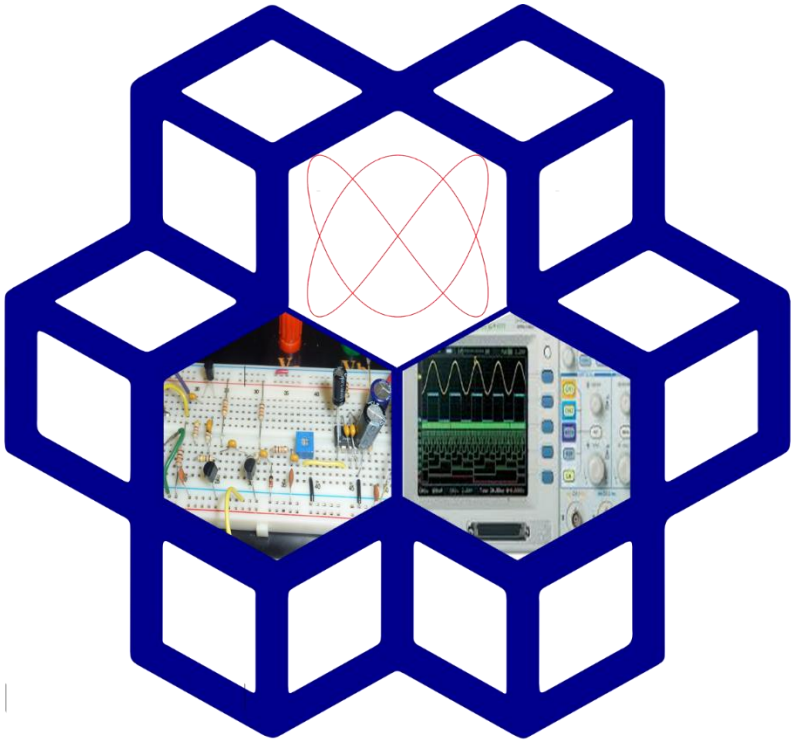
آزمایشگاه مدار های الکتریکی و اندازه گیری



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

مهندس فرخ لقا ثقفی، علی‌اکبر استارمی،علی بیتی

تاریخ بازنگری اسفند ۹۷

فهرست

مقدمه.....i

نکات مهم قبل از انجام کار در آزمایشگاه توسط دانشجویان.....ii

آزمایش شمارهٔ ۱ : بررسی قوانین کیرشهف..... ۱

آزمایش شمارهٔ ۲ : بررسی قضیه های مدارهای الکتریکی(قسمت ۱).....۵

آزمایش شمارهٔ ۳ : بررسی قضیه های مدارهای الکتریکی(قسمت ۲).....۱۰

آزمایش شماره۴ : بررسی رفتار خازن در مدارهای D.C ۱۴

آزمایش شمارهٔ ۵ : بررسی رفتار خازن در مدارهای A.C (ولتاژ متناوب).....۲۰

آزمایش شمارهٔ ۶ : پاسخ مدار RC به ولتاژهای سینوسی و مربعی.....۲۶

آزمایش شماره ۷ : پاسخ پالس در مدار RC ۳۴

آزمایش شمارهٔ ۸ : اندازه گیری دامنه، فرکانس، اختلاف فاز و فرکانس روزنانس توسط اسیلوسکوپ.....۳۶

آزمایش شمارهٔ ۹: استفاده از منحنی های لیساژو و مدولاسیون Z اندازه‌گیری اختلاف فاز، فرکانس و کالیبره.....۴۵

آزمایش شمارهٔ ۱۰ :روشهای اندازه گیری مقدار مقاومت.....۵۷

آزمایش شمارهٔ ۱۱ : اندازه گیری توان یکفاز.....۶۲

آزمایش شمارهٔ ۱۲ : اندازه گیری توان سه فاز ۶۷

آزمایش شمارهٔ ۱۳ : اندازه گیری مقدار انرژی توسط کنتور یک فاز – کنتور سه فاز.....۷۵

منابع ۷۹

مدارهای طراحی.....۸۰

به نام خدا

مقدمه

درس مدارهای الکتریکی، اصلی ترین درس پایه برای رشته مهندسی برق با گرایشهای گوناگون آن (الکترونیک، قدرت، مخابرات، کنترل و سخت افزار کامپیوتر) است. تشریح اصولی مدارهای الکتریکی و اندازه گیری در سیستمهای مهندسی و مکانیکی بسیار حائز اهمیت است. بنابراین در اینجا تلاش براین است که: ۱) آشنایی و یادگیری این مباحث، بررسی و تحلیل رفتار مدارها از پایه ترین المانها یعنی مقاومت، خازن، سلف و.... ۲) دستگاههای لازم برای مشاهده نتایج مدارهای مورد نظر... بصورت عملی به دانشجویان آموزش داده شود که مطالب تئوری این درس را پوشش دهد. در این دستورکار طبق روندی که در تئوری این درس توسط اساتید محترم تدریس می شود، ابتدا از قوانین اهم، جریان، ولتاژ و کیرشهف.... و همینطور معرفی المانها آغاز شده و در قسمت دیگر به بررسی و کاربرد دستگاههای اندازه گیری در مدارها پرداخته شده و به اندازه گیری کمیت های قدرتی ختم می شود. منبع اصلی در اینجا برق شهر است که علت آن قابلیت دسترس همگانی و سینوسی بودن سیگنال آن است و همچنین یکی از دلایل تولید ولتاژ به صورت شکل موج سینوسی، تولید و انتقال آسان آن می باشد. در نتیجه آزمایشهای مدارهای مربوطه را می توان براحتی در فرکانس های پایین انجام داد. در خاتمه از همکاری صمیمانه استاد گرامی و محترم جناب آقای مهندس سید حسن ابوتراب، آقای علی اکبر استارمی دانشجوی دکتری دکتر نکویی و آقای مهندس علی یتی که در تدوین این جزوه مرا یاری نموده اند کمال قدردانی و تشکر خود را دارم.

نکات مهم قبل از انجام کار در آزمایشگاه توسط دانشجویان

جلوگیری از حوادث:

دانستن قوانین آزمایشگاه و اقدامات ایمنی برای کلیه دانشجویان ضروری است. انتخاب وسایل مورد احتیاج برای هر آزمایش و تغییر اتصالات مدار بایستی فقط به دستور و حضور سرپرست یا مدرس آزمایشگاه صورت گیرد. به قسمتهایی که احتمال برق گرفتگی در آنها وجود دارد نباید دست زد و همچنین در آزمایشهای مربوط به توان و کنتور برق... به نکات ایمنی که در آزمایشگاه ذکر شده و توسط مدرسین به دانشجویان توضیح داده می شود، بسیار دقت نمایند. تعویض وسایل آزمایش بایستی فقط در حالت قطع مدار، صورت گیرد. در صورت وقوع خطر، مدارها باید فوراً قطع شوند. برای قطع برق میزهای آزمایشگاه کلیدهای روی پنل میزها را قطع نمایید.

نحوه انجام آزمایش:

نحوه شرکت دانشجویان در آزمایشها به صورت گروه دو نفره می باشد. هر گروه موظف است قوانین آزمایشگاه را به طور دقیق اجرا نماید. وسایل مورد احتیاج برای هر آزمایش در روی میزهای کار قرار داده شده است و دانشجویان میتوانند با استفاده از شماهای داده شده برای هر آزمایش مدار مورد نظر را ببندند. در صورتی که هر کدام از وسایل آزمایشگاه دچار مشکل گردید موضوع باید بلافاصله به اطلاع سرپرست آزمایشگاه برسد. قبل از شروع آزمایش هر دانشجو باید دستورکار آزمایش را با دقت مطالعه نموده و از فهم مطالب آن مطمئن گردد. قبل از هر آزمایش جدید، در رابطه به آن باید هر گروه یک پیش گزارش مبنی بر مطالعه و نکات آن آزمایش را باید فراهم نمایند و در ضمن آزمایش از دانشجویان سؤالاتی خواهد شد.

آزمایش شمارهٔ ۱
بررسی قوانین کیرشهف

یادآوری

هدف از این آزمایش بررسی قوانین فوق بصورت عملی می‌باشد.

۱–۱) قانون اهم :

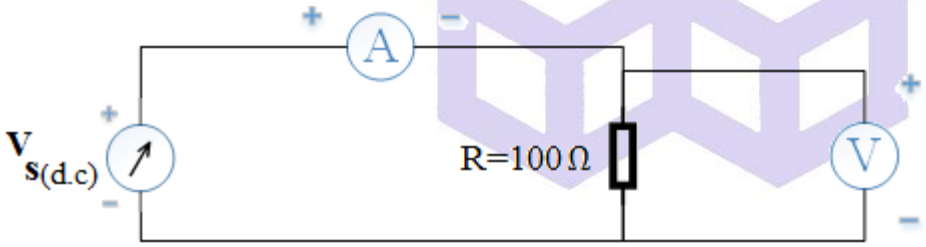
اختلاف پتانسیل باعث جاری شدن جریان الکتریکی در مدار می‌شود و مقاومت، با عبور جریان مخالفت می‌کند. بین ولتاژ، جریان و مقاومت رابطه وجود دارد. اگر مقدار مقاومت مداری ثابت نگه فرض شود و مقدار ولتاژ منبع افزایش یابد، شدت جریان آن زیاد می‌شود و همینطور برعکس.

قانون اهم $\Longleftrightarrow \quad R = \frac{V}{I}$

شرح آزمایش

مدار زیر (مدار تقسیم کننده جریان نام دارد) را ببندید و سپس با تغییر V_S جدول زیر را کامل نمایید.

توجه: برای تنظیم مقدار ولتاژ از ولتمتر دیجیتال یا آنالوگ و برای خواندن جریان حتما از آمپرمتر آنالوگ استفاده نمایید.



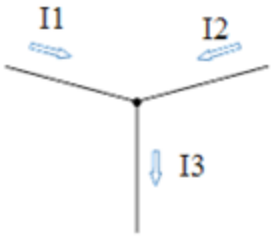
V_R(V)	1	2	3	4	5
(mA) = ?I_R					

سؤال

۱) در چه مقدار از ولتاژ یا جریان در مدار، مقاومت 100 اهم شروع به گرم شدن می‌نماید. علت را توضیح دهید.

۲–۱) قانون جریان یا KCL و مقسم جریان:

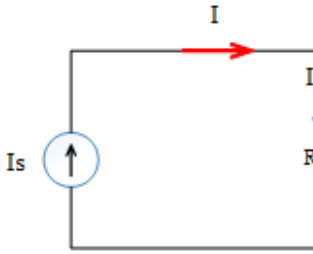
جمع جبری جریان‌ها در هر گره از مدار برابر صفر است.



$$\sum_{i=1}^{n} I_i = 0$$

در مقسم جریان در صورتیکه به مقدار کمتری از جریان یک منبع نیاز داشته باشیم، از مدار مقسم جریان استفاده می‌کنیم.

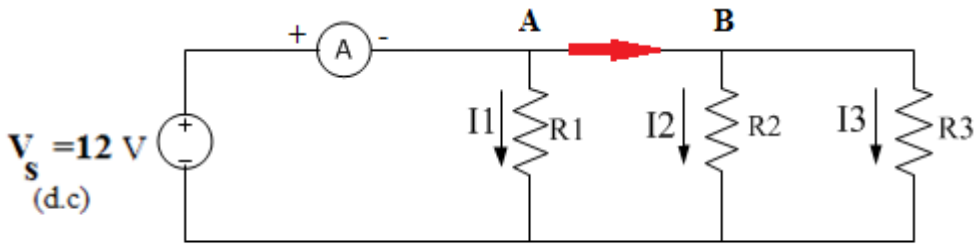
در این صورت:



$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad , \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \times I$$

شرح آزمایش

مدار را طبق شکل زیر را روی برد آزمایشگاه ببندید(بررسی شدت جریان شاخه‌های موازی). سپس جدول را کامل نمایید.



R1=R2=430Ω , R3=330Ω

$I_A(mA)$	$I_1(mA)$	$I'(mA)$	$I_2(mA)$	$I_3(mA)$

سؤال

۱) چه رابطه‌ایی بین جریان‌های ورودی و خروجی هریک از گره های A و B وجود دارد؟(قانون **KCL** را تحقیق کنید.)

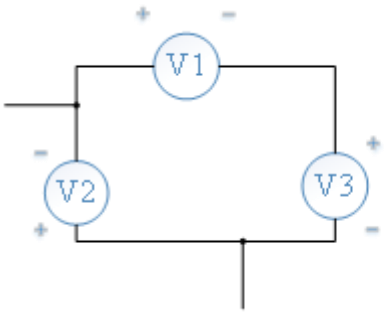
۲) چه مقدار مقاومت R_T می توان به جای مجموع مقاومت‌های مدار(R_1, R_2, R_3) جایگزین کرد تا جریان کل یعنی I_A بدون تغییر بماند؟

۳) رابطه بین جریان‌های I_1 و I_2 و I_3 با مقاومت های R_1 و R_2 و R_3 از لحاظ تئوری و عملی بدست آورده و سپس نتایج را با یکدیگر مقایسه کنید.

سؤال

۳–۱) قانون ولتاژ یا KVL :

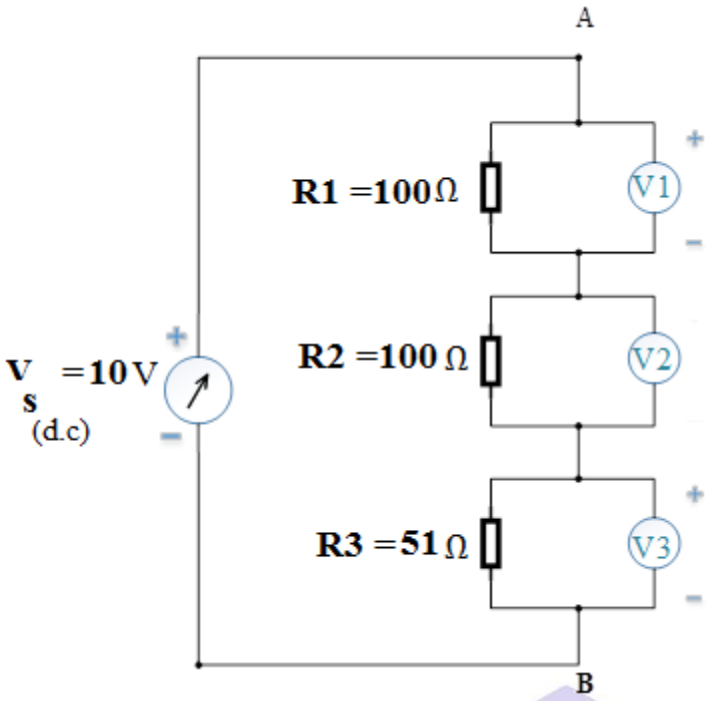
جمع جبری ولتاژهای عناصر در هر مسیر بسته صفر است.



$$\sum_{i=1}^{n} V_i = 0$$

شرح آزمایش

مدار را طبق شکل صفحه بعدی ببندید و سپس ولتاژ هریک از مقاومت ها را در جدول داده شده، بنویسید.

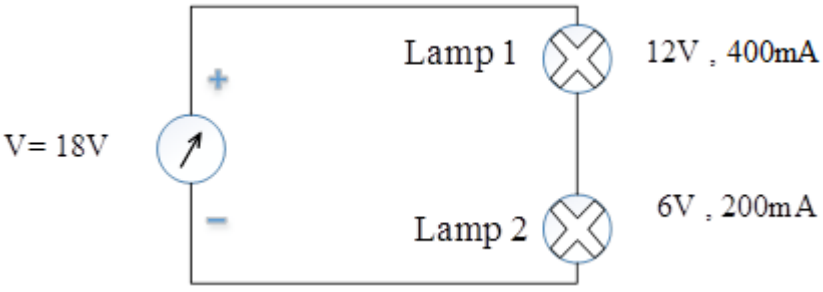


$V_1(v)$	$V_2(v)$	$V_3(v)$	$V_{AB}(v)$

سؤال

۱) چه رابطه‌ایی بین ولتاژ هریک از مقاومت‌های $\mathbf{R_1}$ و $\mathbf{R_2}$ و $\mathbf{R_3}$ و ولتاژ کل دوسر آنها یعنی $\boldsymbol{V_{AB}}$ دیده می‌شود؟ با ذکر فرمول و دلیل بنویسید.

۲) در مدار شکل زیر از دو عدد لامپ با ولتاژها و جریانهای متفاوت استفاده شده است. آیا برای هر لامپ جریان مورد نیازشان فراهم می‌شود؟ برای اینکه لامپ ها جریان مورد نیازشان فراهم شود، مدار را تغییر دهید.



آزمایش شمارهٔ ۲

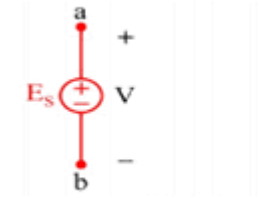
بررسی قضیه های مدارهای الکتریکی(قسمت ۱)

یادآوری

برای تجزیه و تحلیل مدارهای الکتریکی، از روش‌ها و قضایای اثبات شده می‌توان استفاده نمود. برخی از این روش‌ها عبارت‌اند از : معادل سازی تونن و نورتن مدار، مقسم ولتاژ، اصل جمع آثار، پتانسیل گره و جریان های حلقه که در دو جلسه انجام خواهند شد. اصل جمع آثار، پتانسیل گره و نیز جریان‌های حلقه در آزمایش سوم بررسی می‌شوند.

۱–۲) معادل سازی تونن و نورتن:

همانطور که می‌دانید اگر مدار را به صورت یک منبع ولتاژ واقعی(غیرایده آل) معادل سازی کنیم، مدار را معادل تونن می‌گویند و اگر به صورت منبع جریان واقعی معادل‌سازی کنیم آن را معادل نورتن مدار می‌گویند. همانطور که می‌دانیم:



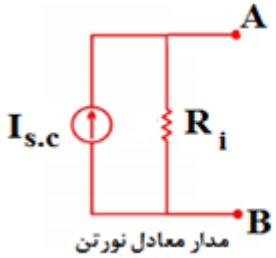
منبع ولتاژ ایده آل
شکل(۱)

منبع ولتاژ غیر ایده آل
شکل(۲)

برای بدست آوردن معادل تونن یا نورتن مدار، ابتدا قسمتی از مدار که بین دو نقطه A و B قرار گرفته‌اند را از سایر قسمت های مدار جدا کرده و سپس ولتاژ حالت باز $(V_{o.c})$ و جریان اتصال‌کوتاه $(I_{s.c})$ مدار را محاسبه کرده و مقاومت داخلی را از تقسیم دو پارامتر فوق بدست می‌آوریم:

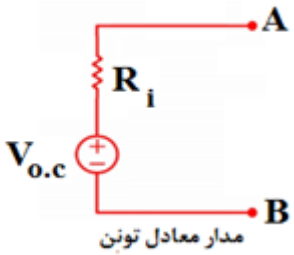
$$R_i = \frac{V_{o.c}}{I_{s.c}}$$

حال با داشتن مقادیر فوق، مدار معادل تونن و نورتن آن قسمت از مدار مورد نظر دو نقطه A و B به ترتیب زیر بدست می‌آید:



مدار معادل نورتن
شکل(۳)

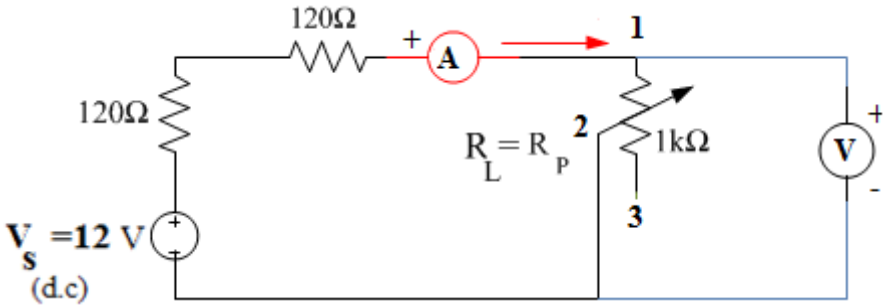
==



مدار معادل تونن
شکل(۴)

شرح آزمایش

الف) مدار تونن: ابتدا مدار شکل زیر را با منبع ولتاژ غیر ایده آل ببندید و نتایج را در جدول مربوطه یادداشت نمایید.



$I_L(mA)$	0	10	20	30	40	$I_{S.C}$ =?
$V_L(v)$	$V_{O.C} = 12V$					?

سؤال

با توجه به جدول فوق و مقادیر $V_{O.C}$ و $I_{S.C}$ ، مقاومت داخلی (R_i) را بدست آورید.

ب) مدار نورتن:

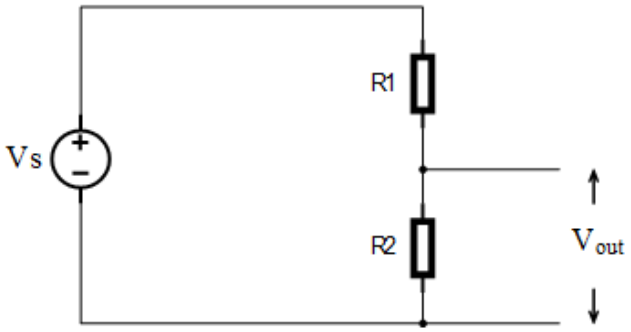
با توجه به آزمایش قبل مدار نورتن آنرا طراحی نموده و در صورت امکان روی بردبورد ببندید.

سؤال

دوحالت الف و ب در چه مواردی با یکدیگر تطبیق باید داشته باشند.

۲-۲) مدارمقسم ولتاژ :

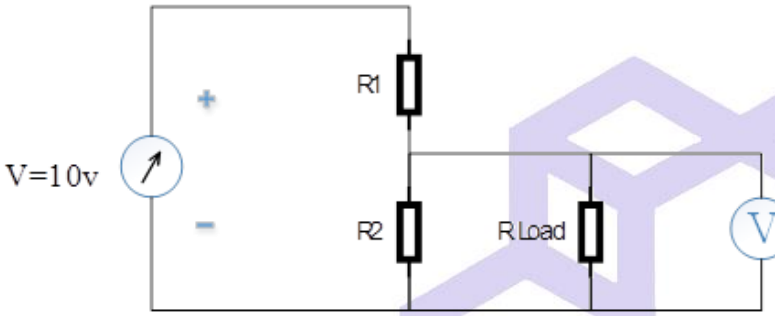
مدار تقسیم کننده ولتاژ از ترکیب یک منبع ولتاژ و مقاومت‌های سری تشکیل شده است. برای بدست آوردن رابطه تقسیم ولتاژ، ابتدا جریان مدار محاسبه و سپس ولتاژ هر یک از مقاومت‌ها بدست می‌آید. با استفاده از این مدار همچنین می توان به این نتیجه دست یافت که برای داشتن یک منبع ولتاژ ایده آل، مقاومت داخلی آن به حداقل مقدار باید برسد.



$$V_{out} = \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \times V_s$$

شرح آزمایش

مدار تقسیم ولتاژ زیر را روی بردبورد بسته و مقادیر خواسته شده در جدول را بدست آورید.

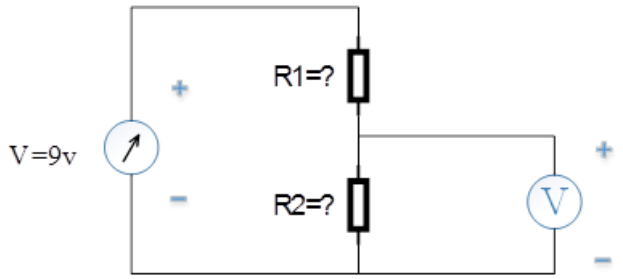


R_L	$a)\ 300\Omega$ $= ?V_L$	$b)\ 600\Omega$ $= ?V_L$
1) $R_1 = 200\Omega$, $R_2 = 440\Omega$		
2) $R_1 = 100\Omega$, $R_2 = 220\Omega$		

سؤال

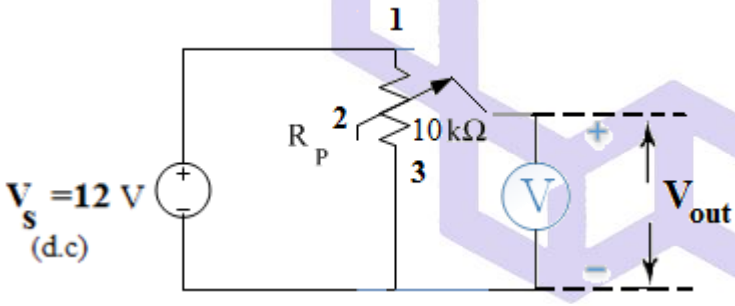
۱) نتیجه این آزمایش را توضیح دهید؟

۲) در مدار شکل زیر مقادیر مقاومت ها را بگونه ایی بدست آورید که ولتاژ دوسر R_2 در حالت بی باری ۶V باشد و زمانی که بار یعنی R_L به مدار وصل می شود، V_L بیشتر از ۱۵٪ افت نکند.



شرح آزمایش

مدار زیر را با استفاده از یک منبع ولتاژ **DC=12v** و پتانسیومتر (ولومی و سه‌سر) به اندازه $\boldsymbol{P_t = 10K\Omega}$ موجود در آزمایشگاه ببندید.



الف) با تغییر ولوم پتانسیومتر، ولتاژ خروجی $\boldsymbol{V_{out1} = 6v}$ را بسازید (اندازه‌گیری ولتاژ با استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی انجام شود).

ب) باری به اندازه $\boldsymbol{R_{L1} = 10K\Omega}$ را موازی پایه دوم و سوم پتانسیومتر قرار دهید. ولوم پتانسیومتر را تغییر دهید تا دوباره ولتاژ خروجی $\boldsymbol{V_{out2} = 6v}$ را به عنوان خروجی مشاهده نمایید.

ج) مجددا باری به اندازه $\boldsymbol{R_{L2} = 10K\Omega}$ در خروجی موازی با $\boldsymbol{R_{L1}}$ قرار دهید.

a) ولتاژ خروجی ($\boldsymbol{V_{out3}}$)چقدر کاهش می‌یابد؟

b) ولوم پتانسیومتر را تغییر دهید تا دوباره ولتاژ خروجی $V_{out2} = 6v$ را در خروجی مشاهده نمایید.

جدول زیر را کامل نمایید. راهنمایی: ستون وسط مربوط به محاسبه مقاومت $P_{t1,2}$ (مقدار مقاومت بین پایه‌های ۱ و ۲ پتانسیومتر) و محاسبه مقاومت $P_{t2,3}$ (مقدار مقاومت‌های بین پایه ۲ و ۳ پتانسیومتر) است.

R_{Loud}	$P_{t1,2}$	$P_{t2,3}$	V_{out}
$1) R_L = R_{Pt} = ?$	?	?	6
$2) R_{L'} = (R_{Pt} \parallel R_{L1}) = ?$	?	?	6
$3) R_{L3} = (R_{L'}) \parallel R_{L2} = \begin{cases} a = ? \\ b = ? \end{cases}$	$a)$? $b)$?	$a)$? $b)$?	$a) V_{out3} = ?$ $b) V_{out3} = 6$

سؤال

۱) نام دیگر مدار بسته شده در قسمت سوم چیست؟

۲) چه زمانی منبع ولتاژ ایده‌آل خواهیم داشت؟

۳) در صورتی که این مدار را یک رگولاتور یا تنظیم‌کننده (برای تثبیت ولتاژ خروجی) می‌دانید آیا رگولاتور مناسبی است یا خیر؟ دلیل مناسب بودن یا نبودن را بیان کنید و در صورتی که جواب خیر است مداری را طرح و برای این منظور پیشنهاد کنید.

آزمایش شمارهٔ ۳
بررسی قضیه های مدارهای الکتریکی(قسمت۲)

یادآوری

بررسی قضایای اثبات شده اصل جمع آثار، پتانسیل گره و نیز جریان‌های حلقه برای تجزیه و تحلیل مدارهای الکتریکی.

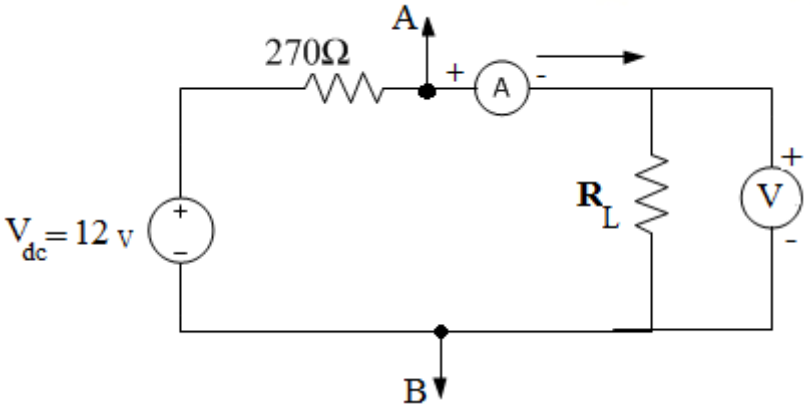
۱-۳)انتقال حداکثر توان:

یکی از مسائلی که در مدارهای الکتریکی مطرح می‌شود، این است که منابع تغذیه دارای مقاومت داخلی هستند، تمامی توانی را که به مدار تحویل می‌دهند به بار نمی‌رسد. انتقال ماکزیمم توان ممکن به بار را تطابق می‌گویند. زمانی ماکزیمم بار به مصرف کننده منتقل می‌شود که مقاومت بار با مقاومت داخلی منبع تغذیه برابر باشد.

$$P_{L_{max}} = R_L \times {I^2}_L \quad \text{Or} \quad P_{L_{max}} = \frac{{V^2}_L}{R_L}$$

شرح آزمایش

مدار زیر را در صورتیکه ولتاژ بین دو نقطه A و B در حالت مدار باز(O.C) برابر ۱۲ ولت است، بسته و نتایج را درجدول بنویسید.



$R_L(\Omega)$	51	100	151	200	270	600	1000	2000
$V_L(v)$								
$I_L(mA)$								
$P_L(w)$								

سؤال

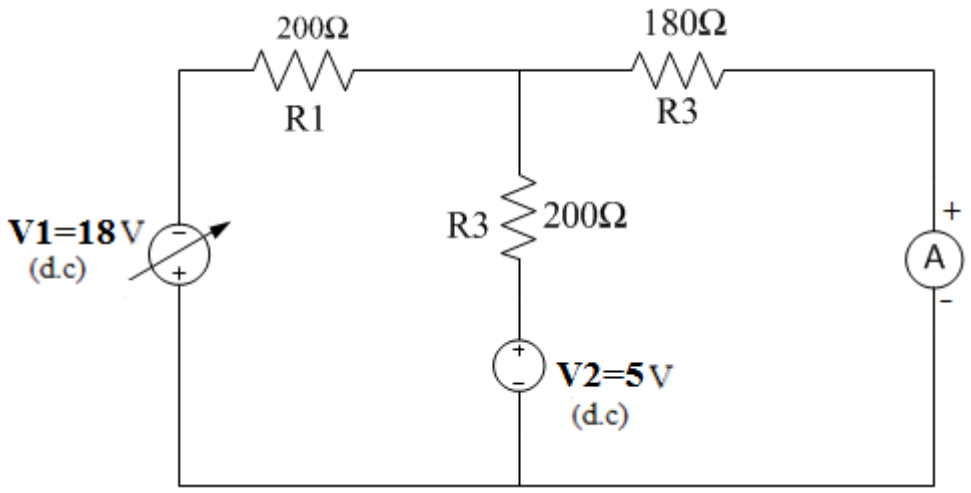
از ترسیم مشخصه انتقالی توان خروجی(P_L)برحسب R_L، چه نتیجه ایی می گیرید.

۲–۳) اصل جمع آثار:

در مدارهای الکتریکی خطی که چند منبع تغذیه(AC , DC) دارند، هر یک از منابع در مدار جریانی ایجاد می‌کند وجریان هر عنصر در مدار از جمع جریان‌هایی که هر منبع در آن عنصر ایجاد می‌کند به دست می‌آید. به عبارت دیگر، جریان عناصر مدار از مجموع آثار تک تک منابع در مدار حاصل می‌شود. جمع آثار در مورد ولتاژ دو سر هر عضو نیز صادق است ولی در مورد کمیت هایی که با مجذور جریان یا ولتاژ متناسب هستند صدق نمی‌کند. در صورت افت ولتاژهای DC و AC با فرکانس‌های مختلف در دوسر یک عنص و یا عبور جریان DC و AC با فرکانس‌های مختلف از یک شاخه، ولتاژ یا جریان دوسر آن عنصر و یا شاخه از محاسبه مقدار Effective حاصل از مجموع ولتاژ یا جریان‌ها بدست می‌آید.(این مقدار فقط توسط دستگاه‌های اندازه‌گیری Effective سنج قابل اندازه‌گیری است.)

شرح آزمایش

مدار صفحه بعدی را که ترکیبی از دو منبع ولتاژ می‌باشد ببندید. سپس جدول مربوط به آنرا کامل نمایید.



(نکته: در این آزمایش، اگر عقربه آمپرمتر آنالوگ به سمت منفی یعنی قبل از صفر منحرف شد، بر روی این مولتی متر کلید $+Ac\ /\ DC$ به $\rightarrow -AC\ /DC$ تغییر دهید. همچنین در جدول زیر جهت مثبت و منفی جریان را مراعات کنید.)

a) هر دو منبع $\boldsymbol{V_1}$ و $\boldsymbol{V_2}$ در مدار هستند.

b) منبع $\boldsymbol{V_1}$ را از مدار خارج کنید.

c) منبع $\boldsymbol{V_2}$ را از مدار خارج کنید.

	$V_1(v)$	$V_2(v)$	$I(mA)$	$I_{V_1}(mA)$	$I_{V_2}(mA)$
a	**Max=18v**	**5V**			
b	**0**	**5V**			
c	**Max=18v**	**0**			

سؤال

۱) نتیجه این آزمایش را توضیح دهید؟

۲) این دومنبع ولتاژ چه تفاوتی با همدیگر دارند؟

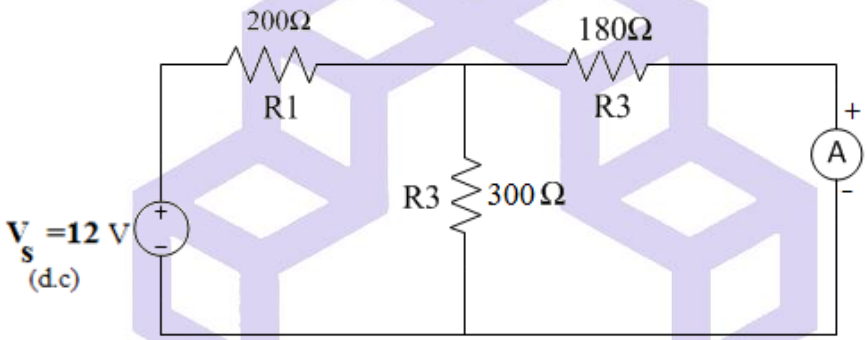
۳-۳) قضیه هم پاسخی:

اگر یک منبع ولتاژ به دو نقطه اول در یک مدار Linear Passive (مدار Passive، مداریست که در آن هیچ منبعی وجود نداشته باشد) وصل شود، باعث عبور جریانی بین دو نقطه دوم از مدار می‌شود. حال اگر همان منبع ولتاژ را بین دونقطه دوم قرار دهیم، همان جریان قبلی بین دو نقطه اول مدار برقرار خواهد شد.

به مقاومت $\frac{V}{I}$ که در هر دوطرف با هم برابر است، مقاومت انتقالی (Transferred Resistance)گویند که مستقل از ولتاژ منبع است.

شرح آزمایش

الف) مدار شکل زیر را بسته و جریان خواسته شده را بدست آورید.



$V_S(v)$	$I_1(mA)$
12	

ب) جای منبع ولتاژ و آمپرمتر را در مدار عوض کنید و دوباره جریان بدست آمده را بنویسید.

$V_S(v)$	$I_2(mA)$
12	

سؤال

قضیه هم پاسخی در مدارات غیر خطی را با نوشتن روابط و توضیحات یا شرایطی که برای این قضیه باید داشته باشند بیان نمایید.

آزمایش شمارهٔ ۴
بررسی رفتار خازن در مدارهای D.C

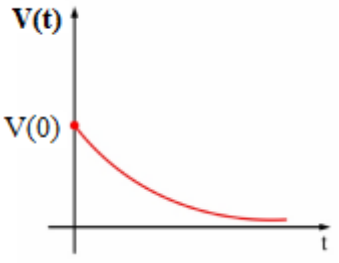
یادآوری

وقتی یک خازن به منبع ولتاژ جریان مستقیم وصل می‌شود، ابتدا جریان نسبتاً بزرگی در مدار جریان می‌یابد و خازن رفته رفته شارژ می‌شود تا ولتاژ دو سر آن به مقدار ثابتی که به آن مقدار نهایی می‌گوییم، برسد. در همین حالت، جریان مدار هم بتدریج کوچک می‌شود تا وقتی که خازن کاملاً شارژ شود و جریان مدار به صفر می‌رسد. پس ازاین فرآیند که حدود ۵ ثابت زمانی طول می‌کشد، خازن در مدار مانند یک کلید باز عمل می‌کند. وقتی ۵ ثابت زمانی سپری می‌شود، در اصطلاح می‌گویند مدار به حالت پایدار یا ماندگار خود رسیده است. ثابت زمانی فقط مختص مدارهای مرتبهٔ اول است و بطوری که هر مدار پس از مدت زمانی در حدود ۴ الی ۵ برابر آن به مقدار دائمی یا ماندگار خود می‌رسد و برابر است با :

$$\tau(\text{بر حسب ثانیه}) = \begin{cases} R_{eq}^{\Omega} \times C^{F} & \Longrightarrow \quad \text{برای مدار } \mathrm{R.C} \\ L^{H} \Big/ R_{eq}^{\Omega} & \Longrightarrow \quad \text{برای مدار } R.L \end{cases}$$

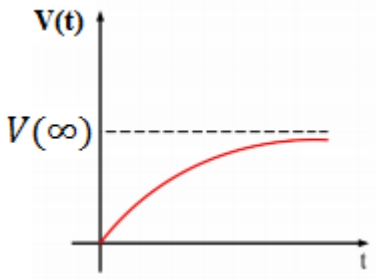
پس در مدارهای جریان مستقیم و در حالت ماندگار، خازن شارژ شده با ولتاژی ثابت به صورت یک کلید باز عمل می‌کند. (Req مقاومت معادل دیده شده از دو سر خازن یا سلف است و از این به بعد به زمانهای بزرگتر از 5τ می‌گوییم بینهایت. البته بینهایت فیزیکی؛ یعنی ممکن است این بینهایت کمتر از میلی ثانیه هم باشد.)درضمن هر پاسخی در مدارهای مرتبهٔ اول به صورت نمایی است و برای انواع پاسخ ها به صورت زیر می‌تواند باشد:

a) شکل موج ولتاژ ورودی صفر، ولتاژ اولیه خازن(یعنی t=0) را V(0) در نظر می‌گیریم و در این زمان خازن با یک مقاومت R بسته می شود:



$$V(t) = V(0) \times e^{-\frac{t}{\tau}}$$

b) شکل موج ولتاژ حالت صفر، در صورتیکه خازن توسط یک مقاومت R به منبع ولتاژ(V_{Source}) بطور سری وصل شود:

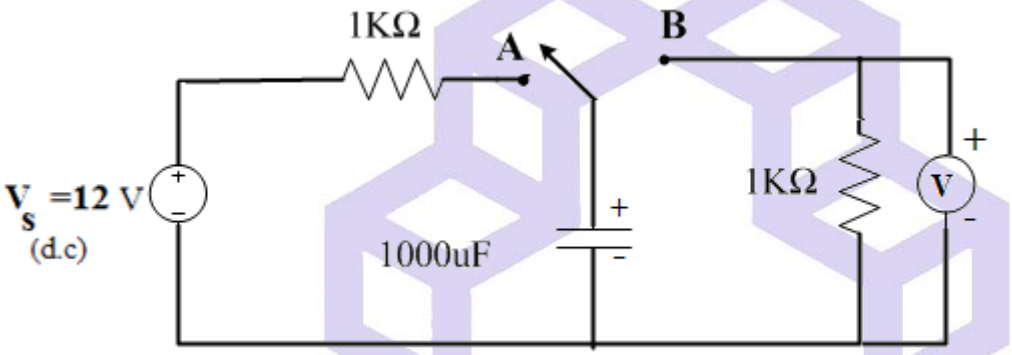


$$V(t) = V(\infty) \times \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right)$$

شرح آزمایش

۴-۱) مشاهده شارژ و دشارژ خازن:

مدار شکل زیر را با استفاده از منبع ولتاژ ایده آل ببندید. یک ولتمتر در دو سر خازن قرار دهید.



الف) در حالت A ولتاژ دوسر خازن V_C چقدر است؟ و با کدامیک از روابط a یا b آنرا اثبات می کنید.

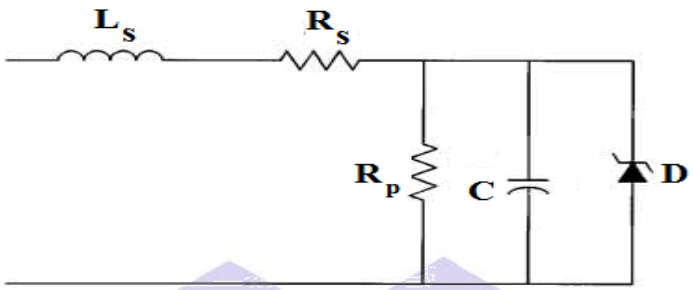
ب) کلید را در وضعیت B قرار دهید و وضعیت دشارژ خازن را مشاهده نمایید. سرعت شارژ و دشارژ خازن را در دو حالت مختلف کلید با هم بررسی نمایید.

سؤال

در حالت B پس از گذشت مدت قابل ملاحظه از زمان، ولتاژ دوسر خازن V_C چقدر است؟ با کدامیک از روابط a یا b آنرا اثبات می‌کنید.

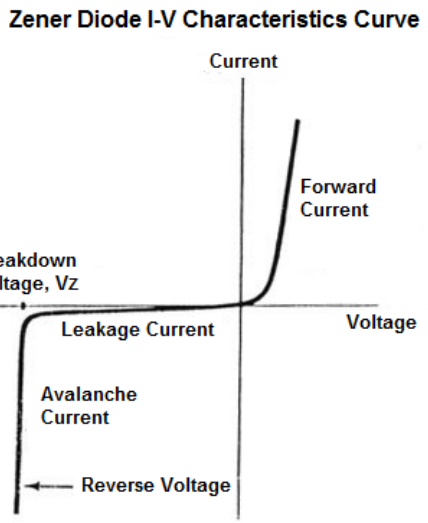
۲-۴) محاسبه جریان Leakage خازن الکترولیتی:

با دانستن اینکه خازن شما1000 میکرو فاراد است دیتاشیت ($Data\ sheet$) آنرا (در صورت امکان از روی اطلاعات خازن یا نام کارخانه سازنده خازن) از اینترنت دانلود کرده، مطالب درج شده را مطالعه نموده سپس توضیحات آنرا در پیش گزارش خود قبل از انجام آزمایش بنویسید. از طرفی می‌دانیم خازن‌هایی که در اختیار داریم ایده‌آل نیستند، برای مدل سازی دقیق خازن‌های الکترولیتی، مدار معادل یا داخلی آنرا به صورت زیر در نظر می‌گیریم.



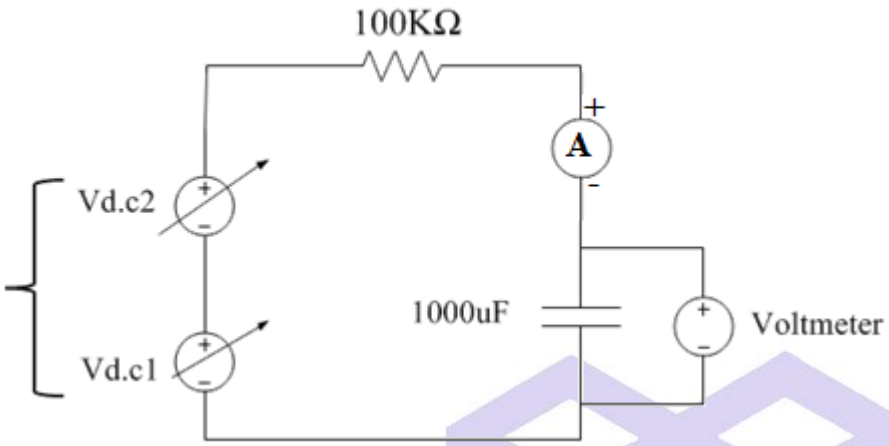
Equivalent Circuit

یک سلف سری $\mathbf{L_s}$ (ESI =equivalent series inductance) و یک مقاومت سری $\mathbf{R_s}$ (ESR=equivalent series resistance) می‌گویند. ولی معمولا در مدل‌سازی از سلف سری صرفنظر می‌کنیم و تنها این مقاومت سری را در نظر می‌گیریم. این مقاومت سری در بحث تلفات و همچنین ریپل ولتاژ خازن نقش مهمی دارد و نکته مهم این است که در خازن‌های الکترولیتی این مقدار بزرگتر از مقدار خازن‌های سرامیکی و پلی استر است. مقدار ولتاژ دیود زنر وابسته به دمای محیط است و در دمای زیر ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی گراد(محیط سرد)، تقریبا دوبرابر ولتاژ کاری درج شده روی خازن الکترولیتی (Working Voltage)است.



شرح آزمایش

با استفاده از دو منبع ولتاژ DC بصورت سری مدار زیر را ببندید. ولتاژ دو منبع را طوری تنظیم نمایید که به اندازه ولتاژ کاری روی خازن (Working Voltage) برسد.



الف) بعد از گذشت مدت ۵ الی ۱۰ دقیقه، مقدار ولتاژ تثبیت شده دوسر خازن چقدر است؟

ب) مقدار مقاومت موازی در مدار معادل خازن یعنی $\mathbf{R_P = R_{Leakage}}$ را بدست آورید.

ج) جریان $\mathbf{I_{Leakage}}$ را محاسبه نمایید. این جریان چه چیزی را نشان می‌دهد. سپس مقدار آنرا با مقداری که دیتاشیت درج شده است، مقایسه نمایید.

د) با توجه به آمپرمتر در مدار، ولتاژ ورودی را تا چه مقدار می توان افزایش داد؟ از روی مقدار جریان آیا می توانید به مقدار ولتاژ کاری خازن برسید؟ چگونه. مدار مورد نظر را طرح نموده و آنرا ببندید.

سؤال

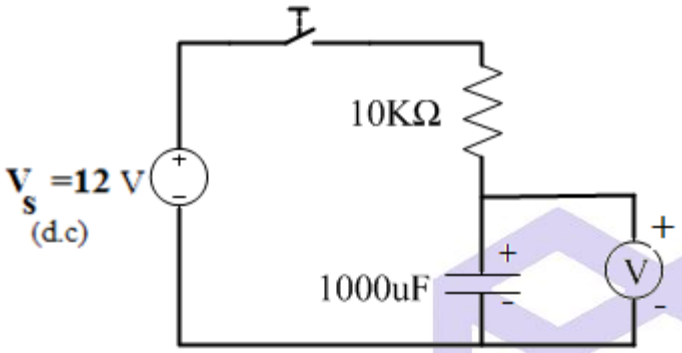
۱) با توجه به مدار معادل خازن، علل ترکیدن خازن الکترولیتی چیست؟

۲) مدار دیگری را برای بدست آوردن جریان Leakage پیشنهاد دهید و آنرا در آزمایشگاه ببندید.

۴-۳) شارژ شدن خازن بر حسب زمان:

مدار زیر را بسته و دقت داشته باشید قبل از اتصال کلید، خازن کاملا تخیله شده باشد. سپس مقادیر خواسته شده را در زمان های مورد نظر یادداشت نمایید.

(راهنمایی: از یک ولتمتر برای خواندن V_C استفاده نمایید و همچنین برای محاسبه جریان می توانید از فرمول $\left(I_C = \frac{V_S - V_C}{R=10K}\right)$ استفاده نمایید.)



T(sec)	0	5	10	20	30	40	50	60	80	100
$V_C(v)$										
$I_C(mA)$										

سؤال

۱) با رسم منحنی یا مشخصه $V_C(t)$، τ (مقدار ثابت زمانی) مدار را بدست آورید. دلیل تفاوت بین مقادیر عملی و محاسبات تئوری τ در چیست؟

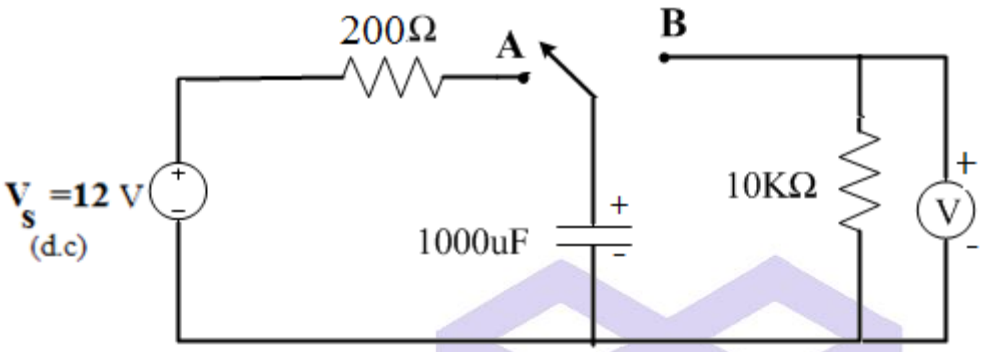
۲) در چه زمانی خازن به مقدار حالت پایدار خود می رسد؟

۳) برای بدست آوردن جریان چرا از آمپرمتر استفاده نشده است؟

۴-۴) دشارژ شدن خازن بر حسب زمان:

حال مدار زیر را بسته و اول کلید را در حالت A قرار داده وکمی صبر کنید تا خازن به اندازه ولتاژ منبع شارژ شود. سپس کلید را به وضعیت B برگردانید تا خازن به عنوان یک منبع ولتاژ جداگانه عمل کند. حال با اندازه گیری ولتاژ در زمانهای مشخص جدول را کامل نمایید.

(توجه: به نکاتی که در قسمت (۴-۳) توضیح داده شده است توجه کرده و به همان صورت آزمایش را انجام دهید.)



T(sec)	0	5	10	20	30	40	50	60	80	100
$V_C(v)$	12									
$I_C(mA)$										

سؤال

۱) با رسم منحنی یا مشخصه $V_C(t)$ (ولتاژ بر حسب زمان)، τ (مقدار ثابت زمانی) مدار را بدست آورید. سپس با مقدار تئوری آن مقایسه نمایید.

۲) در چه زمانی مقدار جریان به حداقل مقدار خود می‌رسد؟ این موضوع به چه مفهوم است؟

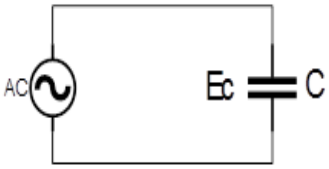
۳) نقش قطع و وصل کردن کلید در مداراتی که از المانهای ذخیره کننده انرژی استفاده می‌شود را توضیح دهید.

آزمایش شمارهٔ ۵

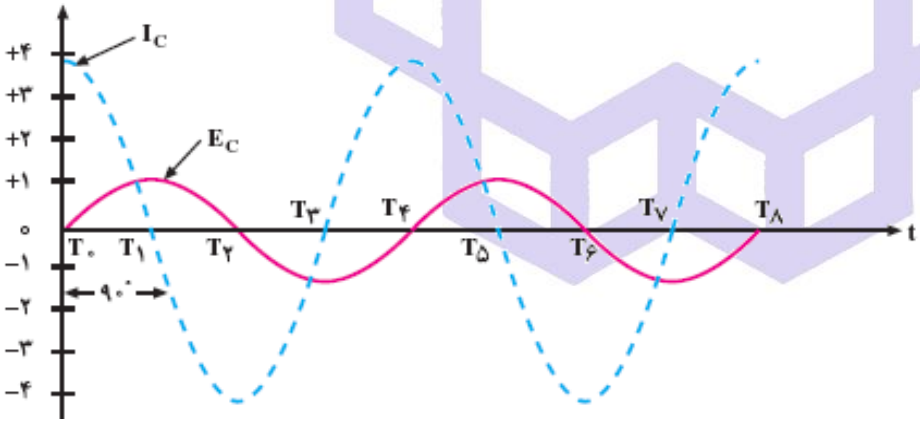
بررسی رفتار خازن در مدارهای AC (ولتاژ متناوب)

یادآوری

در صورتی که موج سینوسی به دو سر یک خازن بدهیم، در لحظه هایی که خازن به حداکثر مقدار شارژ خود می‌رسد، جریان عبوری از آن صفر میشود. هم چنین در زمانی که ولتاژ دو سر خازن به صفر می‌رسد، مقدار جریان آن حداکثر می‌شود. به عبارت دیگر خازن در جریان متناوب به طور دائم شارژ و دشارژ می‌شود.



در نیم سیکل + ولتاژ خازن رفته رفته زیاد می‌شود. به عبارتی ولتاژ خازن از صفر تا ماکزیمم و سپس از ماکزیمم به صفر می‌رسد. جریان خازن از ماکزیمم به صفر و پس از آن منفی می‌شود و در نیم سیکل منفی این روند ادامه دارد ولی برعکس نیم سیکل مثبت است.



مخالفت خازن در برابر جاری شدن جریان در مدار AC را مقاومت خازنی یا راکتانس خازنی می‌گویند.عوامل موثر بر راکتانس خازنی که آنرا با X_C نشان می‌دهند و واحد آن اهم است عبارتند از: ۱) فرکانس ۲) ظرفیت خازن.

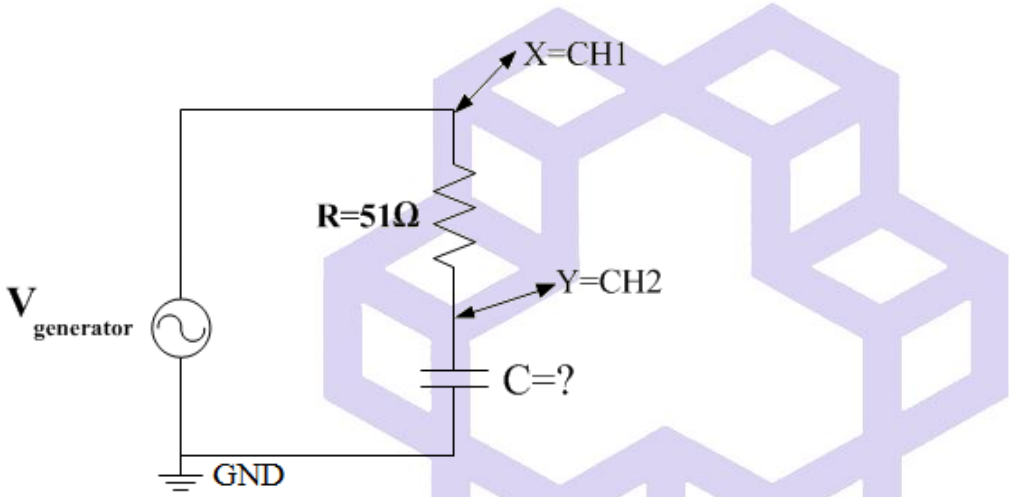
$$X_C = \frac{1}{\omega \times C} \quad , \quad \omega = 2\pi f \quad , \quad X_C = \frac{V_C}{I_C}$$

در این آزمایش از اسیلوسکوپ برای خواندن مقادیر ولتاژ، استفاده کنید. مقادیر ولتاژ خوانده شده روی شکل موج توسط اسیلوسکوپ، مقدار مؤثر یعنی rms(root mean square) یا effective نیستند. برای بدست آوردن مقدار مؤثر شکل موجهای **متناوب سینوسی** از رابطه مقابل استفاده کنید. $V_{rms} = \frac{V_{P-P}}{2\sqrt{2}}$

شرح آزمایش:

۵-۱)رفتار خازن در برابر جریان متناوب:

a) مدارشکل زیر را ببندید. با تغییر دامنه ورودی، V_C (ولتاژ دوسر خازن) را روی مقادیر خواسته شده تنظیم کنید. سپس I_C را از رابطه $\left(I_C = \frac{V_R}{R=51\Omega}\right)$ بدست آورده و جدول زیر را تکمیل نمایید.

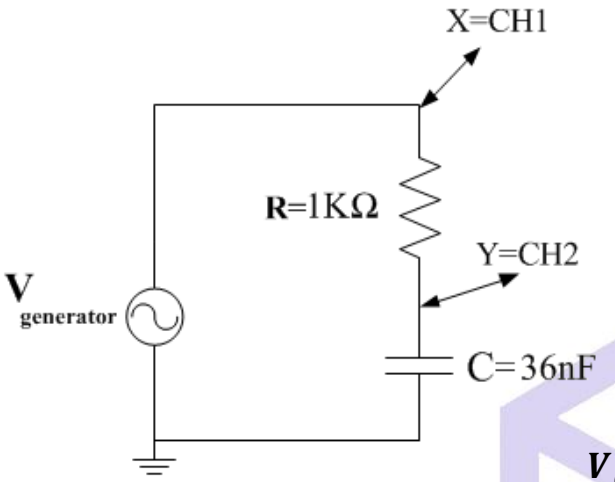


$C(nF)$	$F_g(KHz)$	$V_{C(P-P)}(v)$	$V_{R(P-P)}(v)$	$I_C(mA)$	$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$	$X_C = \frac{V_C}{I_C}(K\Omega)$
36	2	8				
36	4	8				
36	8	8				
18	8	8				
10	8	8				

سؤال

چرا مقاومت 51Ω با سیگنال ژنراتور سری شده است؟

b) مدار زیر را بسته سپس برای مقادیر تعیین شده ولتاژ سیگنال ژنراتور، $\boldsymbol{V_C}$ و $\boldsymbol{V_R}$ را با اسلوسکوپ اندازه گیری نموده و در جدول یادداشت نمایید.



$\boldsymbol{V_{g(P-P)}(v)}$	$\boldsymbol{F_g(KHz)}$	$\boldsymbol{V_{C(P-P)}(v)}$	$\boldsymbol{V_{R(P-P)}(v)}$
8	**4**		
8	**2**		

سؤال

چه رابطه ایی بین $\boldsymbol{V_C}$ و $\boldsymbol{V_R}$ و $\boldsymbol{V_g}$ در هر دوحالت با فرکانسهای متفاوت وجود دارد؟ با استفاده از دیاگرام برداری آنرا اثبات نمایید. راهنمایی: $\overrightarrow{F_1}$, $\overrightarrow{F_2}$ دو بردار با طول مشخص هستند و زاویه بین آنها α می باشد و به حاصل جمع بردارها، برآیند گفته می‌شود. برای محاسبه اندازه بردار برآیند دو بردار، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$|\vec{R}| = \bar{R} = \sqrt{\bar{F_1}^2 + \bar{F_2}^2 \pm 2 \times \bar{F_1} \times \bar{F_2} \times \cos\alpha}$$

$$if\ \alpha > 90^0 \implies +2 \times \bar{F_1} \times \bar{F_2} \times \cos\alpha$$

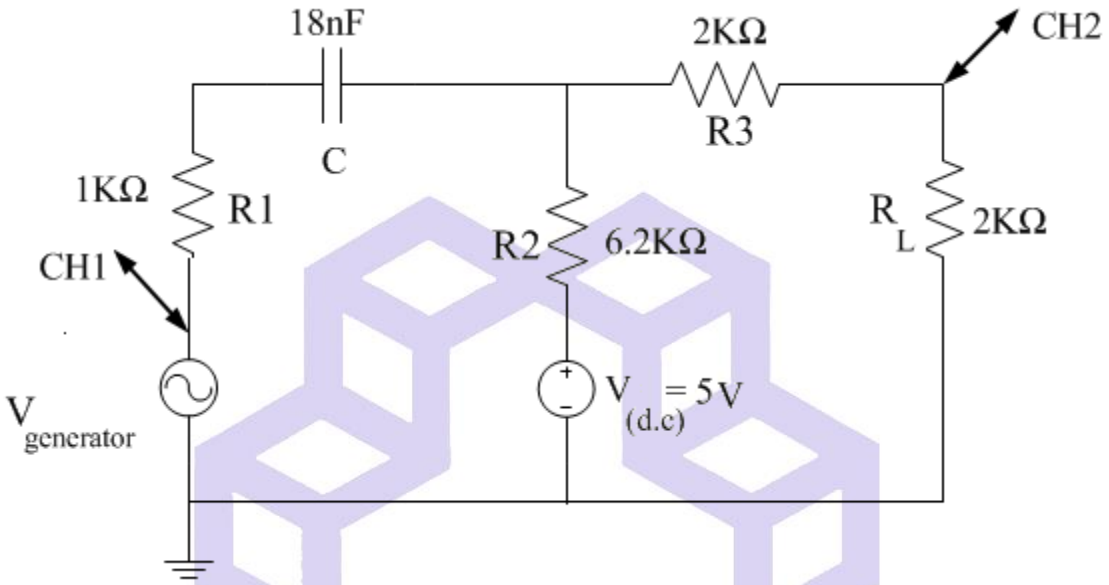
$$if\ \alpha < 90^0 \implies -2 \times \bar{F_1} \times \bar{F_2} \times \cos\alpha$$

۵-۲) قضیه جمع آثاردر مورد ولتاژها:

جمع آثار در مورد ولتاژ دو سر هر عضو نیز صادق است. به قسمت ۲-۳ (آزمایش سوم قسمت دوم) مراجعه شود.

شرح آزمایش

مدار شکل زیر را بسته و طبق جدول مقدار ولتاژ خروجی را در حالتهای خواسته شده بدست آورید(توجه داشته باشید که مقدار مؤثر را در نظر بگیرید.) $V_{R_{L\,(T)}}$ = ولتاژ کل مقاومت بار



a) مدار درحالت کلی(منبع V_S و V_g هر دو در مدار هستند.)

b) مدار بدون منبع D.C(منبع V_S را از مدار خارج کنید.)

c) مدار بدون منبع A.C(منبع V_g را از مدار خارج کنید.)

این رابطه فقط و فقط برای مقادیر لحظه ایی صادق است : $\boldsymbol{V_{R_{L\,(T)}} = V_{R_{L\,(a.c)}} + V_{R_{L\,(d.c)}}}$

رابطه کلی برای محاسبه ولتاژ برآیند:

$$\boldsymbol{V_{R_{L(T)}}(rms) = \sqrt{\left(V_{R_{L(a.c)(rms)}}\right)^2 + \left(V_{R_{L(d.c)}}\right)^2}}$$

	$F_g(KHv)$	$V_g(v)$		$V_{S(d.c)}(v)$	$V_{R_{L(a.c)}}(v)$		$V_{R_{L\ (d.c)}}(v)$	$V_{R_{L\ (T)}}(rms)$
		P-P	rms		P-P	rms		
a	5	8		5				
b	5	8		0				
c	0	0		5				

سؤال

۱) در این آزمایش نقش خازن 18nf را بیان نمایید. با دلیل ذکر نمایید که آیا نیازی به خازن‌های بدون پلاریته در مدارهایی که منابع سینوسی وجود دارند هست یا خیر؟

۲) چه زمان می‌توان از خازنهای پلاریته دار در مدار با جریان یا ولتاژ متناوب استفاده نمود؟

۳) تفاوت اسیلوسکوپ آنالوگ و دیجیتال چیست؟ مزایا یا معایب هر کدام را برشمارید.

۴) بعد از اتمام ۴ آزمایش اول و نتیجه‌گیری‌های لازم از آن‌ها، چگونه می‌توان مقاومت داخلی یک منبع مولد DC یا AC را بدست آورد؟ مدارهای پیشنهادی را ارسال نموده و سپس در کلاس آن‌ها را ببندید.

۵) دقت داشته باشید تمام منابع موجود در آزمایشگاه منابع مستقل و نابسته می‌باشند. توسط پک المان‌های داده شده به شما یک منبع وابسته (وابسته به جریان یا ولتاژ برخی قسمت‌ها) را طراحی نموده و آن‌را ببندید.

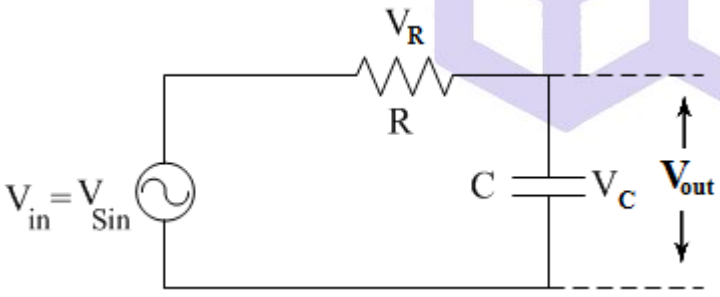
آزمایش شمارهٔ ۶
پاسخ مدار RC به ولتاژهای سینوسی و مربعی

یادآوری

هدف از این آزمایش بررسی رفتار فرکانسی مدارهای مرتبه اول از نوع RC، اندازه گیری مشخصات زمانی مانند ثابت زمانی و مشخصات پاسخ فرکانسی(پاسخ فرکانسی یعنی نسبت اندازه خروجی یک مدار به ورودی آن در فرکانسهای مختلف) مانند فرکانس قطع دراین مدارها می‌باشد. همچنین در این آزمایش با برخی از کاربردهای این مدارها از قبیل مشتق گیر، انتگرال گیر و همچنین خواص فیلتری این مدارها آشنا می‌شویم. مدار RC بسته به ترکیب، نوع اعمال ورودی و نحوه قراردادن R یا C در خروجی می تواند بصورت فیلتر پایین گذر یا فیلتر بالا گذر رفتار کند. علت وابستگی پاسخ این مدارها به فرکانس ،تغییر امپدانس خازن در اثر تغییر فرکانس ورودی است.

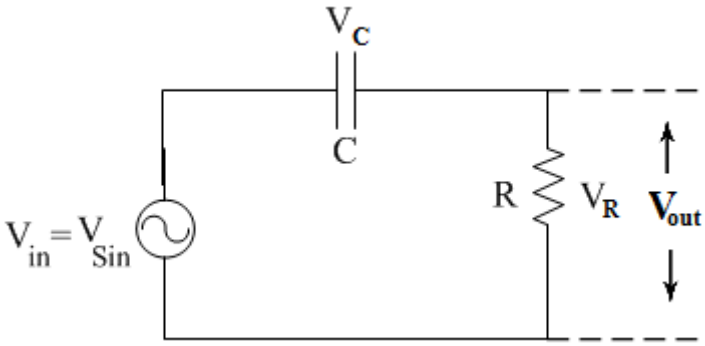
همانطور که می‌دانید فرکانس قطع جایی است که ولتاژ خروجی به $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ولتاژ ورودی در فرکانس عبورکاهش می‌یابد (قضیه نصف توان). یا به عبارت دیگر $3db$ کاهش در دامنه ورودی ایجاد می‌شود.

۱- مدار پایین گذر شکل زیر، مداری است که ورودی DC و ورودیهای سینوسی فرکانس پایین را بخوبی عبور می‌دهد ولی ورودی با فرکانس بالا را تضعیف می‌کند. در این حالت فرکانس قطع از رابطه زیر بدست می آید:



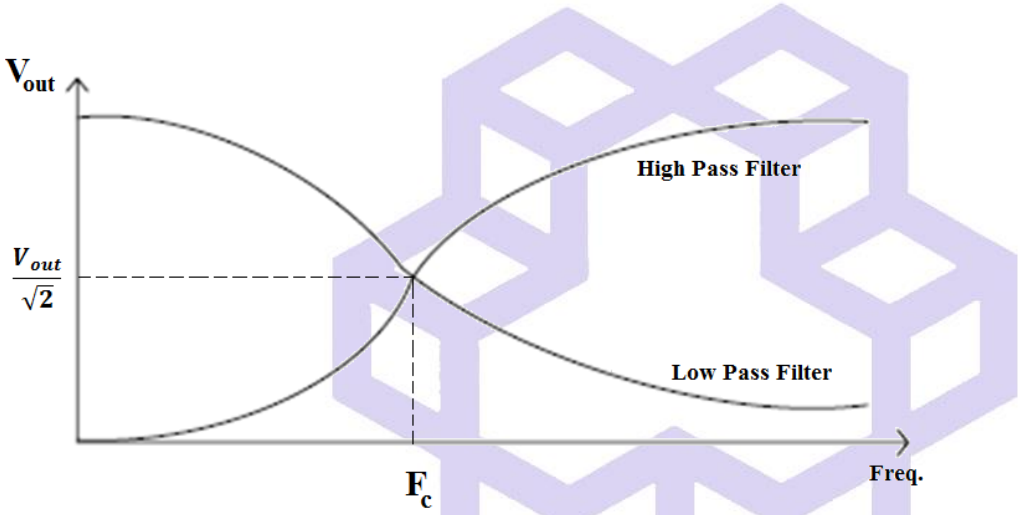
$$\left|\frac{V_{out}}{V_{in}}\right| = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega_C RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Longrightarrow \omega_c = \frac{1}{RC} \Longrightarrow f_C = \frac{1}{2\pi RC} \quad , \varphi = \tan^{-1}(-\omega_c RC)$$

۲ - مدار بالا گذر صفحه بعد مداری است که ورودی های (سینوسی) با فرکانس بالا را بخوبی عبور می دهد ولی ورودی با فرکانس های پایین را تضعیف می‌کند.



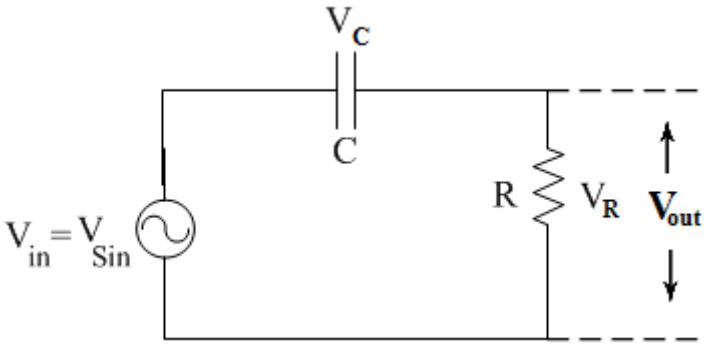
$$\left|\frac{V_{out}}{V_{in}}\right| = \frac{\omega_C RC}{\sqrt{1+(\omega_C RC)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \omega_c = \frac{1}{RC} \Rightarrow f_C = \frac{1}{2\pi RC} \quad , \varphi = \tan^{-1}\left(\frac{1}{\omega_c RC}\right)$$

در اینصورت نمودار خروجی برحسب فرکانس ($V_{in} = V_{sin}$) به صورت زیر خواهد بود:



۳ - مدارهای RC به عنوان انتگرال گیر و مشتق گیر:

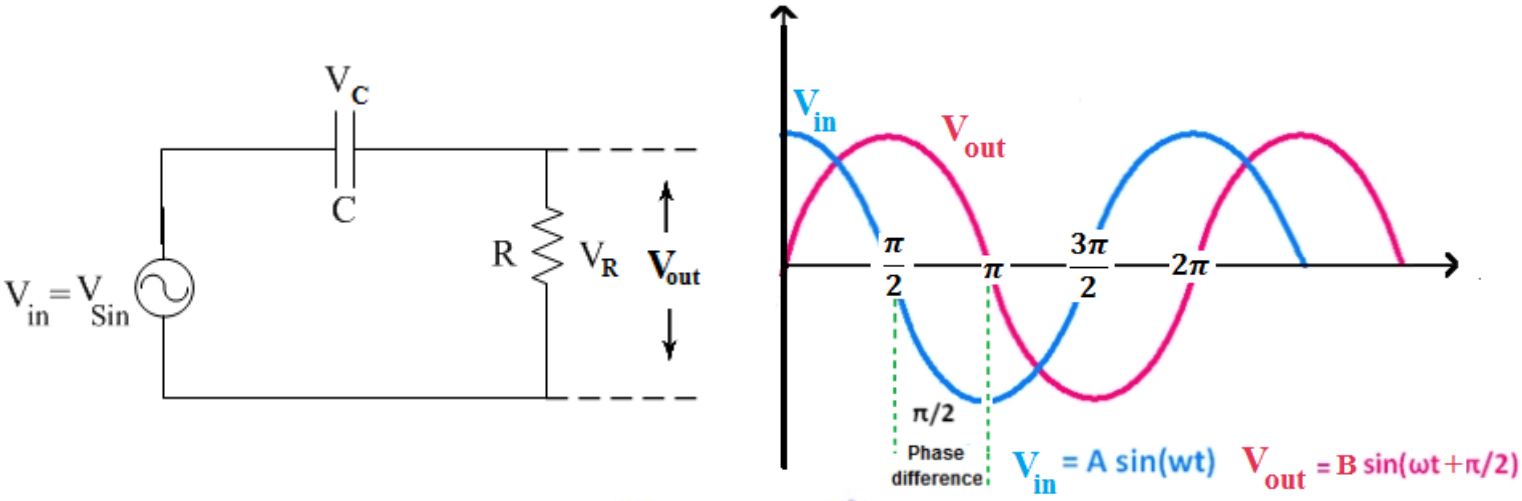
الف) اگر مقادیر R و Cدر شکل زیر طوری انتخاب شوند که $\omega RC \ll 1$ باشد، در این صورت V_{Out} درفرکانسهای کوچکتر از f_C بسیار کوچکتر از V_i (تقریبا صفر) خواهد بود:



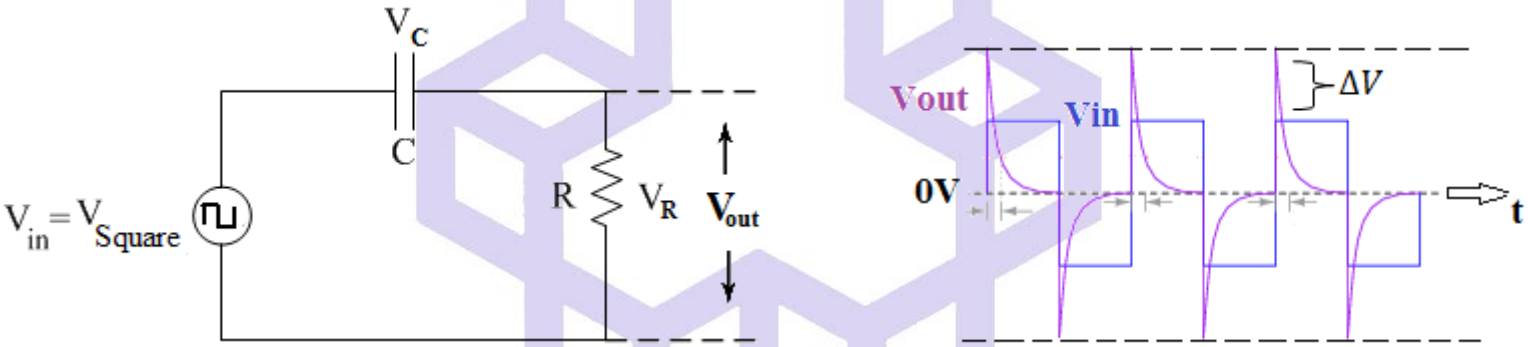
$$V_i(t) = \frac{1}{C}\int idt + V_o(t) \approx \frac{1}{C}\int \frac{V_o(t)}{R}dt \Rightarrow V_o(t) = RC\frac{dV_i(t)}{dt}$$

تحت این شرایط مدار RC را یک مشتق گیر می‌گویند.

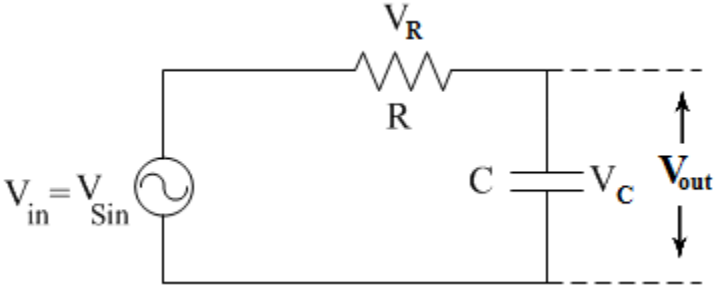
بنابراین اگر V_i سینوسی باشد، شکل موج خروجی(V_{out}) 90° با آن اختلاف فاز(پیش فاز) خواهد داشت.



در صورتیکه ورودی مربعی باشد، خروجی بسته به فرکانس ورودی مطابق شکل زیر دارای Tilt خواهد بود:



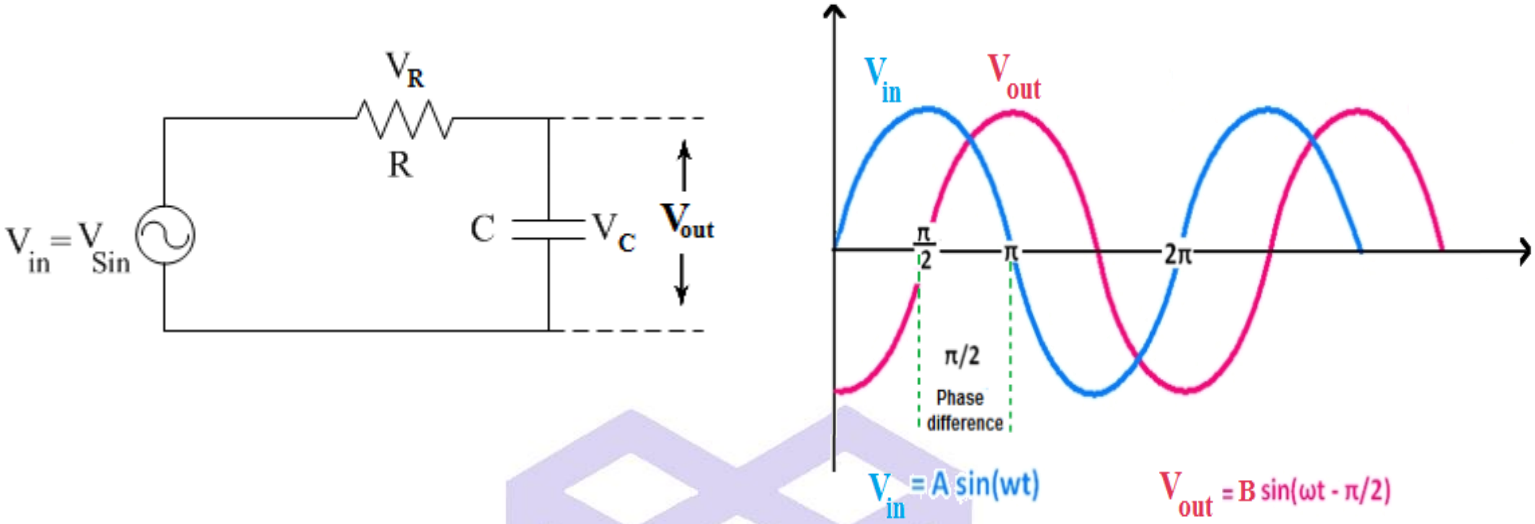
ب) اگر مقادیر R و C در شکل زیر طوری انتخاب شوند که $\omega RC \gg 1$ باشد، در این صورت V_{Out} در فرکانسهای بزرگتر از f_C بسیار کوچکتر از V_i (تقریبا صفر) خواهد بود:



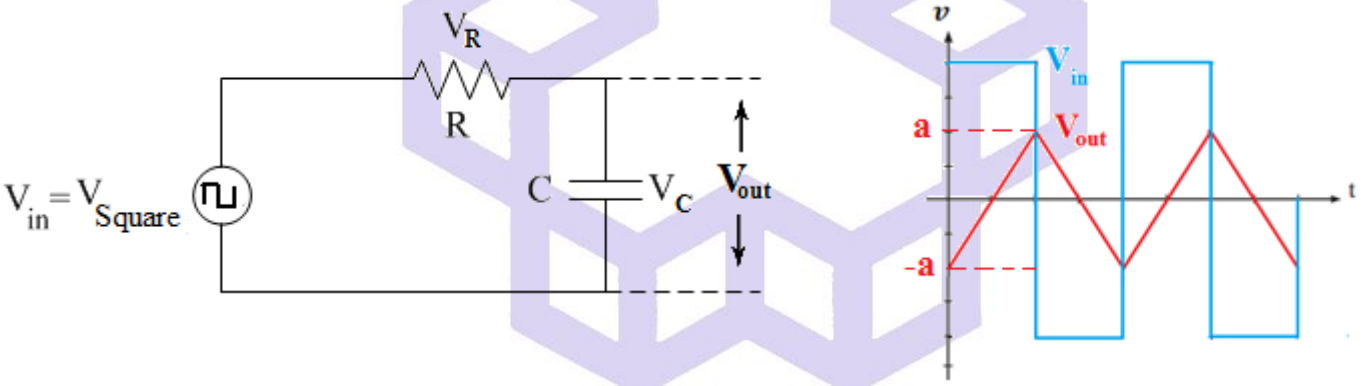
$$V_i(t) = Ri(t) + V_o(t) \approx Ri(t) = RC\frac{dV_o(t)}{dt} \Rightarrow V_o(t) = \frac{1}{RC}\int V_i(t)dt$$

تحت این شرایط مدار RC را انتگرال گیر می‌گویند. بنابراین اگر ورودی سینوسی باشد، شکل موج خروجی 90° با آن اختلاف فاز(پس فاز) خواهد داشت.

با اعمال ورودی سینوسی و مربعی به مدار انتگرال گیر، خروجی بصورت زیر خواهد بود:



در صورتیکه ورودی مربعی باشد:



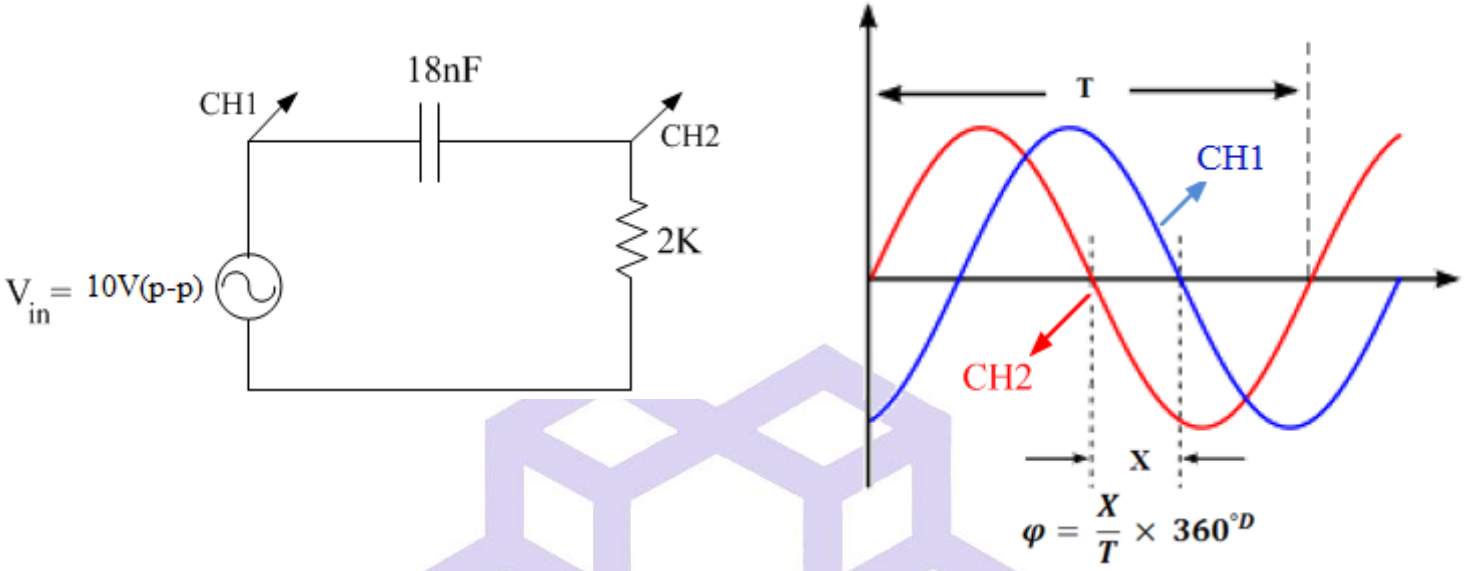
دقت: در انتگرال گیری مدار RC با ورودی موج مربعی برای بدست آوردن مقدار دامنه ولتاژ خروجی از رابطه زیر استفاده می شود.

$$|a| = \left| V_i \times \frac{e^{-\frac{T}{RC}} - 1}{e^{-\frac{T}{RC}} + 1} \right|$$

شرح آزمایش

۶-۱) پاسخ مدار بالا گذر: **a) استفاده از موج سینوسی:**

یک مدار RC ساده زیر را با دامنه ولتاژ ورودی را $8V_{p-p}$ ببندید و سپس با تغییر فرکانس، جدول را کامل نمایید.



(توجه: دامنه ولتاژ در هر مرحله، باید مقدار ثابت خود یعنی 10V را داشته باشد.)

$F(KHz)$	0.1	0.5	1	3	4	6	8	10	15	20
$V_{OUT_{Max}}(v)$										
T										
X										
φ°_{OUT}										

سؤال

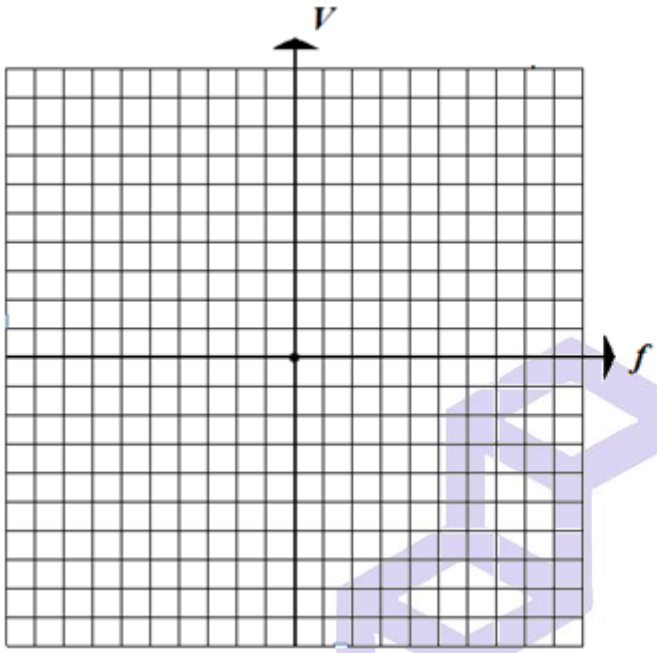
۱) منحنی تغییرات V_{OUT} و φ°_{OUT} را برحسب فرکانس رسم نمایید.

۲) فرکانس کاهش ولتاژ به اندازه $3db$ را هم از روی منحنی پاسخ فرکانسی و هم بصورت تئوری بدست آورید.

۳) در مقدار کاهش $3db$، φ°_{OUT} چه مقدار می‌باشد؟

b) استفاده از موج مربعی(مدار مشتق گیر):

مدار شکل a را ببندید. با این تفاوت که به جای ولتاژ سینوسی،ولتاژ مربعی به مدار با دامنه 5V(p-p) اعمال نمایید. سپس شکل موج خروجی را برحسب فرکانسهای خواسته شده همراه با شکل ورودی متناظر آن ترسیم نمایید.



1) $f_{in} = 1KHz$, 2) $f_{in} = 5KHz$

3) $f_{in} = 10KHz$, 4) $f_{in} = 20KHz$

سؤال

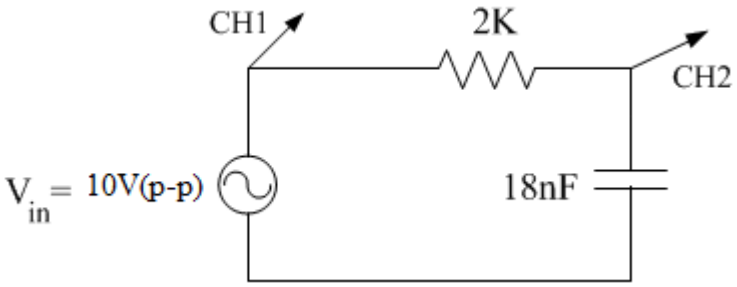
۱) در چه صورت خروجی بصورت سوزنی کامل خواهد شد؟

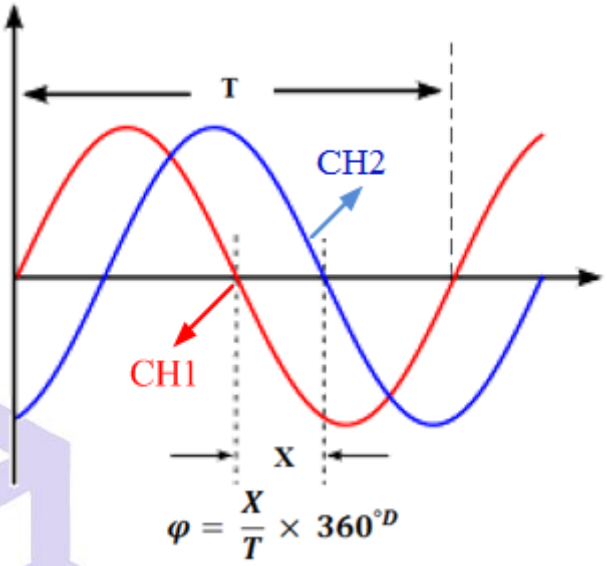
۲) مقدار ΔV را هم از لحاظ تئوری و عملی بدست آورید. چرا با افزایش فرکانس این مقدار کاهش می‌یابد؟

بخش انتگرال گیری توسط مدرس هر گروه اختیاری می باشد.

۶-۲) پاسخ مدار پایین گذر: **a) استفاده از موج سینوسی:**

مدار RC ساده زیر را بسته و دامنه ولتاژ سینوسی ورودی را $10V_{p-p}$ تنظیم کنید و سپس موارد خواسته شده را با تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور در جدول یادداشت نمایید.





$F(KHz)$	0.1	0.5	1	3	4	6	8	10	15	20
$V_{OUT_{Max}}(v)$										
T										
X										
φ°_{OUT}										

سؤال

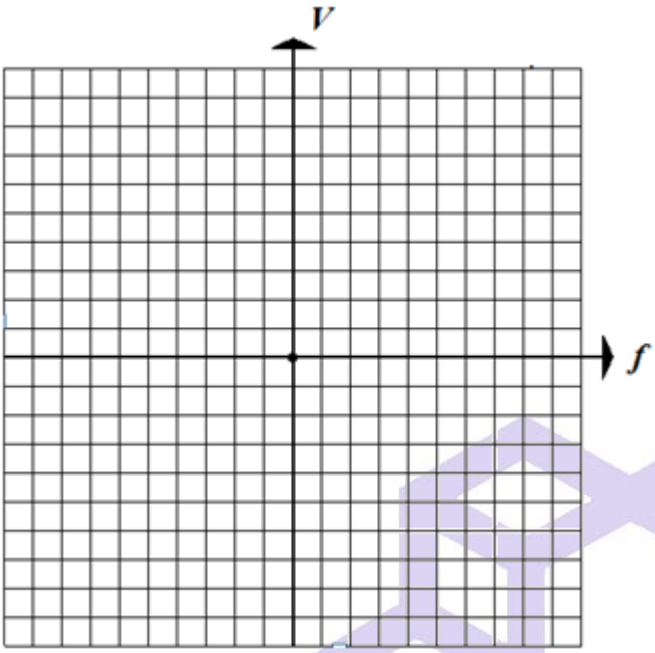
۱) منحنی تغییرات V_{OUT} و φ°_{OUT} را برحسب فرکانس رسم نمایید.

۲) فرکانس کاهش ولتاژ به اندازه $3db$ را هم از روی منحنی پاسخ فرکانسی و هم بصورت تئوری بدست آورید.

۳) در مقدار کاهش $3db$، φ°_{OUT} چه مقدار می‌باشد؟

d) استفاده از موج مربعی(مدار انتگرال گیر):

مدار صفحه قبل (a) را ببندید. با این تفاوت که به جای ولتاژ سینوسی، ولتاژ مربعی با دامنه 5V(p-p) اعمال نمایید. سپس شکل موج خروجی را برحسب فرکانسهای خواسته شده همراه با شکل ورودی متناظر آن ترسیم نمایید.



1) $f_{in} = 1KHz$, 2) $f_{in} = 5KHz$

3) $f_{in} = 10KHz$, 4) $f_{in} = 20KHz$

آزمایش شمارهٔ ۷
پاسخ پالس در مدار RC

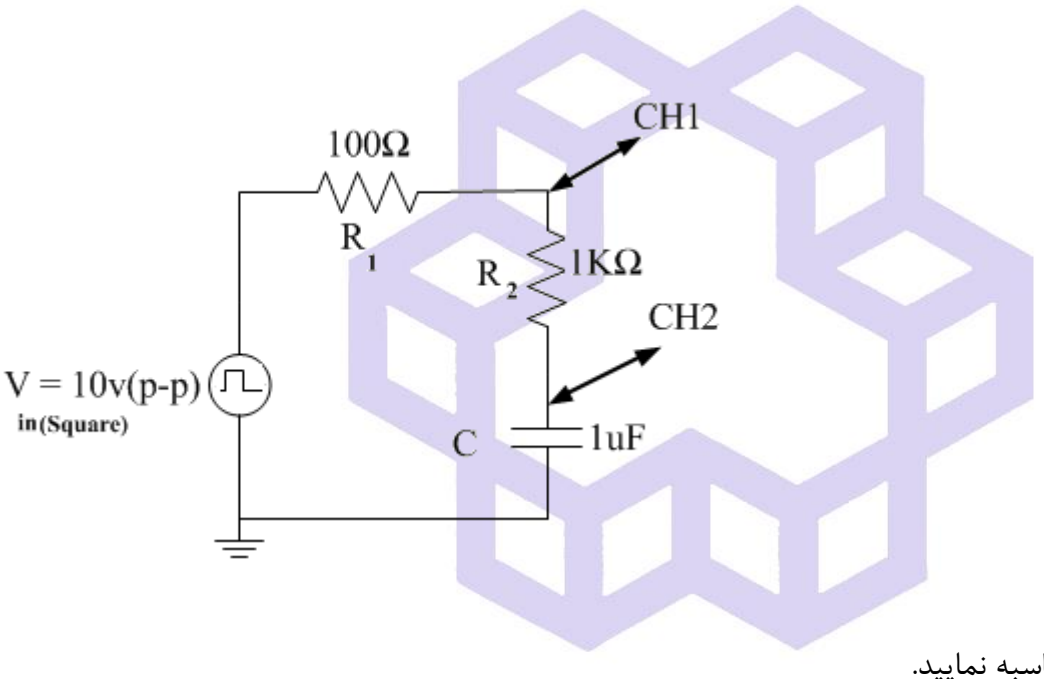
یادآوری

پاسخ کامل سیگنال پالس در یک مدار RC، از یک پاسخ اجباری (حالت صفر) تشکیل شده است. هدف از انجام آزمایش بررسی نکات زیر در مدار RC می‌باشد:

- بررسی عوامل تعیین ثابت زمانی
- بررسی پاسخ خروجی به ورودی سیگنال پالس

شرح آزمایش

مدار زیر را ببندید.



الف) ثابت زمانی این مدار را محاسبه نمایید.

ب) با توجه به ثابت زمانی این مدار و مقدار دامنه ورودی موج مربعی، برای اینکه این مدار دارای پاسخ پایدار باشد فرکانس مناسب ورودی چقدر است؟ این مقدار فرکانس را f_S نام گذاری نمایید.

ج) با توجه به طرز اتصال کانالهای اسیلوسکوپ روی مدار، هر کدام از آنهاچه نوع سیگنالی را روی صفحه اسیلوسکوپ نشان می‌دهند؟ (ولتاژ یا جریان)

د) فرکانس را طبق جدول زیر تغییر دهید تا پاسخ خروجی به حالت‌های متفاوت برسد. تغییر فرکانس را ادامه دهید تا در یکی از کانال‌ها پاسخ تابع Ramp داشته باشید. شکل موج‌های هر دو کانال را با تعیین مقدار دامنه و دوره زمان سیگنال‌ها در هر مرحله با دقت روی کاغذ شطرنجی رسم نمایید.

f_{in}	$\frac{1}{2}f_S$	f_S	$3f_s$	$5f_S$	$7f_S$
مقدار دامنه(Max) شکل موج دیده شده $CH1$					
مقدار دامنه(Max) شکل موج دیده شده $CH2$					

سؤال

۱) علت مشاهده شدن اختلاف در دامنه دو کانال و شکل موج CH1 را بیان نمایید؟

۲) منظور از بیان حالت صفر و ورودی صفر در مدار RC چیست؟

۳) سه عاملی که در خروجی یک مدار RC با اعمال سیگنال ورودی در دو حالت
a) موج سینوسی
b) موج مربعی
تاثیر می‌گذارند را توضیح دهید.

آزمایش شماره ۸

اندازه‌گیری دامنه، فرکانس، اختلاف فاز و فرکانس روزنانس توسط اسیلوسکوپ

یادآوری

همانطور که می‌دانید:

الف) اسیلوسکوپ‌های دو کاناله می‌توانند همزمان دو شکل موج را نمایش دهند. علاوه بر امکان اندازه‌گیری دامنه و فرکانس، اندازه‌گیری اختلاف فاز بین دو موج متناوب هم فرکانس توسط آنها به دو روش امکان پذیر است.

۱) استفاده از محور زمان.

۲) با استفاده از منحنی لیساژو.

ب) در برخی از کاربردها، ولتاژ مورد سنجش بیشتر از مقداری است که توسط اسیلوسکوپ می‌توان اندازه‌گیری کرد. در این صورت باید از مقسم ولتاژ (پروب تضعیف کننده) استفاده کرد.

ج) رفتار سلف و خازن در ولتاژ متناوب:

۱) اگر به یک مقاومت ولتاژ سینوسی اعمال شود، همواره جریانی در آن جاری می‌شود که با دامنه ولتاژ نسبت مستقیم دارد. در صورتی که فرکانس منبع اعمال شده تغییر کند و ولتاژ آن ثابت بماند، جریان آن تغییر نخواهد کرد. زیرا مقدار مقاومت مستقل از فرکانس است.

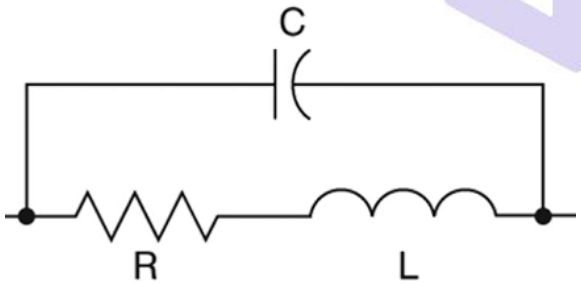
۲) در مورد سلف و خازن، تلاش بر این است تا آنها را بصورت سری یا موازی باهم دریک مدار بسته و سپس با تغییر فرکانس، تاثیر آن بر روی ولتاژ خروجی مدار بررسی شود.

سلف (***Inductor***):

یک سلف شامل حلقه‌های سیم مسی که دارای هسته هوایی یا فریت یا آهنی است، در این صورت مقدار اندوکتانس آن بستگی به هسته‌های مذکوردارد. سلف در ساختن مدارهای رزونانسی و فیلتر یا **RF**، کاربرد دارد. در صنعت یا بازار، سلف را به صورت‌های مختلف بسته به کاربردشان موجود می‌باشند. در مورد سلف هرگاه از n حلقه سیم‌پیچ تشکیل شده باشد و از آن جریان I را عبور دهیم به مقدار $\boldsymbol{n \times I =}$ **(آمپرمتر دور)** ولتاژ مغناطیسی تولید می‌شود. ضریب نفوذ $(\boldsymbol{\mu})$ همان مقاومت مغناطیسی(همانند مقاومت الکتریکی) است که باعث تغییر مقدار هدایت مغناطیسی می‌شود.

a)$\boldsymbol{Toroid\ Coil =}$ **سیم پیچ حلقوی** $\boldsymbol{b)\ Solenoid\ Coil =}$ **سیم پیچ ساده**

مدار معادل معادل یک سلف بصورت شکل زیر است. کاربرد سلف بیشتر برای محدود کردن جریان است.



Equivalent circuit of an inductor

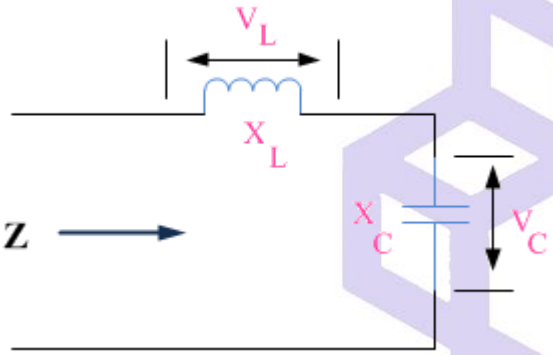
خازن موازی با سلف و مقاومت سری در مدار معادل شکل بالا، خازن ناخواسته (بخصوص در فرکانسهای بالا) یا

Stray Capacitance (**Stray capacitance is an unwanted capacitance in a circuit**) است. هر دو سطح با پتانسیل الکتریکی متفاوت یک خازن تشکیل می‌دهند. خازن می‌تواند برای جلوگیری یا مسدود کردن سیگنال‌های

فرکانس پایین استفاده شود. در صورتیکه در فرکانس های بالا این خازن یک عامل مزاحم برای سلف می‌باشد. گاهی اوقات موجب نوسان‌های ناخواسته در مدار می‌شوند.

می‌دانید که خازن در جریان متناوب باعث ایجاد اختلاف فاز $+\frac{\pi}{2}$ بین جریان و ولتاژ آن می‌شود که نسبت ولتاژ به جریان به صورت X_C (راکتانس خازنی یا مقاومت خازنی)خواهد بود. در صورتیکه سلف در جریان متناوب باعث ایجاد اختلاف فاز $-\frac{\pi}{2}$ بین جریان و ولتاژ می‌شود. همچنین نسبت ولتاژ به جریان به صورت X_L(راکتانس سلفی یا مقاومت القایی) می‌باشد.

a) مدار LC سری: امپدانس کل(Z) برابر است با $Z = X_L - X_C$ و در زمان تشدید $Z = 0$ خواهد شد (یعنی سلف و خازن اتصال کوتاه خواهند شد). با توجه به روابط زیر در زمان تشدید امپدانس اهمی خواهد شد:

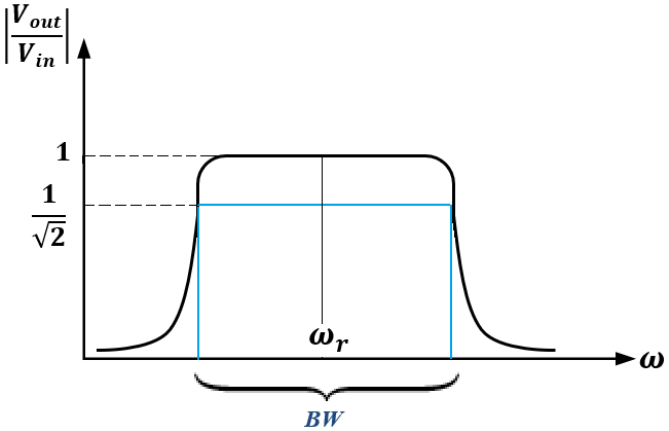


$$Z = Z_L + Z_C = j\omega L + \left(\frac{-j}{\omega C}\right) = j\left(\frac{\omega^2 LC - 1}{\omega C}\right)$$

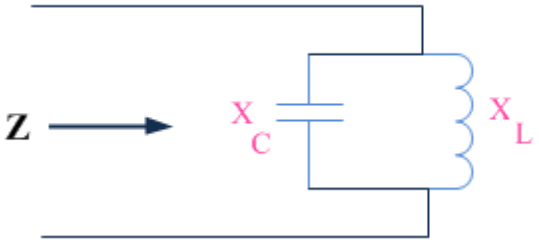
$$\begin{cases} if \implies \omega \longrightarrow \text{زیاد شود} \implies \omega^2 LC - 1 < 0 \implies Z = \text{خاصیت خازنی دارد} \\ if \implies \omega \longrightarrow \text{کم شود} \implies \omega^2 LC - 1 > 0 \implies Z = \text{خاصیت سلفی دارد} \\ if \implies \omega = \omega_r \longrightarrow \omega^2 LC - 1 = 0 \implies Z = R \longrightarrow 0 \text{ مقاومت ایده آل} \implies \omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}} \end{cases}$$

بنابراین فرکانس رزونانس مدار موازی: $f_r = \frac{1}{(2\pi\sqrt{L \times C})}$

نمودار یک فیلتر میان گذر به این صورت خواهد بود:



b) مدار LC موازی: امپدانس کل(Z) برابر است با $\boldsymbol{Z = \frac{X_L \times X_C}{(X_L - X_C)}}$ و در زمان تشدید $\boldsymbol{Z = \infty}$ خواهد شد (یعنی سلف و خازن مدار باز خواهد شد).

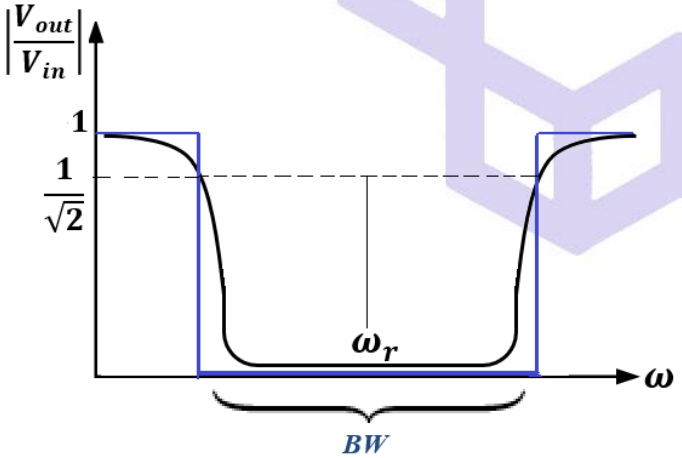


$$\boldsymbol{Z = Z_L \parallel Z_C = j\omega L \parallel \frac{-j}{\omega C} = \frac{\frac{\omega L}{\omega C}}{j(\omega L - \frac{\omega L}{\omega C})} = \frac{-j\omega L}{\omega^2 LC - 1}}$$

$$\begin{cases} \boldsymbol{if \quad \omega \longrightarrow \text{زیاد شود} \Longrightarrow \omega^2 LC - 1 < 0 \Longrightarrow Z = \text{خاصیت سلفی دارد}} \\ \boldsymbol{if \quad \omega \longrightarrow \text{کم شود} \Longrightarrow \omega^2 LC - 1 > 0 \Longrightarrow Z = \text{خاصیت خازنی دارد}} \\ \boldsymbol{if \quad \omega = \omega_r \longrightarrow \omega^2 LC - 1 = 0 \Longrightarrow Z = R \longrightarrow \infty \text{ خاصیت مقاومتی دارد} \Longrightarrow \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}} \end{cases}$$

بنابراین فرکانس رزونانس مدار موازی: $\boldsymbol{f_r = \frac{1}{(2\pi\sqrt{L \times C})}}$

نمودار یک فیلتر میان نگذربدین صورت خواهد بود:

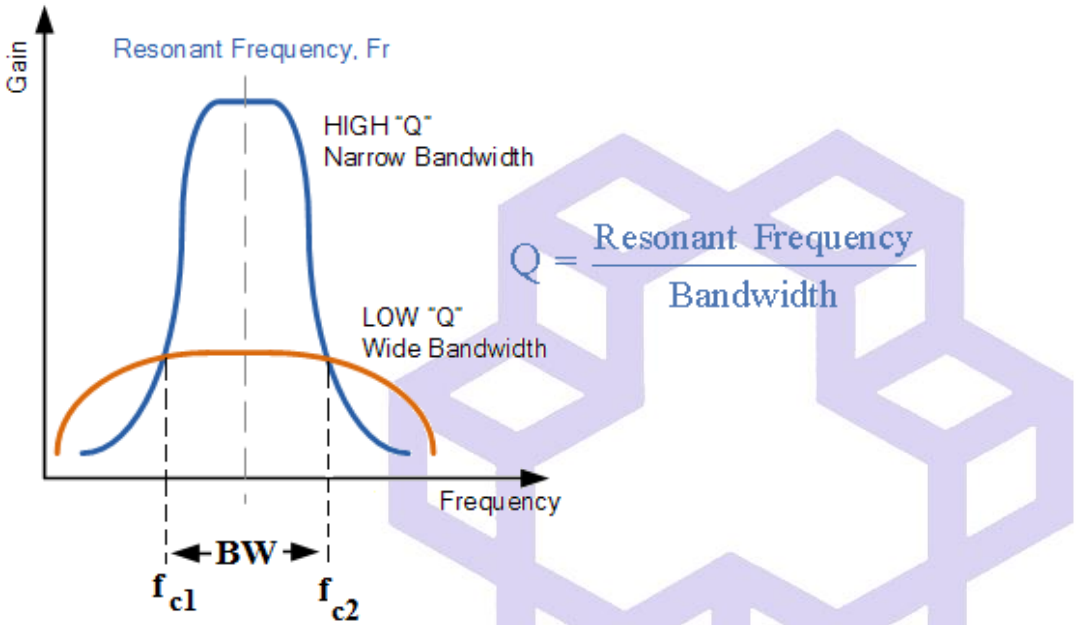


نکته: ضریب کیفیت بصورت کلی در مدارهای رزونانس یا تشدید و با نوشتن روابط آن‌ها به صورت زیر خواهد بود:

$$\boldsymbol{Q = \frac{2\pi\left(\text{ماکزیمم انرژی ذخیره شده}\right)}{\left(\text{انرژی مصرفی در یک سیکل}\right)} = \frac{2\pi(W_L + W_C)_{max}}{I^2 \times R \times T} = \frac{2\pi\left(\frac{1}{2}I^2 \times L + \frac{1}{2}C \times V^2\right)}{I^2 \times R \times T}}$$

$$\begin{cases} \textbf{if } I_{Circuit} = Max \longrightarrow V_C = 0 \Longrightarrow Q = \frac{L\omega_r}{R} \longrightarrow \text{ضریب کیفیت در مدارتشدید سری روی مقدار ولتاژ تاثیر دارد} \\ \textbf{if } V_C = Max \longrightarrow I_{Circuit} = 0 \Longrightarrow Q = \frac{1}{RC\omega_r} \longrightarrow \text{ضریب کیفیت مدار تشدید موازی روی مقدار جریان تاثیر دارد} \end{cases}$$

شکل زیر نمودارگین فیلتر میان گذر تقریبا با پنهای باند کم و زیاد را برحسب $(GAIN = A_V(f) = \left|\frac{V_{out}}{V_{in}}\right|)$ نشان می دهد.

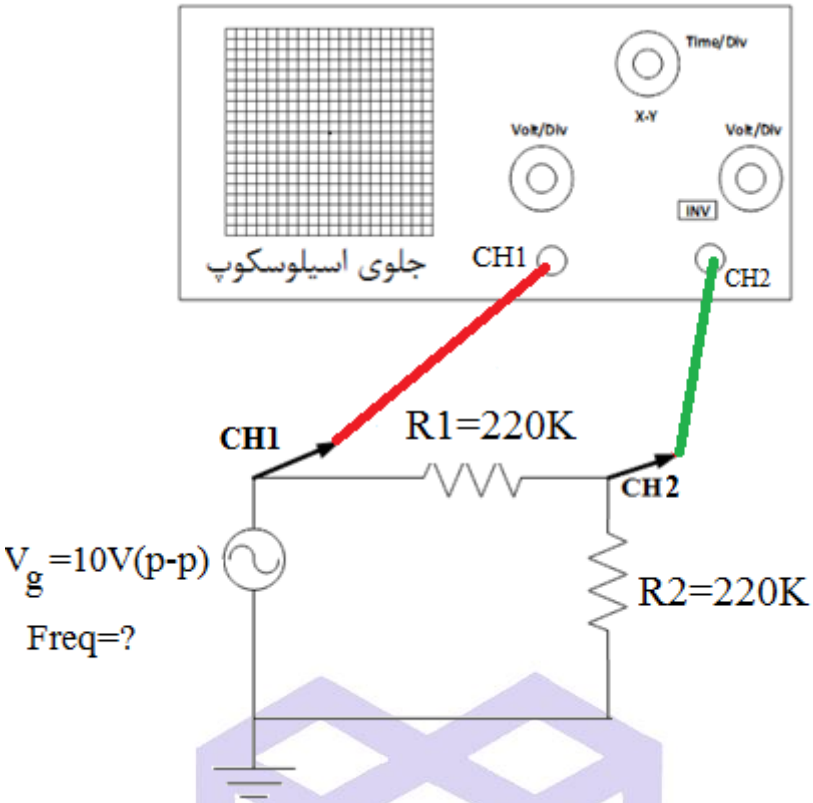


$$Q = \frac{\text{Resonant Frequency}}{\text{Bandwidth}}$$

شرح آزمایش

۱-۸) اندازه گیری ولتاژ دو سر مقاومت R_2 با تغییر فرکانس توسط اسیلوسکوپ (پروپ تضعیف کننده):

مدار صفحه بعدی را ببندید و تغییرات ولتاژ دوسر مقاومت R_2 را برحسب فرکانس در جدول یادداشت نمایید.



نکته : پس از هر بار تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، دقت کنید که دامنه $V_{g(p-p)}$ همواره ثابت و 8V بماند.

$F(KHz)$	0.5	1	5	10	30	50	80	100	150	200
$V_{R2(p-p)}(v)$										

سؤال

۱) با توجه به برابر بودن مقادیر مقاومت ها $(R_1 = R_2)$، همواره $V_{(out=R2)} = \frac{1}{2} V_{(in=g)}$ خواهد بود. علت کاهش ولتاژ همواره V_{R2} در فرکانس های بالا با ذکر فرمول و رابطه برداری بنویسید.

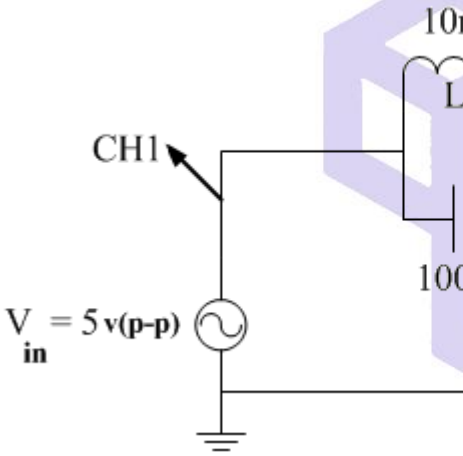
۲) ساختمان پروپ چگونه است و علت تفاوت آنرا با مقسم ولتاژ آزمایش فوق بیان کنید؟

۲-۸) تعیین فرکانس روزنانس مدار LC موازی با تغییر فرکانس:

مدار زیر را با سلف مورد نظر بسته و تغییرات ولتاژ دو سر مقاومت R را برحسب فرکانس در جدول یادداشت نمایید. سلف‌های **بشکه‌ای** شبیه خازن‌های الکترولیتی هستند ولی بدنه‌ای نامتقارن دارند.

Barrel Inductor

نکته مهم : پس از هر بار تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور، دقت کنید که دامنه $V_{g(p-p)}$ همواره ثابت و 5V بماند.



$F(KHz)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{R(p-p)}(v)$										

سؤال

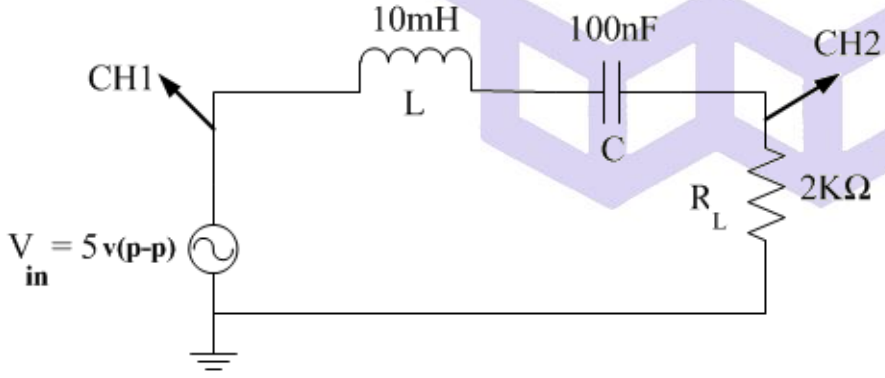
۱) منحنی تغییرات $V_{R(p-p)}$ را برحسب تغییرات فرکانس رسم نمایید. فرکانس رزونانس یا تشدید را هم بصورت تئوری ($f_r = \frac{1}{(2\pi\sqrt{L\times C})}$) و هم از روی جدول بدست آورده، سپس با یکدیگر مقایسه کنید.

۲) علت اینکه در روزنانس موازی، ولتاژ دوسر R (V_R) به حداقل مقدار خود می‌رسد را توضیح دهید.

۳) پهنای باند را از روی منحنی تغییرات ولتاژ خروجی بدست آورده و با استفاده از روابط تئوری صحت آنرا ثابت کنید.

۳-۸) تعیین فرکانس روزنانس مدار LC سری با تغییر فرکانس:

مداری مطابق شکل صفحه بعدی ببندید و تغییرات ولتاژ دو سر مقاومت R را برحسب فرکانس در جدول یادداشت نمایید.



$F(KHz)$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{R(p-p)}(v)$										

سؤال

۱) منحنی تغییرات $V_{R(p-p)}$ را برحسب تغییرات فرکانس رسم نمایید. فرکانس رزونانس یا تشدید را هم بصورت تئوری ($f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \times C}}$) و هم از روی جدول بدست آورده، سپس با یکدیگر مقایسه کنید.

۲) علت اینکه در روزنانس سری، ولتاژ دوسر R (V_R) به حداکثر مقدار خود می‌رسد را توضیح دهید.

۳) پهنای باند را از روی منحنی تغییرات ولتاژ خروجی بدست آورده و با استفاده از روابط تئوری صحت آنرا ثابت کنید.

۴) در توضیحات سلف صحبت از هسته فریت یا آهنی شد. منظور از اینکه مدار مغناطیسی باز یا بسته باشد را توضیح دهید. دراین صورت چه پارامتری تغییر خواهد نمود و اثرات آنرا بنویسید.

۵) علت استفاده از سلف بشکه‌ای برای رزونانس را ذکر نمایید.

آزمایش شمارهٔ۹

استفاده از منحنی‌های لیساژو و مدولاسیون Z (Z-Mode) – اندازه‌گیری اختلاف فاز، فرکانس و کالیبره کردن یک سیگنال ژنراتور

یادآوری

برای تشکیل منحنی لیساژو باید کلید انتخاب کننده زمان را روی وضعیت X-Y قرارداد. در این صورت ولتاژهای V_X و V_Y مورد نظر را به ورودی های CH1 و CH2 وصل می شوند. در این حالت اسیلوسکوپ زمان را بین دو ورودی حذف می کند.

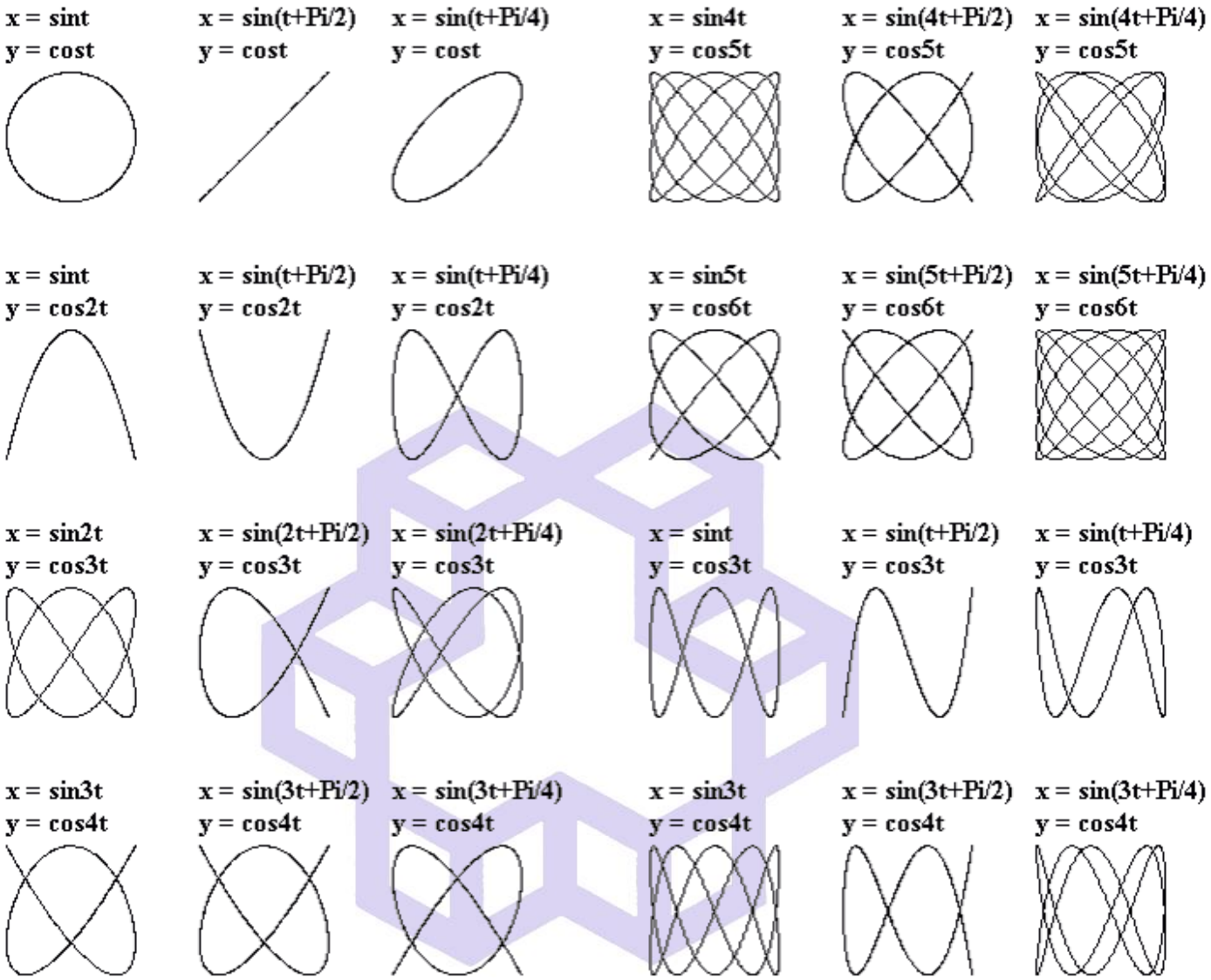
1) $\mathbf{V_X = f_1(t) = a\ \sin(\omega_1 t)}$

2) $\mathbf{V_Y = f_2(t) = b\ \sin(\omega_2 t - \varphi)}$

($\boldsymbol{\varphi}$ = همان اختلاف فاز دو سیگنال می باشد.)

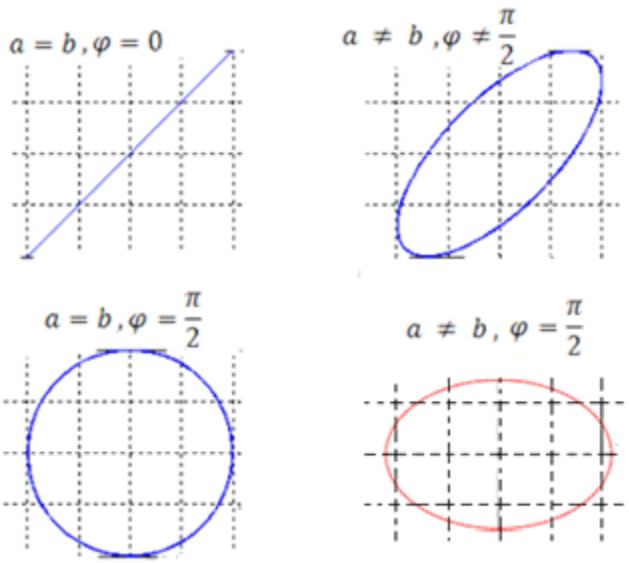
اگر $\mathbf{V_X}$ خطی باشد در آنصورت تابع $\mathbf{V_Y}$ دیده خواهد شد و بالعکس. با حذف زمان بین دو تابع سینوسی و بسته به مقادیر فرکانسهای $\mathbf{f_1}$ و $\mathbf{f_2}$ شکلهای مختلفی روی اسکوپ مشاهده خواهد شد که به منحنی لیساژو معروفند.

شکل صفحه بعد منحنی های لیساژو را با در نظر گرفتن نسبت‌های مختلف فرکانس و اختلاف فازهای مختلف نشان می دهد.



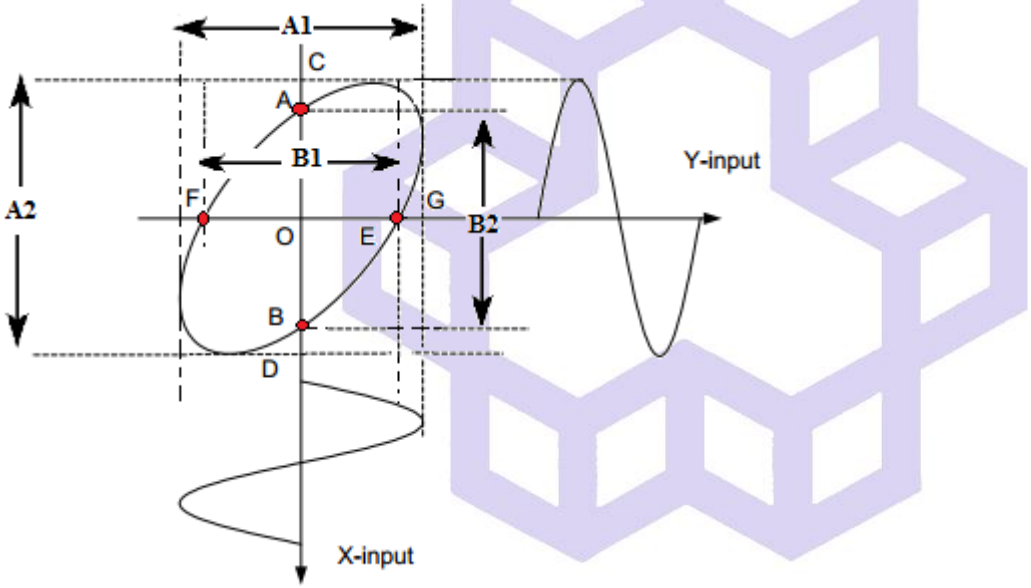
علاوه بر این با استفاده از منحنی‌های لیساژو می توان به روش مقایسه‌ایی که در آن خطای دستگاه اندازه‌گیری تقریبا حذف می‌شود، فرکانس مجهول را در مقایسه با یک سیگنال ژنراتور دقیق معلوم کرد و یا یک سیگنال ژنراتور را با سیگنال ژنراتور دقیق دیگر مقایسه و کالیبره نمود که در هر دو مورد، دقت اندازه گیری بیشتر است:

الف) در حالتیکه $f_1 = f_2$ باشد: با توجه به دامنه و اختلاف فاز بین دو ولتاژ، اشکال صفحه بعدی بدست می‌آیند:



با توجه به معادله ولتاژهای اعمال شده ، برای بدست‌آوردن اختلاف فاز بین دو موج به صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\mathbf{X = a\sin(\omega t)\ , Y = b\sin(\omega t - \varphi)}$$



۱) مختصات روی محور **X**:

$$\text{if } Y = 0 \implies \mathbf{\sin}(\omega t - \varphi) = 0 \implies \omega t = \varphi$$

$$\mathbf{E}\begin{vmatrix} \mathbf{a\sin(\ |\varphi|\ )} \\ \mathbf{0} \end{vmatrix}, \mathbf{G}\begin{vmatrix} \mathbf{a} \\ \mathbf{0} \end{vmatrix} \rightarrow \mathbf{\sin}(\varphi) = \frac{\mathbf{OE}}{\mathbf{OG}} = \frac{\mathbf{2OE}}{\mathbf{2OG}} = \frac{\mathbf{B1}}{\mathbf{A1}} \rightarrow \varphi = \mathbf{\sin^{-1}}(\frac{\mathbf{B1}}{\mathbf{A1}})$$

۲) مختصات روی محور **Y**:

$$\text{if } X = 0 \implies \omega t = 0 \implies Y = b\,\mathbf{\sin}(\ |\varphi|\ )$$

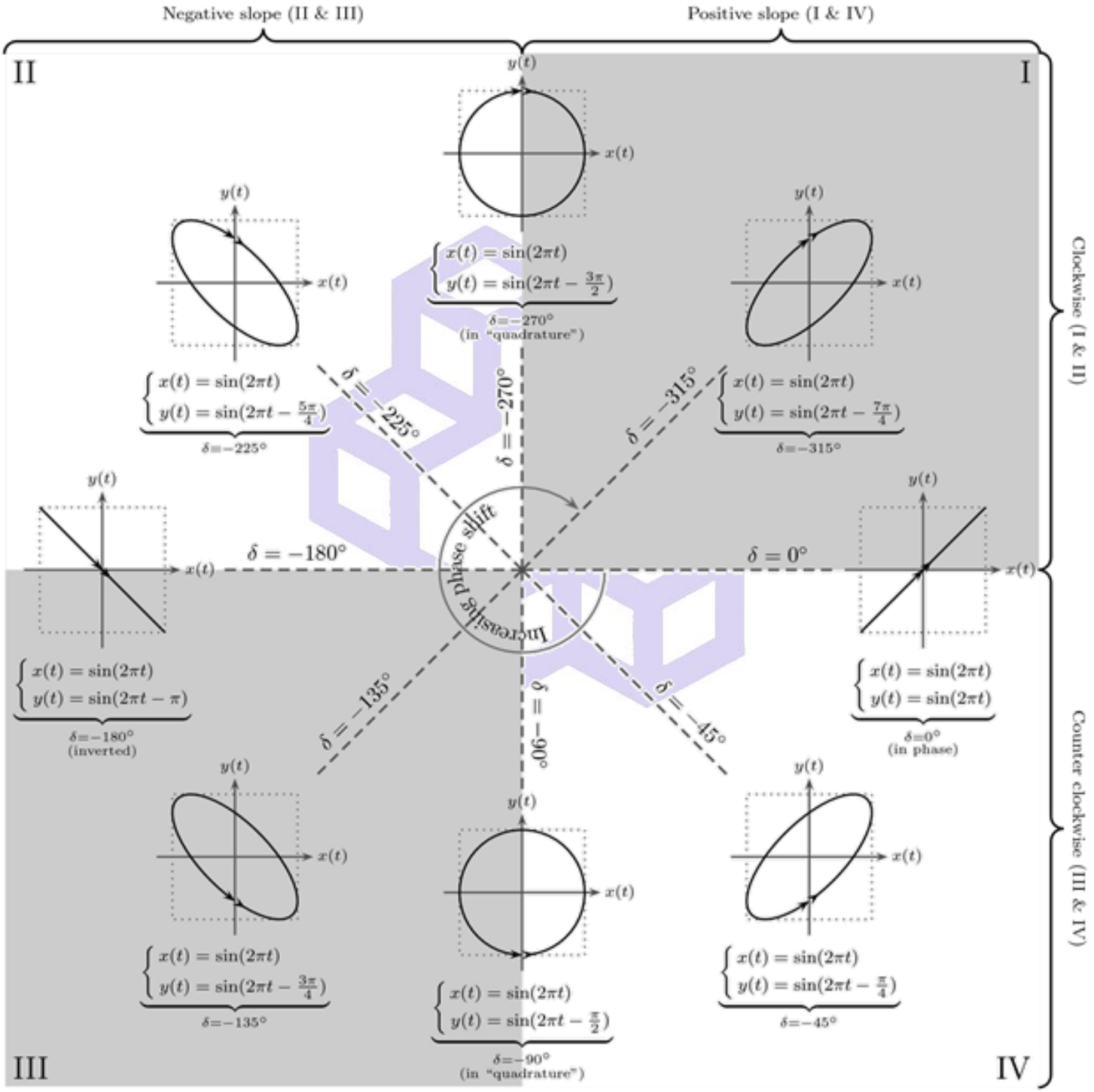
$$\mathrm{A}\begin{vmatrix} \mathbf{0} \\ \boldsymbol{b}\,\mathbf{\sin(\ |\varphi|\ )} \end{vmatrix}, \mathbf{C}\begin{vmatrix} \mathbf{0} \\ \boldsymbol{b} \end{vmatrix} \rightarrow \mathbf{\sin}(\varphi) = \frac{\mathbf{OA}}{\mathbf{OC}} = \frac{\mathbf{2OA}}{\mathbf{2OC}} = \frac{\mathbf{B2}}{\mathbf{A2}} \rightarrow \varphi = \mathbf{\sin^{-1}}(\frac{\mathbf{B2}}{\mathbf{A2}})$$

از مقایسه روابط ۱و ۲ خواهیم داشت:

$$|\varphi| = \sin^{-1}\left(\frac{B1}{A1}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{B2}{A2}\right) \Longrightarrow\Longrightarrow \frac{B1}{A1} = \frac{B2}{A2}$$

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که حساسیت محورهای **X** و **Y** در محاسبه φ، بی تاثیر است.

در اینجا مسئله پیش فاز یا پس فاز بودن دو سیگنال نسبت به یکدیگر به علت استفاده از قدرمطلق اختلاف فاز، در نظر گرفته نشده است.



ب) در حالتیکه $f_1 \neq f_2$ باشد: با توجه به اشکال صفحه قبل، دو نوع شکل دیده می‌شود. شکلهای دارای تقارن دو محوری(مرکزی) و شکلهای تقارن یک محوری. در نتیجه دو وضعیت رخ می‌دهد:

۱) منحنی لیساژو کاملا بدون تغییر و ثابت بماند:

چهار وجهی محیطی شکل حاصل را رسم می‌کنیم و یک گوشه آنرا در نظر می‌گیریم.

برای اشکال دارای تقارن دو محوری توام:

$$a)\ \frac{f_Y}{f_X} = \frac{\text{تعداد نقاط تماس در امتداد } X}{\text{تعداد نقاط تماس در امتداد } Y} = \frac{a}{b}$$

برای اشکال بدون تقارن دو محوری توام:

$$b)\ \frac{f_Y}{f_X} = \frac{\left(\text{تعداد نقاط تقاطع در امتداد } X + \text{تعداد نقاط تماس در امتداد } X \text{ برابر } 2\right)=m}{\left(\text{تعداد نقاط تقاطع در امتداد } Y + \text{تعداد نقاط تماس در امتداد } Y \text{ برابر } 2\right)=n} = \frac{m}{n}$$

m و **n** دو عدد صحیح هستند. در این حالت منحنی لیساژور تغییر نکرده و خطای اسکوپ هم کاملا حذف می شود. به عبارتی دقت f_Y به f_X مربوط می‌شود.

۲) منحنی لیساژو ثابت نمانده و تغییر وضعیت می دهد:

(توجه: در این حالت از رابطه **b** که رابطه **a** را نیز پوشش می دهد، استفاده می‌کنیم.)

در این صورت حداقل صورت یا مخرج کسر نسبت دو فرکانس عدد صحیح نیست، که در نتیجه ان اختلاف فاز متغیر نسبت به زمان بوجود می‌آید، در نتیجه رابطه زیر بین دوفرکانس برقرار خواهد بود.

$$c) f_Y = \frac{m}{n} \times f_X \pm \frac{N}{n}$$

N = تعداد دفعات تکرار شکل در ثانیه است.

*در رابطه **C**، $\frac{m}{n}$ نسبت منحنی لیساژو غالب است که تغییر وضعیت می‌دهد.

*در رابطه **C**، هر مقدار که **N** از عدد یک کوچکتر باشد، دقت اندازه گیری بیشتر است.

*برای تشخیص علامت $\pm$، باید اسیلوسکوپ را در حالت دوکاناله(DUAL) قرار داده و با توجه به جهت حرکت یک کانال نسبت به کانال دیگر: علامت را مشخص نمود.

با مثال زیر خطای حاصل از دستگاه اندازه گیری را بررسی می‌کنیم:

فرض می کنیم یک منحنی لیساژو داریم که در آن $f_X = 100$, $f_Y = 200$ هستند. در نتیجه طبق رابطه **C**:

*برای تقارن یک محوری با تکرار هر 10s یکبار:

$$f_Y = \frac{2}{1} \times 100 \pm \frac{\frac{1}{10}}{1} = 200 \pm \frac{1}{10} \Rightarrow$$ **0.05% خطا داریم**

*برای تقارن دو محوری با تکرار هر **5s** یکبار:

$$f_Y = \frac{4}{2} \times 100 \pm \frac{\frac{1}{5}}{2} = 200 \pm \frac{1}{10} \Rightarrow$$ **0.05% خطا داریم**

در روابط فوق همه مقدار $\frac{N}{n}$ را خطا در نظر گرفته‌ایم. در صورتیکه در بدترین شرایط خطای قرائت را 10% در نظر بگیریم، خطا در هر دو مورد 10 برابر کمتر خواهد شد.

مقدار خطای محاسبه شده، فقط خطای قرائت توسط اسیلوسکوپ است و دقت f_Y به دقت f_X نیز ارتباط دارد. به این ترتیب در روش مقایسه‌ایی دقت دستگاه اندازه گیری حذف می‌شود.

مدولاسیون Z:

یکی دیگر از استفاده های اسیلوسکوپ، اندازه گیری فرکانس و یا کالیبره کردن فرکانس یک سیگنال ژنراتور با سیگنال ژنراتور مبناء از طریق $\boldsymbol{Z-MODE}$ است. اسیلوسکوپ در صفحه نمایش می تواند تغییرات روشنایی را نشان دهد. اصطلاح محور Z، همان تغییرات روشنایی (INTENSITY MODULATION) است و توسط یک سوکت که در پشت دستگاه اسیلوسکوپ قرار گرفته است و به شبکه کنترل لامپ اشعه کاتدیک وصل است، انجام می‌شود. بامثبت تر کردن نسبی شبکه مذکور، نقطه نورانی روشن تر و با منفی تر کردن نسبی آن، نقطه نورانی کم نورتر و یا خاموش می‌شود. برای این کار ابتدا موج سینوسی را که می‌خواهیم فرکانس آنرا اندازه‌گیری بگیریم$(\boldsymbol{f_{X(Source)}})$بوسیله یک مقاومت و یک خازن روی اسیلوسکوپ یک بیضی می‌سازیم. سپس ولتاژ مربعی سیگنال ژنراتور مبنی بر $(\boldsymbol{f_Z})$ را به سوکت مدولاسیون Z وصل می‌کنیم. با تنظیم شدت روشنایی بازوی نورانی توسط اسیلوسکوپ و دامنه مناسب موج مربعی بیضی حاصل در نیم سیکل‌های مثبت موج مربعی، روشنتر و در نیم سیکل‌های منفی آن تاریکتر یا خاموش می‌شود. در این صورت نسبت دو فرکانس از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\frac{\boldsymbol{f_Z}}{\boldsymbol{f_{X(Source)}}} = \boldsymbol{K} \qquad \textbf{تعداد قطعات روشن} = \boldsymbol{K}$$

به همین روش می توان یک سیگنال ژنراتور را کالیبره کرد.(توجه: در صورتیکه قطعات روشن روی بیضی ثابت نمانده و تغییر وضعیت بدهند و فاصله زمانی جابجائی یک قطعه روشن با قطعه روشن قبلی N ثانیه باشد، در این صورت رابطه بین دو فرکانس بصورت زیر خواهد بود:

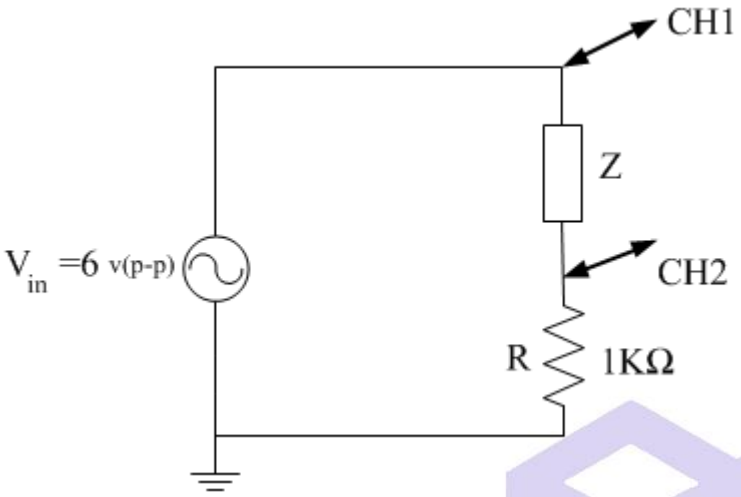
$$f_Z = K \times f_{X(Source)} \pm \frac{N}{K} \qquad , \qquad \text{تعداد دفعات تکرار در ثانیه} = N$$

علامت $\pm$ با توجه به نحوه تشکیل بیضی و جهت حرکت، قطعات روشن قابل تشخیص است.

شرح آزمایش

۱-۹) اندازه گیری اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان دوسر مقاومت، خازن وسلف از طریق حوزه زمانی توسط اسیلوسکوپ.

مدار زیر را بسته و موج سینوسی با دامنه 6 V(p-p) به مدار اعمال کرده و سپس جدول را کامل نمایید.



Sinuous Wave	Z	$F = 100Hz$ $\varphi^\circ = ?$	$F = 1\ KHz$ $\varphi^\circ = ?$	$F = 10\ KHz$ $\varphi^\circ = ?$
1	$R = 20K\Omega$			
2	$C = 100nF\ (X_C)$			
3	$L = 10m\ H\ (X_L)$			

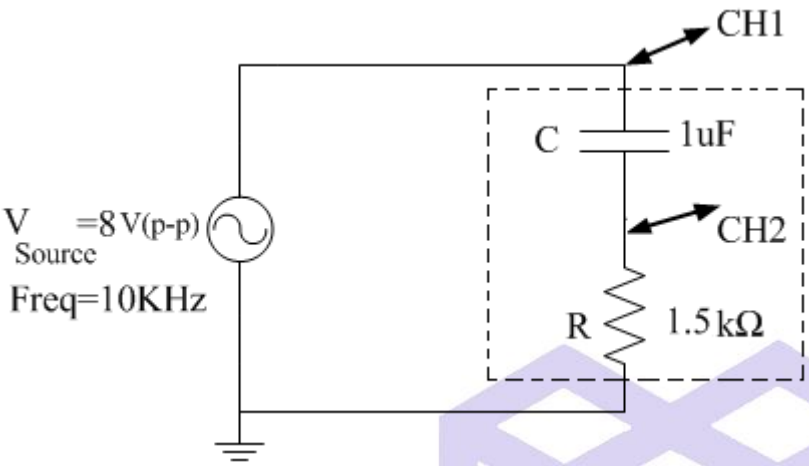
سؤال

۱) در مرحله **۲** و **۳** ، اختلاف فاز را از رابطه تئوری $\tan\varphi = \frac{1}{\omega RC}$ و $\tan\varphi = \frac{L\omega}{R}$ بدست آورده و مقدار آنرا با مقادیر عملی و نتایج بدست آمده در جدول مقایسه نمایید. علت تفاوت بین آنها را توضیح دهید.

۲) در مرحله ۳ (وجود سلف) آیا در فرکانس $F = 1\ KHZ$ ، $X_L \gg R(= 1k\Omega)$ می باشد؟

۹-۲) اندازه گیری اختلاف فاز دو موج توسط اسیلوسکوپ و منحنی لیساژو(LISSAJOUS).

مدار شکل زیر را بسته و برای دیدن منحنی لیساژو، سلکتور **Time/Division** در حالت X-Y قرار دهید. سپس اختلاف فاز بین V_R و V_{in} را بدست آوری ومنحنی لیساژو را رسم کنید.



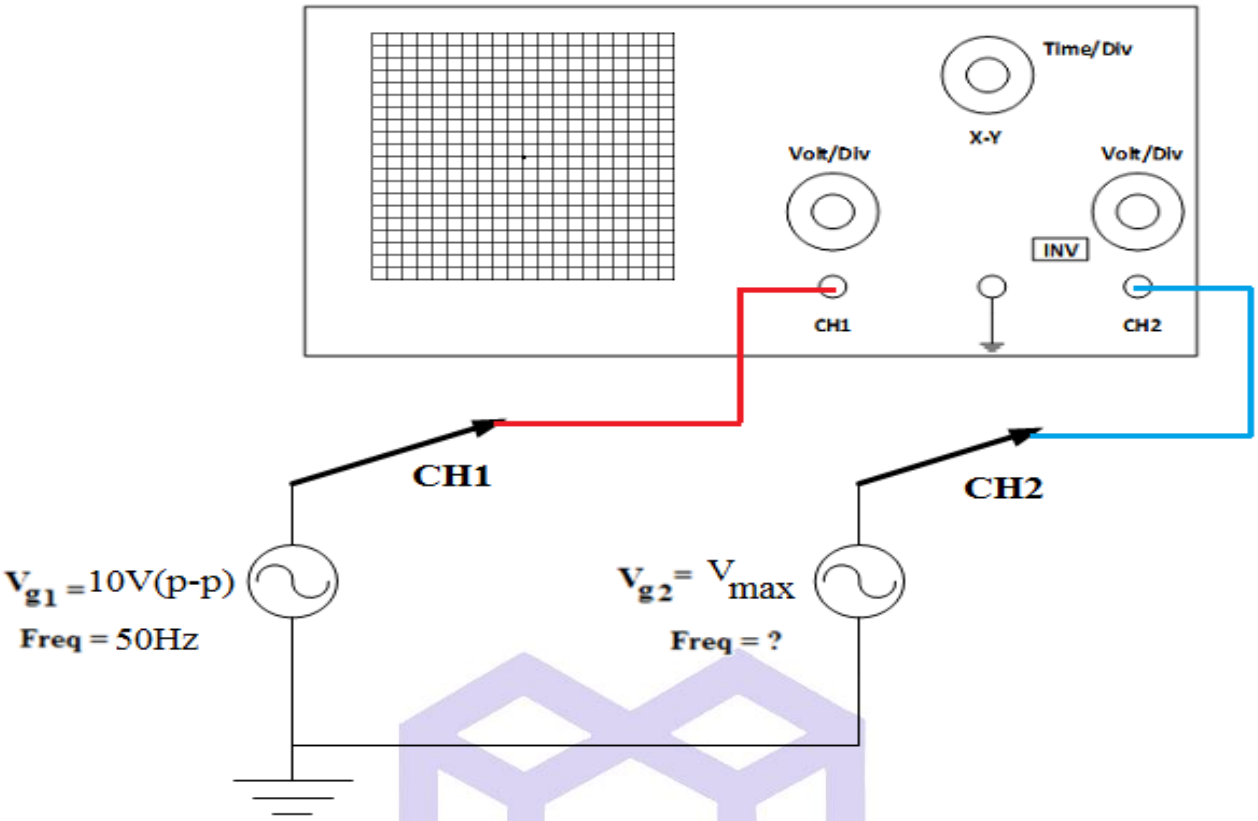
$f(KHZ)$	10
$\varphi^{\circ} = \sin^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)$	

سؤال

مقدار خازن **C** بگونه‌ایی محاسبه نمایید که $X_C \gg 1K\Omega$ شود، در این صورت چه تغییری در قطرهای منحنی بیضی شکل در صفحه اسیلوسکوپ مشاهده می شود؟ آیا می توان با این شیوه منحنی را به یک دایره تبدیل کرد؟

۹-۳)کالیبراسیون فرکانس یک سیگنال ژنراتور دیگر با استفاده از منحنی لیساژو.

مدار را مطابق شکل صفحه بعدی بسته و با تغییر فرکانس فانکشن ژنراتور مبناء(Source) و روابط تئوری ذکر شده در قسمت یادآوری، فرکانس فانکشن ژنراتور مجهول را بدست آورید.(در هر مرحله فرکانس $f_{g(Source)}$ باید روی 50HZ باشد و تغییر نکند.)



	تنظیم شدن فرکانس فانکشن ژنراتور دوم برای حدود فرکانس‌های زیر(**HZ**)	$f_{g(X)} = \frac{m}{n}$ یا $\frac{a}{b} \times (f_g(Source) = 50Hz)$ (با استفاده از اسیلوسکوپ)	$f_{g(X)}$ **فرکانس فانکشن دوم** = (فرکانس قرائت شده از روی فانکشن دوم)
1	**50**		
2	**75**		
3	**100**		
4	**500**		
5	**1000**		

سؤال

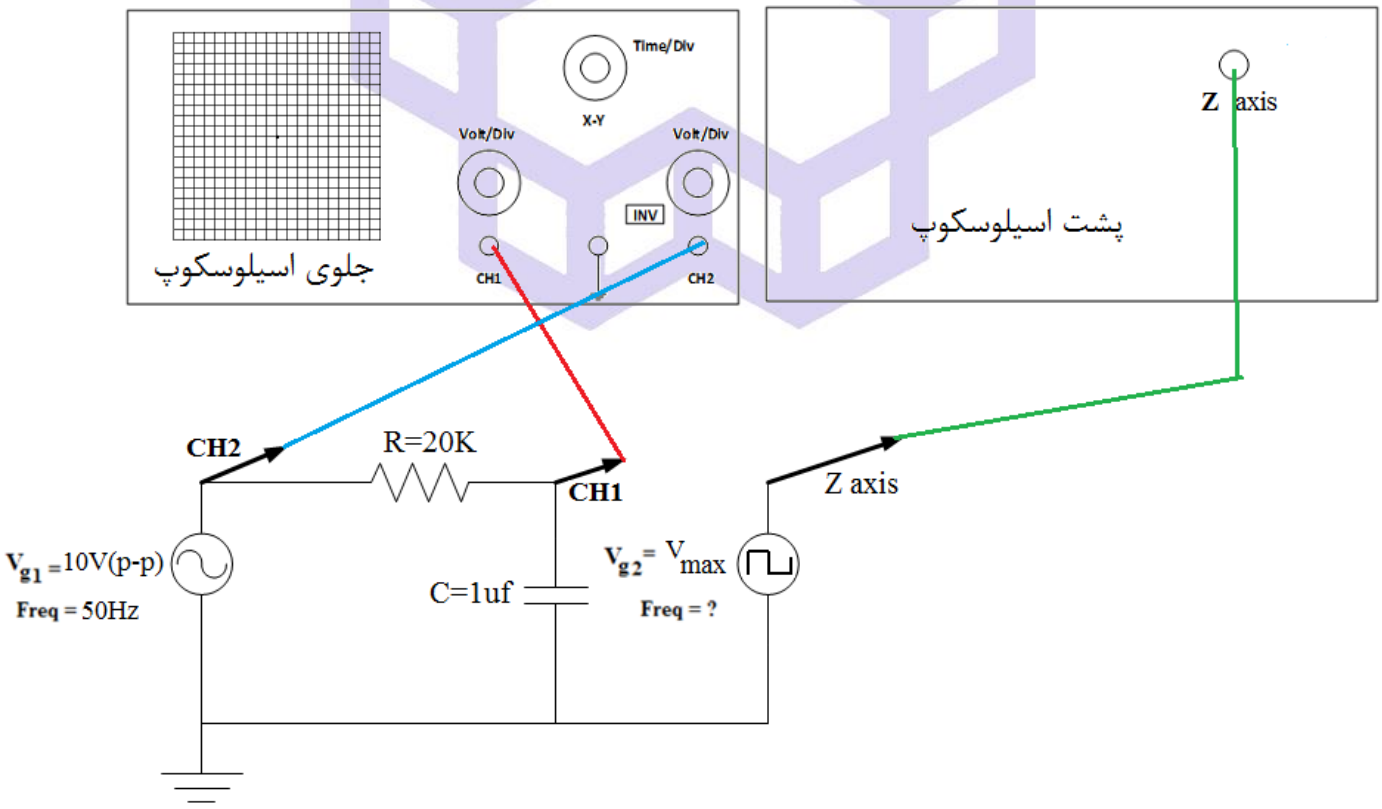
۱) اگر پس از ثبیت شدن منحنی در طول مدت آزمایش بدون تغییر فرکانس سیگنال ژنراتور مبناء ($f_{g(Source)}$)، منحنی شروع به حرکت و تغییر نماید چه علتی باعث این کار خواهد شد؟

۲) اگر منحنی هر ۲ ثانیه یکبار تکرار شود(N= $\frac{1}{2}$) و $f_{g(Source)}$ =50HZ باشد، فرکانس سیگنال ژنراتور X چقدر خواهد بود؟

۹-۴) کالیبراسیون فرکانس یک سیگنال ژنراتور دیگر با استفاده از ورودی Z-axis یا مدولاسیون شدت روشنایی($Z-MODE$).

ابتدا از یک مقاومت و خازن، مداری برای ایجاد اختلاف فاز ۹۰ درجه استفاده کنید. سپس مدار را طبق شکل زیر را بسته و سیگنال مولد موج مربعی را به **ورودی Z-axis** اعمال نمایید. موارد خواسته شده را در جدول یاداشت نمایید.

(توجه: در هر مرحله فرکانس $f_{g(Source)}$ باید روی 50HZ باشد و تغییر نکند.)



$f_{g(Z)}(HZ) \rightarrow \approx$	50	100	500	1000
$K \times f_g(Source)$				
فرکانس قرائت شده از روی مولد سیگنال دوم $f_{g(Z)}$				

سؤال

نتیجه آزمایش را توضیح دهید؟

آزمایش شمارهٔ ۱۰
روش‌های اندازه‌گیری مقدار مقاومت

یادآوری

مقاومت یک عنصر الکتریکی دو پایه است که مطابق قانون اهم هنگامی که جریان الکتریکی از آن عبور کند بین پایه‌های مقاومت اختلاف ولتاژ ایجاد می‌شود. شدت جریان عبوری از یک مقاومت رابطه مستقیمی با ولتاژ آن دارد. این رابطه توسط قانون اهم نمایش داده می‌شود:

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

در این معادله: R = مقاومت عنصر با واحد اهم. V = اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت با واحد ولت. I = جریان الکتریکی عبوری از مقاومت با واحد آمپر.

مقاومت ها از استاندارد سری E_6 , E_{12} , E_{24} , E_{48} , ... تبعیت می‌کنند و بسته به کاربردشان دارای توان‌های متفاوتی هستند. المان‌های سری E از رابطه مقابل بدست می‌آیند.

$$R_i = K\left(\sqrt[E]{10^i}\right) \quad , i = 1 \rightarrow E$$

E: مشخص کننده نوع سری مورد نظر و i: مشخص کننده چندمین المان مورد نظر. K: مضاربی از ۱۰ است که مقادیر ردیف‌های مقاومت را مشخص می‌کند.

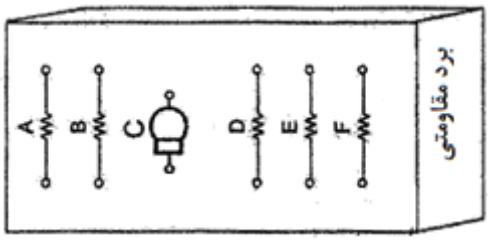
برای اندازه‌گیری مقدار مقاومت، می توان این روش‌ها را پیشنهاد داد: الف) استفاده از انواع اهم‌مترها ب) استفاده از روش مقایسه‌ایی ج)اندازه‌گیری به روش جایگزینی توسط یک مقاومت معلوم د) اندازه‌گیری با استفاده از ولتمتر و آمپرمتر و پل اندازه‌گیری.

نکته: در تمامی مراحل این آزمایش باید دقت داشت که اهم‌مترهایی که در قسمت معرفی دستگاه‌های اندازه‌گیری معرفی شده‌اند، باید قبل از هر مرحله آزمایش، تنظیمات مربوط به آنها انجام شود. بنابراین در ابتدا باید ۱) برای اهم‌متر سری ⟸ صفر مکانیکی عقربه اهم‌متر ۲) برای اهم‌متر موازی یا دیجیتال ⟸ بی نهایت اهم‌متر. دستگاه‌های دیجیتال اغلب نیاز به تنظیم از خارج ندارند.

شرح آزمایش

۱۰-۱)اندازه گیری مقاومت توسط چند نوع اهم‌متر:

برد مقاومتی را برای انجام آزمایش بردارید و سپس مطابق جدول با استفاده از اهم‌مترهای نام برده، مقادیر مقاومت‌ها را یادداشت نمایید.



R(Ω)	A	B	C	D	E	F
اهم‌متر سری						
اهم‌متر دیجیتال						
پل اندازه‌گیری						

سؤال

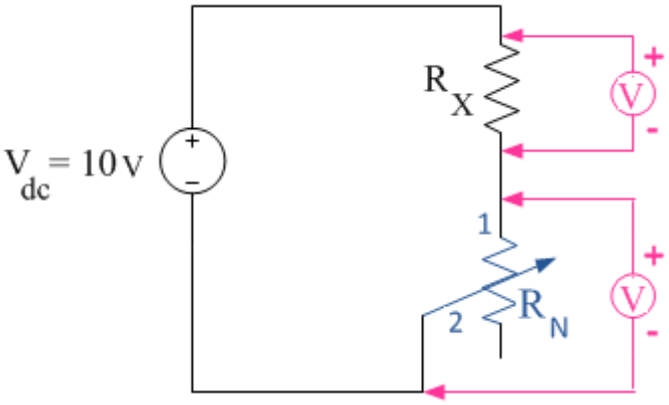
۱) با توجه به رنج مقاومت‌های **A** تا **F**، هریک از اهم‌مترها برای چه رنجی مناسب است؟

۲) به نظر شما مقاومت **C**، چه وسیله‌ایی است؟

۱۰-۲) استفاده از روش مقایسه‌ایی:

مدار صفحه بعدی را ببندید. توجه داشته باشید که ولتمترهای مورد استفاده حتما از یک مدل باشند و همچنین برای مقاومت متغیر در تمام مراحل این آزمایش از مقاومت دهدهی استفاده نمایید.

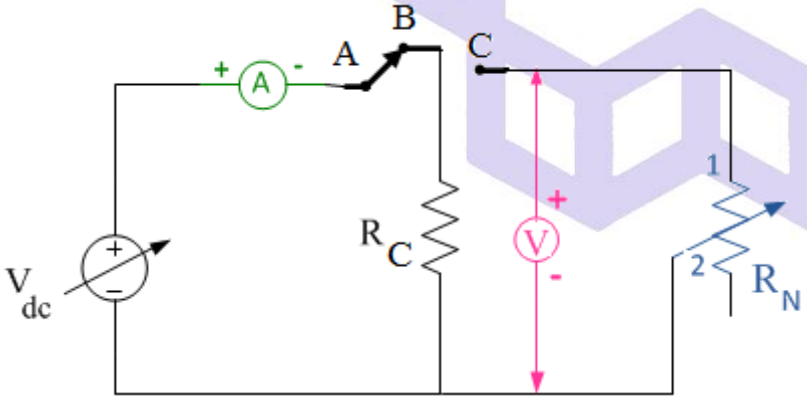
مقدار $\mathbf{R_X}$: مقدار مقاومت مجهول(مقاومت‌های روی برد مقاومتی) را با استفاده از مقاومت متغیر دهدهی $\mathbf{R_N}$ و تنظیم آن بطوریکه هر دو ولتمتر در هر مورد عدد5V را نشان دهند، بدست آورید. بنابراین: $\mathbf{R_X = R_N}$



$\mathbf{R_X(\Omega)}$	B	D	E	F
$V_X(v) = V_N(v)$				
$R_X(\Omega) = R_N(\Omega)$				

۱۰-۳)اندازه‌گیری به روش جایگزینی مقاومت مجهول توسط یک مقاومت معلوم:

آزمایش زیر را با استفاده از مقاومت دهدهی($\mathbf{R_N}$) برای بدست آوردن مقدار مقاومت مجهول $\mathbf{C}$ روی برد مقاومتی که یک لامپ است، انجام دهید.



۱) در مرحله اول کلید را در حالت AB قرار دهید و با تنظیم $\mathbf{V_{R_C}}$، $\boldsymbol{i_C}$ را در جدول بنویسید.

۲) در مرحله دوم کلید را در حالت AC قرار دهید و با تغییر مقاومت $\mathbf{R_N}$ ، مقدار جریان $\boldsymbol{i_N}$ را در هریک از ولتاژها به اندازه $\boldsymbol{i_C}$ تنظیم نموده و سپس مقادیر $\boldsymbol{R_N}$ حاصل را در جدول بنویسید.

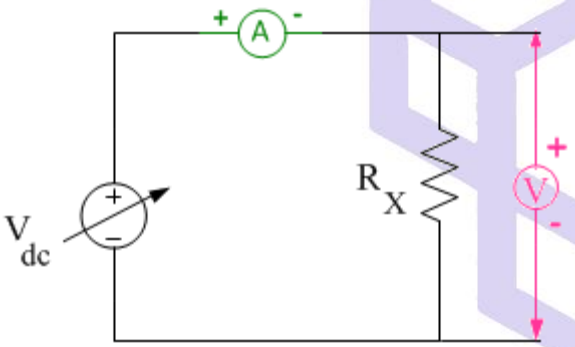
$V_{R_C}\ (v)$	5	10	15	20	25
$i_C = i_N(mA)$					
$R_C = R_N(\Omega)$					

سؤال

مقاومت R_C با خصوصیات فوق چه نوع مقاومتی است؟

۱۰-۴) اندازه گیری با استفاده از روش ولتمتر و آمپرمتر:

مدار زیر را با استفاده از برد مقاومتی ببندید. منبع DC متغیر را برای هر یک از مقاومت‌های خواسته شده، روی 5V با ولتمتر تنظیم کنید. سپس مقدار جریان قرائت شده از روی آمپرمتر را در جدول یادداشت نمایید و سپس مقاومت R_X را در هر حالت محاسبه نمایید.



(به این نکات توجه نمایید: الف)از آمپرسنج آنالوگ کنید. ب) رنج آمپرمتر DC را برای مقاومت B، روی 300mA و برای مقاومت D، روی 30mA و برای مقاومت E، روی 1mA و برای مقاومت F، روی 10μAقرار دهید. همچنین برای تغییر رنج آمپرمتر کلید مدار را قطع کرده و پس از تغییر رنج امپرمتر و تغییر مقاومت، کلید را وصل کنید. ج) رنج ولتمتر را روی 10V قرار دهید.ولی فقط برای مقاومت F حساسیت ولتمتر را ابتدا روی $10V/K\Omega$ قرار داده و سپس به ترتیب رنج بندی ولتمتر تا روی $100V/K\Omega$ ببرید.)

R_X	B	D	E	F
$V_{R_X}(v)$	5	5	5	5
$I(mA) =?$				
$R_X(\Omega) =?$				

سؤال

علت اینکه مقدار مقاومت F زمانی که حساسیت ولتمتر روی $10V$ قرار گرفته باشد، نصف روش‌های قبل بدست می‌آید را بیان کنید؟

آزمایش شمارهٔ ۱۱
اندازه‌گیری توان تک فاز

یادآوری

برق تکفاز: برق تکفاز شهری دارای ۲ رشته سیم با نام‌های فاز و نول که ولتاژ سیم فاز نسبت به نول، ۲۲۰ ولت متناوب به صورت شکل موج سینوسی و فرکانس 50HZ است. برق تکفاز بیشتر برای مصرف کنندگان خانگی، اداری و کارگاهی با توان‌های پایین کاربرد دارد.

توان الکتریکی از حاصل ضرب ولتاژ در جریان مصرف کننده(بار) بدست می‌آید که در جریان A.C دارای تعاریف زیر است:

توان لحظه‌ایی : $\boldsymbol{P = v \times i}$ با واحد وات $(\boldsymbol{WATT})$

توان اکتیو (واته) : $\boldsymbol{P = V \times I \times \cos(\varphi)}$ با واحد وات $(\boldsymbol{WATT})$

توان راکتیو (د واته) : $\boldsymbol{P = V \times I \times \sin(\varphi)}$ با واحد وات $(\boldsymbol{VAR})$

توان ظاهری : $\boldsymbol{S = V \times I}$ با واحد ولت آمپر $(\boldsymbol{VA})$

زاویه $\boldsymbol{\varphi}$، اختلاف فاز جریان با ولتاژ مصرف کننده است.

برای بار مقاومتی: $\boldsymbol{\varphi = 0}$ است که در این حالت جریان و ولتاژ هم فاز هستند.

برای بارهایی که ترکیبی از مقاومت، سلف و خازن هستند: $\boldsymbol{\varphi \neq 0}$ در این حالت جریان و ولتاژ هم فاز نیستند.

برای بار سلفی، $\mathbf{V_L = L \times \frac{dI}{dt}}$ است. (یعنی سلف، جریانش نسبت به ولتاژ 90° عقب‌تر است= پس فاز = LAG) و

برای بار خازنی، $\mathbf{I_C = C \times \frac{dV}{dt}}$ است. (یعنی خازن، جریانش نسبت به ولتاژ 90° جلوتر است = پیش فاز = LEAD)

برای بارهای مقاومتی – سلفی: $0 < \varphi < 90^\circ \Leftarrow$ پس فاز است.

برای بارهای مقاومتی – خازنی: $0 < \varphi < 90^\circ \Leftarrow$ پیش فاز است.

توان اکتیو (P) (**مؤثر**): در مدارهای الکتریکی توان اکتیو $P = V \times I \times \cos(\varphi)$، توانی است که کار موثر را انجام می دهد. به عبارت دیگر، تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی‌های دیگر توسط این توان قابل توجیه است.

(این توان متوسط لحظه‌ایی است.)

$$P = VI\cos(\varphi)\begin{cases} \text{برای بار مقاومتی } = R \implies \varphi = 0 \implies P = VI = \frac{V^2}{R} = I^2R \\ \text{برای بار سلفی یا خازنی } = Z \xrightarrow{(R+jX)} \varphi = 90^\circ \implies P = 0 \\ \text{برای بار ترکیبی } = Z \xrightarrow[(R+jX)]{} \varphi \neq 0 \implies P = VI\cos(\varphi) = \frac{V_R^2}{R} = I^2R \end{cases}$$

$\cos(\varphi)$ را ضریب توان یا Power Factor می نامند که مقدار آن بین 0 تا 1 تغییر می‌کند.

توان راکتیو(غیر مؤثر): در عناصر راکتیو نظیر مقاومت‌های سلفی و خازنی، توان غیر موثری ظاهر می‌شود که نمی‌توان، آنرا به کار مفید تبدیل کرد. این توان به صورت موج سینوسی بین مصرف کننده و شبکه، رفت و برگشت می‌کند و کاری انجام نمی‌دهد. یعنی در یک نیم سیکل انرژی را گرفته و در نیم سیکل دیگر، آنرا پس می‌دهد.

$$Q = \pm VI\sin(\varphi)\begin{cases} \text{برای بار مقاومتی } = R \implies \varphi = 0 \implies Q = 0 \\ \text{برای بار سلفی یا خازنی } = Z \xrightarrow{(jX)} \varphi = \pm 90^\circ \implies Q = \pm VI = \frac{V^2}{X} = I^2X \\ \text{برای بار ترکیبی } = Z \xrightarrow[(R+jX)]{} 90^\circ > \varphi > -90^\circ \implies Q = \pm VI\sin(\varphi) = \frac{V_X^2}{X} = I^2X \end{cases}$$

دقت داشته باشید که سلف، مصرف کننده بار راکتیو و خازن، تولید کننده بار راکتیو می‌باشند. با این حال هر دو نوع این بارها انرژی را در خود ذخیره می‌کنند با این تفاوت که در بارهای القایی انرژی به صورت میدان مغناطیسی و در بارهای خازنی انرژی به صورت میدان الکترواستاتیکی ذخیره می‌شود. اهمیت میزان ضریب توان در یک مدار به هزینه‌های مربوط به آن بازمی‌گردد. در بسیاری از کشورها مصرف کننده‌هایی که میزان ضریب توان آنها از میزان استاندارد (این استاندارد برای

بیشتر مصرف‌کننده‌ها مقداری بین ۰/۹ تا ۰/۹۵ است) کمتر باشد جریمه می‌شوند. همچنین در مدارهای پر مصرف ضریب توان پایین موجب افزایش جریان در هادی‌ها شده و هزینه‌های مربوط به انتخاب هادی را افزایش می‌دهد این جریان اضافی موجب کاهش طول عمر تجهیزات تامین کننده و توزیع کننده انرژی الکتریکی نیز می‌شود.

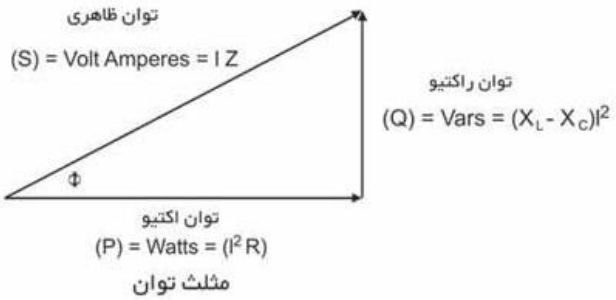
توان ظاهری(S): حاصلضرب ولتاژ و جریان موثر را توان ظاهری می‌گویند.

$$S = V \times I$$

در کلیه موارد، رابطه زیر بین مقادیر P، Q و S برقرار است:

$$S^2 = P^2 + Q^2 = (V \times I)^2$$

به مثلث قائم الزاویه که اضلاع آن P، Q و S هستند، مثلث توان گفته می‌شود.



در تمام مراحل آزمایش از برد لامپ های مخصوص تک فاز به عنوان بار اهمی ، خازن و سلف مخصوص 220V برق شهر در حالتیکه رنج سلکتور آنها روی 3 می باشد استفاده کنید.

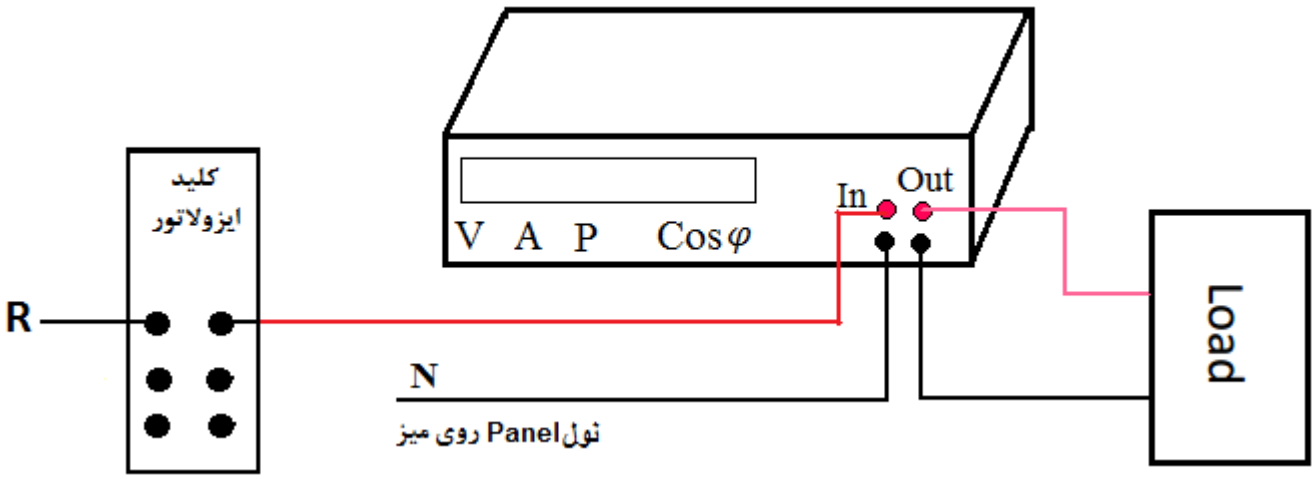
شرح آزمایش:

۱-۱۱) توان‌سنج تکفاز دیجیتالی Programmable Power Meter Hameg:

توجه: قبل از بررسی مدار توسط مدرس آزمایشگاه، کلید برق میز را وصل نکنید.

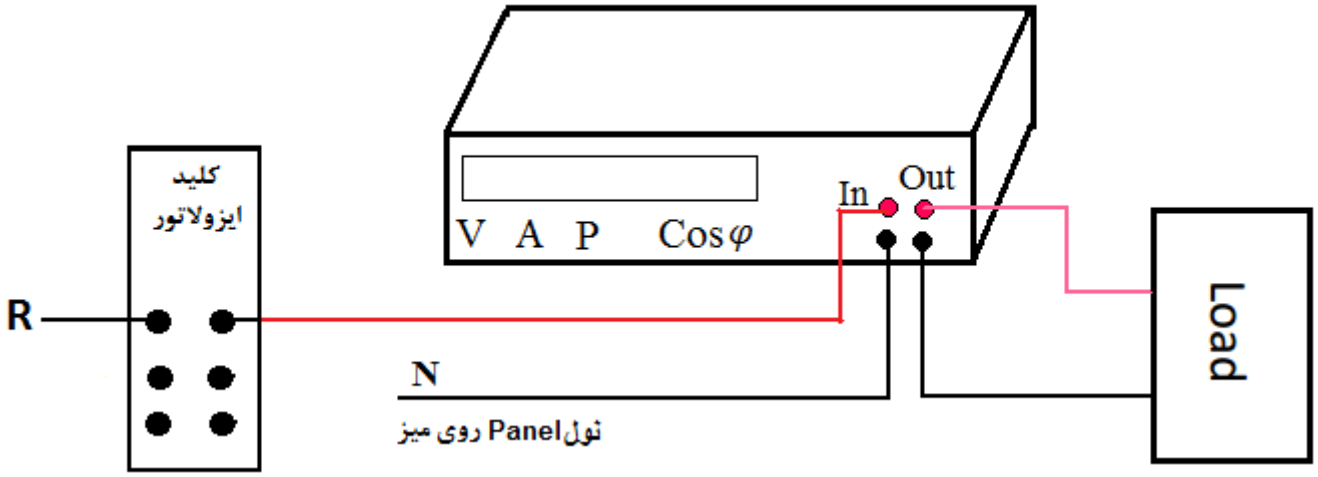
دقت داشته باشید این دستگاه تمام مقادیر ولتاژ، جریان، توان ظاهری(توان کل)، توان اکتیو، توان راکتیو و ضریب توان یا Power Factor را نشان می‌دهد و تنها باید رنج ولتمتر و آمپر متر آن، درحالت AUTO قرار گیرند.

مدار صفحه بعدی را ببندید و موارد خواسته شده در جدول را یادداشت کنید.



	Load=Z	I(A)	V(v)	P (WATT)	Q(VAR)	PF = cos(φ)	φ°
1	اهمی						
2	سلفی						
3	خازنی						
4	سلفی – اهمی سری						
5	خازنی – اهمی سری						

۲-۱۱) مدار شکل زیر را با استفاده از **آمپرمتر، ولتمتر شرکت YOKOGAWA ELECTRIC قبل از توان‌سنج دیجیتالی** ببندید. طبق جدول داده شده، آزمایش را فقط برای ردیف اول یعنی بار اهمی، تکرار کنید. مقدار ولتاژ و آمپر سنجیده شده توسط دستگاه‌های آنالوگ را با دیجیتال مقایسه کنید. سپس خطای P و Q را بدست آورید.



$$\%\xi P = \left| \frac{P2-P1}{P1} \right| \times 100$$

P_1 = سنجش توسط دستگاه آنالوگ

P_2 = سنجش توسط دستگاه دیجیتال

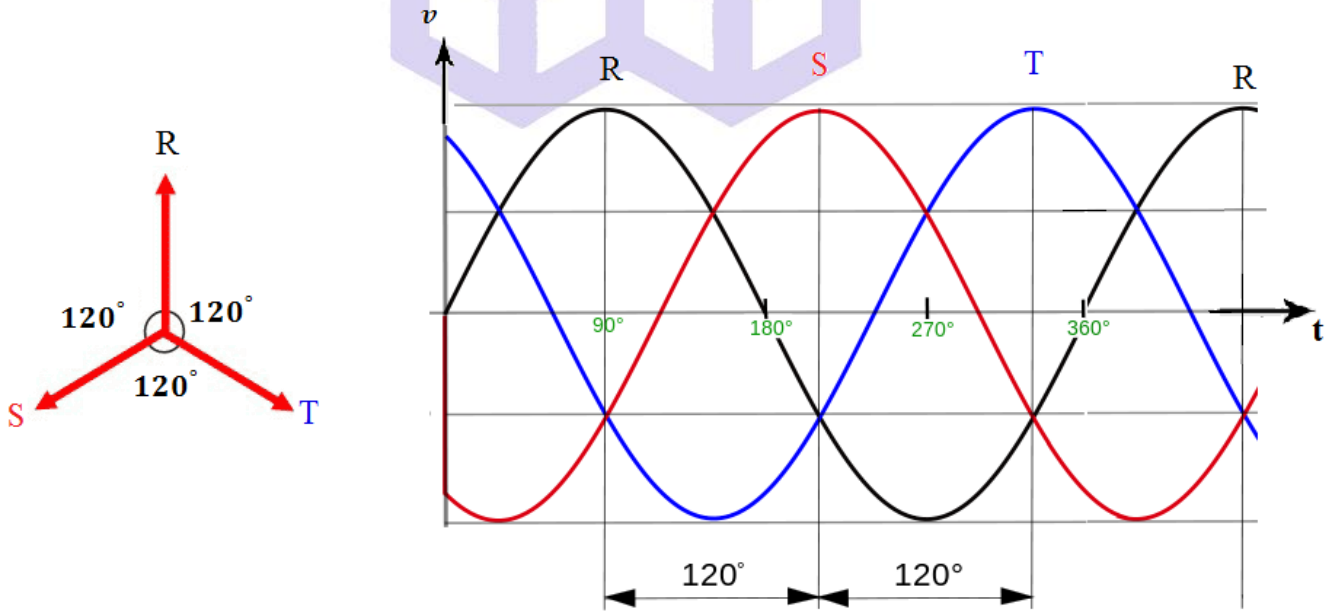
نوع دستگاه	Load=Z	I(A)	V(v)	P (WATT)	$\%\xi P$
آنالوگ	اهمی				
دیجیتال	اهمی				?

آزمایش شمارهٔ ۱۲
اندازه گیری توان سه فاز

یادآوری

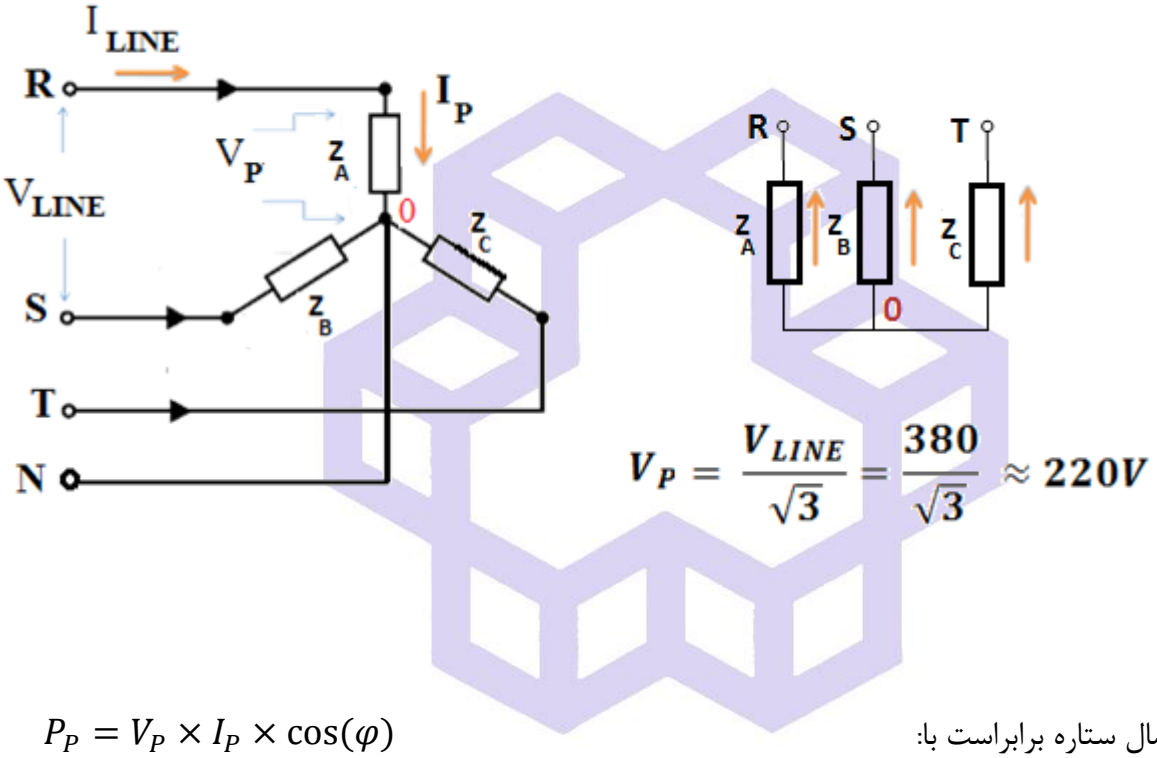
برق سه فاز: در برق سه فاز شهری ۴ سیم وجود دارد. یکی نول و سه سیم هر یک دارای ۲۲۰ ولت اختلاف پتانسیل نسبت به سیم نول هستند که اصطلاحا به آن ولتاژ فاز $\boldsymbol{V_P}$ می‌گویند. ولتاژ هر فاز نسبت به فاز قبلی دارای 120° اختلاف فاز(پس فاز) است و آن‌ها را با $\boldsymbol{V_R}$ ، $\boldsymbol{V_S}$ و $\boldsymbol{V_T}$ نمایش می‌دهند. ولتاژ بین دو فاز را اصطلاحا ولتاژ خط ($\boldsymbol{V_L}$) می‌نامند. درسیستم سه فازه که $V_{R-S} = V_{S-T} = V_{T-R}$ باشد، داریم $\boldsymbol{V_L = \sqrt{3}\, V_P}$ که به چنین سیستم سه فازه ، سیستم سه فاز متقارن می‌گویند. در سیستم سه فاز دو نوع اتصال داریم: ۱) اتصال ستاره ۲) اتصال مثلث. که هرکدام از این اتصال‌ها، کارائی خاص خود را دارند و تفاوت این دو اتصال، در نحوه اتصال مصرف کننده‌ها است.

از برق سه فاز برای توان‌های بالا و در صنعت استفاده می‌شود. همچنین با توجه به اینکه برای ایجاد دوران اتوماتیک در موتورهای القائی نیاز به دو فاز و بیشتر داریم که می‌توان میدان دوار ایجاد نمود و موتورهای القائی را راه اندازی کرد. شکل زیر تابع زمانی و فرم برداری سه فازه متقارن را نشان می‌دهد:



اتصال ستاره (Y):

در این نوع اتصال امپدانس $\boldsymbol{Z_R}$ ، $\boldsymbol{Z_S}$ و $\boldsymbol{Z_T}$ در یک نقطه به همدیگر متصل می‌شوند که به آن نقطه صفر اتصال ستاره می‌گویند و سر دیگر امپدانس‌ها به فازهای S, R و Tوصل می‌شوند. اگر مصرف کننده‌های سه فاز مثل هم باشند در این حالت سیستم را سه فازه با بار متعادل می‌نامند($\boldsymbol{Z_T = Z_S = Z_R}$). در این حالت نیازی به اتصال نقطه صفر ستاره به سیم نول وجود ندارد. زیرا: $\boldsymbol{\overrightarrow{I_R} + \overrightarrow{I_S} + \overrightarrow{I_T} = 0}$ است و از سیم نول جریانی عبور نخواهد کرد. با توجه به شکل زیر داریم:



قدرت هر فاز در اتصال ستاره برابراست با: $P_P = V_P \times I_P \times \cos(\varphi)$

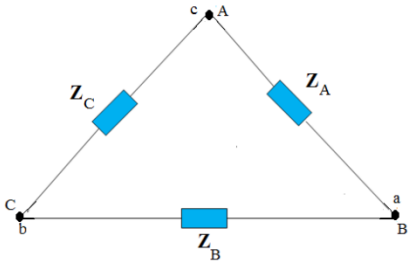
و قدرت کل برابراست با: $P = 3P_P = 3V_P \times I_P \times \cos(\varphi) = \sqrt{3}\, V_L \times I_L \times \cos(\varphi)$

خصیصه عمومی بارهای متعادل اینست که در آنها توان‌های اکتیو و راکتیو در هر سه فاز، یکسان خواهند بود.

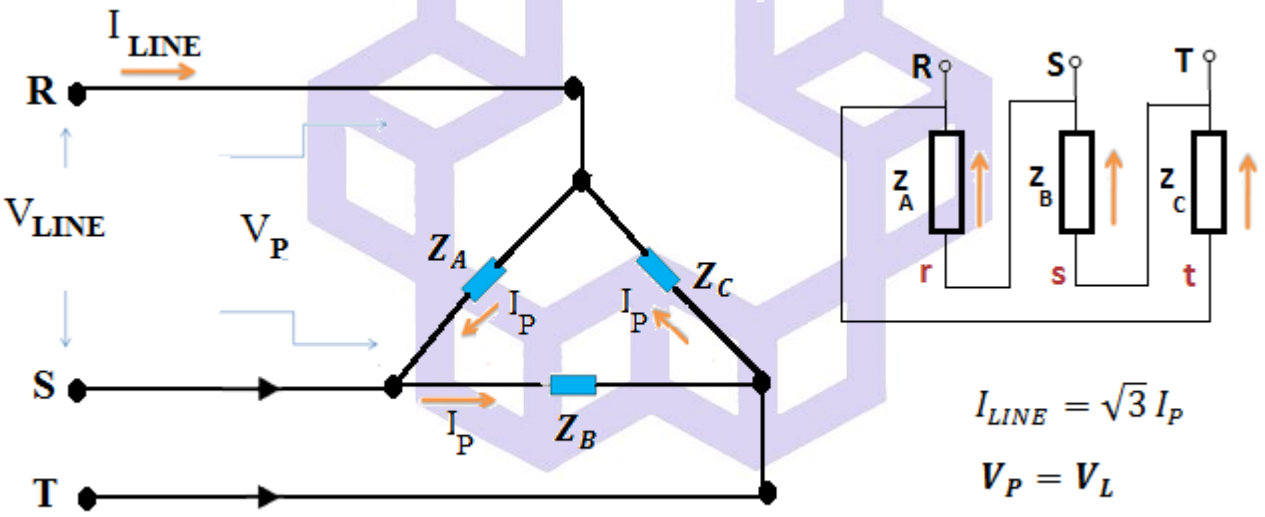
ولی چنانچه در اتصال ستاره از فازهای مختلف، بارهای مختلفی گرفته شود در این صورت سیستم به صورت سه فاز نامتعادل در خواهد آمد. در این حالت اگر مصرف کننده‌ها ی ۲۲۰ ولتی مثل شبکه خانگی، مساوی نباشند باید حتما نقطه صفر اتصال به سیم نول وصل شود. در غیر اینصورت به علت اینکه ولتاژ بعضی از فازها نسبت به نقطه صفر بیشتر و بعضی کمتر از ۲۲۰ ولت می شود، مصرف کننده‌ها خسارت خواهند دید.

اتصال مثلث یا دلتا (∇) :

در این اتصال انتهای امپدانس بار یک فاز به ابتدای امپدانس بار فاز بعد متصل می‌گردد تا تشکیل یک حلقه بسته به شکل مثلث بدهد. رئوس این مثلث جهت تغذیه به فازهای R، S و T وصل می‌شوند.



در این اتصال نیازی به سیم نول وجود ندارد. لذا به این اتصال ، اتصال سه سیمه نیز گفته می‌شود. اگر مصرف کننده‌های بار مثلثی باهم برابر باشند($Z_A = Z_B = Z_C$) در این حالت سیستم را سه فاز با بار متعادل می‌نامند. با توجه به شکل زیر داریم:



قدرت هر فاز در اتصال مثلث برابراست با:

$$P_P = V_P \times I_P \times \cos(\varphi)$$

و قدرت کل برابراست با:

$$P = 3P_P = 3V_P \times I_P \times \cos(\varphi) = \sqrt{3}\, V_L \times I_L \times \cos(\varphi)$$

علاوه براین همان روابطی را که برای توان حقیقی(اکتیو) در اتصال ستاره و مثلث وجود دارد، برای توان ظاهری و راکتیو نیز می‌توان نوشت:

$$P_{Y,\Delta} = \sqrt{3}V_L I_L \cos(\varphi) \quad , \quad Q_{Y,\Delta} = \sqrt{3}V_L I_L \sin(\varphi)$$

$$S_{Y,\Delta} = \sqrt{3}V_L I_L \quad , \quad S_{Y,\Delta} = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

توجه: در صورتیکه مجاز باشیم همان بارهای اتصال ستاره را بصورت مثلث به منبع سه فازه وصل کنیم، چون ولتاژ دو سر بارها $\sqrt{3}$ برابر افزایش یافته و جریان بارها نیز $\sqrt{3}$ برابر افزایش می‌یابد، در نتیجه توان مصرفی این حالت، **۳** برابر حالت ستاره خواهد بود.

در تمام مراحل آزمایش از توان‌سنج سه فاز دیجیتالی (Power Analyzer Lutron)، برد اهمی مخصوص سه فاز(دو تا لامپ 200w که سری بسته شده‌اند) و خازن سه فاز 220V استفاده کنید. دقت کنید خروجی فازهای R، S، T بعد از کلید ایزولاتور به ترتیب پس از عبور از داخل حلقه‌های ترانسفورماتورهای انبری جریان (C.T= Currant Transformer) A1، A2، A3 به ورودی‌های R، S، T بار خازنی – اهمی سری وصل شوند.

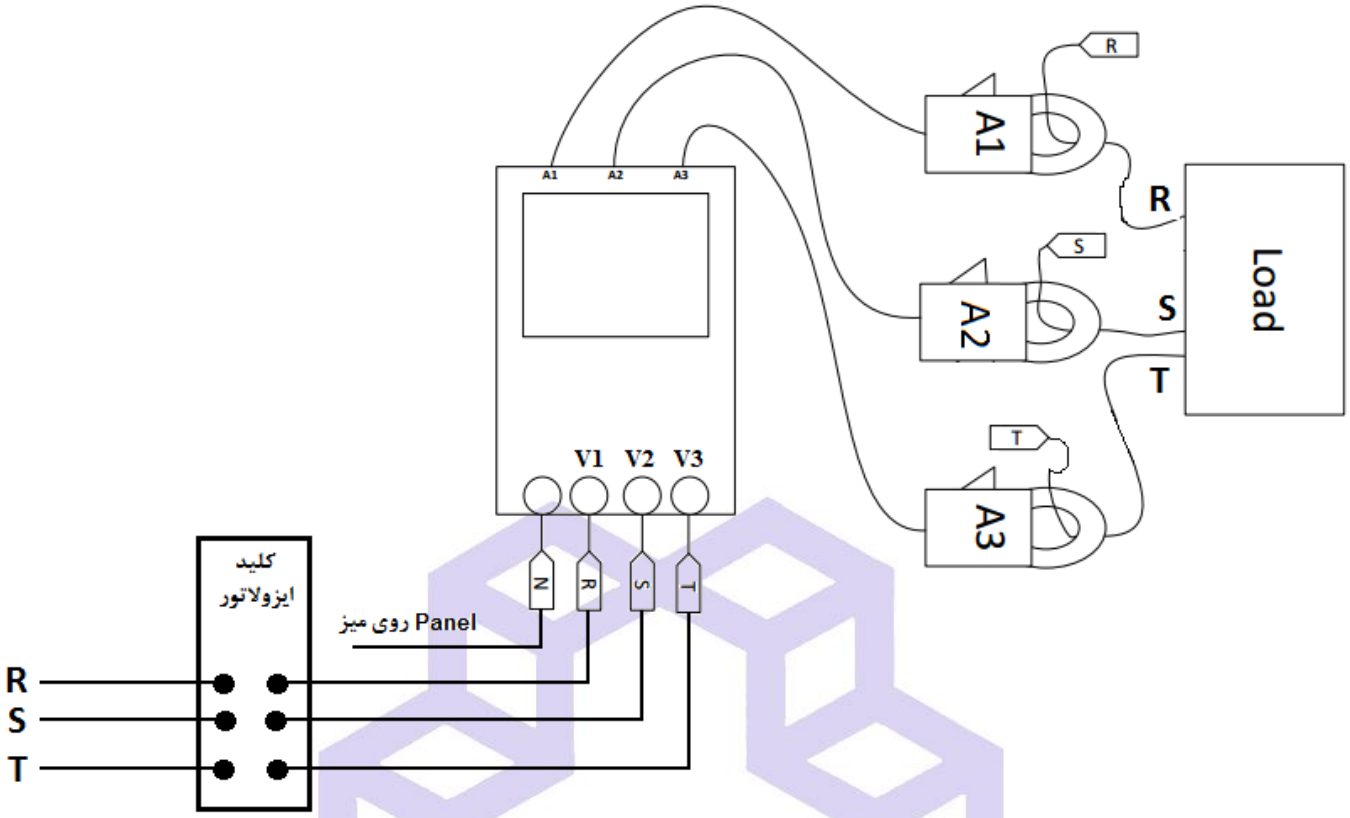
شرح آزمایش

۱-۱۲)اتصال ستاره:

مداری مطابق شکل صفحه بعد ببندید. بارخازنی - اهمی سری شده را بصورت ستاره ببندید. سپس با تغییر سلکتور خازن از وضعیت ۱ تا ۳:

الف) مقدار ولتاژ، جریان و $\cos(\varphi)$ هر فاز را توسط توان‌سنج خوانده و توان‌های مربوطه را **محاسبه** و در جداول یادداشت کنید.

توجه: قبل از بررسی مدار توسط مدرس آزمایشگاه، کلید برق میز را وصل نکنید.



رنج سلکتور	از طریق محاسبه				
	V_R	I_R	$\cos(\varphi_R)$	P_R	Q_R
1					
2					
3					

رنج سلکتور	از طریق محاسبه				
	V_S	I_S	$\cos(\varphi_S)$	P_S	Q_S
1					
2					
3					

رنج سلکتور	از طریق محاسبه				
	V_T	I_T	$\cos(\varphi_T)$	P_T	Q_T

1					
2					
3					

$$P_{Total1} = P_R + P_S + P_T \quad , \quad Q_{Total1} = Q_R + Q_S + Q_T$$

رنج سلکتور	V_T	I_T	$\cos(\varphi_T)$	از طریق محاسبه	
				P_T	Q_T
1					
2					
3					

ب) توان‌های اکتیو و راکتیو هر فاز را **مستقیما** توسط دستگاه قرائت و در جدول زیر یادداشت کنید.

	قرائت مستقیم مقادیر از روی توان سنج					
رنج سلکتور	P_R	P_S	P_T	Q_R	Q_S	Q_T
1						
2						
3						

$$P_{Total2} = P_R + P_S + P_T \quad , \quad Q_{Total2} = Q_R + Q_S + Q_T$$

	از طریق محاسبه	
رنج سلکتور	P_{Total2}	Q_{Total2}
1		
2		
3		

ج) توان اکتیو و راکتیو کل مدار را **مستقیما** توسط دستگاه قرائت و در جدول صفحه بعدی یادداشت کنید.

	قرائت مستقیم مقادیر از روی توان سنج	
رنج سلکتور	P_{Total}	Q_{Total}
1		
2		
3		

سؤال

با مقایسه توان قسمت‌های (الف) و (ب) با قسمت (ج)، فقط در رنج ۳ سلکتور انتخاب کننده، درصد خطاها را محاسبه کنید.

$$\%\xi P_{Total1} = \left|\frac{P_{Total1} - P_{Total}}{P_{Total}}\right| \times 100 \quad , \quad \%\xi Q_{Total1} = \left|\frac{Q_{Total1} - Q_{Total}}{Q_{Total}}\right| \times 100$$

$$\%\xi P_{Total2} = \left|\frac{P_{Total2} - P_{Total}}{P_{Total}}\right| \times 100 \quad , \quad \%\xi Q_{Total2} = \left|\frac{Q_{Total2} - Q_{Total}}{Q_{Total}}\right| \times 100$$

۲-۱۲)اتصال مثلث(بار متعادل):

بار خازنی - اهمی سری شده را بصورت مثلث، **فقط در وضعیت ۳ سلکتور** مورد نظر ببندید. مقادیرتوان‌های اکتیو و راکتیو کل را **مستقیما** توسط دستگاه قرائت و در جدول زیر یادداشت نمایید.

	قرائت مستقیم مقادیر از روی توان سنج	
رنج سلکتور	P_{Total}	Q_{Total}
3		

سؤال

توان‌های جدول فوق(حالت مثلث) با توان های نظیرشان در حالت ستاره **فقط مربوط به قسمت ج** را مقایسه کرده و علت تفاوت را شرح دهید.

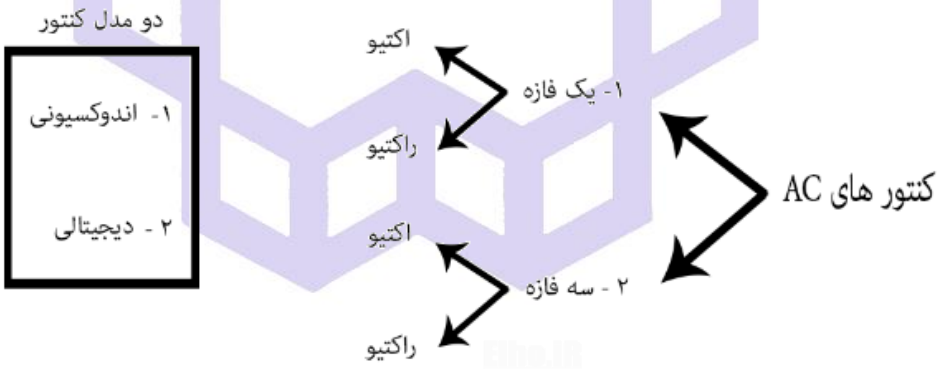
آزمایش شمارهٔ ۱۳

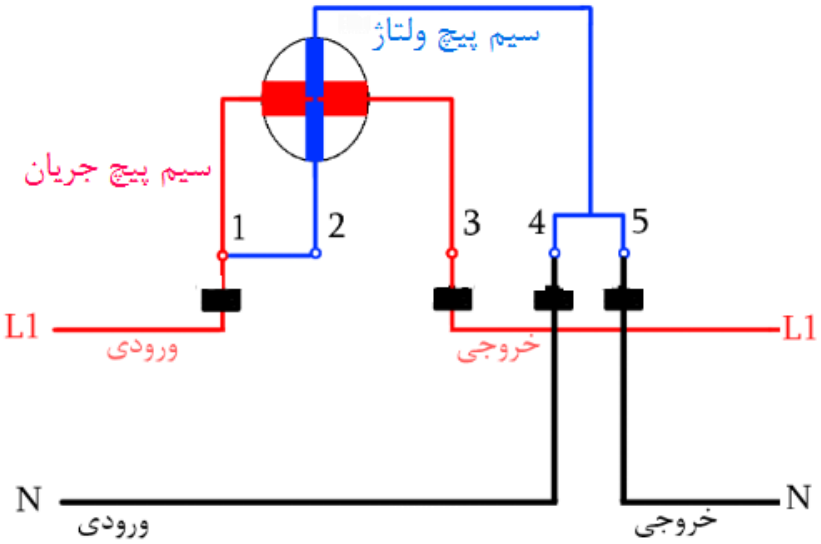
اندازه گیری مقدار انرژی توسط کنتور یک فاز – کنتور سه فاز

یادآوری

انرژی برابر است با مقدار توان مصرفی یا تولیدی در طول زمان، یعنی $W = P \times t$. واحد انرژی یا کار (**W**) ژول و واحد زمان (**t**) ثانیه است. برای اندازه گیری انرژی الکتریکی از کنتور اندوکسیونی استفاده می‌شود. اصول کار کنتورها مبتنی بر اصول کار موتورهای القائی است. این کنتورها دارای سیم پیچ جریان(با دور کم و قطر بیشتر) و یک سیم پیچ ولتاژ (با قطر کم و دور بیشتر) هستند که وقتی در مدار مصرف کننده قرار می‌گیرند موجب گردش یک صفحه آلومینیومی دوار حول محورش می‌شود و سپس گردش این صفحه توسط چرخ دنده ایی به شماره انداز منتقل می‌شود که بدین ترتیب اعداد شماره انداز، نماینده $W = \int_0^t P\,dt$ است. مقدار انرژی الکتریکی از روی کنتور محاسبه می‌شود. کنتورها بر اساس نحوه کاربری آن‌ها، می‌توانند تکفاز یا سه فاز باشند.

انواع کنتور:





در کنتورها انرژی مصرفی برحسب کیلو وات ساعت (kwh) سنجیده می‌شود.

سرعت دور گردش صفحه آلومینیومی دوار با $P= V \times I \times \cos(\varphi)$ متناسب است. در روی صفحه هر کنتور، مشخصات ثابت نامی آن توسط سازنده درج شده است که عبارتند از: نوع یا کلاس کنتور، فرکانس، ولتاژ و جریان نامی آن و همچنین مقدار انرژی نامی یک دور از صفحه دوار ($\boldsymbol{C_n}$). برای تعیین خطای یک کنتور(C) در جریان‌های مختلف از یک ولتمتر، آمپرمتر دقیق و یک کرونومتراستفاده می‌نماییم. در نتیجه با ثبت زمان t مربوط به n دور از صفحه دوار، انرژی مربوط به یک دور صفحه دوار را اندازه می‌گیریم. پس:

$$\mathbf{C} = \frac{\boldsymbol{P \times t}}{\boldsymbol{n}}$$

t: زمان کار کنتور برحسب ثانیه. n: تعداد دور کنتور در زمان t. P: توان یا قدرت مصرف شده.

C: انرژی مصرفی به ازاء یک دور.

حال با مقایسه $\boldsymbol{C_n}$ کنتور با C، خطای کنتور به شرح زیر بدست می‌آید:

خطای مطلق کنتور:

$$\Delta \boldsymbol{C} = \left| \boldsymbol{C_n - C} \right|$$

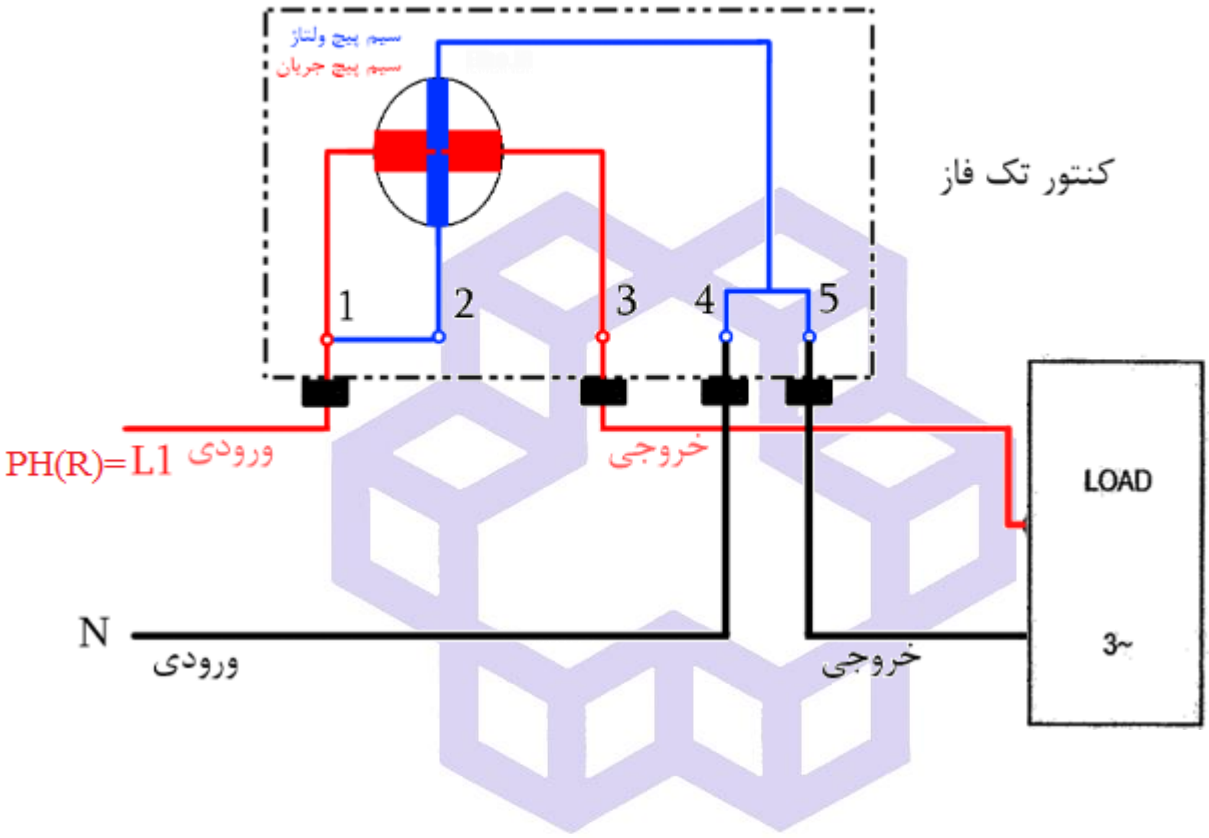
خطای نسبی کنتور:

$$\%\boldsymbol{\beta} = \left| \frac{\boldsymbol{C_n - C}}{\boldsymbol{C_n}} \right| \times \mathbf{100}$$

طبق نظر مدرس یکی از این دو قسمت اختیاری می‌باشد

۱-۱۳) کنتور تکفاز:

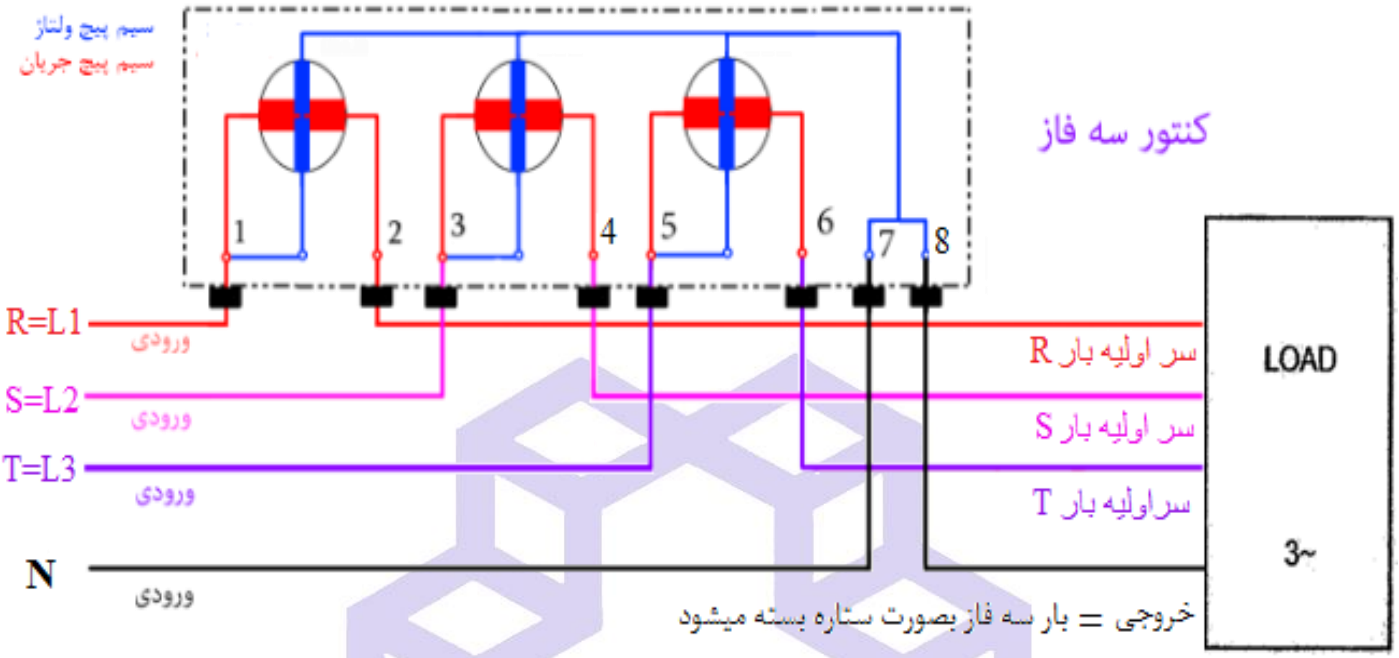
مدار صفحه بعدی را با اضافه نمودن آمپرمتر، ولتمتر و کلید ایزولاتور ببندید. سپس تمام موارد خواسته شده را در جدول ثبت نمایید.



$I_{PH}(A)$	1	2	3	4
$V_{PH}(v)$				
$t_{for\ n=5}(s)$				
C_n = ثابت (کنتور تکفاز)				
C				
ΔC				
$\%\beta$				

۲-۱۳) کنتور سه فاز:

مدار صفحه بعدی را با اضافه نمودن آمپرمتر، ولتمتر و کلید ایزولاتور ببندید. سپس تمام موارد خواسته شده را در جدول ثبت نمایید.



توجه: در این آزمایش چون بار سه فازه اهمی و متعادل است، پس توان سه فاز خواهد بود: $\boldsymbol{P = 3VI}$

$\boldsymbol{I_{PH}(A)}$	1	2	3	4
$\boldsymbol{V_{PH}(V)}$				
$\boldsymbol{t_{for\ n=5}(s)}$				
$\boldsymbol{C_n}$ = ثابت (کنتور سه فاز)				
C				
$\boldsymbol{\Delta C}$				
$\boldsymbol{\%\beta}$				

سؤال

در آزمایش کنتور سه فاز، چه تغییراتی را مشاهده می‌نمایید و علت تفاوت این دو آزمایش را با ذکر علت بیان کنید؟

منابع

۱- کتاب مدارهای الکتریکی ۱ و ۲ ؛ مؤلف: جبه دارمارالانی.

۲- کتاب مدارهای الکتریکی ؛ مؤلف ویلیام هیت.

۳- کتاب مدارهای الکتریکی ۱ و ۲ ؛ مؤلف:مهندس یار.

۴- کتاب مدارهای الکتریکی ۱ و ۲ و ۳ ؛ مؤلف:احسان روحانی.

۵- دستور کار آزمایشگاه مدارهای الکتریکی دانشگاههای تهران، امیر کبیر، آزاد تبریز، پیام نور، سهند و بیرجند.

۶- اندازه گیری الکتریکی؛ مؤلف: ساونی ، ترجمه محمود دیانی ، مجید ملکان ، مرکز نشر دانشگاهی، تهران.

۷- دستگاههای اندازه گیری؛ تالیف مسعود سلطانی ، انتشارات دانشگاه تهران.

مدارهای طراحی در طول ترم:

طراحی۱:

با استفاده از سیم پیچ که در اختیار دارید یک ترانسفورماتور با نسبت خواسته شده ۱(اولیه) به ۳(ثانویه) بسازید و جریان مورد نظر را از خروجی بگیرید.

راهنمایی:

تراسفورماتور:(transformer) وسیله‌ای است که انرژی الکتریکی را بین دو یا چند سیم‌پیچ و از طریق القای الکترومغناطیسی منتقل می‌کند.

در ترانسفورماتورها رابطه مقابل حاکم است:

$$\frac{N_۱}{N_۲}=\frac{V_۱}{V_۲}$$

در ترانسفورماتور با هسته فریت برای سیم‌پیچی از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$N_۱=\frac{Vcc\times D}{۴\times F\times Bm\times A}$$

Vcc: ولتاژ تغذیه اولیه

D: ماکزیمم Duty Cycle

F: فرکانس کار مدار (معمولا ۴۰ کیلوهرتز)

Bm: ضریب مغناطیسی هسته(برای فریت‌های کوچک معمولا ۰/۲)

A: سطح مقطع هسته

طراحی۲:

با توجه به طراحی شماره۱، ترانس سه‌سر ۱ (اولیه) به ۲و ۳(ثانویه به دوبخش تقسیم خواهدشد) بسازید و در مدار استفاده کنید.

طراحی۳:

یک مدار RLC سری با استفاده از المانهای داخل پک ببندید و با تغییر مقدار مقاومت حالت‌های مختلف میرایی را روی اسیلوسکوپ مشاهده کنید.

راهنمایی:

پاسخ گذرا مدار RLC

هنگامی که مدار RLC سری با یک ولتاژ پله تحریک می‌شود، پاسخ گذرای مدار به صورت زیر خواهد بود.

$$V = L\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}\int idt + Ri \qquad \rightarrow L\frac{d^2i}{dt^2} + R\frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0$$

برای مدارهای RLC موازی برای مجموع جریان‌های گره داریم:

$$I = \frac{V}{R} + \frac{1}{L}\int Vdt + c\frac{dV}{dt} \qquad \rightarrow \frac{d^2V}{dt^2} + \frac{1}{RC}\frac{dV}{dt} + \frac{1}{LC} = 0$$

بنابراین در مدارهای درجه دوم با ورودی مستقل صفر، معادله دیفرانسیل متغیر دلخواه y حداکثر از درجه دوم است.

$$y'' + 2\alpha y' + \omega_n^2 = 0$$

در این معادله α را ضریب تلف و ω_n را فرکانس طبیعی بدون تلف می‌گویند. معادله مشخصه y عبارت است از :

$$s^2 + 2\alpha s + \omega_n^2 = 0$$

بنابراین فرکانس‌های طبیعی y برابر است با : $s_{1,2} = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_n^2}$

با تعریف ضریب میرایی ξ داریم معادله بالا به صورت زیر در می‌آید:

$$\xi = \frac{\alpha}{\omega_n} \qquad , \qquad s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\xi^2 - 1}$$

با توجه به مقادیر مختلف ξ حالت‌های زیر به وجود می‌آید.

حالت ۱ ($\xi > 1$ فوق میرا) (Over damping): در این حالت فرکانس‌های طبیعی هردو حقیقی منفی ولی نابرابر هستند.

$$s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm \omega_n\sqrt{\xi^2 - 1}$$

حالت ۲ ($\xi = 1$ میرایی بحرانی) (Critically damping): در این حالت فرکانس‌های طبیعی هردو حقیقی منفی و متساوی هستند.

$$s_{1,2} = -\omega_n$$

حالت۳ ($0 < \xi < 1$ زیر میرا(میرایی نوسانی)) (under damping): در این حالت فرکانس‌های طبیعی مختلط هستند.

$$s_{1,2} = -\xi\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{\xi^2 - 1}$$

حالت۴ ($\xi = 0$ بدون تلف) (پایداری مجانبی): در این حالت فرکانس‌های طبیعی موهومی خالص هستند و مدار مانند اسیلاتور یا نوسان‌ساز عمل می‌کند.

$$s_{1,2} = \pm j\omega_n$$