت Const و Stats تایپ کنید و کلید OK را فشار دهید. اگر عبارت Flase را تایپ کنید یعنی اینکه خط از مبدا می‌گذرد.

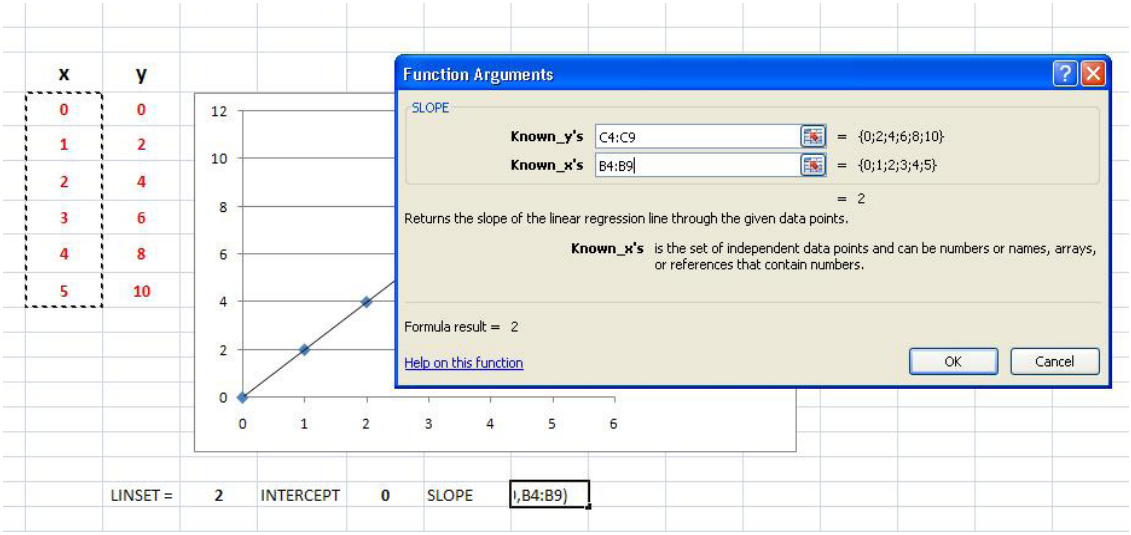


۱۱ـ اگر بخواهید عرض از مبدا خط رگرسیون را بیابید کافی بر روی گزینهٔ f_x کلیک کنید و مطابق شکل زیر عبارت INTERCEPT را در قسمت Search for a Function تایپ کنید و کلید ok را فشار دهید. در ادامه باز در صفحه زیر می‌بایست جلوی عبارت Known_y's کلید کنید و مقادیر

مربوط به Y را از بالا به پایین وارد کنید. به همین شکل جلوی عبارت Known_x's کلید کنید و مقادیر مربوط به X را از بالا به پایین وارد کنید.

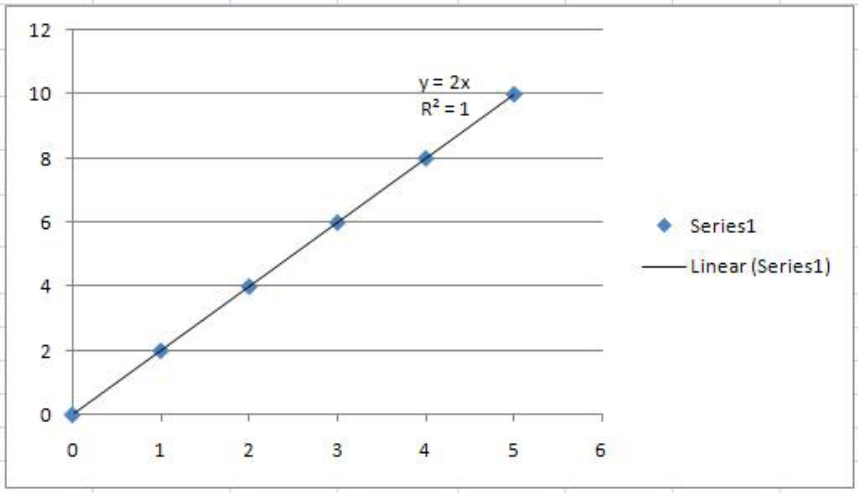


۱۲ـ همچنین اگر بخواهید شیب خط رگرسیون را بیابید میبایست بر روی گزینهٔ f_x کلید کنید و مطابق شکل زیر عبارت SLOPE را در قسمت Search for a Function تایپ کنید و کلید ok را فشار دهید. در ادامه باز در صفحه زیر می‌بایست جلوی عبارت Known_y's کلیک کنید و مقادیر مربوط به Y را از بالا به پایین وارد کنید. به همین شکل جلوی عبارت Known_x's کلیک کنید و مقادیر مربوط به X را از بالا به پایین وارد کنید.



۱۳ـ در شکل زیر هر سه کمیت LINSET، INTERCEPT و SLOPE به همراه معادلهٔ خط رگرسیون آورده شده است.

x	y
0	0
1	2
2	4
3	6
4	8
5	10



	LINSET=	2	INTERCEPT=	0	SLOPE=	2

آشنایی با قطعات و مصرف کننده‌ها

تعریف گالوانومتر:

بسته به مقدار جریان اثرهای آن به میزان متفاوت بروز می‌کنند. بنابراین برای اندازه‌گیری جریان می‌توان از هر یک از اثرهای شیمیایی، گرمایی یا مغناطیسی آن استفاده کرد وسایلی که برای اندازه‌گیری جریان به کار می‌روند، گالوانومتر نامیده می‌شود.

گالوانومتر ساده:

ساده‌ترین نوع گالوانومتر با استفاده از اثر گرمایی جریان ساخته شده است. این گالوانومتر دارای دو سیم نازک است که یکی از سیم‌ها در دو انتهایش ثابتند. و جریان گذرنده از آن اندازه‌گیری می‌شود. سیم نازک و محکم دوم دور محور عقربه پیچیده شده است. وسط سیم کشیده اول را به فنر کشیده‌ای وصل می‌کنند که سر دیگرش به بدنه گالوانومتر متصل است.

بر اثر جریان، سیم اول گرم و دراز می‌شود. رشته سیم که توسط فنر کشیده می‌شود عقربه گالوانومتر را به اندازه زاویه معینی می‌چرخاند که بستگی به دراز شدن سیم یعنی شدت جریان الکتریکی دارد. صفحه گالوانومتر برای جریان بر حسب آمپر و میلی آمپر مدرج می‌شود. در این صورت گالوانومتر آمپرسنج یا میلی آمپرسنج نامیده می‌شود .

آمپرسنج برای اندازه‌گیری جریان:

برای اندازه‌گیری جریان گالوانومتر یا آمپرسنج باید طوری اتصال داده شود که جریان کل مدار بتواند از آن عبور کند. برای این منظور باید در نقطه‌ای مدار را قطع و دو انتهایش را به قطب آمپرسنج وصل کرد. به عبارت دیگر آمپرسنج را باید به طوری متوالی در مدار قرار داد. چون جریان حالت ثابت را

اندازه می‌گیریم. اینکه وسیله را به کدام قسمت از مدار وصل کنیم اهمیتی ندارد در صورتیکه در جریانهای متغیر چنین نیست.

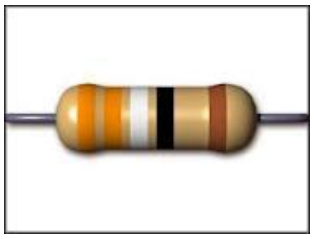
ولت‌سنج برای اندازه‌گیری ولتاژ:

با استفاده از گالوانومتر نه فقط جریان بلکه ولتاژ را نیز می‌توان اندازه گرفت. زیرا بنابر قانون اهم این کمیت‌ها متناسبند. اگر دو کمیت با یکدیگر متناسب باشند با وسیله‌ای که به طور مناسب مدرج شده باشد می‌توان هر دو کمیت را اندازه گرفت.

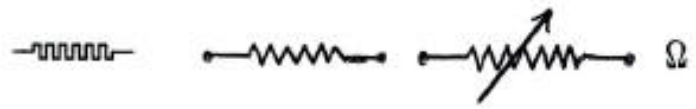
مثلاً تاکسی متر که فاصله طی شده را اندازه می‌گیرد، می‌توان برحسب کیلومتر مدرج کرد. ولی چون کرایه با فاصله متناسب است، درجات شمارنده را بطور مستقیم به پول پرداختی مدرج می‌کنند. به طوری که مستقیماً کرایه را نشان می‌دهد.

به همین ترتیب صفحه گالوانومتر را می‌توان طوری مدرج کرد که بتواند بطور مستقیم هم جریان برحسب آمپر عبور کرده از وسیله و هم ولتاژ دو سر آن را برحسب ولت اندازه بگیرد. بنابراین گالوانومتری که برای جریان مدرج می‌شود آمپرسنج، در حالی که وسیله‌ای که برای ولتاژ مدرج می‌شود ولت‌سنج نام دارد.

مقاومت‌ها :



مقاومت‌ها از اصلی‌ترین اجزایی هستند که در وسایل برقی به کار می‌روند.مقاومت هادی در برابر عبور جریان الکتریکی را مقاومت الکتریکی گویند. واحد مقاومت اهم و نشانه آن R است. شمای مقاومت در مدارها بدین صورت است.



مقاومت را به منظور کاهش دادن جریان به مقدار معین و یا افت مقدار معینی از ولتاژ به کار می‌برند.

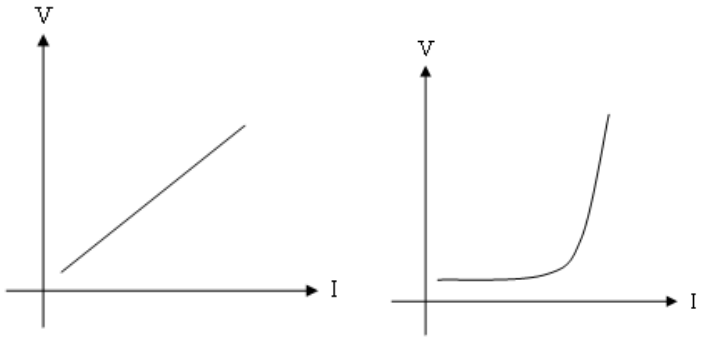
ـ مقاومت اهمی:

به مقاومتی گفته می‌شود که نسبت ولتاژ اعمال شده به جریان عبوری از آن یک مقدار ثابت باقی بماند یعنی: "نسبت ولتاژ به جریان مقدار ثابتR باشد."

به بیانی دیگر نمودار تغییرات ولتاژ نسبت به جریان این مقاومت‌ها خطی باشد. به این گونه مقاومت ها، مقاومت‌های اهمی می‌گویند.

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 می‌باشد.



شکل ب شکل الف

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 کننده‌ها

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

انواع مقاومت‌های اهمی

مقاومت‌های ثابت

مقاومت‌های متغیر

مقاومت‌های تابع عوامل فیزیکی (دما، نور و ...)

مقاومت‌های ثابت

مقاومت‌هایی هستند که مقدار آن‌ها ثابت بوده و تابع عواملی چون گرما، فرکانس، میدان مغناطیسی،نور،رطوبت و ... نباشند و آن‌ها را با نماد یا شخص می‌کنند.

مشخصه‌های 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 ۱ـ٤ 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 $\mathrm{P} = \mathrm{IV}$ یا $P = I^2R$ محاسبه می‌شود. هر مقاوتی یک مقدار مشخصی از توان مصرفی را تحمل می‌کند. رایج ترین توان های یک مقاومت ساخته شده به صورت $\frac{1}{16}$ و $\frac{1}{8}$ و $\frac{1}{4}$ و $\frac{1}{2}$ و ۱ و ۲ و ۳ و ۵ وات هستند که معمولا از روی ابعاد فیزیکی آن قابل تشخیص می باشند.

ه: بیشینه افت ولتاژ D C :

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 ۱ مگا اهمی و ۱ وات را بدست آوریم از رابطه‌ی $V = \frac{R}{2P}$ معلوم می شود که این توان با ولتاژ ۱۰۰۰ 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 طراحی کنند تا تحمل چنین اختلاف پتانسیلی را داشته باشد.

$$V = \sqrt{RP} = \sqrt{10^6} = 1000 \text{وات}$$

و: ضریب حرارتی محیطی:

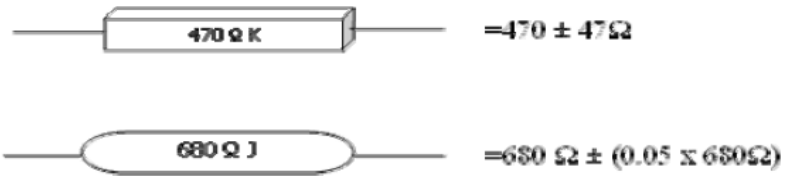
به تأثیر گرمای محیط بر مقدار اهم مقاومت ضریب حرارتی محیطی می گویند. هر قدر این ضریب کمتر باشد بیانگر آن است که دمای محیط کمتر روی مقاومت تأثیر می گذارد. ضریب حرارتی می تواند مثبت یا منفی باشد. به طور مثال این تغییر اهم می‌تواند در هنگام لحیم کاری صورت بگیرد که از اهمیت بالایی برخوردار است.

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.

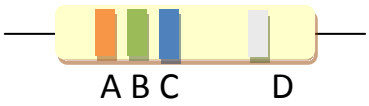
مقدار مقاومت:

مهمترین مشخصه یک مقاومت، تعیین مقدار اهم آن است که یا عدد اهم مقاومت را روی مقاومت نوشته‌اند، 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 و چنانچه به هر رنگ یک عدد نسبت دهیم، مقاومت رنگی از رابطه زیر محاسبه می شود.



رابطه مقاومت های چهار رنگ $R = AB \times 10C \pm D\%$

که در این رابطه D تلورانس است.

رنگ	اعداد صحیح		ضریب نوار سوم	تلورانس نوار چهارم
	نوار اول	نوار دوم		
سیاه	-	0	0	-
قهوه اي	1	1	1	1%
قرمز	2	2	2	2%
نارنجي	3	3	3	-
زرد	4	4	4	-
سبز	5	5	5	-
آبي	6	6	6	-
بنفش	7	7	-	-
خاکستري	8	8	-	-
سفيد	9	9	-	-
طلايي	-	-	x 0.1	5%
نقره اي	-	-	x 0.01	10%
بي رنگ	-	-	-	20%

جدول(1):استاندارد کد نوارهای رنگی مقاومت

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

R=ABC*10D

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-192 معرفی می‌کنند.

سري E24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1
سري E12	0.1		1.2		1.5		1.8		2.2		2.7		3.3		3.9		4.7		5.6		6.8		8.2	
سري E6	1.0				1.5				2.2				3.3				4.7				6.8			

با داشتن جدول بالا می توان مقاومت های استاندارد را به دست آورد. برای مثال عدد ٤.٧ در هر سه سری می توان پی برد که مقاومت های

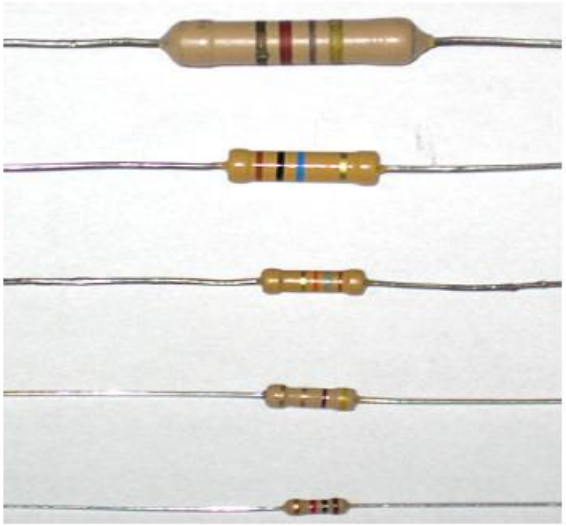
$$0.47\,\Omega,\ 4.7\,\Omega,\ 470\,\Omega,\ 4.7\,\Omega,\ 47\,\Omega,\ 470\,\Omega,\ 4.7\,\Omega$$

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 مگااهم است. و برای تلورانس 20% حرف M و تلورانس 10% حرف K و تلورانس 5% حرف J معرفی شده است.

مثال:

10RJ=10Ω±%5
6M8J=6.8MΩ±%5
470RM=470Ω±%20



3K3K=3.3KΩ±%10
22KK=22KΩ±%10

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.

طول(mm)	قطر(mm)	قدرت (w)
۲	۸	۱۷
۱	۵/۵	۱٤
۰/۵	۳/۵	۹/۵
۰/۲۵	۲/۲۵	٦/۲۵
۰/۱۲۵	۱/۵	٤

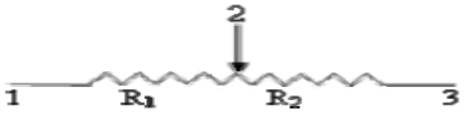
مقاومت های متغیر

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 لایه‌ی 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، به دو گونه یافت می شوند.

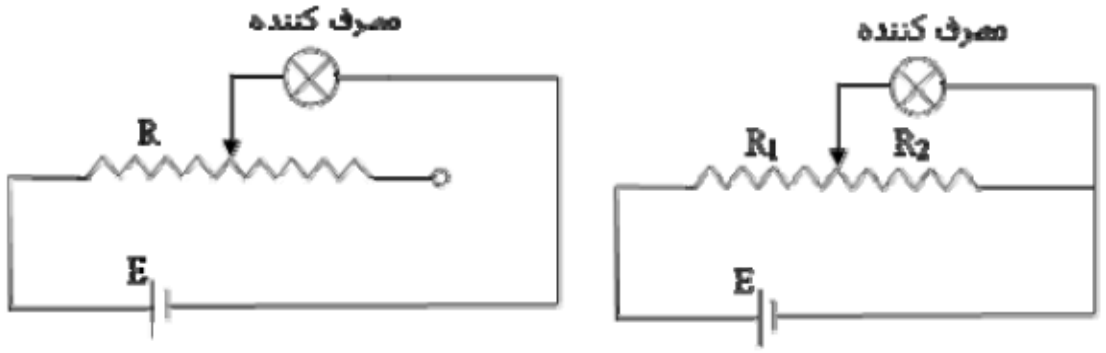
اگر تغییر مقاومت بین ترمینال های ۱و ۲ یا ۲و ۳ نسبت به حرکت محور متحرک خطی باشد، مقاومت متغیر را خطی گویند.

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

رئوستا

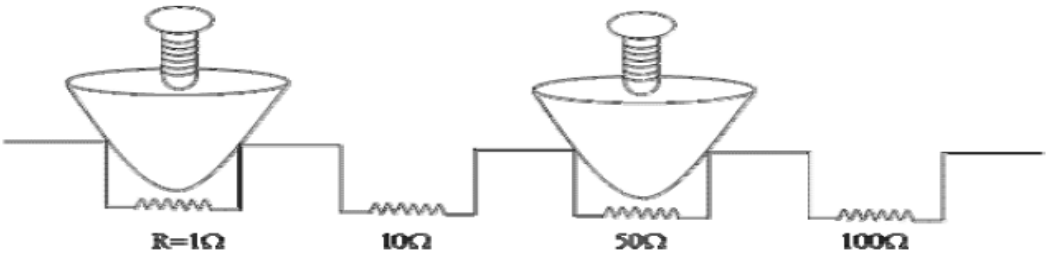
گونه‌ی دیگری از مقاومت‌های متغیر که از خانواده‌ی پتانسیومترهای خطی هستند و همچنین‌دارای سه ترمینال می‌باشند رئوستاهاهستند.جنس رئوستاها برخلاف پتانسیومترها از سیم بوده و بدین خاطر از توان بالاتری نسبت به مقاومتهای متغیر کربنی برخوردارند.

شکل زیر دو نمونه کاربرد و طریقه اتصال رئوستا را نشان می دهد.



جعبه‌ی مقاومت:

میتوان 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 داده‌اند و عملاً با انتخاب هر تعداد از آنها، می توان مقادیر مشخص و دلخواهی را در ترمینال خروجی آن ایجادنمود.شکل زیر نمای خارجی و درونی یکی از جعبه ها را نشان می دهد.

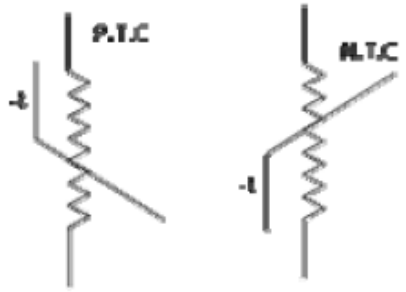


ب: مقاومت های متغیر تابع عوامل فیزیکی(محیطی):

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 می‌یابد و به آنها ترمیتورهای با ضریب حرارتی مثبت یا P.T.C می‌گویند.

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



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 مقامتش تغییر کند.در واقع مقاومت به شدت نور تابیده شده به آن وابسته است.

نمای ظاهری مقاومت تابع نور (علامت اختصاری LDR)

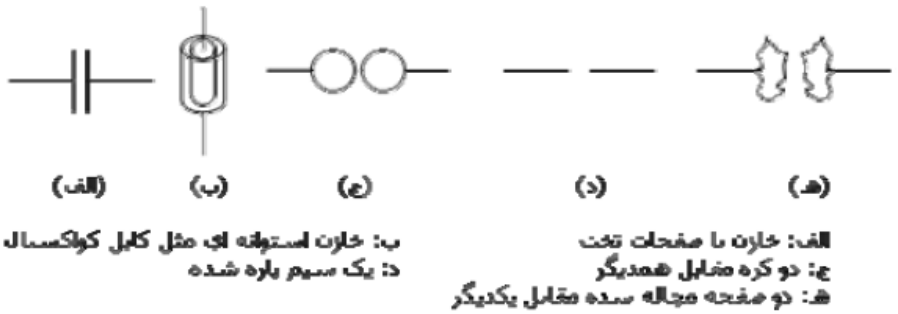
خازن

خازن المانی است که انرژی الکنریکی 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. معمولا از ورقه های نازک از جنس آلومینیوم، روی یا نقره ساخته می‌شوند.

ب) عایق بین صفحات هادی: که به آن دی الکتریک نیز گفته می شود.معمولا 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 می‌دهد.



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

$C = \frac{Q(\text{کولن})}{V(\text{ولت})}$ (فاراد) 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 معمولا 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.

نوع عایق	ضریب دی الکتریک (K)	استحکام دی الکتریک
هوا	۱	۳
پارافین	۲/۲ -۲	۳۰-۱۵
کاغذ خشک	۳/۵ -۲/۳	۹-٦
فیبر	۳/۵ -۵	۱۱ -٤
شیشه	۵/۵-۱۰	۱۰-٤
میکا	۸-۵/۵	۸۰

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 می‌دهد (که آن را با X_C معرفی می‌کنند) این مقاومت ظاهری با فرکانس رابطه عکس دارد.

$$X_c = \frac{1}{2\pi fc}$$

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.

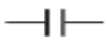
ضریب تلفات خازن:

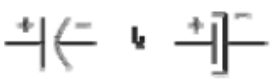
ضریب تلفات خازن به صورت $D=\frac{1}{2\pi fcR}$ تعریف می شود.

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

انواع خازن ها

خازن ثابت

بدون قطبیت 

دارای قطبیت(الکترولیتی) 

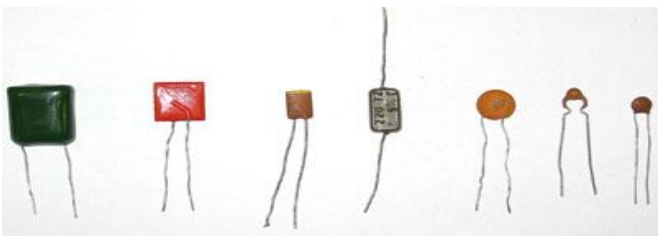
خازن متغیر

خازن های بدون قطبیت: این خازن ها در انواع مختلف خازن های کاغذی، خازن های سرامیکی، خازن های عدسی، خازن تانتالیومی، خازن میکا، خازن روغنی وغیره 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 آ ن 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 ۱۰۰PF تا ۰/۱ می‌باشند.

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



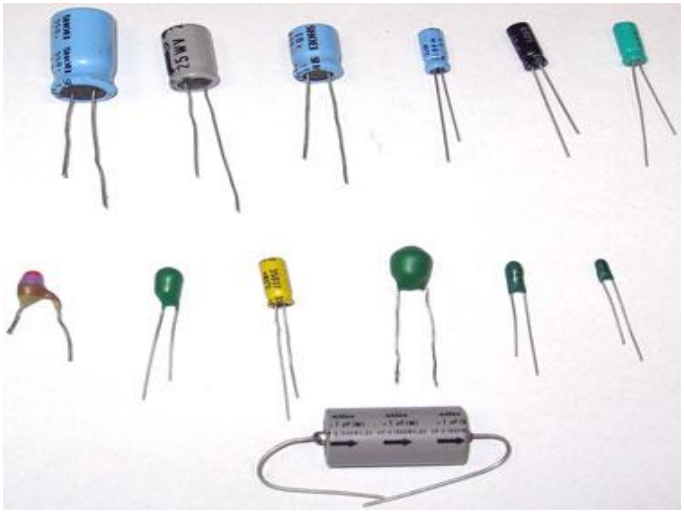
خازن های دارای قطبیت (الکترولیتی):

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 عملا به وسیله اکسیداسیون آندی یک فلز مناسب تهیه شده و میان صفحات خازن قرار می گیرد و به همین دلیل ضخامت کم لایه دی الکتریک و نزدیک شدن صفحات خازن به یکدیگر، دارای ولتاژ کار کمی می باشد.

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

خازن های الکترولیتی اکثرا 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:

فاصله صفحات

سطح مقطع صفحات

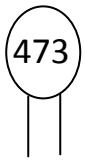
نوع دی الکتریک

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 باشدکه 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 سیستم‌ها 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 ٤٧٣ نوشته شده باشد ظرفیت آن برابر است با PF000C=47 یعنی ظرفیت این خازن uF0.047 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:

آوومتر را روی قسمت اهم متر رنج (1X) یا (R*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، در نتیجه 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 در نتیجه 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 آوومتر وصل کنید. البته باید آوومتر 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 آنجایی که 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 جنس‌سیم با تعداد حلقه‌های 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 ترانسفورماتورها می باشد.

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

ترانسفورماتورها که از خانواده‌ی سلف‌ها می‌باشند از دو قسمت اصلی تشکیل شده‌اند:

الف) سیم پیچ: که از پیچاندن طول معینی از یک هادی با روکش عایق به دور یک پایه‌ی عایق شکل می‌گیرد.

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 معمولا 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 (مثلا 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 معمولا" هسته ها را از جنس فریت ها می سازند. شکل زیر تعدادی از فریت های آماده برای سلف ها و ترانسفورماتورها را نشان می دهد .

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) = f

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

$$\emptyset = \sin^{-2}\frac{B}{A}$$

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 راکتانس سلف به مقاومت آن در یک فرکانس معین است یعنی:

$$Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi f L}{R}$$

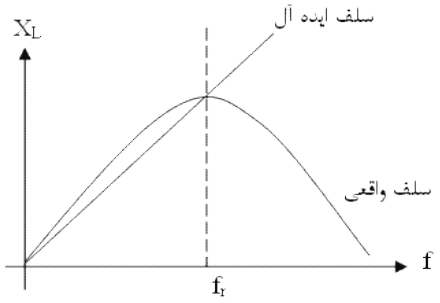
در نتیجه هر قدر مقدار R را کاهش دهیم، ضریب کیفیت سلف زیادتر می شود که می توان این کار را علاوه بر کوچک کردن سیم پیچ و درنتیجه کوچک شدن R با بالا بردن فرکانس در مدار نیز انجام داد.

(افزایش ضریب کیفیت ⇔ افزایش فرکانس)

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

$$2\pi fL = X_L$$

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



آزمایش ۱: تحقیق قانون $R = \rho \frac{L}{A}$

هدف آزمایش:

بررسی رابطه بین مقاومت یک سیم رسانا با طول و سطح مقطع و جنس آن.

ملاحظات نظری:

به هر ماده‌ای یک مقدار ρ (مقاومت ویژه) وابسته است. این مقاومت بیشتر مشخصه ماده است تا مشخصه نمونه خاصی از آن. گاهی ترجیح می‌دهیم که به جای مقاومت ویژه ماده درباره رسانندگی ویژه آن (σ) صحبت کنیم که عبارتست از مقاومت نمونه‌ای از ماده به طول واحد $(1\ \mathrm{m})$ با سطح مقطع واحد $(1\ \mathrm{m}^2)$ که واحد آن $\Omega\text{-m}$ است.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

اگر به یک رسانای استوانه‌ای به سطح مقطع A و طول L که جریان پایای I از آن می‌گذرد اختلاف پتانسیل V را وصل کنیم خواهیم داشت:

$$E = \frac{V}{L}, j = \frac{I}{A}$$

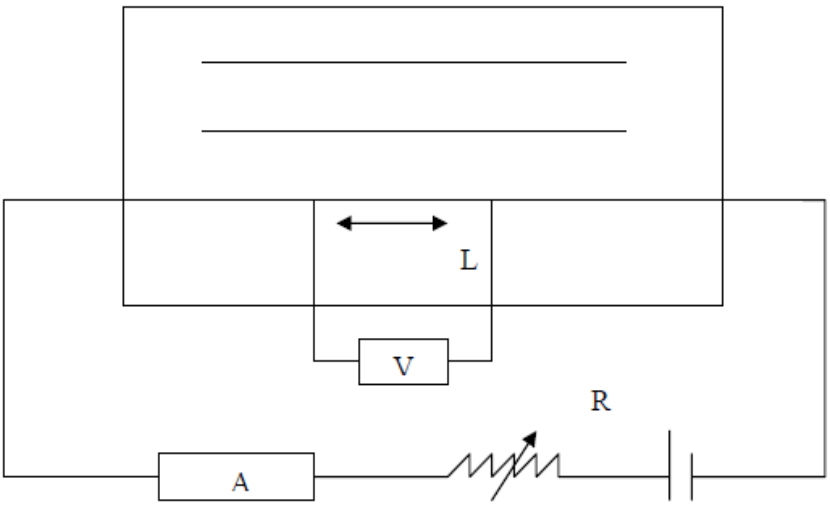
$$\rho = \frac{E}{j} = \frac{V/I}{I/A}$$

$$\frac{V}{I} = R \ \Rightarrow R = \rho \frac{L}{A}$$

روش آزمایش:

آزمایش الف) تغییر مقاومت با تغییر طول

دو سر آزاد سیم نیکل-کروم را به طور متوالی در مداری که شامل آمپرسنج و مولد است قرار دهید و شدت جریان را به دست آورید. برای محدود کردن جریان به عنوان یک عمل احتیاطی در مدار یک رئوستا را به صورت سری قرار دهید. مطابق شکل دو سر ولت‌سنج را در این آزمایش به دو نقطه از سیم که طول آن مشخص است قرار دهید و برای چند طول مختلف، ولتاژ را اندازه‌گیری کرده و نتایج اندازه‌گیری را مطابق جدول (۱) یادداشت کنید.



جدول (۱):

شماره آزمایش	طول L	شدت جریان I (mA)	اختلاف پتانسیل V (V)	مقاومت $R=\frac{V}{I}$	سطح مقطع سیم $A(m^2)$
۱					
۲					
۳					
٤					

نمودار R بر حسب L را در کاغذ میلیمتری رسم کنید و شیب خط را محاسبه کنید. واحد شیب را نیز ذکر نمایید. با ثبت اندازه قطر سیم، ρ را محاسبه کنید.

مقاومت ویژه سیم نیکل – کروم $100\times10^{-8}\Omega m$ و سیم برنجی $7\times10^{-8}\Omega m$ است.

آزمایش ب) تغییر مقاومت با تغییر سطح مقطع سیم

با ریزسنج قطرهای پنج سیم هم جنس نیکل- کروم را به دست آورید و سطح مقطع آنها را محاسبه کنید. مدار را مانند حالت قبل ببندید و مقدار مقاومت را برای سیم‌های هم طول و هم جنس با سطح

مقطع‌های مختلف بدست آورید و جدول ۲ را کامل کنید. این بار نمودار مقاومت سیم‌ها را بر حسب $1/A$ در کاغذ میلیمتری رسم کنید و شیب خط را محاسبه کنید و مجددا ρ را بدست آورید. واحد شیب را نیز ذکر نمایید. نتایج قسمت الف و ب آزمایش را با هم مقایسه کنید.

آیا اختلافی در نتایج دارید؟ دلیل این اختلاف چیست؟

نتیجه را با مقاومت ویژه نیکل- کروم مقایسه کنید و خطای آزمایش را محاسبه کنید.

جدول(۲):

شماره آزمایش	طول L	شدت جریان I (mA)	اختلاف پتانسیل V (V)	مقاومت $R=\frac{V}{I}$	سطح مقطع سیم $A(m^2)$
۱					
۲					
۳					
٤					
٥					

آزمایش ج)

آزمایش الف را برای سیم برنجی با طول های مختلف تکرار کنید و ρ را بدست آورده با مقاومت ویژه برنج ($7\times10^{-8}\Omega m$) مقایسه کنید. درصد خطای نسبی ρ را محاسبه کنید.

سوال:

۱) فرم میکروسکوپیک قانون اهم را بیان کنید. $j=\sigma.E$

۲) اگر طول سیم مسی را ۰/۱ درصد در اثر کشش زیاد کنیم فکر می‌کنید چقدر مقاومت آن تغییر می‌کند؟

آزمایش ۲ : اندازه‌گیری مقاومت درونی منبع تغذیه

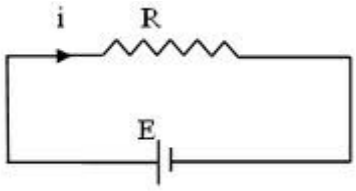
هدف آزمایش:

بدست آوردن مقاومت درونی منبع تغذیه

ملاحظات نظری:

هنگام استفاده از منبع تغذیه مثلا در شکل زیر می‌توانیم بنویسیم:

$V=E-rI$ (۱)



که در آن E نیروی محرکه منبع، r مقاومت درونی منبع (مقاومتی که منبع در مدارهای الکتریکی از خود نشان می‌دهد) و V اختلاف پتانسیل دو سر مولد، وقتی با نیروی محرکه برابر است که $r=0$ باشد و یا $I=0$ باشد. در حالت دوم اگر $I=0$ باشد طبعا جریانی از مدار نمی‌گذرد. یعنی مدار باز است و $E=V$ می‌شود.

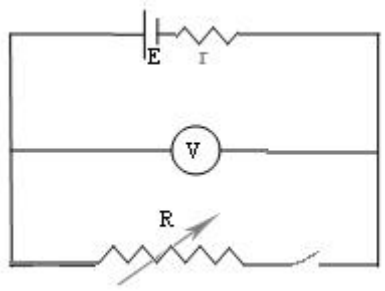
پس برای این که نیروی محرکه منبع را اندازه بگیریم کافی است دو قطب آن را مستقیم به ولت‌متر وصل کرده و E را اندازه بگیریم. چون مقاومت درونی ولت‌متر زیاد است و اجازه عبور جریان را نمی‌دهد آنگاه $E\approx V$ خواهد بود.

از رابطه (۱) می‌توانیم آن را بدست آوریم:

$$r = \frac{E-V}{I} \qquad (۲)$$

روش آزمایش:

ابتدا منبع تغذیه را روشن کرده مطابق دستور بالا نیروی محرکه منبع **(E)** را اندازه‌گیری کرده و سپس مدار شکل زیر را سوار نموده و با استفاده از رابطه (۲) و جایگزینی رابطه $I=V/R$ در آن در نهایت رابطه (۳) بدست می‌آید.



$$r = \frac{(E-V)R}{V} \Longrightarrow R = r\frac{V}{E-V} \qquad (۳)$$

نیروی محرکه را روی مقدار مشخصی ثابت کنید. مقاومت‌های ۲۰ تا ۳۰ اهم را در مدار قرار داده هر بار V مربوطه را اندازه می‌گیریم و جدول زیر را پر کنید سپس نمودار R بر حسب $\frac{V}{E-V}$ را رسم کرده و از روی شیب آن مقاومت درونی منبع تغذیه را بدست آورید.

R								
V								

سوال:

۱) چرا در این آزمایش از مقاومت‌های کوچک استفاده می‌شود؟

۲) اگر سلکتور منبع تغذیه را تغییر دهیم، مقاومت درونی منبع تغییر می‌کند یا خیر؟

۳) آیا با اهم‌متر می‌توانیم مقاومت منبع را به طور مستقیم اندازه‌گیری کنیم؟

٤) خطای نسبی مقاومت درونی را محاسبه کنید.

آزمایش ۳ : پل وتسون و پل تار

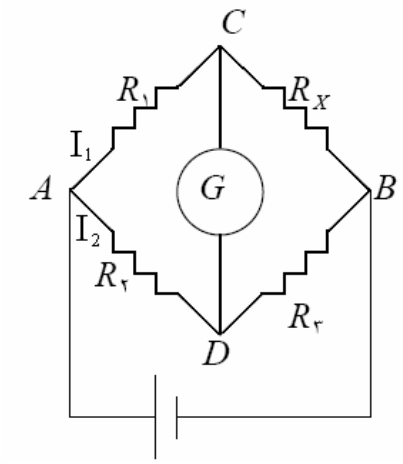
هدف آزمایش:

اندازه‌گیری مقاومت مجهول به کمک پل وتسون و پل تار

ملاحظات نظری:

برای نخستین بار چارلز وتسون فیزیکدان انگلیسی در سال ۱۸۴۳ طرحی را برای تعیین یک مقاومت مجهول داد که امروزه به مدار پل وتسون مشهور است.

شکل مدار پل وتسون مانند شکل زیر است:



دو سر مقاومت‌های R_1 و R_2 به هم وصل است. بنابراین، این دو مقاومت در سر A دارای پتانسیل یکسانی هستند. و همچنین دو سر مقاومت‌های R_3 و R_x نیز در B به هم متصل هستند. بنابراین، این دو مقاومت نیز در سر B دارای پتانسیل یکسانی هستند.

مقاومت R_3 یک مقاومت متغیر (جعبه مقاومت یا رئوستا) بوده و R_x نیز مقاومت مجهول ما می‌باشد.

اگر با کم و زیاد کردن مقاومت متغیر (R_3)، عددی که گالوانومتر نشان می‌دهد صفر شود، می‌توان نتیجه گرفت که پتانسیل در نقاط D و C برابر می‌باشد و اختلاف پتانسیل بین این دو نقطه برابر صفر شده است. پس R_1 با R_x و همچنین R_2 با R_3 متوالی می شوند. (می‌دانیم که در مقاومت هایی که بصورت متوالی بسته می‌شوند، جریان‌های برابری عبور می‌کند.)

از $V_C = V_D$ و همچنین از اینکه پتانسیل دو مقاومت R_1 و R_2 برابر است، می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های R_1 و R_2 برابر است. یعنی:

$V_{AC} = V_{AD}$ (I)

و همچنین از $V_C = V_D$ و از اینکه پتانسیل دو مقاومت R_3 و R_x برابر است، می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های R_3 و R_x نیز با هم برابر است. یعنی:

$V_{BC} = V_{BD}$ (II)

با توجه به قانون اهم، روابط زیر را داریم:

$V_{BC}=I_1*R_X$ $V_{AC}=I_1*R_1$

$V_{BD} = I_2*R_3$ $V_{AD} = I_2*R_2$

و با توجه به روابط II و I، میتوانیم به این نتیجه برسیم که:

$I_1*R_X= I_2*R_3$, $I_1*R_1= I_2*R_2$

که با تقسیم این دو رابطه به هم ، $\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_X}{R_1}$ و از آنجا داریم:

اندازه مقاومت مجهول: $R_X = \frac{R_3}{R_2} * R_1$

تنها کافیست که با تغییر مقاومت متغیر، جریان گذرنده از گالوانومتر را صفر کنیم و سپس مقاومت متغیر را از مدار خارج کرده و مقاومت آن را با اهم متر بدست آوریم.

روش آزمایش:

با استفاده از جعبه مقاومتی که در اختیاردارید مداری مانند شکل ببندید. با تغییر دادن آن عقربه گالوانومتر را دقیق روی صفر تنظیم کنید. مقدار مقاومت متغیر را خوانده و یادداشت کنید. با داشتن مقاومت متغیر و مقاومت های دیگر مقدار مقاومت مجهول را محاسبه کنید.

با استفاده از اهم متر مقدار دقیق مقاومت مجهول را بدست آورده و با نتیجه آزمایش مقایسه کنید.

طرز تعیین خطای مقاومت متغیر :

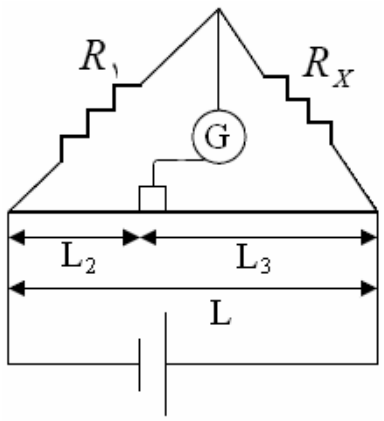
مقاومت متغیر را به جای اول خود در مدار برگردانید. این بار آن را آنقدر تغییر دهید که گالوانومتر یک درجه قبل از صفر قرار گیرد مقدار آن را a بنامید و بار دیگر آن را آنقدر تغییر دهید تا عقربه

گالوانومتر یک درجه بعد از صفر قرار گیرد مقدار مقاومت خوانده شده را b بنامید. در نتیجه مقدار خطا از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta R = \frac{|a-b|}{2}$$

آزمایش پل تار:

شکل مدار پل تار، مانند شکل زیر است:



طرز کار پل تار، همانند پل وتسون می‌باشد. با این تفاوت که در پل تار، به جای استفاده از مقاومت‌های R_2 و R_3 از یک سیم L استفاده کرده‌ایم که به جای نسبت $\frac{R_3}{R_2}$ میتوان از نسبت طول آنها، یعنی $\frac{L_3}{L_2}$ استفاده کرد. در واقع سیم L به دو قسمت شده است که مقاومت هر تکه از سیم از رابطه $R = \rho * \frac{L}{A}$ بدست می‌آید که در آن ρ ثابت ویژه مقاومت و L طول سیم و A نیز سطح مقطع سیم می‌باشد که در اینجا چون L_2 و L_3 از یک جنس و از یک نوع می‌باشند، بنابراین A و ρ برای هر دو آنها یکی می‌باشد. بنابراین وقتی نسبت اندازه مقاومت این دو تکه سیم را می‌نویسیم، این نسبت، به نسبت طول دو سیم تبدیل می‌شود.

ولتاژ منبع را روی عدد خاصی قرار می‌دهیم و مقاومت متغیر (در اینجا R_1) را آنقدر تغییر می‌دهیم تا میزان جریان عبوری از گالوانومتر برابر صفر شده و گالوانومتر عدد صفر را نمایش دهد. سپس مقدار مقاومت متغیر را بدست آورده و آن را در رابطه زیر قرار می‌دهیم تا مقاومت مجهول بدست آید: $R_x = R_1 \frac{L_3}{L_2}$

با استفاده از اهم متر مقدار دقیق مقاومت مجهول را بدست آورده و با نتیجه آزمایش مقایسه کنید.

سوال:

۱) در صورتی که حداکثر مقاومت متغیر از مقدار مورد نظر ما (که باید گالوانومتر را صفر کند) کوچکتر باشد چه راهکارهایی پیشنهاد می‌کنید.

۲) رابطه پل تار را با استفاده از تحلیلی که در پل وتستون به کار بردیم اثبات کنید.

۳) مواردی ذکر کنید که رعایت آنها در بین مدار و انجام آزمایش موجب دقیق تر شدن نتیجه آزمایش گردد.

آزمایش ۴ : قانون اهم و کیرشهف

هدف آزمایش:

بررسی و تحقیق قوانین اهم وکیرشهف

ملاحظات نظری:

قانون اهم که به نام کاشف آن جرج اهم نام‌گذاری شده است، بیان می‌دارد که نسبت اختلاف پتانسیل (یا افت ولتاژ) بین دو سر یک هادی (و مقاومت) به جریان عبور کننده از آن به شرطی که دما ثابت بماند، مقدار ثابتی است:

$$\frac{V}{I} = R$$

که در آن V ولتاژ و I جریان است. این معادله منجر به یک ثابت نسبی R می‌شود که مقاومت الکتریکی آن وسیله نامیده می‌شود. این قانون تنها برای مقاومت‌هایی صادق است که مقاومت‌شان به ولتاژ اعمالی دو سرشان وابسته نباشد که به این مقاومت‌ها مقاومت‌های اهمی یا ایده‌آل یا وسیله‌های اهمی گفته می‌شود. خوشبختانه شرایطی که در آن قانون اهم صادق است، بسیار عمومی است. (قانون اهم هیچ گاه برای ابزارهای دنیای واقعی کاملاً دقیق نیست چرا که هیچ ابزار واقعی وجود ندارد که یک ابزار اهمی باشد). معادله $R = \frac{V}{I}$ حتی برای ابزارهای غیراهمی هم صادق است اما در آن صورت دیگر مقاومت R یک مقدار ثابت نیست و به مقدار V وابسته است. برای اینکه بررسی کنیم که آیا ابزاری اهمی است یا نه، می توان V را بر حسب I رسم کرد و نمودار به دست آمده را با خط مستقیمی که از مبدا می‌گذرد مقایسه کرد. معادله قانون اهم اغلب به صورت:

$$V = I.R$$

بیان می شود چرا که این معادله صورتی است که اکثر اوقات همراه مقاومت ها بکار برده می شود. فیزیکدانان اغلب فرم میکروسکوپیک قانون اهم را استفاده می کنند:

$$j = \sigma.E$$

که در آن j چگالی جریان (جریان عبوری از واحد حجم)، σ هدایت و E میدان الکتریکی است. و در واقع فرمی است که اهم قانونش را بیان کرد. فرم عمومی V=I.R که در طراحی مدارات بکار می رود، نسخه ماکروسکوپیک متوسط گیری شده فرم اصلی است. دانستن این مطلب مهم است که قانون اهم

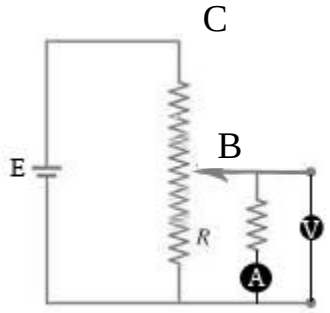
یک قانون گرفته شده از ریاضیات نیست ولی بخوبی توسط شواهد تجربی تایید می شود. گاهی اوقات هم قانون اهم به هم می خورد چرا که این قانون بسیار ساده سازی شده است. منشا اصلی به وجود آمدن مقاومت در مواد در برابر جریان الکتریکی را می توان عیب ها، ناخالصی های مواد و این واقعیت که الکترون ها خودشان اتم ها را به این طرف و آن طرف می زنند، دانست. وقتی که دمای فلز افزایش می یابد، عامل سوم نیز افزایش می یابد بنابراین، وقتی که یک جسم به علت عبور جریان الکتریکی از آن گرم می شود، مانند رشته داخل حباب لامپ، مقاومتش افزایش می یابد. مقاومت یک جسم از معادله زیر بدست می‌آید:

$$R = \frac{L}{A}.\rho = \frac{L}{A}.\rho_0(\alpha(T - T_0) + 1)$$

که در آن ρ_0 مقاومت ویژه، L طول جسم هادی، A مساحت سطح مقطع آن، T دمای جسم، T_0 یک دمای مرجع (معمولا دمای اتاق) و α ثابت ویژه ماده جسم هادی‌اند.

روش آزمایش:

مداری مطابق شکل را به کمک رئوستا تشکیل دهید. نقطه B سر لغزنده رئوستا می‌باشد. مقاومت مجهول R را در مدار قرار دهید. با تغییر دادن لغزنده رئوستا ولتاژ دو سر آن را به ٤ ولت برسانید. در این هنگام جریان را یادداشت کنید. ولتاژ بین A و B را به کمک رئوستا نیم ولت نیم ولت تغییر دهید و هر بار جریان را یادداشت کنید تا ولتاژ دو سر A و B به نیم ولت برسد. مقدار $\frac{V}{I}$ را حساب کرده و نتایج را در جدول ۱ یادداشت کنید، سپس نمودار تغییرات V برحسب I را رسم کنید و از روی شیب نمودار قانون اهم را نتیجه بگیرید.



A

V(v)	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5
I(A)								
$\frac{V}{I}$								

جدول (1)

قوانین کیرشهف

برای بدست‌آوردن مقدار و جهت جریان در مدارها از قانون‌های گاستاو رابرت کیرشهف دانشمند آلمانی استفاده می‌کنیم.

قانون ۱: مجموع جریان‌هایی که به یک گره وارد می‌شود برابر با مجموع جریان‌هایی است که از آن گره خارج می‌شود. این قانون از پایستگی بار بدست آمده است. منظور از گره جایی است که در آن اجزای مدار به هم می‌رسند و حداقل سه سیم در آن نقطه به هم متصل شده‌اند.

قانون ۲: جمع جبری تغییرات پتانسیل در یک دور کامل در هر حلقه‌ای از مدار برابر با صفر می‌باشد.

برای استفاده از این دو قانون باید به نکاتی توجه کرد:

۱) جهت جریان در مدار توسط منبع تغذیه مشخص می‌شود. اگر جهت جریان در مدار مشخص نبود یک جهت اختیاری را برمی‌گزینیم. اگر بعد از محاسبات مقدار جریان را مثبت به دست آوردیم جهت فرضی که انتخاب کردیم درست بوده است. اما اگر جهت جریان را منفی بدست آوردیم باید جهت جریان فرضی ابتدایی بر عکس شود.

۲) اگر در جهت جریان از مقاومتی بگذریم تغییر پتانسیل دو سر مقاومت در جهت جریان برابر با $-IR$ می‌شود یعنی پتانسیل این اندازه کم می‌شود و اگر در خلاف جهت جریان از مقاومتی رد شویم تغییر پتانسیل IR می‌شود یا به عبارتی پتانسیل این مقدار زیاد می‌شود.

۳) اگر از قطب مثبت منبع تغذیه به قطب منفی برویم پتانسیل به اندازه ε کم می شود و اگر از قطب منفی منبع تغذیه به قطب مثبت برویم پتانسیل به اندازه ε زیاد می شود. ε اختلاف پتانسیل دو سر منبع تغذیه می باشد.

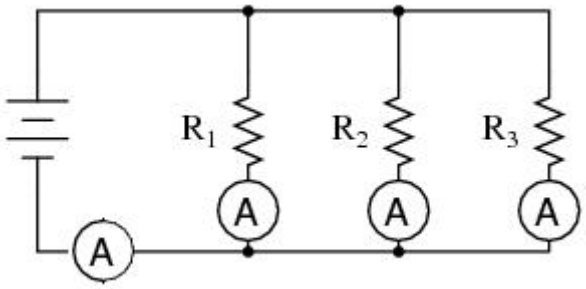
روش آزمایش:

ابتدا مداری مانند شکل الف ببندید سپس جریانهای گذرنده از مقاومت های R_1 و R_2 و R_3 را اندازه بگیرید. رابطه این جریان ها را با جریان کل بدست آورید.

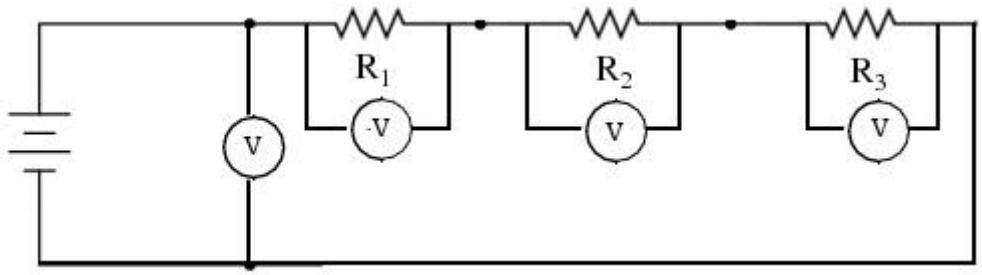
با اندازه گیری ولتاژ مدار، مقدار مقاومت کل مدار را بدست آورده و خطاگیری نمایید.

مداری مانند شکل ب ببندید سپس ولتاژ دو سر هر یک از مقاومت های R_1 و R_2 و R_3 را بخوانید و رابطه این ولتاژها را با ولتاژ دوسر منبع تغذیه بدست آورید.

با قرار دادن یک آمپرسنج در مدار، مقدار مقاومت کل مدار را بدست آورده و خطاگیری نمایید.



(شکل الف)



(شکل ب)

سوال:

۱) قوانین کیرشهف در حل معادلات مدار چه کمکی به ما می کنند؟

۲)آیا می توانید شرح دهید که از چه راههایی می توان حداقل معادلاتی را که به منظور حل معادلات مدار نیازمندیم بدست آورد؟

۳) در شکل الف جریان مقاومت R_2 را برحسب سایر کمیات بدست آورید.

٤)در شکل ب ولتاژ مقاومتR_1 را بر حسب سایر کمیات بدست آورید.

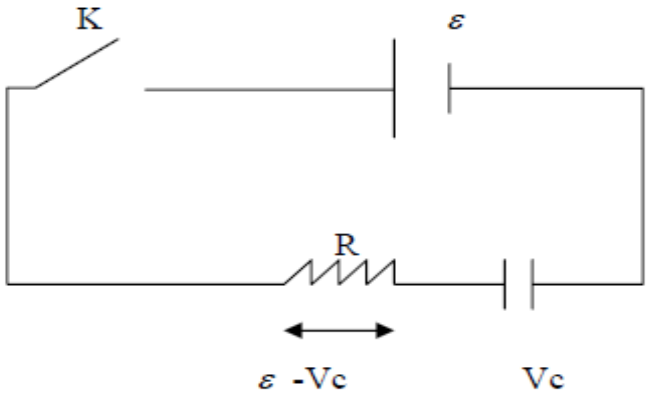
آزمایش ۵ : شارژ و دشارژ خازن

هدف آزمایش:

رسم منحنی های شارژ و دشارژ خازن و اندازه گیری ظرفیت خازن

ملاحظات نظری:

هر گاه دو صفحه خازن را به دو قطب یک منبع ولتاژ مستقیم مثل پیل وصل کنیم خازن شارژ می شود و ولتاژ خازن پس از مدتی که بستگی به مقدار مقاومت مدار و ظرفیت خازن دارد برابر ولتاژ پیل می گردد.



شکل ۱

در شکل ۱ جریانی در مدار برقرار می شود و این جریان تا وقتی که ولتاژ V_C برابر ε گردد، وجود دارد . در هر لحظه جریان از رابطه زیر به دست می آید:

$$i = \frac{\varepsilon - V_C}{R} \qquad (1)$$

از طرفی جریان برابر است با سرعت افزایش بار خازن یعنی:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

با توجه به رابطه $q = CV_C$ (C ظرفیت خازن است) می‌نویسیم:

$$i = \frac{dq}{dt} = C\frac{dV_C}{dt} \qquad (2)$$

از تساوی دو رابطه (۱) و (۲) نتیجه می‌شود:

$$\frac{dV_C}{\varepsilon - V_C} = \frac{dt}{R - C}$$

به جای dV_C می‌توان $-d(\varepsilon - V_C)$ – را قرار داده پس داریم:

$$-d\frac{(\varepsilon - V_C)}{\varepsilon - V_C} = -\frac{dt}{R.C} \qquad (3)$$

رابطه (۳) یک معادله دیفرانسیل می‌باشد:

$$\varepsilon - V_C = Ke^{-\frac{t}{RC}} \Rightarrow V_C = \varepsilon - Ke^{-\frac{t}{RC}} \qquad (4)$$

برای پیدا کردن K از شرایط اولیه استفاده می‌کنیم: در لحظه t=0 و $V_C = 0$ است. در این صورت K برابر ε می‌شود و رابطه (٤) به شکل زیر در می‌آید:

$$V_C = \varepsilon\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \qquad (5)$$

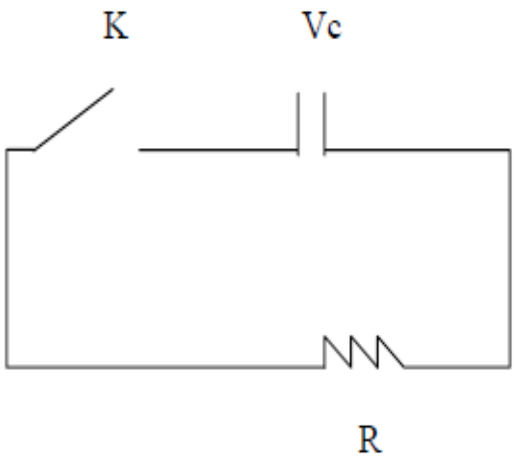
در رابطه (٥) RC را به T نمایش می‌دهند و ثابت زمانی نام دارد. هر گاه $t = T$ گردد $V_C = 0/63V_P$ می‌شود و برای $t = 3T$ داریم: $V_C = 0/95\varepsilon$. اگر از رابطه (٥)، dVc/dt را پیدا کنیم و در رابطه (۲) قرار دهیم جریان شارژ به دست می‌آید:

$$i = \frac{\varepsilon}{R}e^{-\frac{t}{RC}} \qquad (6)$$

رابطه (٦) نشان می دهد که جریان شارژ با گذشت زمان کاهش می یابد.

دشارژ خازن: هرگاه دو سر خازنی که شارژ می باشد به یک مقاومت وصل کنیم خازن خالی می شود. در شکل (۲) اگر کلید K بسته باشد، هر لحظه داریم:

$$i = \frac{V_C}{R} \qquad (1)$$



شکل ۲

از طرفی جریان برابر است با سرعت کاهش بار خازن یعنی:

$$i = -\frac{dq}{dt} = -C\frac{dV_C}{dt} \quad (2)$$

و با توجه به $q = CV_C$ از تساوی دو رابطه (۱) و (۲) نتیجه می‌شود:

$$\frac{dV_C}{V_C} = -\frac{dt}{RC} \quad (3)$$

معادله دیفرانسیل (۳) را حل می‌کنیم، خواهیم داشت:

$$V_C = \frac{-t}{RC} + K \Rightarrow V_C = Ke^{-\frac{t}{RC}}$$

چون در لحظه t=0 خازن شارژ شده، دارای ولتاژ برابر می‌باشد. از رابطه (٤) نتیجه می‌شود که $k = \varepsilon$. پس رابطه (٤) چنین نتیجه می‌شود:

$$V_C = \varepsilon e^{-\frac{t}{RC}} \quad (5)$$

با قرار دادن مقدار V_C از رابطه اخیر در رابطه (۲) جریان شارژ به دست می‌آید:

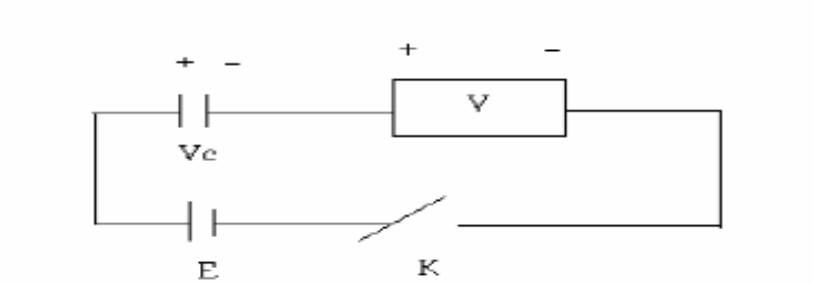
$$i = \frac{\varepsilon}{R}e^{-\frac{t}{RC}} \quad (6)$$

در رابطه (٦) τ =RC ، ثابت زمانی خازن و ε ولتاژ اولیه خازن می‌باشد. چنانچه از روابط (٥) و (٦) دشارژ و رابطه (٦) شارژ پیداست منحنی نمایش جریان شارژ و دشارژ خازن و همچنین پتانسیل دشارژ نسبت به زمان شبیه یکدیگرند.

روش آزمایش :

آزمایش اول شارژ خازن :

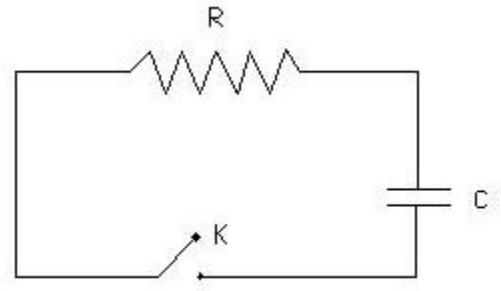
مقاومت ولتمتر الکترونیکی حدود ١٠ مگا اهم ($R = 10M\Omega = 10 * 10^6\Omega$) می‌باشد. ابتدا به کمک ولت متر ولتاژ منبع تغذیه را بدست آورده سپس مداری مانند شکل زیر ببندید.



کرنومتر را آماده کرده، همزمان با بستن کلید K، آن را به کار اندازید . حال طبق جدول شماره (١) اعداد مربوط به ولتمتر را یادداشت نمایید. منحنی نمایش تغییرات V_c ولتاژ شارژ خازن بر حسب زمان را رسم نمایید و با استفاده از این مطلب که وقتی t=τ (ولتاژ شارژ خازن ٠/٦٣ ولتاژ منبع می گردد) τ را از روی منحنی به دست آورده مقدار C ظرفیت خازن را حساب کنید.

آزمایش دوم دشارژ خازن :

ابتدا دو سر خازن را مستقیما به دو سر منبع تغذیه وصل کنید. در اینصورت خازن در کسری از ثانیه پر می شود. مداری مطابق شکل سوار کنید. کرنومتر را آماده کرده، همزمان بستن کلید، آن را به کار اندازید و جدول شماره (٢) را تکمیل کنید. سپس نمودار ولتاژ دشارژ خازن را برحسب زمان رسم کنید. با استفاده از این مطلب که وقتی t=τ (ولتاژ شارژ خازن ٠/٣٧ ولتاژ منبع می گردد) τ را از روی منحنی به دست آورده مقدار C ظرفیت خازن را حساب کنید.



جداول شارژ و دشارژ خازن

t	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
V														
$V_c = V - V_{pil}$														

جدول 1: شارژ خازن

t	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
V														

جدول 2: دشارژ خازن

سوال:

۱) نقش ولتمتر در مدارشارژ خازن چیست؟

۲) ثابت زمانی را تعریف کنید و بگویید چنانچه مقدار ثابت زمانی آزمایش کوچک باشد چه مشکلی در رسم منحنی شارژ به وجود می آید؟

آزمایش ۶ : ترانسفورماتور

هدف آزمایش:

آشنایی با ساختمان، طرز کار و کاربرد ترانسفورماتور

ملاحظات نظری:

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

ساختمان اصلی ترانسفورماتورها از یک هسته مغناطیسی ساخته شده که به دور آن دو سری سیم پیچ 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 یک لحظه درون آن دوقطبی های میکروسکوپی مغناطیسی متعددی تشکیل شده است 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:

$$e_p = -Kn_p \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

که در رابطه بالا e_p 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) $(K = 1)$، $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$ عبارتست از تغییر شار مغناطیسی نسبت به زمان و بر حسب وبر بر ثانیه و علامت (−) ناشی از قانون لنز است. به همین ترتیب در سیم پیچ ثانویه نیروی محرکه القایی بوجود می آید که برابر است با:

$$e_s = -Kn_s \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

با تقسیم دو رابطه بالا به یکدیگر خواهیم داشت:

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

چون ولتاژ با نیروی محرکه متناسب است رابطه فوق به صورت زیر در می آید :

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

که رابطه ترانسفورماتورها نامیده می شود.

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

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

بنابراین:

$$V_p I_p = V_s I_s$$

یا به عبارتی:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{n_s}{n_p}$$

خصوصیات فیزیکی ترانسفورماتورها:

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

۲ ـ 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.

$$E_{eff} = P_s/P_P \qquad \textbf{(راندمان ترانسفورماتور= توان خروجی/توان مصرفی)}$$

۳ـ 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: الف- اتلاف هیسترسیز ب- جریان های گردابی فوکو

پ- پراکندگی شار یا فلو است.

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

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

روش آزمایش:

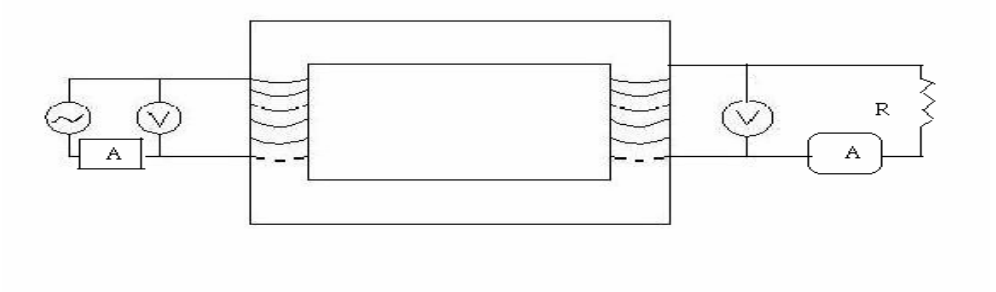
آزمایش الف)

دو سیم پیچ را در مجاورت یکدیگر قرار دهید. دو سر سیم پیچ اولی را به جریان متناوب و دوسر سیم پیچ دومی را به گالوانومتری وصل کنید . آیا جریانی در سیم پیچ دوم به وجود می آید؟ چرا؟ سیم پیچ ها را از یکدیگر دور و به یکدیگر نزدیک کنید. در هر حالت چه اتفاقی می افتد ؟ چرا؟

آزمایش ب)

مداری مطابق شکل تشکیل دهید و دو سر سیم پیچ اولیه را به جریان متناوب و دو سر سیم پیچ ثانویه را به یک مقاومت وصل کنید و توسط ولت سنج و آمپرسنج ، اختلاف پتانسیل و شدت جریان اولیه و ثانویه را اندازه گیری کنید . با پر کردن جدول زیر رابطه بین اختلاف پتانسیل ها و شدت جریان ها را به دست آورید.

نکته: برای انجام بهتر آزمایش، مدار را یک بار جداگانه در حضور ولتمترها و بار دیگر در حضور آمپرمترها ببندید و روابط ولتاژ و جریان ها را با تعداد دورهای سیم پیچ اولیه و ثانویه تحقیق کنید.



نسبت دور سیم پیچ ها	V_s	V_p	I_s	I_p
$n_p = n_s$				
$n_p \rangle n_s$				
$n_p \langle n_s$				

سوال:

۱) نقش هسته در ترانسفورماتور چیست؟

۲) ترانسفورماتور ایده آل چه خصوصیاتی دارد؟

۳) عوامل ایجاد اتلاف در ترانسفورماتور را بیان کنید.

٤) چند مورد از کاربرد های ترانسفورماتور را بیان کنید.

آزمایش ۷ : بررسی مدارهای RL،RC وRLC در مدارهای جریان متناوب

هدف آزمایش:

بررسی رابطه بین جریان و ولتاژ در مدارهای جریان متناوب سری

ملاحظات نظری:

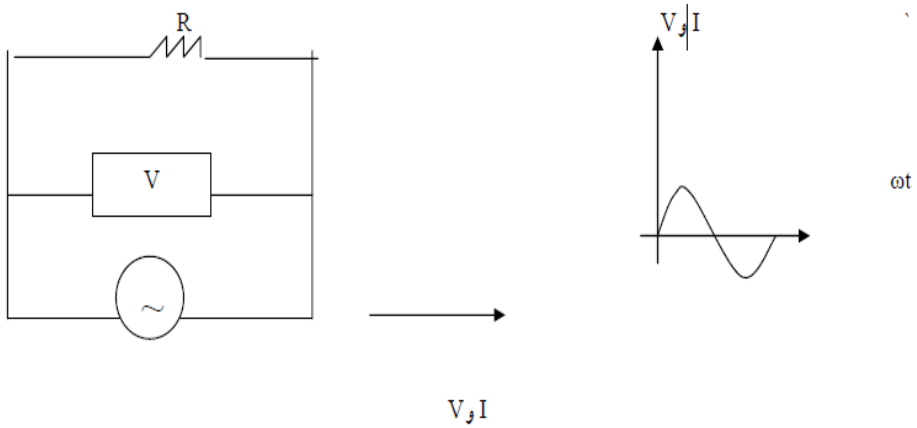
در مدارهای جریان متناوب چون مقدار و جهت جریان به طور پیوسته تغییر می کند، قوانین اهم و کیرشهف به همان شکل ساده که در جریان مستقیم به کار می رود قابل استفاده نیست. از این رو در جریان های متناوب باید در قوانین فوق تجدید نظر کرد. ساده ترین نوع جریان متناوب جریان سینوسی است که با رابطه زیر مشخص می شود:

$$I = I_m \sin \omega t \qquad (1)$$

در رابطه بالا I جریان لحظه ای، I_m را دامنه جریان و ω را که برابر $2\pi f$ می باشد، تپش جریان نامیده می‌شود. (f فرکانس جریان است که برای برق شهر برابر 50 C/sec می‌باشد)

الف) مدار شکل(۱–الف) را در نظر می گیریم که فقط دارای مقاومت است. قانون اهم در هر لحظه صادق است، پس می توانیم بنویسیم:

شکل (ا– الف)　　شکل (ا– ب)

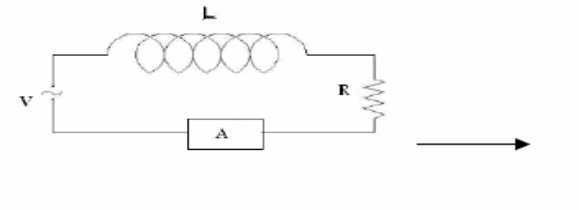


$$V = RI = RI_m \sin \omega t$$

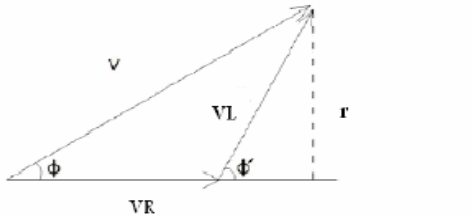
ب) مداری در نظر می گیریم که شامل مقاومت و اندوکتانس به طور سری باشد. (این مقاومت می تواند مقاومت اهمی خود اندوکتانس باشد) شکل(۲–الف). چون جریان متناوب است، نیروی محرکه

خود القا در اندوکتانس به وجود می آید که با رابطه $e = -L\frac{dI}{dt}$ مشخص می گردد. در این رابطه L ضریب خودالقایی و I جریان مدار است. اگر ولتاژی را که به دو سر مقاومت و اندوکتانس وصل شده V بگیریم، جریان از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$I = \frac{V+e}{R} \qquad (2)$$



شکل (۲ـ الف)



شکل (۲ـ ب)

رابطه (۲) را با توجه به نیروی محرکه القایی به شکل زیر می نویسیم :

$$V = IR - e \Rightarrow V = IR + L\frac{dI}{dt} \qquad (3)$$

اگر به جای I در رابطه بالا از رابطه (۱) قرار دهیم خواهیم داشت:

$$V = I_m \mathrm{R} \sin\omega t + I_m L\omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (4)$$

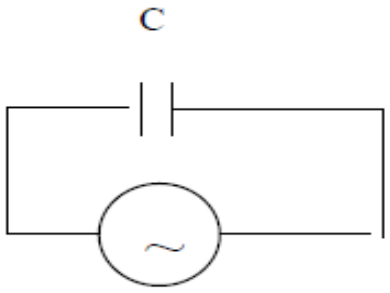
جمله اول سمت راست رابطه (٤) را که جریان هم فاز است، ولتاژ فعال و جمله دوم را ولتاژ غیر فعال می‌نامند. همچنین رابطه (٤) نشان می دهد که ولتاژ دو سر اندوکتانس به اندازه ۹۰ درجه از جریان جلو است. در شکل ۲–ب اگر $r = 0$ باشد (r مقاومت اهمی انوکتانس است) ولتاژ اندوکتانس از جریان جلوتر است. از روی رسم برداری ۲–ب روابط زیر بدست می آید :

$$V^2 = I^2R^2 + I^2(L\omega)^2 \Rightarrow I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (L\omega)^2}} = \frac{V}{Z} \qquad (5)$$

$$\tan\emptyset = \frac{L\omega}{R}$$

در رابطه (۵)، Z را مقاومت ظاهری یا امپدانس مدار گویند و $\emptyset$ اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان است. معمولا $L\omega$ را با X_L نشان می‌دهند و به آن راکتانس القایی می‌گویند.

ج) مداری که شامل خازن است در نظر می گیریم:



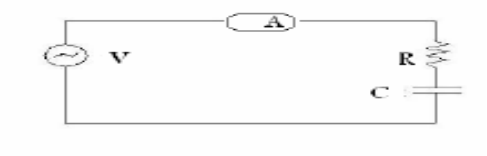
حال با توجه به این که جریان با $\frac{dq}{dt}$ برابر است، می‌توان نوشت:

$$I = \frac{dq}{dt} = CV\omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (6)$$

و با فرض $X_C = \frac{1}{L\omega}$ که راکتانس خازنی می‌گویند، رابطه اخیر به شکل زیر درمی‌آید:

$$I = \frac{V}{X_C} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) \qquad (7)$$

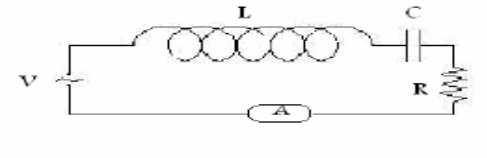
مشاهده می‌شود که برخلاف حالت ب در خازن جریان به اندازه ۹۰ درجه از ولتاژ جلوتر است. در شکل (۳- ب) و (۳- ج) به ترتیب منحنی های مربوط به مدار و رسم برداری خازن رسم شده است.



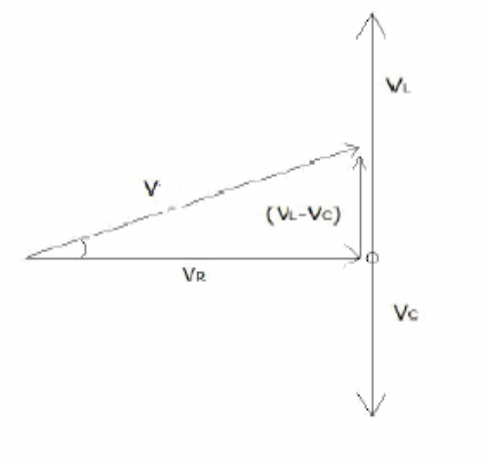
شکل (۳ـ ب)

شکل (۳ـ ج)

د) اکنون مداری در نظر می گیریم که شامل مقاومت، اندوکتانس و خازن باشد.



شکل (٤ـ الف)



شکل (٤ـ ب)

در شکل (٤ـ الف) جریان مدار را $I = I_m \sin \omega t$ فرض می‌کنیم و با توجه به اینکه $q = \int Idt$ می‌باشد، قانون اهم را برای مدار مورد نظر می‌نویسیم:

$$V = V_R + V_L + V_C \Rightarrow V = RI + l\frac{dI}{dt} + \frac{\int Idt}{C} \qquad (8)$$

در نتیجه داریم:

$$V = RI_m \sin \omega t + I_m L\omega \cos \omega t - \frac{1}{C\omega} I_m \cos \omega t \qquad (9)$$

$$V = RI_m \sin \omega t + I_m L\omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) - \frac{1}{C\omega} I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \qquad (10)$$

رابطه ۱۰ نشان می دهد که ولتاژ دو سر خازن به اندازه ۹۰ درجه نسبت به جریان جلو و به اندازه ۱۸۰ درجه نسبت به ولتاژ دو سر اندوکتانس عقب است . با توجه به رسم برداری (٤–ب) روابط زیر حاصل می‌شود:

$$V^2 = I^2R^2 + I^2(L\omega - \frac{1}{C\omega})^2 \Rightarrow V = I\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$$

$$\tan\varphi = \frac{I(L\omega - \frac{1}{C\omega})}{IR} = \frac{L\omega - \frac{1}{C\omega}}{R} \quad (11)$$

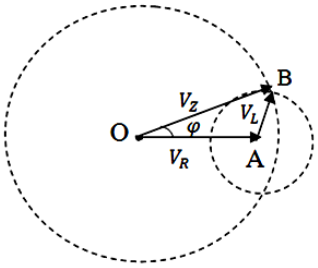
جمله $Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2}$ را امپدانس و جمله مدار گویند.

- **رسم فرنل برای مدار RL**

در آزمایش مربوط به مدار RL سه ولتاژ V_R ، V_L و V_Z اندازه گیری می شود. برای بدست آوردن اختلاف فاز (φ) میان شدت جریان و ولتاژ کل V_Z میتوان جمع برداری سه ولتاژ را رسم نموده و زاویه میان V_R و V_Z را به دست آورد چون همانطور که گفته شد ولتاژ V_R با جریان ورودی هم فاز می باشد.

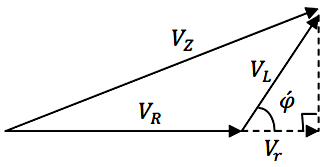
ابتدا روی کاغذ میلیمتری به اندازه V_R یک بردار ($\overrightarrow{OA}$) رسم کنید (مثلا اگر V_R مقدار 3V می باشد برداری به اندازه 3cm رسم کنید)، سپس به مرکز A و با شعاع V_L دایره ای رسم کنید. حال به مرکز O و به شعاع V_Z دایره ی دیگری رسم کنید.

این دایره و دایره‌ی قبلی یکدیگر را در دو نقطه قطع می کنند. همانطور که گفتیم ولتاژ سلف از شدت جریان جلوتر است (تقدم فاز دارد)، بنابراین نقطه ی بالایی برای ما قابل قبول می باشد.



در نتیجه، بردار $\overrightarrow{AB}$ برابر V_L و بردار $\overrightarrow{OB}$ برابر V_Z خواهد بود و زاویه میان V_R و V_Z اختلاف فاز مورد نظر خواهد بود که با نقاله اندازه گیری می شود.

دقت کنید که ولتاژ V_L عمود بر V_R نیست یعنی اختلاف فاز این دو، به دلیل وجود مقاومت اهمی سلف، کمی کمتر از $\frac{\pi}{2}$ می‌باشد. از طریق رسمی که انجام دادیم می توان این اختلاف فاز (φ) و مقاومت اهمی سلف (V_r) را به دست آورد:



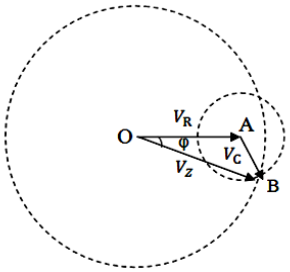
φ با نقاله اندازه گیری می شود، V_r را نیز با خط کش اندازه گیری کرده و آن را به ولت تبدیل کنید.

- **رسم فرنل برای مدار RC**

رسم فرنل برای مدار RC همانند مدار RL می باشد.

ابتدا روی کاغذ میلیمتری به اندازه V_R یک بردار $(\overrightarrow{OA})$ رسم کنید. سپس به مرکز A و با شعاع V_C دایره ای رسم کنید. حال به مرکز O و به شعاع V_Z دایره ی دیگری رسم کنید.

این دایره و دایره‌ی قبلی یکدیگر را در دو نقطه قطع می‌کنند، چون ولتاژ خازن از شدت جریان عقب‌تر است (تاخیر فاز دارد)، نقطه‌ی پایینی قابل قبول است.



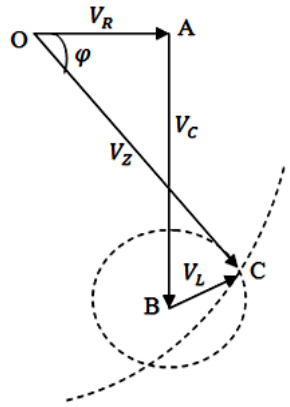
بنابراین بردار $\overrightarrow{AB}$ برابر V_C و بردار $\overrightarrow{OB}$ برابر V_Z خواهد بود. و زاویه میان V_R و V_Z اختلاف فاز مورد نظر (φ) خواهد بود که با نقاله اندازه گیری می شود.

- **رسم فرنل برای مدار RLC**

به اندازه V_R روی محور افقی کاغذ میلیمتری یک بردار $(\overrightarrow{OA})$ رسم کنید. سپس به اندازه V_C بردار $\overrightarrow{AB}$ را عمود بر $\overrightarrow{OA}$ و به سمت پایین رسم نمایید. حال به مرکز B و با شعاع V_L دایره ای رسم کنید و به مرکز O و به شعاع V_Z دایره‌ی دیگری رسم کنید.

این دایره و دایره‌ی قبلی یکدیگر را در دو نقطه قطع می کنند. در این مورد نیز، چون ولتاژ سلف از شدت جریان جلوتر است (تقدم فاز دارد) نقطه ی بالایی قابل قبول است.

بنابراین بردار $\overrightarrow{BC}$ برابر V_L و بردار $\overrightarrow{OC}$ برابر V_Z خواهد بود. و زاویه میان V_R و V_Z اختلاف فاز مورد نظر خواهد بود که با نقاله اندازه گیری می شود.



روش آزمایش:

آزمایش ۱ـ مدار RC :

مداری مطابق شکل (۳-ب) با یک خازن و مقاومت معلوم تشکیل داده وسپس مقادیر I ، V_R، V_Cو V_Z و Z را اندازه گیری کرده و در جدول ۱ قرار داده و φ بدست آمده از طریق رسم فرنل را با مقدار φ بدست آورده از رابطه ۱۰ مقایسه کنید.

(جدول ۱)

اندازه گیری					رسم فرنل	فرمول
I	V_R	V_c	V_Z	Z	φ	φ

Z امپدانس مدار را با استفاده از فرمول بدست آورده و با مقدار اندازه گیری شده مقایسه کنید.

آزمایش ۲- مدار RL :

مداری مطابق شکل (۲-الف) با یک مقاومت معلوم و سلف تشکیل داده اختلاف پتانسیل های V_R، V_Lو V_Z و جریان I را اندازه گرفته و در جدول ۲ قرار می دهیم.

(در اینجا مقاومت اهمی سیم پیچ را صفر فرض می کنیم.)

φ بدست آمده از طریق رسم فرنل را با مقدار φ بدست آورده از رابطه ۱۰ مقایسه کنید.

(جدول ۲)

فرمول	رسم فرنل	اندازه گیری				
φ	φ	Z	V_Z	V_L	V_R	I

Z امپدانس مدار را با استفاده از فرمول بدست آورده و با مقدار اندازه گیری شده مقایسه کنید.

آزمایش ۳ـ RLC :

مداری مطابق شکل (٤-الف) ببندید و جریان و ولتاژ های خواسته شده در جدول را بدست آورید و رسم فرنل را انجام دهید.

Z امپدانس مدار را با استفاده از فرمول بدست آورده و با مقدار اندازه گیری شده مقایسه کنید.

(جدول ۳)

فرمول	رسم فرنل	اندازه گیری					
φ	φ	Z	V_Z	V_c	V_L	V_R	I

سوال:

۱) در رابطه $\omega = 2\pi f$ هنگامی که از یکای SI استفاده می کنیم، ω بر حسب رادیان بر ثانیه و f بر حسب هرتز یا چرخه بر ثانیه است. رادیان یکای اندازه گیری زاویه است. زاویه چه ارتباطی با جریان متناوب دارد؟

۲) چرا سیستم های توزیع قدرت بدون بهره گیری از جریان متناوب بازدهی چندانی ندارند؟

۳) در آزمایش های فوق درصد خطای آزمایش را محاسبه کنید.

آزمایش ۸ : آشنایی با اسیلوسکوپ

هدف آزمایش:

شناخت پانل اسیلوسکوپ، کالیبره کردن اسیلوسکوپ، کالیبره کردن پروب، نحوه اعمال سیگنال به اسیلوسکوپ،اندازه‌گیریدامنه ولتاژ،اندازه‌گیری زمان تناوبو محاسبه فرکانس سیگنال.

ملاحظات نظری:

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 می تواند جهت اندازه‌گیری جریان مستقیم(DC)بکار برده شود.

ساختمان اسیلوسکوپ:

اسیلوسکوپ تشکیل شده است از یک تیوپ یا یویه کاتودی یا لامپ پرتو کاتودی

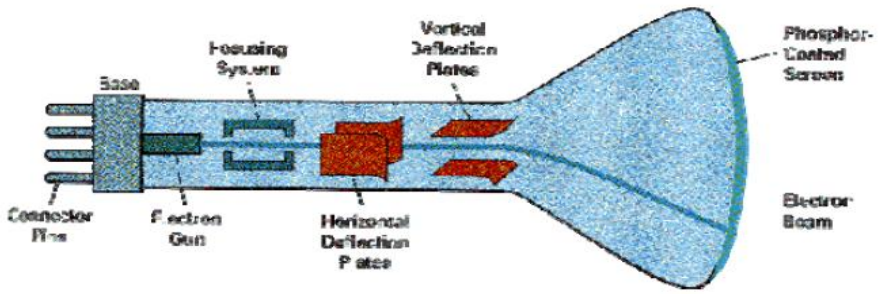
)(C.R.O-Cathore Ray Oscilloscope

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 شیمیایی که انرژی باریکه را به انرژی نور مرئی تبدیل می کند.این اجزاء در یک محفظه شیشه ایی تخلیه شده جای داده می شوند. شکل زیر یک لامپ پرتو کاتدی را نشان می دهد.



شکل ۱: ساختمان اسیلوسکوپ

کلیدهای اسیلوسکوپ

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

گروه کنترل، گروه کنترل عمودی، گروه کنترل افقی و گروه کنترل تریگر

گروه کنترل شامل:

الف)کلید روشن و خاموش: این کلید که باpowerمشخص می شود برای روشن و خاموش کردن است. پس از روشنکردن 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 باFOCUSنمایان است و برای تنظیم نقطه نورانی بکار می رود.

گروه کنترل عمودی:

که برای موقعیت و وضعیت عمودی اشعه است شامل:

الف) کلیدINPUT : این کلید محل ورودی سیگنال به اسیلوسکوپ است و به صورت یک سوکتBNC می باشد. سیگنال توسط یک سیم کواکسیال به این رابطBNC وصل می‌شود.

ب) کلید انتخاب ورودی: این کلید دارای سه وضعیتAC-GND-DC است و نحوه ارتباط سیگنال ورودی را به داخلاسیلوسکوپ تعیین می کند.اگر کلید در حالتACقرار گیرد تنها قسمت متناوب سیگنال ورودی به مدارات اسیلوسکوپ می‌رود.

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

پ)موقعیت عمودی: که با کلیدpositionمشخص شده است می‌تواند اشعه را در راستای عمودی حرکت دهد.

ت) کلیدVOLTS/DIVیا ولت بر قسمت یا تضعیف کننده مرحله ای: میدانیم که بهره تقویت کننده اسیلوسکوپ بایستیقابل تغییر باشد تا بتواند سیگنال های مختلف با دامنه های متفاوت را روی صفحه نمایش دهد و از صفحه خارج نشود. اینکلید که باVOLTS/DIVمشخص شده است وقتی سیگنال به ورودی اعمال شود و روی صفحه اسیلوسکوپ نمایش دادهشود، مقدار واقعی آن به تعداد

تقسیمات که روی صفحه اشغال شده‌ومقدار تضعیف‌کننده بستگی دارد.برای مثال یکسیگنال به شرح زیر بدست می‌آید.

تقسیم ٦/٤ = دامنه پیک تا پیک روی صفحه.

(قسمت/ولت) ۰/۲ = مقدار تضعیف کننده.

۰/۲ = ۱/۲۸*٦/٤= مقدار واقعی.

علاوه برتضعیف کننده مرحله‌ای که بصورت پله‌ای تغییر می‌کند روی این کلید،یک ولوم قرمز رنگ وجود دارد که به صورت پیوسته تغییر می کند که همیشه بایستی در وضعیتی قرارگیرد 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 کلید های زیراست.

الف)جاروب افقی: که با SEC/DIV یا زمان بر قسمت مشخص شده است این کلید اصلی ترین کلید کنتری افقی است وبرای کنترل زمان حرکت اشعه در مسیر افقی صفحه است و نشان می دهد که چقدر زمان طول می کشد تا اشعه یک قسمتروی 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(μSEC/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 شکلقبلی محاسبات چنین است:

تقسیم 4.8 = تعداد تقسیمات یک موج.

ثانیه 0.2 = کلید کنترل جاروب افقی.

ثانیه 0.096= 4.8*0.2=زمان تناوب یک سیکل کامل.

هرتز1.04= 1/0.096= زمان تناوب/1= فرکانس.

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

ب)موقعیت افقی: این کلیدpositionنشان داده شده است که برای تغییر افقی سیگنال به چپ و راست به کار می رود و ازآن برای دقت در اندازه گیری تقسیمات افقی یک سیگنال بکار می برند.

پ)چند برابر کننده:اگر جاروی افقی برروی این کلید قرار داشته باشد مثلا(MEG10※) آنگاه جاروب با سرعت ۱۰برابر یعنیMSEC/DIV1حرکت می کند.

ت)کلیدSWEEP MODEیا حالت های مختلف جاروب: که باMODEمشخص شده است این کلید دارای سه حالتAUTO و NORM و X-Y است.

در حالت AUTOحتی اگر سیگنال ورودی وصل نباشد جاروب افقی به صورت متناوب انجام می گردد و در حالتNORMحتما باید سیگنال ورودی باشد تا جاروب افقی انجام شود وگرنه صفحه اسیلوسکوپ تاریک است در حالتX-Yمدار تریگر قطع شده و از کانال‌های ۱ و ۲ به عنوان محورX (افقی) و محور Y(عمودی) استفاده می‌شود.

گروه کنترل تریگر:

تریگر در الکترونیک به آتش کردن و یا تحریک کردن معنی شده است و در اسیلوسکوپ به معنی زمان شروع جاروب افقیاست. در مدل های قدیمی اسیلوسکوپ این زمان به صورت ثابت صورت می گیرد یعنی مدار تریگر را طوری تنظیم میکردند که هرگاه سیگنال ورودی در جای خاصی باشد؛ مثلا در حال عبور از صفر به سمت یک مقدار مثبت(شروع سیکلمثبت) است مدار تریگر تحریک شده و جاروب افقی صورت می گیرد. در نتیجه همیشه سیگنال ورودی از شروع سیکلمثبت بر روی صفحه نمایش داده می شود. به این گونه اسیلوسکوپ نوع تریگر داخلی ثابت می‌گویند در مدار های جدیدتریگر قابل کنترل است و می توان در یک زاویه مشخص از سیگنال ورودی مدار تریگر را به کار انداخت تا سیگنالورودی از آن لحظه به بعد دیده شود.

قسمت کنترل تریگر دارای کلیدهای زیر است:

الف)سطح تریگر که باLEVELمشخص می‌شود. توسط این کلید چرخان می‌توان زمان شروع تریگر را طوری تنظیم کردکه مطابق باشد با زمان یک دامنه مشخص از سیگنال ورودی، دامنه سیگنال مورد نظر میتواند منفی؛مثبت یا صفر باشد.

ب) کلیدنوعاتصالتریگرکهبا SOURCEنشان داده شده است دارای پنج حالت است.

V.MODE: اگر چنانچه دکمه در وضعیتV.MODEقرار گیرد موج دندانه اره‌ای به صفحات انحراف افقی وصل می‌باشد. و از این کلید وقتی استفاده می‌شود که از هر دو کانال استفاده شود.

CH_1در این حالت کلیدMODEباید در وضعیت CH_1 یا CH_2 قرار گیرد.

CH_2سمت چپ در همان وضعیت قرار گیرد.

LINE :این وضعیت وقتی است که برق شهر بجای موج دندانه اره ای بکار می رود.

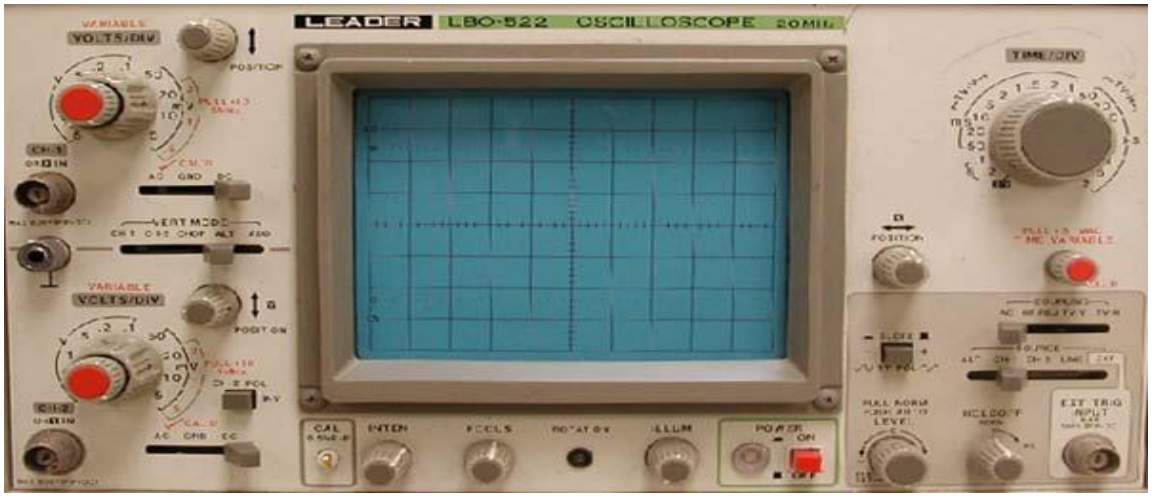
EXT : در این حالت موج دندانه اره ای داخلی قطع شده و می توان از خارج توسط ورودیEXT به صفحات افقی موج دلخواه وصل کرد.

ج)کلیدهای کوپلینگ (coupling) سه حالت AC و FRAME و LINE دارد که در دو حالت اخیر برای کارهای ویدئویی وتلویزیون انتخاب میشودسطح LEVEL اثر ندارد و از یک سطح ولتاژ مشخص از موج دستگاه خود به خودنزدیک می کند. حالتAC 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_1 و کانال دو CH_2 که نشاندهنده 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 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.



شکل۲: نمایی از کلیدهای اسیلوسکوپ

روش آزمایش:

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

نکات ضروری:

- هنگام تغییر رنج کلید سلکتورها، به آرامی و با دقت، رنج ها را عوض کنید زیرا کنتاکت ثابت اکثر سلکتورها از نوع مدارچاپی است و احتمال خراب شدن آنها زیاد است.
- شدت نور را، مخصوصا هنگامی که اسیلوسکوپ رویX-Yقرار دارد بیش از اندازه زیاد نکنید، در این حالت موج جاروبصفحات انحراف افقی قطع می شود و روی صفحه حساس فقط یک نقطه نقش می بندد. در این حالت اشعه به طور مداوم بهصفحه می تابد و مواد فسفرسانس آن نقطه را خراب می کند. این خرابی منجر به ایجاد یک لکه سیاه روی صفحه می شود.
- کلید های فشاری روی پانل اسیلوسکوپ را هنگام تغییرحالت به آرامی فشار دهید.
- سیم پروب را هیچگاه نکشید.
- چنانچه ولتاژ مورد اندازه گیری در ابتدا مشخص نیست از حالت۱۰ *(ضربدر ۱۰) پروب استفاده کنید رنج کلیدسلکتورVolt/Divرا در بیشترین مقدار خود قرار دهید.
- چنانچه بعد از روشن کردن اسیلوسکوپ اشعه روی صفحه حساس ظاهر نشد از کارشناس آزمایشگاه کمک بگیرید.

کالیبره کردن اسیلوسکوپ

قبل از انجام آزمایش و اندازه گیری توسط اسیلوسکوپ باید دستگاه را کالیبره کرد بنابراین:

سیم یکی از کانالها را به گیره CAL اسیلوسکوپ متصل کنید. با تغییر کلید ولت بر قسمت و زمان بر قسمت یک موج مربعی روی صفحه پدیدار می شود. تعداد خانه های پیک تا پیک موج مربعی را بخوانید.

اسیلوسکوپ مورد آزمایش در ولتاژ ۲ ولت کالیبره می شود (2 V p-p) بنابراین با تنظیم کردن کلید ولت بر قسمت کاری کنید که پیک تا پیک شما ۲ ولت را نشان دهد.آنگاهولوم قرمز رنگ کلید ولت بر قسمت را تا انتها در جهت عقربه های ساعت بپیچانید تا صدای تق به گوش برسد. حالا مطمئن هستید که اسیلوسکوپ شما کالیبره شده است.

نکته: تا انتهای آزمایش دستگاه کالیبره است و نیازی نیست هر بار دستگاه را کالیبره کنید. (ولوم قرمز رنگ را تغییر ندهید.)

آزمایش شماره (۱) : تنظیم مبدا و اندازه گیری پتانسیل DC

برای تنظیم مبدا به صورت زیر عمل کنید:

– اسیلوسکوپ را روشن کرده و دکمه x-y (گوشه راست بالای اسیلوسکوپ) را فشار دهید.

– کلید انتخاب AC-GND-DC را در حالت GND (زمین) قرار دهید.

با این کار یک نقطه در صفحه اسیلوسکوپ مشاهده خواهید کرد. حال با استفاده از ولوم های تغییر مکان (Position) افقی ⟷ و عمودی ↕ محل این نقطه را در مرکز صفحه نمایش تنظیم کنید.

با استفاده از اسیلوسکوپ می‌توان ولتاژ منبع تغذیه DC را اندازه گیری کرد. برای این کار به صورت زیر عمل کنید:

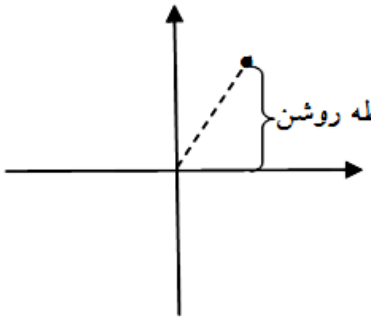
– ورودی کانال ۱ اسیلوسکوپ را به منبع تغذیه DC وصل کنید.

– ولتاژ منبع تغذیه را روی عدد خاصی قرار داده و با استفاده از ولت متر عدد آن را بخوانید.

–کلید Time/Div و Volt/Div را به ترتیب روی 1s و 1V قرار دهید.

- نوع ولتاژ ورودی اسیلوسکوپ را با استفاده از کلید انتخاب AC-GND-DC روی حالت DC قرار دهید.

با این کار نقطه روشن در صفحه اسیلوسکوپ جابجا خواهد شد. چون اسیلوسکوپ در واقع نمودار ولتاژ-زمان (V-t) را نمایش می دهد، جابجایی قائم این نقطه، ولتاژ منبع DC خواهد بود. برای خواندن این عدد کافیست که تعداد خانه‌های عمودی مربوط به نقطه روشن را شمرده و در عدد Volt/Div (که آن را 1V انتخاب کردیم) ضرب کنیم.



$$V_{DC} = \left(\text{عدد Volt/Div}\right) \times \left(\text{جابجایی قائم نقطه روشن}\right)$$

این عدد را با مقدار واقعی که ولت متر نشان می‌دهد مقایسه کرده و درصد خطای نسبی را به دست آورید.

آزمایش شماره (۲) : اندازه گیری فرکانس و ولتاژ یک سیگنال سینوسی

- پروب یکی از کانال های اسیلوسکوپ را به ترمینال های خروجی سیگنال ژنراتور وصل کنید.

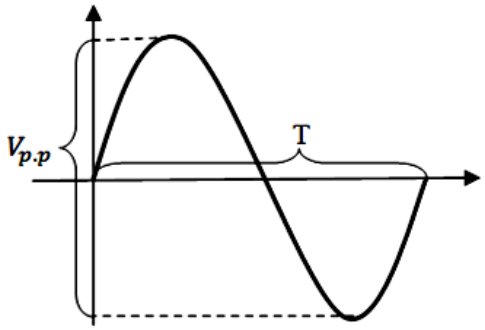
- فرکانس مولد سیگنال را روی عدد خاصی قرار دهید و شکل موج (WaveForm) را سینوسی انتخاب کنید.

- کلیدAC-GND-DC را در حالتAC قرار دهید و شکل موج را مشاهده کنید. چه فرقی بین شکل موج نشان داده شده در دو حالتAC و DC دارد؟

- با شمردن تعداد خانه‌های عمودی و افقی می‌توان ولتاژ قله به قله $V_{\text{p.p}}$ (Peak To Peak) و دوره تناوب T این موج سینوسی را به دست آورید.

$$V_{p.p} = \left(\text{عدد } \frac{Volt}{Div}\right) \times \left(\text{تعداد خانه های عمودی بین دو قله}\right)$$

$$T = \left(\text{عدد } \frac{Time}{Div}\right) \times \left(\text{تعداد خانه های افقی بین دو نقطه همفاز}\right)$$



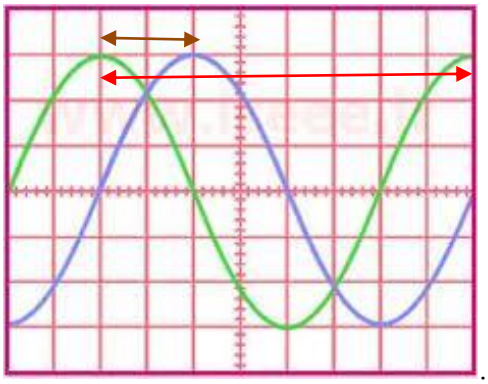
با استفاده از دوره تناوب موج سینوسی فرکانس آن را به دست آورده ($f_{\text{تجربی}}$) و با فرکانسی که مولد سیگنال نشان می‌دهد ($f_{\text{واقعی}}$) مقایسه کرده و درصد خطای نسبی را به دست آورید.

$$f_{\text{تجربی}} = \frac{1}{T}$$

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

آزمایش شماره (۳) اندازه گیری اختلاف فاز دو موج سینوسی هم فرکانس

در اندازه گیری اختلاف فاز، با استفاده از اسیلوسکوپ دو کاناله، دو سیگنال را به دو کانال اعمال می کنیم. روی صفحهاسیلوسکوپشکل موج دو کانال به طور همزمان نشان داده می شوند (شکل ۳)و با استفاده از شکل موج ها می توان به آسانی اختلاف فاز بین آنها را محاسبه کرد.



شکل ۳: شکل موج دو کانال به طور همزمان روی صفحه اسیلوسکوپ

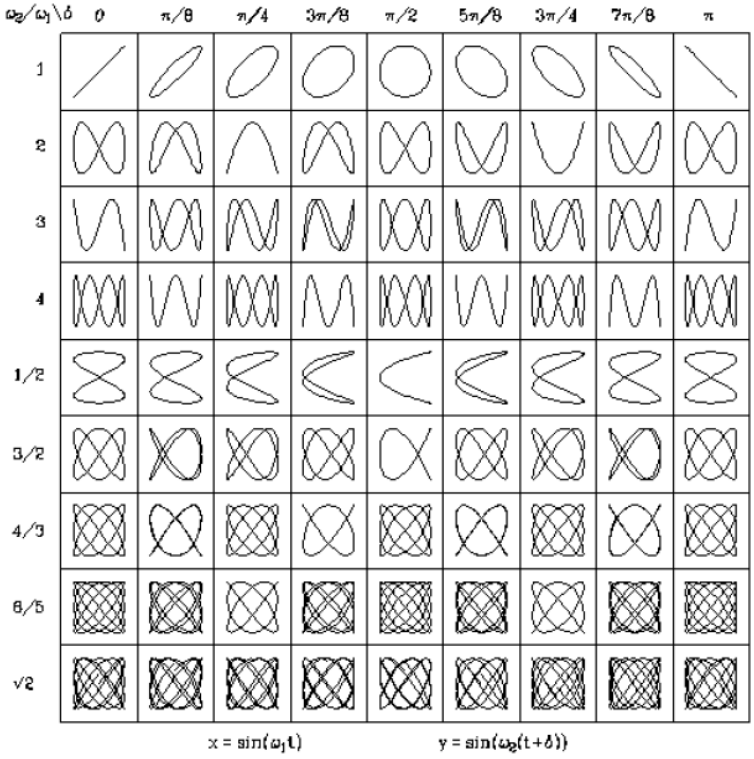
روش محاسبه اختلاف فاز در روابط زیر آمده است:

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

منحنی های لیساژور (ترکیب امواج با فرکانس‌های متفاوت)

اگر دو نیرو در امتدادعمود بر هم به جسمی وارد شوند و هر کدام از آنها یک حرکت نوسانی به جسم بدهند جسم تحت تاثیر این دو نیرو مسیر بسته‌ای را طی می‌کند که شکل آن مسیرها را لیساژور گویند. شکل زیر منحنی های لیساژور را نشان می دهد که اختلاف فاز و نسبت فرکانس ها در هر شکل مشخص شده است.



شکل ٤ : منحنی های لیساژور

موقعی که پرتو الکترونی از میان صفحه های خازنی عبور کند تحت اثر میدان الکتریکی دارای حرکت نوسانی خواهد بود وروی صفحه اسیلوسکوپ یک خط مشاهده می شود. اکنون اگر به دو خازن دو ولتاژ نوسانی متصل شود الکترون ها در دوسطح عمودبرهم نوسان خواهند داشت. در حالتی

که نسبت بسامد دو ولتاژ متغیر دو عدد درست باشد یکی از اشکال لیساژور روی صفحه اسیلوسکوپ تشکیل می شود.

با تغییر فرکانسهای دو مولد سیگنال، هریک از منحنی‌های لیساژور (شکل۴) را در صفحه نمایش اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

آزمایش شماره (۴): اندازه گیری اختلاف فاز به روش اشکال لیساژور

روش اندازه گیری اختلاف فاز توضیح داده شده (آزمایش شماره۳)، یکی از دقیق ترین روش های اندازه گیری اختلاف فاز است. روش دیگری نیز وجود دارد که بیشتر در اسیلوسکوپ های دو کاناله از آن استفاده می شود. در این روش از اشکال لیساژور برای اندازه گیری اختلاف فاز استفاده می شود و MODE باید روی X-Y قرار گیرد.

منحنی های لیساژور تصاویری هستند که در آنها یک موج برحسب موج دیگر رسم می شود. بطوری که متغیر زمان از معادله های شکل موج حذف شود. به کمک این تصاویر، می توان اختلاف فاز میان دو موج سینوسی هم فرکانس و نیز نسبت فرکانسی دو موج سینوسی را بدست آورد.

دو موج سینوسی $x = x_0 \sin \omega t$ و $y = y_0 \sin(\omega t + \varphi)$ را در نظر می گیریم و برای آن که حرکت نقطه ای تحت تاثیر این دو موج را بررسی کنیم حالت های گوناگونی را در نظر می گیریم:

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

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

که نشان دهنده یک خط راست است، با این تفاوت که x و yهر دو محدود هستند و در حقیقت یک پاره خط خواهیم داشت.

- دو موج دارای اختلاف فاز $\pi/2$ باشند:

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

با حذف زمان از معادله های بالاداریم:

$$(\frac{x}{x_0})^2 + (\frac{y}{y_0})^2 = 1$$

که نشان دهنده معادله یک بیضی است، که قطرهای آن در امتداد محورهای x و y می باشد (بیضی استاندارد).

در همین حالت اگر دامنه دو موج با هم برابر باشد $x_0 = y_0 = a$ در اینصورت تصویر پدید آمده، یک دایره به شعاع a خواهد بود.

- دو موج دارای اختلاف فاز π باشند:

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

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

در شکل زیر تصاویر مختلف پدید آمده برای مقادیر مختلف φ نشان داده شده است. نماد پیکان روی این نمودارها مربوط به جهت حرکت الکترون ها روی صفحه اسیلوسکوپ می باشد.

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

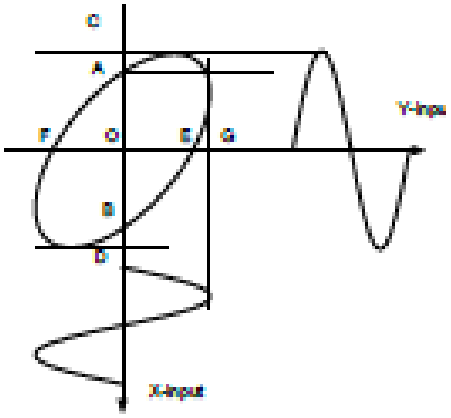
شکل ۵

اختلاف فاز φ :

اکنون فرض می کنیم که دو موج دارای فرکانس برابر و اختلاف فاز آنها $0 < \varphi < \pi/2$ باشد، همانطور که دیدیم، تصویر پدید آمده از ترکیب دو موج، یک بیضی همانند شکل زیر است. این بیضی هنگامی محور y ها را قطع می کند که:

$$x = x_0 \sin \omega t = 0 \quad \rightarrow \quad \omega t = k\pi$$

$$y = y_0 \sin(\omega t + \varphi) \quad \rightarrow \quad y = y_0 \sin(k\pi + \varphi) = \pm y_0 \sin \varphi$$



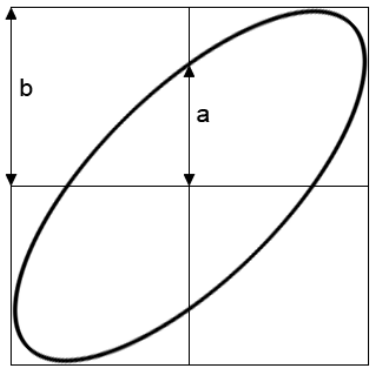
شکل٦ : نمایش بیضی پدید آمده از بر هم نهی دو موج با اختلاف فاز $0 < \varphi < \pi/2$

به این ترتیب داریم:

$$y(x=0) = y_0 \sin\varphi \ \rightarrow \varphi = Arc\sin(\frac{y(x=0)}{y_0})$$

اگر a و b را به گونه ای تعریف کنیم که $y_0 = b\,, y_{x=0} = a$ باشد (شکل ۷)، اختلاف فاز برابر است با:

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



شکل۷

برای دقت بیشتر می توان طول های 2a و 2b را بر روی صفحه اسیلوسکوپ اندازه گیری کرد.

- دکمه x-y اسیلوسکوپ (گوشه راست بالای اسیلوسکوپ) را فشار دهید.

- کلید منبع (Source) را روی CH1 قرار دهید.
- کلید انتخاب کانال CH1-CH2-DUAL-ADD را روی CH2 قرار دهید.

با این کار اسیلوسکوپ به جای نمایش نمودار ولتاژ-زمان یک نمودار x-y (دو محور عمود برهم) را رسم می‌کند که محور افقی (x) این نمودار کانال CH1 و محور عمودی (y) آن کانال CH2 خواهد بود.

- با تغییر فرکانس کانال ها، کاری کنید که یک بیضی روی صفحه اسیلوسکوپ ایجاد شود و با اندازه گیری مقادیر a و b اختلاف فاز دو موج را بدست آورید.

آزمایش شماره (۵): اندازه گیری فرکانس مجهول

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

F_1 بسامد معلوم، F_2 بسامد مجهول، n_2 تعدادنقاط تماس در امتداد لبه افقی مستطیل و n_1 تعداد نقاط تماس در امتداد لبه قائم مستطیل است. شکل ٤ اشکال لیساژور را به همراه نسبت فرکانس ها نشان می دهد.

سؤال:

۱) آیا به ازای هر ولت به اندازه یکی از تقسیمات، انحراف اشعه داشته ایم؟

۲) برای خواندن ولتاژ چگونه باید عمل کرد؟