دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده فیزیک

آزمایشگاه الکترونیک ۱

ویرایش سوم، ۱۳۹۱

آزمایش ۱

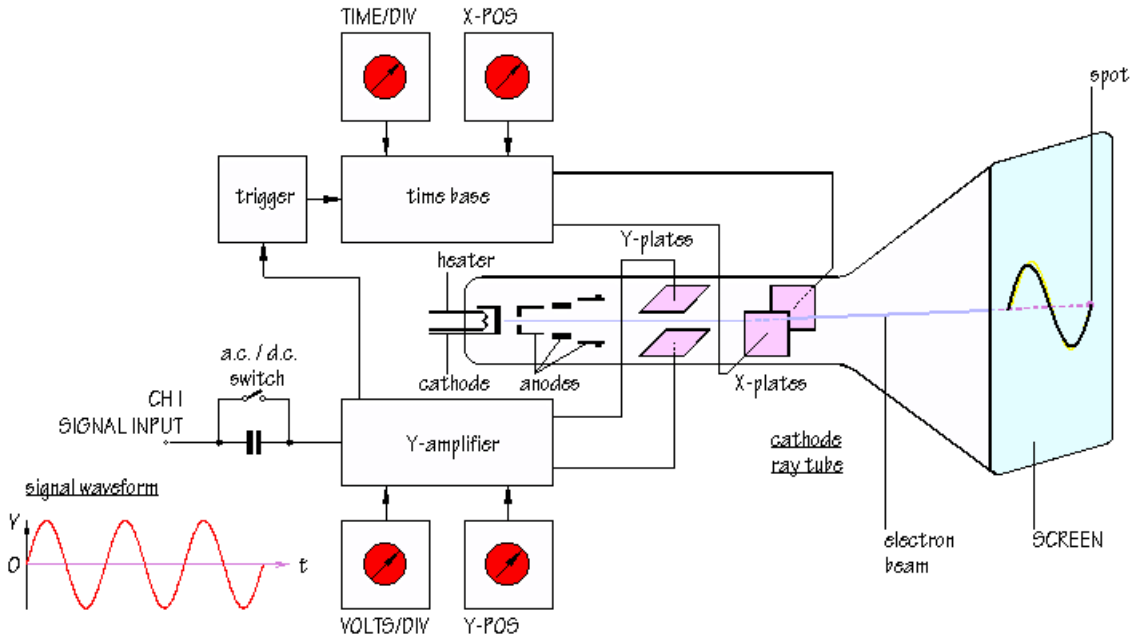
اسیلوسکپ اشعه کاتدی

موضوع : آزمایش کار با یک اسیلوسکپ اشعه کاتدی *(C.R.O)* و کاربرد آن در مطالعه مدارهای جریان متناوب *(ac)*

وسایل لازم: اسیلوسکپ اشعه کاتدی – اسیلاتور- خازن – سلف و تعدادی مقاومت

اسیلوسکپ اشعه کاتدی یکی از مفیدترین وسایل آزمایشگاهی در مطالعه مدارهای *ac* می باشد. قلب یک اسیلوسکپ، لامپ آن است که قسمت های اساسی آن در شکل ۱ نشان داده شده است. در لامپ مزبور الکترون های ساطعه که اشعه کاتدی را تشکیل می دهند توسط وسیله ای به نام تفنگ الکترونی *(Electrongun)* ایجاد می گردند. تفنگ الکترونی شامل یک کاتد ملتهب که الکترون ها در اثر حرارت از آن ساطع می شوند و همچنین تعدادی دیافراگم برای شتاب دادن و متمرکز کردن دسته اشعه مزبور می‌باشد. دیافراگم های مزبور اشعه را بر روی صفحه فلئورسانس انتهای لامپ به صورت یک نقطه متمرکز می نمایند. اختلاف پتانسیل لازم بین کاتد و الکترود انتهایی معمولاً حدود چند هزار ولت است و پتانسیل الکترودهای مابین آنها را می توان تنظیم نمود. پتانسیل الکترودی که بلافاصله بعد از کاتد قرار دارد روشنی نقطه را تنظیم نموده و پتانسیل الکترود دوم برای متمرکز کردن نقطه روشن به کار می رود. بین تفنگ الکترونی و پرده فلوئورسانس دو جفت صفحه موازی قرار داده شده است که شعاع الکترونی از بین آنها عبور می کند. یک جفت از صفحات افقی و جفت دیگر قائم می باشد و بدین ترتیب با اعمال یک اختلاف پتانسیل بر صفحات مزبور می توان شعاع الکترونی را در جهت افقی و قائم تغییر مکان داد. طرح ساده ای از نمای داخلی اسیلوسکپ در شکل ۱ نشان داده شده است.

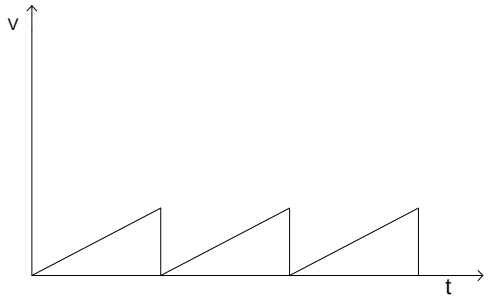
در حال حاضر اسیلوسکپهای دیجیتالی با صفحه نمایش *LCD* با توانایی نمایش امواج تا فرکانس های چند صد مگاهرتز در بازار موجودند . اندازه ی این اسیلوسکپ ها تنها در حدود یک کتاب معمولی است.



شکل ۱:

اسیلوسکپ لامپی

موج الکتریکی که باید مورد مطالعه قرار گیرد معمولاً پس از یک تقویت کننده باعث انحراف شعاع الکترونی در امتداد قائم می گردد و همزمان با این موج اختلاف سطح دیگری به نام پتانسیل جاروب *(Sweep voltage)* باعث تغییر مکان اشعه در جهت افقی می گردد. مفیدترین شکلی که جهت اختلاف پتانسیل جاروب به کار می رود موجی است که به طور خطی با زمان افزایش می یابد (موج دندانه اره ای). این موج در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: موج دندانه اره ای

مولد موج جاروب کننده

ولتاژ خروجی ژنراتوری که موج جاروب کننده را ایجاد می نماید در تمام اسیلوسکپ ها به فرم دندانه اره ای است در شکل ۲ تغییرات این موج بر حسب زمان نشان داده شده است. از آنجائی که این اختلاف پتانسیل به طور خطی افزایش می یابد. بازوی الکترونی با سرعت ثابتی پرده اسیلوسکپ را از چپ به راست جاروب می نماید و چنانچه ولتاژ مزبور صفر شود اشعه به موقعیت

ابتدایی خود باز خواهد گشت. برای ثابت ماندن موج مورد مطالعه به روی پرده به ازاء هر سیکل از موج مولد جاروب چند سیکل کامل از موج مورد مطالعه تکرار شود با این عمل (یعنی سنکرونیزه کردن) شکل موج مورد مطالعه متوالیاً رسم شده و ثابت به نظر می آید.

اسیلوسکپ هایی که در آزمایشگاه در اختیار شما قرار داده شده اند دارای کلیدهای زیر می باشند:

I – کنترل های عمومی و مربوط به اشعه

۱- *ON-OFF Switch* = کلید قطع و وصل اصلی

۲- *Intensity* = برای تنظیم شدت نور اشعه روی صفحه

۳- *Focus* = برای تمرکز اشعه روی صفحه

II – کنترل های مربوط به ورودی افقی *(CH.1 or X)*:

۱- *X-Input* = برای اتصال موج مورد مطالعه به ورودی قائم.

۲- *X-Position* = برای تغییر مکان اشعه (یا شکل) بر روی صفحه در جهت قائم.

۳- *volts/Dive (gain)* = برای تغییر پله ای ضریب تقویت در مورد تقویت کننده قائم.

III – کنترل های مربوط به ورودی عمودی *(CH.2 or Y)* :

IV- کنترل های مربوط به مولد موج جاروب کننده

۱- *Time/div.* : این کلید که به *Sweep Selector* موسوم است زمانی را که لکه روشن فاصله یک سانتیمتر را بر روی صفحه طی می کند نشان می دهد.

۲- *Triggering* : این قسمت شامل سه کلید است :

* الف : کلید سمت راست مربوط به انتخاب منبع *Triggering* است.

* ب : کلید وسط مربوط به انتخاب پلاریته ولتاژ *Trigger* کننده است.

* ج : کلید سمت چپ حد آستانه ولتاژ *Trigger* کننده را انتخاب می نماید.

طرز کار با اسیلوسکپ

قبل از وصل دوشاخه اسیلوسکپ به برق شهر نکات زیر را رعایت کنید.

الف : کلیدهای *Intens* روی صفر بوده و *Power-on* در وضعیت پایین باشد.

ب : کلید *Focus* روی مقدار متوسط باشد.

ج : اسیلوسکپ را به برق شهر (*220* ولت) وصل کرده و کلید *Power-on* را در وضعیت بالا قرار دهید. مواظب باشید شدت نور *(Intens)* را زیاد نکنید.

د : تأمل کنید تا دستگاه حدود ۳۰ ثانیه گرم شود و سپس شدت نور را آهسته زیاد کنید تا با خط روشن روی پرده مشاهده گردد.

ه- با کلیدهای تنظیم افقی و قائم خط را در مرکز صفحه قرار دهید.

توجه : پس از مشاهده خط روشن هیچ وقت شدت نور را زیادتر نکنید. شدت نور زیاد سبب خرابی صفحه و تقلیل عمر مفید می گردد. ضمناً نباید هیچ گاه برای مدت طولانی یک نقطه روشن و یا یک موج که شدت نور آن زیاد و نیز متمرکز است روی صفحه باقی بماند.

مشاهده موج مربعی و موج سینوسی اسیلاتور

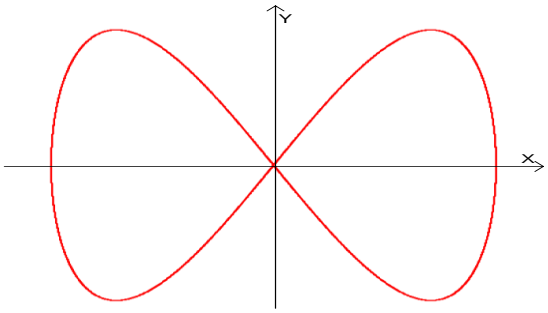
خروجی اسیلاتور را به ورودی قائم وصل کنید. دقت داشته باشید که در تمام مراحل و تمامی آزمایش ها زمین اسیلاتور به زمین اسیلوسکپ وصل شود (دکمه های سیاه) اسیلاتور را در وضعیت موج سینوسی و یا موج مربعی قرار دهید و با تغییر در جای *sweep selector* و همچنین تغییر فرکانس اسیلاتور، تغییر فرم منحنی ها را در وضعیت تثبیت شده مشاهده کنید.

اندازه گیری فرکانس:

برای اندازه گیری فرکانس یک موج می توان آن را به ورودی *Y* اسیلوسکپ وصل کرد و فرکانس مربوطه را مستقیماً از روی درجه بندی صفحه اسیلوسکپ اندازه گرفت. در این حالت موج جاروب کننده محور *X* ها، مستقیماً توسط مولد داخلی اسیلوسکپ تأمین می گردد. (در این حالت کلید *Time/div* بازه زمانی بین دو خط عمودی روی صفحه اسیلوسکوپ را نشان می دهد)

۱. با رسم دو نمونه در نمودار.۱ نشان دهید تغییر فرکانس چه تغییری در شکل منحنی ایجاد میکند. برای نمونه فرکانس ولتاژ ورودی را از روی یکی از منخنی های ترسیم شده بدست آوردید(شکل زیر را معادل صفحه اسیلوسکوپ در نظر گرفته و دو موج را در کنار هم ترسیم کنید، ضمنا شکل را با توجه به تنظیمات اسیلوسکوپ مدرج کنید)

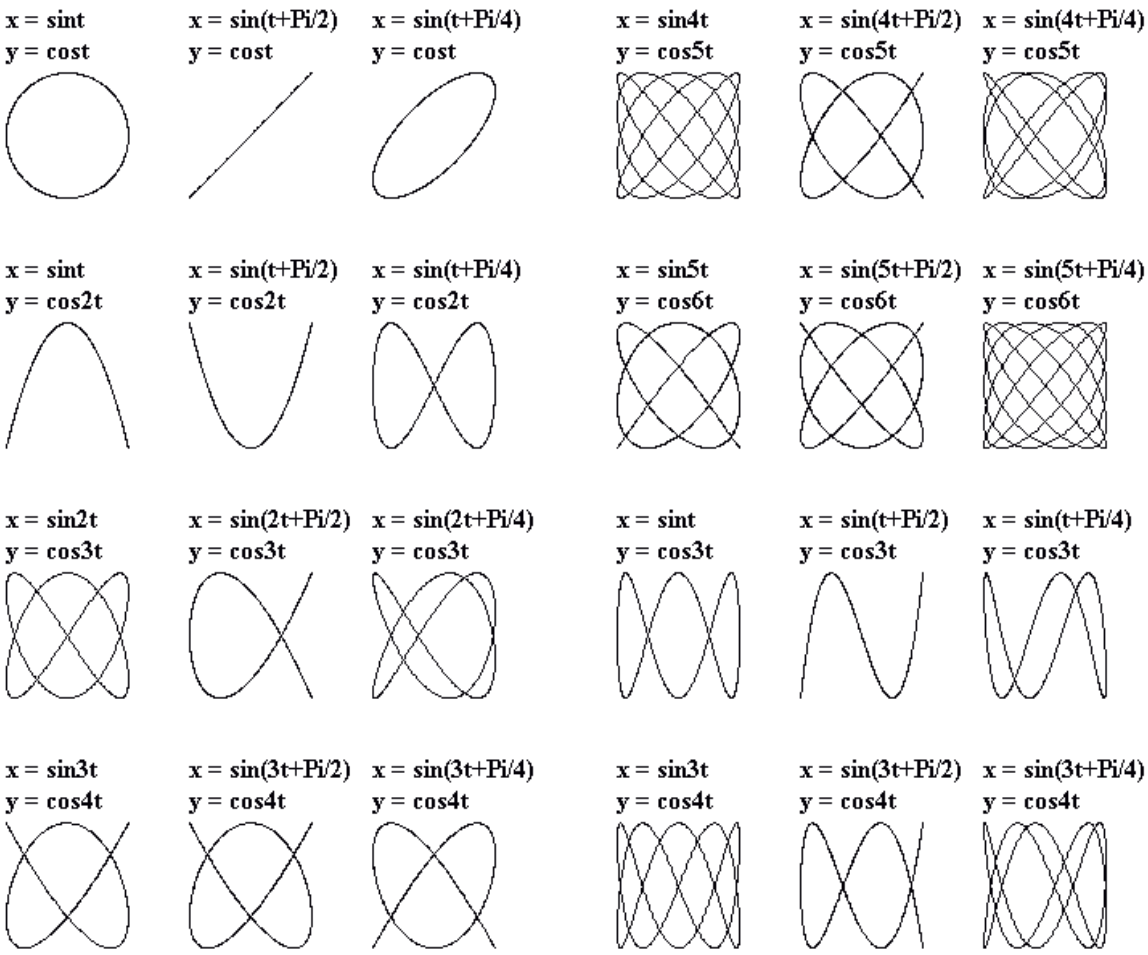
برای اندازه گیری فرکانس همچنین می توان از منحنی های لیساژو کمک گرفت. در این صورت بایستی ارتباط داخلی اسیلوسکپ را از مولد موج جاروب کننده آن قطع کرد (کلید *Time/div* در وضعیت *X-Y* باشد) سپس موج با فرکانس مجهول را به ورودی *y* و یک موج با فرکانس معلوم را از خارج به ورودی *x* اسیلوسکپ مربوط ساخت. در این حالت هنگامی یک شکل ثابت روی صفحه اسیلوسکپ دیده می شود که فرکانس یکی از آنها مضرب صحیحی از فرکانس دیگر باشد. شکل زیر ترکیب دو موج با فرکانس هایی به نسبت ۱ و۲ را نشان می دهد. (فرکانس *y* دو برابر فرکانس *x* است)



شکل۳

اندازه گیری فرکانس با استفاده از منحنی لیساژو

اسیلاتور را در وضعیت موج سینوسی قرار داده و خروجی آن را به ورودی قائم اسیلوسکپ وصل نمائید. ورودی *x* اسیلوسکپ را با قرار دادن کلید *Time/div* بروی وضعیت *X-Y* از مولد دندانه اره ای آن جدا کرده و آن را به یک منبع با فرکانس ۵۰ هرتز (۱۰ ولت) وصل نمائید. اکنون با تغییرفرکانس اسیلاتور اشکال مختلف و ثابتی (مطابق اشکال ۶ صفحه ی بعد) ایجاد کنید.



(شکل ۴) : اشکال مختلف برای فرکانس ها و فازهای متفاوت

در این حالت تحقیق کنید که فرکانس اسیلاتور برابر $f = 50\ n$ است که n عددی مثل $1,\ \frac{1}{3},\ 2$ و غیره است که با توجه به فرم منحنی ها تعیین می شود.

۲. از منحنی های لیساژو بدست آمده ۲ نمونه را رسم کنید و توضیح دهید که شکل آنها ناشی از چه ارتباطی بین ۲ ورودی اسیلوسکوپ است.

اندازه گیری فاز:

اگر دو موج سینوسی که فرکانس های آنان مساوی ولی فاز آنها متفاوت باشد به اسیلوسکپ داده شود. اختلاف فاز آنها را می توان به ترتیب زیر پیدا کرد.

اگر موج y نسبت به موج x به اندازه زاویه α تقدم فاز داشته باشد و اگر دامنه دو موج مزبور در روی صفحه اسیلوسکپ مساوی دیده شوند خواهیم داشت:

$x = A\sin 2\pi ft, \quad y = A\sin(2\pi ft + \alpha)$ که f فرکانس هر یک از موج هاست.

$$y = A\sin(2\pi ft)\cos\alpha + A\cos(2\pi ft)\sin\alpha$$

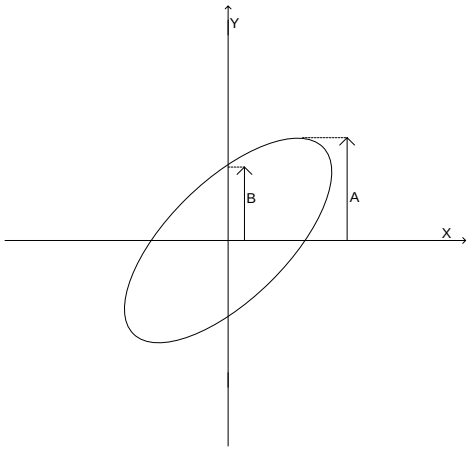
با به کار بردن شرایط مرزی در $t=0$ ، $\sin 2\pi ft = 0 \qquad \cos 2\pi ft = 1$

$$y = +A\sin\alpha \Rightarrow \sin\alpha = -y/A$$

در لحظه $t = 0 \quad , \quad \Leftarrow y = B \qquad \sin\alpha = B/A$

در این صورت مطابق شکل یک بیضی که در یک مربع محاط است به روی صفحه اسیلوسکپ ظاهر می شود. با توجه به شکل داریم: $\sin\alpha = B/A$

A و B را از روی صفحه اسیلوسکپ می توان تعیین کرد. برای دقت عمل بیشتر بهتر است طول های $2A$ و $2B$ را اندازه گرفت.

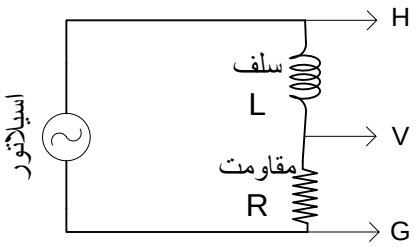


شکل ۵

<u>اندازه گیری اختلاف فاز توسط منحنی لیساژو</u>

الف : مداری مطابق شکل ۷ متشکل از یک مقاومت $4/7k$ اهمی و یک سلف تشکیل دهید. نقاط H و G را به ورودی افقی و نقاط V و G را به ورودی قائم وصل کنید (در هر دو اتصال نقطه G باید به زمین اسیلوسکپ یعنی به دکمه سیاه وصل شود). در

ضمن دامنه موج افقی و قائم در این حالت باید با هم برابر باشد. (*gain* انتخاب شده برای هر دو ورودی روی یک عدد قرار داده شود). فرکانس اسیلاتور را روی ۱۰۰۰ سیکل قرار دهید (کلید *Time/div* روی *X-Y* تنظیم شده باشد)



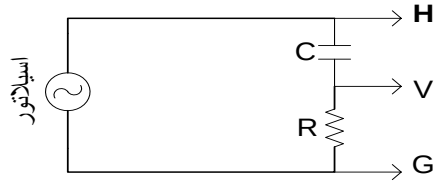
شکل۷

در مداری که بدین ترتیب وصل شده انحراف *x* روی اسیلوسکپ متناسب با ولتاژ اعمال شده و انحراف *y* متناسب با جریان است (زیرا در مقاومت ولتاژ و جریان هم فازاند). به این ترتیب در حالتی که *gain* تقویت کننده ها برابر باشد می توان معادله ۱ را به کار برد و اختلاف فاز بین ولتاژ و جریان را به دست آورد. واضح است که در این حالت ولتاژ نسبت به جریان تقدم فاز دارد.

با اندازه گیری *A* و *B* (که بهتر است ۲*A* و ۲*B* اندازه گرفته شود) مقدار φ را از معادله $\sin\phi = B/A$ حساب نمایید سپس با داشتن φ، راکتانس سلف را ($x_L = 2\pi fL$) محاسبه کنید. (می دانیم $tg\varphi = \frac{x_L}{R'}$ که R' مقاومت کل مدار یعنی $R+R_L$ است که R_L مقاومت اهمی سلف مزبور بوده و احتمالاً نسبت به *R* کوچک و قابل صرف نظر کردن است). اکنون مقدار *L* را محاسبه نمائید. این آزمایش را برای $R = ۱۰\ k\Omega$ تکرار کنید.

۳. با محاسبه φ مقدار L سلف را بدست آورید
۴. سلف را با دستگاه سلف سنج اندازه گرفته و با مقدار محاسبه شده مقایسه کنید، درصد خطا را بدست آورید (یکبار برای مقاومت ۴,۷ کیلو اهمی و یکبار برای مقاومت ۱۰ کیلو اهمی)

ب- خازن و مقاومت سری: خازن *C* و مقاومت *R* را مطابق شکل ۸ به اسیلاتور وصل کرده و مانند حالت قبل عمل نمائید. در این حالت نیز باید مقادیر *R* و *C* طوری باشند که مقدار مقاومت تقریباً برابر راکتانس خازن باشد (می دانیم $X_C = \frac{1}{2\pi fc}$) بدین ترتیب در مدار مزبور انحراف *X* (پایه *H*) متناسب با ولتاژ اعمال شده و انحراف *y* (پایه *V*) متناسب با جریان در مدار است. می دانیم در این مدار جریان نسبت به ولتاژ تقدم فاز دارد.



شکل ۸

پس از اندازه گیری A و B (یا ۲A و ۲B) اختلاف فاز φ را محاسبه و از روی آن راکتانس خازن C را تعیین نمائید.

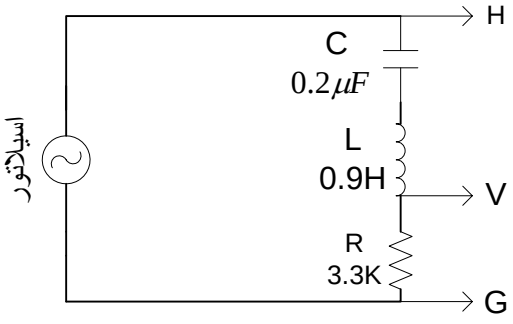
($\tan\varphi = X_C / R$) آزمایش فوق را برای مقادیر مختلف R و C در فرکانس های مختلف تکرار کنید.

$$C = 0.2\mu F \qquad R = 1k\Omega \qquad , \qquad f = 1KHz$$

<u>رزونانس (تشدید)</u>

خازن C و مقاومت R و سلف L را به طور سری به یکدیگر وصل نمائید و مطابق شکل ۹ به اسیلاتور وصل نمائید. نقاط H و G را به ورودی افقی و نقاط V و G را به ورودی قائم وصل نمائید. (توجه داشته باشید که نقطه G به زمین ورودی ها وصل شده باشد). در فرکانسی که راکتانس سلف برابر راکتانس خازن باشد مدار در حال تشدید است یعنی $2\pi fL = \frac{1}{2\pi fc}$ و فرکانس تشدید برابر $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lc}}$ می گردد. در این حالت امپدانس مدار به صورت مقاومت خالص در آمده و مساوی مقدار R می گردد و جریان (که متناسب با انحراف y است) با ولتاژ (که متناسب با انحراف x است) همفاز می باشد.

$Gain$ افقی و قائم اسیلاتور را برای انحراف های مساوی x و y تنظیم کنید و فرکانس اسیلاتور را تغییر دهید تا رزونانس حاصل شود یعنی x و y همفاز شوند به تغییر شکل منحنی در هنگام تقلیل یا افزایش فرکانس توجه نمایید



شکل ۹

حال نقطه H را از $x\text{-}input$ اسیلوسکپ قطع کنید و از موج جاروی داخلی محور افقی اسیلوسکپ استفاده کنید به طوری که ولتاژ V را (که متناسب با جریان مدار است) بر روی صفحه ملاحظه نمائید.

تغییر شکل جریان مدار را در حالتی که دامنه ولتاژ اسیلاتور ثابت بوده و فرکانس آن را در حوالی فرکانس رزونانس تغییر می دهید مشاهده نمائید.

۵. چرا در مدار R-C مقاومت و راکتانس($X_C = \frac{1}{2\pi fc}$) خازن نزدیک به هم انتخاب شد ؟

۶. ظرفیت خازن را در مدار R-C مخاسبه کنید و از مقیسه آن با مقدار نوشته شده روی خازن خطای آزمایش را بدست آورید.

۷. در مدار RLC شکل منحنی با تغییر فرکانس چگونه تغییر میکند، در حالت تشدید به چه صورت است؟ (تغییرات آن را با رسم شکل شرح دهید)

۸. در مدار RLC علت تغییر ولتاژ دو سر مقاومت با تغییر فرکانس چیست ؟ چه هنگام فرکانس تشدید به مدار اعمال شده است؟

۹. با استفاده از روش سوال ۱ فرکانس تشدید را اندازه گرفته و آن را با مقدار خوانده شده از روی اسیلاتور مقایسه کنید.

آزمایش شماره ۲

قسمت اول :جریان متناوب در مدارهای مرکب از سلف، خازن و مقاومت، نوسانات میرا و تشدید.

قسمت دوم:پل های جریان متناوب.

قسمت اول

هدف: منظور از انجام این آزمایش مطالعه مشخصات ولتاژ و جریان متناوب در مدارهای مرکب از سلف و خازن و مقاومت می باشد.

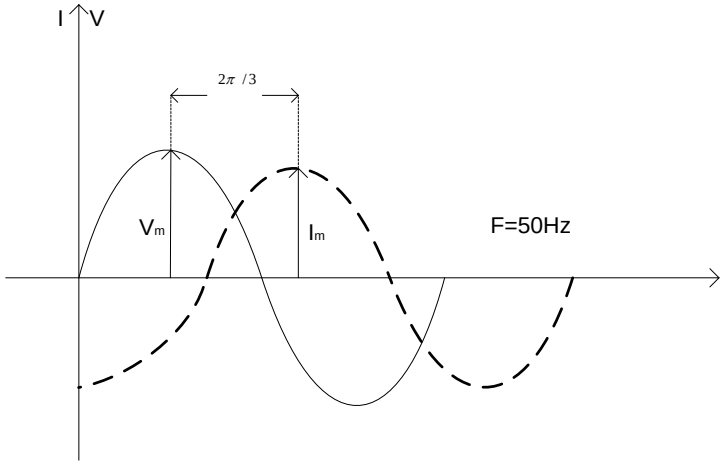
تئوری:

۱- تعریف جریان متناوب : در جریان دائم همواره مقدار و جهت جریان ثابت است. علاوه بر جریان دائم، بر حسب مشخصات جریان از قبیل جهت و نحوه تغییر مقدار جریان های دیگری نیز می توانیم تعریف کنیم: مثل جریان یک طرفه که مقدار آن متغیر ولیکن آن همواره در یک جهت است، جریان متغیر که مقدار و جهت آن با زمان تغییر می یابد و بالاخره جریان متناوب که خود یک نوع جریان متغیر است که تغییرات آن در فاصله زمانی مشخص تکرار می شود. از انواع جریان متناوب که مورد استعمال آن بخصوص در صنعت زیاد است جریان متناوب سینوسی می باشد که تغییرات آن تابع سینوسی از زمان است و معمولاً به ذکر جریان متناوب، برای بیان جریان متناوب سینوسی اکتفا می شود.

۱- مقادیر لحظه ای جریان و ولتاژ متناوب: با در نظر گرفتن مبدأ زمان مناسب و تعریفی که برای جریان متناوب گفته شد می توان شدت جریانی را که در هر لحظه از مدار می گذرد از رابطه $i = I_m \sin \omega t$ تعیین نمود. در این رابطه I_m ماکزیمم جریانی است که از مدار عبور می کند و $\omega = 2\pi f$ می باشد که f فرکانس جریان است. فرکانس برق های صنعتی مقادیری مشخص هستند. مثلاً در ایران و بیشتر کشورهای اروپائی $f = ۵۰ Hz$ و در آمریکا $f = ۶۰ Hz$ می باشد.

برای نوشتن رابطه بین اختلاف پتانسیل دو نقطه از مدار که جریان متناوب از آن عبور می کند زمان و همان مبدأ زمانی که برای جریان اختیار کرده بودیم در نظر می گیریم. چون تغییرات این دو پدیده (ولتاژ و جریان) اغلب با هم همزمان نمی باشند، یعنی در یک لحظه به مقدار ماکزیمم، صفر یا مینیمم نمی رسند، از این جهت می توانیم معادله ولتاژ را به صورت $V = V_m \sin(\omega t + \varphi)$ نمایش دهیم. زاویه φ به اختلاف فاز جریان و ولتاژ فوق موسوم است. منحنی نمایش تغییرات V و

i بر حسب زمان در شکل۱ برای فرکانس f=۵۰Hz و $\varphi = 2\pi/3$ رسم شده است. چنانچه مشاهده می شود نقاط نظیر این دو منحنی با یکدیگر $2\pi/3$ اختلاف فاز دارند.



شکل۱

۳- مقادیر موثر جریان و ولتاژ متناوب: بنابر تعریف مقدار موثر یک جریان متناوب عبارتست از جریان دائمی است که بتواند در مدت زمان مشخص و در یک مقاومت معین همان مقدار گرما را تولید کند که با جریان متناوب حاصل می گردد. اگر جریان موثر جریان لحظه ای i را با I_{eff} نشان دهیم رابطه زیر نتیجه می شود:

$$RI_{eff}^2 = \frac{1}{t}\int_o^t Ri^2 dt \Rightarrow I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{t}\int_o^t i^2 dt}$$

در مورد جریان متناوب سینوسی یعنی $i = I_m \sin wt$ با در نظر گرفتن $w = \frac{2\pi}{T}$ که T دوره تناوب منحنی جریان است خواهیم داشت:

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_o^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

و به طور مشابه برای اختلاف پتانسیل خواهیم داشت:

$$V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

برای نشان دادن کمیت های موثر از اندیس *eff* یعنی *effective* و *rms* یا بدون اندیس و با حرف بزرگ استفاده می کنیم:

$$V = V_{rms} = V_{eff} = V_e$$

باید در نظر داشت وسایل معمولی که برای سنجش کمیت های مختلف در جریان متناوب بکار می روند مقدار موثر را می سنجند.

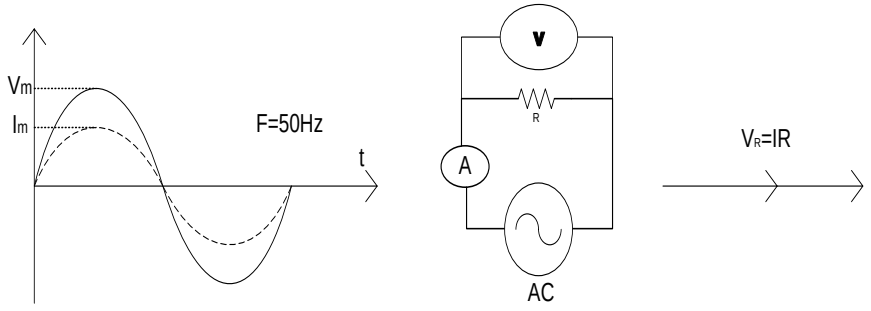
۴- رابطه بین ولتاژ و جریان در مدار:

a) مقاومت: طبق قانون اهم در هر لحظه رابطه اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت و جریان آن به فرم مقابل خواهد بود:

$$i = \frac{V_m}{R}\sin\omega t$$

از این رابطه نتیجه می گیریم که v و i هم فاز بوده و $I_m = \frac{V_m}{R}$ و $V_e=RI_e$ می باشند.

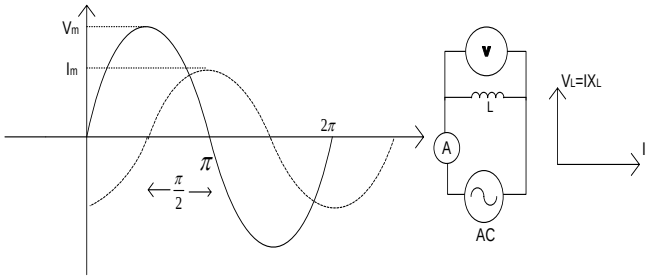
در شکل ۲ نمایش الکتریکی مدار، منحنی تغییرات ولتاژ و جریان بر حسب زمان و دیاگرام برداری V و I رسم شده است.



شکل ۲

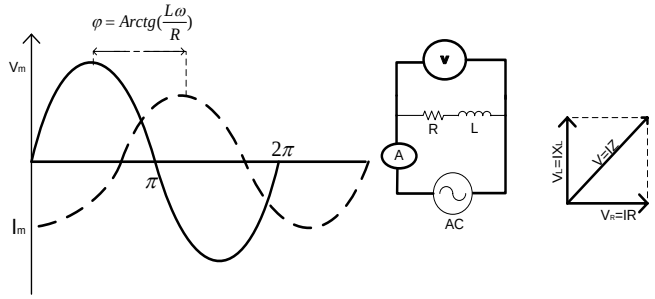
b) سلف (خودالقا، مارپیچ، قرقره، بوبین انداکتور، کوپل) : چنانچه می دانیم در اثر عبور جریان از یک سیم پیچ، شار مغناطیسی برابر ϕ ایجاد می شود که متناسب با شدت میدان و از آنجا متناسب با جریان سیم پیچ است یعنی $\phi \sim H \sim i$ می باشد. از طرفی در اثر عبور شار ϕ از یک بوبین نیروی محرکه ای در دو سر آن متناسب با تغییرات این شار در زمان حاصل می شود یعنی $\varepsilon \equiv \frac{d\phi}{dt}$ است. از این مطالب نتیجه می شود که $\varepsilon \sim \frac{dH}{dt}$. به همین ترتیب خواهیم داشت $\varepsilon = L\frac{di}{dt}$ که در آن L ضریبی است ثابت و بستگی به مشخصات سلف دارد. بنابراین اگر سلفی به ضریب خودالقائی L را تحت اختلاف پتانسیل $V = V_m \sin\omega t$ قرار دهیم بنا بر آنکه باید در هر لحظه $V=\varepsilon$ باشد خواهیم داشت: $V = L\frac{di}{dt}$ جواب این معادله دیفرانسیل به صورت $i = \frac{V_m}{L\omega}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$ خواهد شد. از این رابطه دو نتیجه به دست می آید. یکی عقب بودن پدیده جریان نسبت به

ولتاژ به اندازه $\frac{\pi}{2}$ و دیگری رابطه $I_m = \frac{V_m}{L\omega}$ و یا $V_e = I_e L\omega$. از مقایسه رابطه اخیر با $V_e = RI_e$ نتیجه می شود که $L\omega$ و R هم بعد می‌باشند. بطوریکه اگر L بر حسب هانری بیان گردد جمله $L\omega$ بر حسب اهم خواهد بود. در شکل ۳ نمایش الکتریکی مدار، منحنی نمایش تغییرات ولتاژ و جریان بر حسب زمان و دیاگرام برداری V_L و I رسم شده است.



شکل ۳

در بیان رابطه بین جریان و ولتاژ و سر سلف از مقاومت سلف صرفنظر کردیم در حالی که همواره سیم پیچی سلف دارای مقداری مقاومت است. در صورتی این مقدار مقاومت را R بنامیم معادله دیفرانسیل قبلی به صورت $L\frac{di}{dt} + Ri = V_m \sin\omega t$ نوشته می‌شود. بنابراین با در نظر گرفتن مقاومت سلف، جریان ازرابطه $i = A_1 e^{-\frac{R}{L}t} + \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}\sin(\omega t - \varphi)$ به دست خواهد آمد که در این رابطه $\varphi = Arctg\frac{L\omega}{R}$ است. جمله اول i پس از اندک مدتی به مقدار قابل اغماض می‌رسد، به طوری که در رژیم دائمی برای i می توان رابطه $i = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}}\sin(\omega t - \varphi)$ را در نظر گرفت. پس ملاحظه می شود در اینجا نیز جریان نسبت به ولتاژ به اندازه $\varphi = Arctg\frac{L\omega}{R}$ تاخیر فاز دارد و هم چنین مقاومت ظاهری مدار به جای $L\omega$ برابر $\sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$ خواهد بود که با Z نمایش می دهند. در شکل ۴ همان مشخصات شکل ۳ برای یک سلف با مقاومت ترسیم شده است. چنانکه ملاحظه می شود V_e دارای مولفه $V_R=I_eR$ و $V_L=I_eX_L$ می باشد که اولی با جریان هم فاز و دومی باندازه $\frac{\pi}{2}$ جلوتر از جریان است.



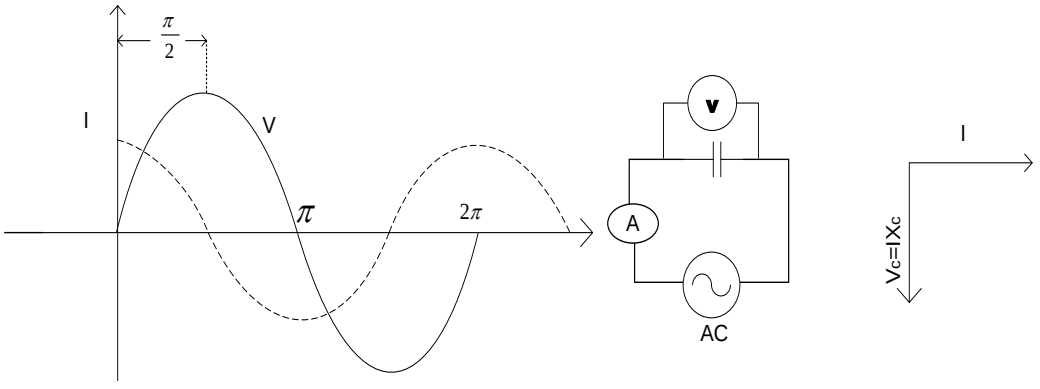
شکل ۴

c) خازن : بار خازن بر حسب ظرفیت و پتانسیل موجود بین دو جوشن آن از رابطه *Q=CV* بدست می آید. چنانچه *C* ثابت و *V* تغییر نماید *Q* نیز تغییر می کند به طوری که *dQ=CdV* می شود. اگر این تغییرات در زمان *dt* اتفاق بیفتد و در این مدت جریان مدار ثابت بوده و برابر *i* فرض شود خواهیم داشت: *dQ=idt=CdV* و یا $i = c\frac{dV}{dt}$. بنابراین اگر در دو سر یک خازن ولتاژ متناوبی مانند $v = V_m \sin \omega t$ برقرار نماییم برای *i* خواهیم داشت:

$$i = V_m C\omega \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

یعنی جریان *i* به اندازه $\frac{\pi}{2}$ نسبت به ولتاژ تقدم فاز دارد و رابطه $I_m=V_m c\omega$ و یا $V = I \times \frac{1}{c\omega}$ برقرار است.

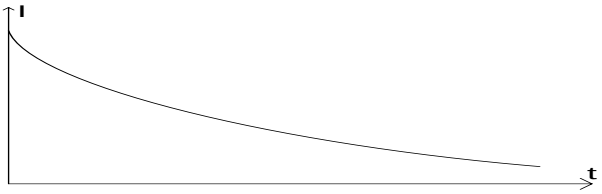
مانند آنچه برای سلف گفته شد اگر *C* بر حسب فاراد باشد $X_c = \frac{1}{c\omega} = \frac{1}{2\pi fc}$ (کاپاسیتانس) بر حسب اهم بیان می شود. چون معمولاً جمله $X_c = \frac{1}{c\omega}$ برزگ است لذا در مورد سنجش اختلاف پتانسیل دو سر خازن از یک ولتمتر با مقاومت داخلی خیلی زیاد باید استفاده کرد.



شکل

۵

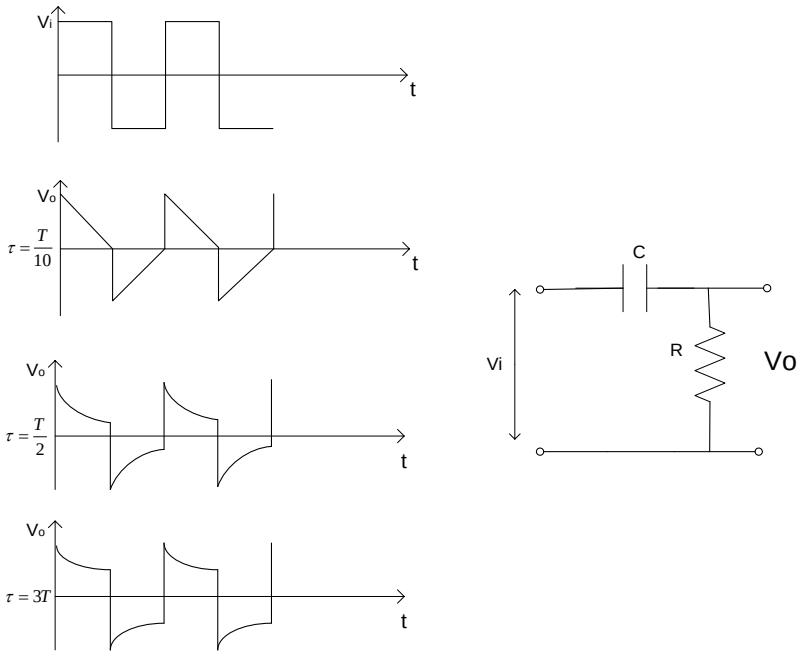
مطالبی که در فوق گفته شد در مورد قسمت پایدار جواب معادله دیفرانسیل $R\frac{di}{dt} + \frac{1}{c}i = \frac{dv}{dt}$ بود و قسمت گذاری آن از حل معادله همگن $R\frac{di}{dt} + \frac{1}{c}i = 0$ بدست می‌آید که جواب این معادله $i = Ae^{\frac{-t}{\tau}}$ است که $\tau = RC$ را ثابت زمانی مدار نامند و *A* هم ثابتی است که با شرایط اولیه بدست می آید. شکل این جریان یعنی $i = Ae^{\frac{-t}{\tau}}$ به فرم زیر است.



شکل ۶

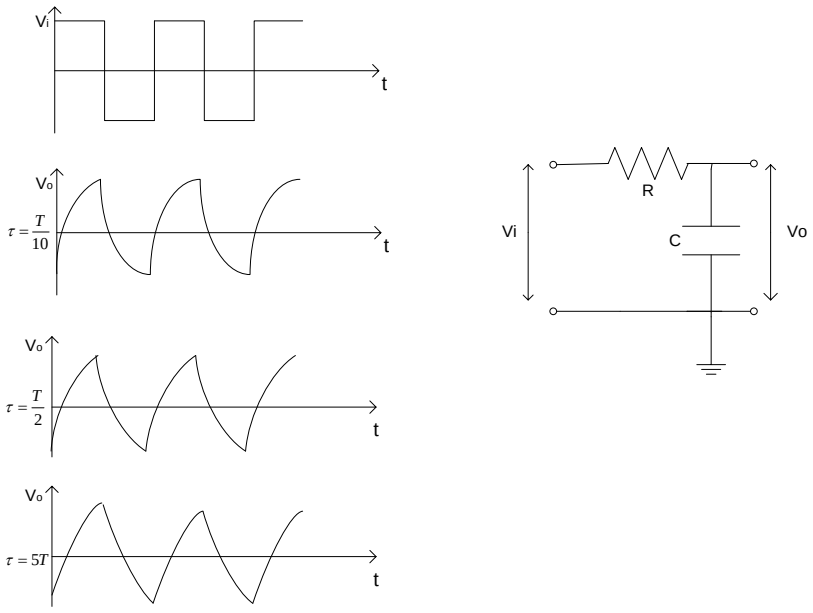
مدار *RC* : مدار زیر را فیلتر بالا گذر گویند. زیرا در فرکانس های بالا خازن اتصال کوتاه است و در نتیجه ولتاژ اعمال شده روی مقاومت خواهد افتاد. حال اگریک موج مربعی با دوره تناوب T به این مدار بدهیم همان طور که قبلاً دیده ایم معادله جریان مدار برای اتلاف این موج مربعی به فرم $i = Ae^{-t/\tau}$ خواهد بود در نتیجه ولتاژ دو سر مقاومت $V = Ri$ نیز تابع نمایی خواهد بود.

نکته جالب در اینجاست که بر حسب رابطه بین ثابت زمانی مدار τ و دوره تناوب موج اعمال شده T این موج مربعی به فرم های مختلف در خروجی ملاحظه خواهد شد. مثلاً اگر $\tau = \frac{T}{10}$ باشد موج قبل از منفی شدن تقریباً به صفر رسیده و در حالت $\tau = \frac{T}{2}$ به اندازه ۶۳٪ مقدار اولیه اش افت کرده و در حالت $\tau = 3T$ به مقدار خیلی کم افت می نماید.



شکل ۷ الف

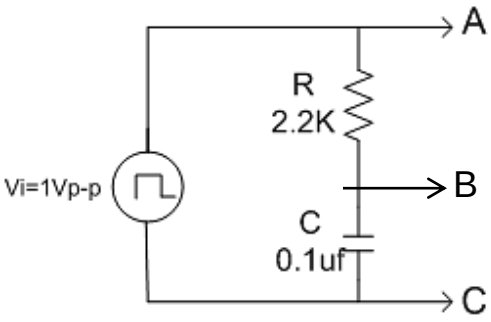
مدار شکل ۷ هنگامی یک فیلتر پایین گذر خواهد شد که ولتاژ خروجی را از دو سر خازن بگیریم. در اینجا باز هم ولتاژ دو سر خازن یک تابع نمایی خواهد بود که بر حسب رابطه بین τ و T ولتاژ خروجی به فرم های زیر در خواهد آمد.



شکل۷ ب

مطلب جالب اینجاست که هنگامی که τ چندین برابر T باشد موج خروجی به صورت یک موج دندانه اره ای در خواهد آمد.

۱- مدار شکل زیر را ببندید و از موج مربعی سیگنال ژنراتوراستفاده کنید. سپس منحنی های ولتاژ V_{AB} و V_{BC} را از روی اسیلوسکپ دیده و جدول ۱ را به ازاء فرکانس‌های داده شده تکمیل نمائید. توجه نمایید که در هر اندازه گیری بایستی سیم سیاه رنگ اسیلاتور و اسیلوسکوپ به هم وصل شود.



شکل۸

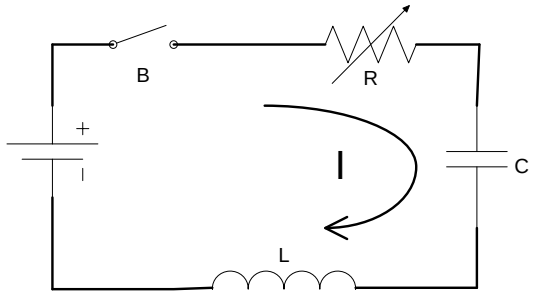
۲- تفاوت شکل های V_{AB} و V_{BC} را (به ازاء فرکانس 250^{Hz}) توجیه نمائید.

۳- شکل منحنی V_{AB} به ازاء فرکانس $250\ Hz$ را با همان منحنی به ازاء فرکانس $15KHz$ مقایسه کرده و علت تفاوت آنها را شرح دهید.

۴- ثابت زمانی مدار فوق را از روی منحنی V_{BC} مربوط به فرکانس $250\ Hz$ بدست آورید سپس مقدار به دست آمده را با $\tau = RC$ مدار مقایسه نموده و خطای نسبی حاصل را تعیین نمائید.

۵-: چرا نمی توان در این مورد از منحنی V_{BC} مربوط به فرکانس $15\ KHz$ استفاده کرد.

مدار شامل سلف، مقاومت و خازن: با استفاده از قوانین کیرشف در مورد مدار زیر داریم



شکل ۹

$$V = RI + \frac{Q}{C} + L\frac{di}{dt}$$

پس از دیفرانسیل گیری از طرفین معادله خواهیم داشت

$$\frac{d^2I}{dt^2} + \frac{R}{L}\frac{dI}{dt} + \frac{1}{LC}I = 0$$

برای حل این معادله دیفرانسیل فرض می کنیم که معادله جریان حاصل معادله ای با دامنه میرا نسبت به زمان باشد. (یکی از طریق حل معادلات حدس زدن جواب است) یعنی:

$$I = Ae^{-\alpha t}\sin(\omega t + \varphi)$$

که $\varphi, \omega, \alpha, A$ مقادیر ثابتی اند. حال این معادله را در معادله قبلی قرار می دهیم:

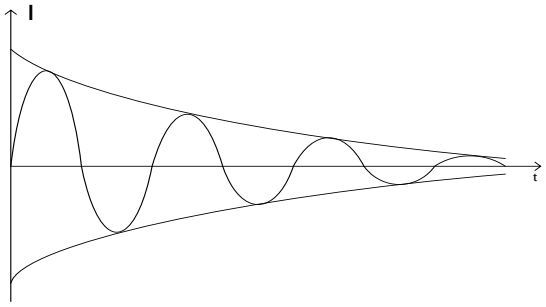
$$\left[\left(\alpha^2 - \omega^2 - \frac{R\alpha}{L} + \frac{1}{LC}\right)\sin(\omega t + \varphi) + \left(\frac{R\omega}{L} - 2\alpha\omega\right)\cos(\omega t + \varphi)\right]Ae^{-\alpha t} = 0$$

برای اینکه رابطه فوق به ازاء جمیع مقادیر t برقرار باشد لازم است که ضرایب دو جمله سینوس و کسینوس هر یک به تنهایی برابر صفر باشد. در نتیجه داریم.

$$\alpha = \frac{R}{2L} \quad , \quad \omega^2 = \frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}$$

یعنی جریان این مدار فرکانس ω داشته و دامنه میرایی با ثابت زمانی α دارد و منحنی اش

به شکل زیر خواهد بود.



شکل ۱۰

حال اگر ω را برابر صفر قرار دهیم. مقداری برای R به دست خواهد آمد که آن را R بحرانی ***(critical)*** نامند.

$$R_c = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$$

اگر المان های مدار طوری باشند که $R>R_C$ باشد، در آن صورت فرکانس محاسبه شده موهومی خواهد بود که با استفاده از روابط ریاضی خواهیم داشت:

$$\sin\ \omega t = \frac{1}{2j}\left(e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}\right)$$

یعنی معادله جریان تعریف شده حاصلضرب دو تابع نمائی خواهد بود که ثابت زمانی آن توسط R و L و C مدار تعیین خواهد شد.

در حالیکه R خیلی بزرگ باشد دامنه جریان که متناسب با $e^{-\frac{R}{2L}t}$ است خیلی سریع به سمت صفر میل خواهد کرد و این حالت را فوق میرا گویند.

شکل بالا مربوط به حالت $R<R_C$ (تحت میرا)، یعنی ω حقیقی است.

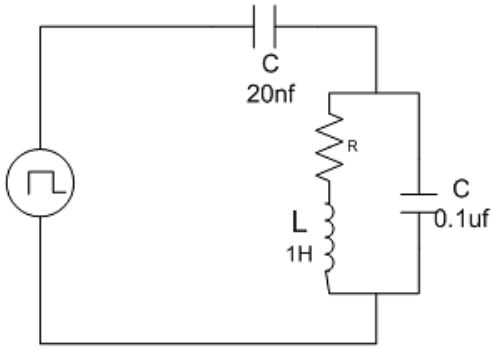
وقتی که یک جریان متناوب سینوسی به مدار مرکب از مقاومت و سلف و خازن اعمال می کنیم در آن صورت مدار شامل R و L و C نظیر مدارهای شامل R و L یا R و C دارای مقاومت ظاهری خواهد بود که از رابطه زیر به دست می آید:

$$z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{c\omega}\right)^2}$$

اختلاف فاز ما بین جریان و ولتاژ اعمال شده به مدار از رابطه $\varphi = Arctg \frac{L\omega - \frac{1}{c\omega}}{R}$ به دست می آید. وقتیکه $R=Z$ باشد ولتاژ و جریان اختلاف فازی نخواهند داشت و در این حال گوئیم مدار در حال تشدید است. فرکانس حالت تشدید از رابطه زیر به دست می آید:

$$L\omega - \frac{1}{c\omega} = 0 \qquad \Rightarrow 4\pi^2 Lc\ f^2 = 1 \qquad \Rightarrow f = \frac{1}{2\pi\sqrt{Lc}}$$

مدار شکل زیر را ببندید و فرکانس را حدود ۲۰Hz انتخاب کنید. با استفاده از اسیلوسکپ منحنی ولتاژ دو سر خازن ۰/۱ میکروفارادی را مشاهده نمائید و به ازاء Rهای داده شده جدول ۲ را تکمیل کنید.



شکل ۱۱

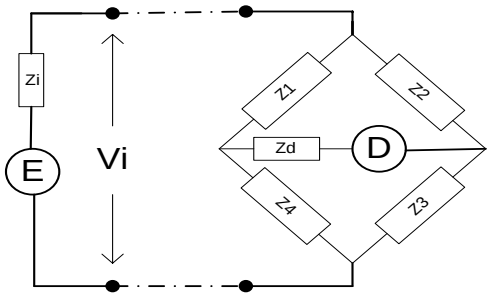
۶-علت قرار دادن خازن نانو فارادی را شرح دهید:

۷-مقدار R_C را در حالت بحرانی یادداشت کنید و با آنچه از طریق محاسبه بدست می آید مقایسه نمائید.

قسمت دوم :پل های جریان متناوب *(ac Bridges)*

هدف : اندازه گیری L و C مجهول با استفاده از پل های جریان متناوب.

در شکل زیر یک پل اندازه گیری جریان متناوب نشان داده شده است که برای حالت جریان متناوب سینوسی به کار می رود.



شکل ۱۲

همان گونه که در مباحث مربوط به مدارها متداول است و در واقع تسهیلات و فوایدی در بر دارد، می توان از اعداد و توابع مختلط سود جست. منبع انرژی یک منبع سینوسوئید با امپدانس داخلی Z_i و ولتاژ مختلط E می باشد که در شکل نشان داده شده است. منبع می تواند یک ژنراتور سیگنال های AF (فرکانس های قابل شنوایی)، RF (فرکانس های رادیویی) و یا یک دینامو باشد. هر یک از بازوهای پل می تواند ترکیبی از عناصر R و L و C باشد که در شکل با Z_1، Z_2 ، Z_3، Z_4 نشان داده شده اند.

آشکارساز D با امپدانس Z_d هر دستگاه سنجش ولتاژ و یا جریان می تواند باشد بشرطی که به فرکانس منبع حساس باشد. مثلاً آشکارسازمی تواند ولتمتر با لامپ خلاء، یک جفت گوشی، اسیلوسکوپ و یا گیرنده باشد. حالت تعادل را می توان برای این پل در هر فرکانس بر حسب امپدانس های مختلط بازوها بیان کرد. در این حالت آشکارساز بایستی مقدار صفر را نشان دهد و این موقعی است که ولتاژ دو سر شاخه آشکارساز صفر باشد. در این صورت ولتاژ دو سر Z_4 بایستی برابر ولتاژ دو سر Z_3 باشد و یا اینکه ولتاژ دو سر Z_1 برابر ولتاژ دو سر Z_4 باشد. ولتاژ دو سر Z_2 برابر است با:

$$V_{z4} = V_i \times \frac{Z_4}{Z_1 + Z_4}$$

ولتاژ دو سر Z_3 برابر است با :

$$V_{Z3} = V_i \times \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3}$$

پس درحالتی که آشکار سازD مقدار صفر را نشان می دهد خواهیم داشت:

$$V_{Z_1} = V_{Z_2} \quad \text{و یا} \quad V_{Z_4} = V_{Z_3}$$

یا: $\frac{Z_1}{Z_1 + Z_4} = \frac{Z_2}{Z_2 + Z_3}$ و یا $\frac{Z_4}{Z_1 + Z_4} = \frac{Z_3}{Z_2 + Z_3}$

که از این روابط شرط حالت تعادل بدست می آید:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4 \qquad (۱)$$

یعنی در حالت تعادل بازای مقادیر دلخواه E و Z_g و Z_d. حاصلضرب امپدانس های بازوهای مقابل برابرند. شباهت بین پل وتستون و پل جریان متناوب تا اندازه ای فریبنده است چونکه شرط تعادل برای پل جریان متناوب به علت وجود کمیات مختلط کاملاً با شرط تعادل پل وتستون متفاوت است. طرفین یک معادله مختلط وقتی برابر می شوند که قسمتهای حقیقی طرفین معادله با یکدیگر و قسمتهای موهومی طرفین معادله نیز با یکدیگر به طور مستقل و همزمان برابر شوند. پس در واقع دو رابطه تساوی در رابطه ۱ مستتر است.

یعنی داریم:

$$(R_1 + JX_1)(R_3 + JX_3) = (R_2 + JX_2)(R_4 + JX_4)$$

$$(R_1R_3 - X_1X_3) + J(R_1X_3 + R_3X_1) = (R_2R_4 - X_2X_4) + J(R_2X_4 + R_4X_2)$$

$$R_1R_3 - X_1X_3 = R_2R_4 - X_2X_4 \qquad (۲)$$

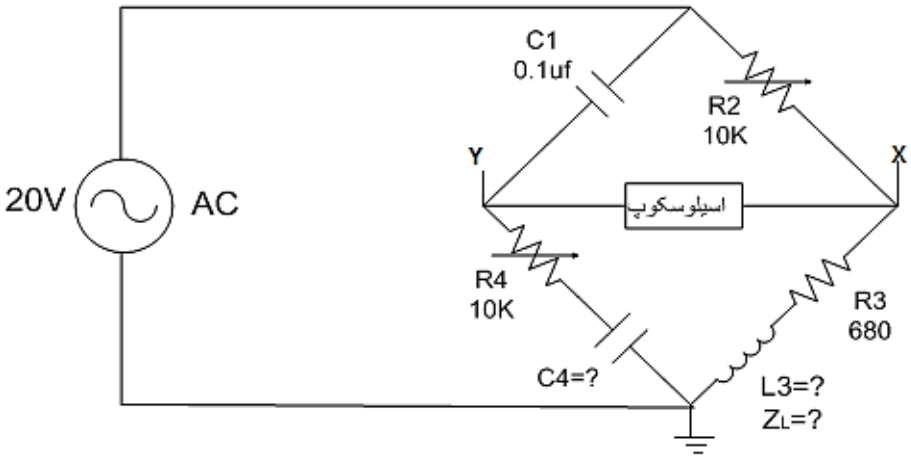
$$R_1X_3 + R_3X_1 = R_2X_4 + R_4X_2 \qquad (۳)$$

واضح است که اگر در روابط اخیر تمامی راکتانس های X_1 و X_2 و X_3 و X_4 را برابر صفر قرار دهیم شرط پل وتستون بدست می آید:

$$R_1R_3=R_2R_4$$

به این معنی که پل وتستون حالت خاصی از شکل عمومی پل های جریان متناوب است. از آنجا که دو رابطه (۲) و (۳) باید به طور مستقل و هم زمان برقرار باشند بنابراین برای متعادل کردن پل داشتن دو جزء قابل تغییر و تنظیم لازم است. وجود اعداد مختلط در اینجا باعث شده که به طور کلی هشت کمیت مختلف در بدست آوردن حالت تعادل داشته باشند که در اینجا شش کمیت معلوم و دو کمیت باقی مانده را بایستی از تعادل پل بدست آورد.

مدار زیر را که نمایشگر پل *OWEN* است، ببندید. فرکانس را حدود ۵۰۰ هرتز اختیار نمایید. با تغییر مقاومت های R_2 و R_4 مدار را به حالت تعادل در آورده و مقادیر C_4 و L_3 را با استفاده از روابط مربوطه به دست آورید. برای این منظور هر یک از دو سر پل را که به اسیلاتور وصل نیست به یک کانال اسیلوسکوپ وصل کنید (توجه کنید که gain ولتاژ هر دو کانال یکی باشد) سپس دکمه mode اسیلوسکوپ را در حالت Add قرار داده و ورودی کانال دو را با بیرون کشیدن دکمه position منفی کنید در این حالت X-Y وقتی صفر شود یعنی اسیلوسکوپ یک خط را نشان دهد مدار در حالت تعادل قرار دارد. برای رسیدن به نتیجه مطلوب دقت کنید تمام زمین ها را یکی کرده باشید.



شکل ۱۴

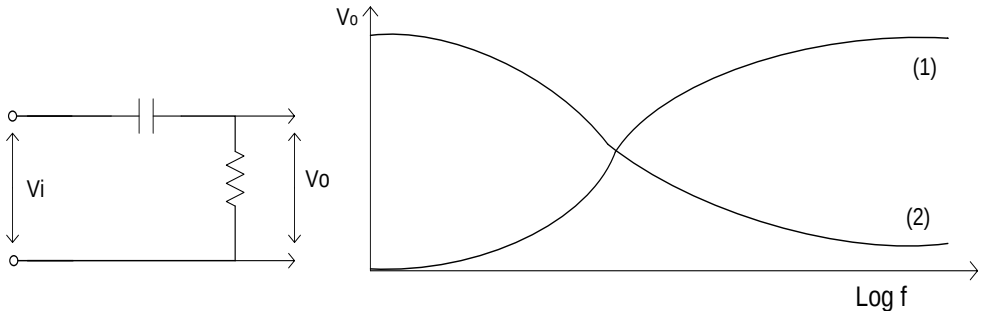
۸- مقدار R_2 و R_4 را برای حالت تعادل بدست آورید و تحقیق کنید که حالت تعادل به فرکانس بستگی دارد یا ندارد.

۹- مقدار ضریب خودالقایی (L) و ظرفیت خازن را از طریق محاسبه بدست آورید و به وسیله سلف سنج یادداشت کنید و خطای نسبی را تعیین کنید.

آزمایش ۳

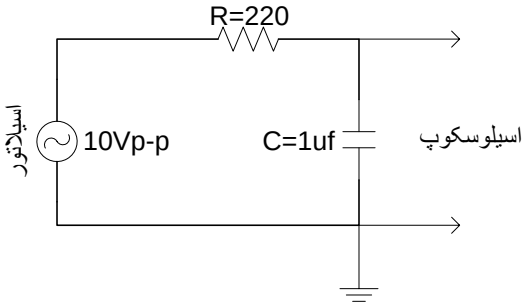
فیلترها

در مدار *RC* دیدیم که اگر ولتاژ خروجی از دو سر مقامت گرفته شود مدار همچون یک فیلتر بالا گذر است، یعنی اگر منحنی ولتاژ را بر حسب فرکانس (لگاریتم فرکانس، چون دامنه تغییرات آن زیاد است) رسم کنیم، مانند منحنی شماره ۱ (در شکل ۱)خواهد بود. اگر ولتاژ خروجی از دو سر خازن گرفته شود، فیلتر پایین گذر خواهیم داشت و منحنی ولتاژ دو سر خازن بر حسب فرکانس مانند منحنی شماره ۲ خواهد بود.



شکل ۱

برای دیدن این اثر مدار شکل زیر را ببندید.



شکل ۲

در این قسمت آزمایش ولتاژ ژنراتور را حدوداً مقدار V_{p-p} *10* انتخاب کرده و تا آخر آزمایش تغییر ندهید. مقادیر ولتاژ دو سر خازن را به ازای فرکانس های ۱۰۰ تا ۱۰،۰۰۰ هرتز از روی اسیلوسکپ خوانده و سطر دوم جدول ۱ را تکمیل کنید. سپس جای مقاومت و خازن را عوض نموده و ولتاژ دو سر مقاومت را به ازاء فرکانس های یاد شده از روی اسیلوسکپ خوانده و در سطر سوم جدول ۱ قرار دهید.

توجه: بازه های اندازه گیری را به صورت لگاریتمی زیاد کنید.

توجه دوم: همیشه سیم سیاه رنگ اسیلوسکوپ و اسیلاتور را به هم وصل کنید.

حال می خواهیم از روی جدول ۱، منحنی های V_C و V_R را برحسب لگاریتم فرکانس($\log f$) رسم کنیم. به همین منظور از کاغذ نیمه لگاریتمی استفاده می کنیم. در نمودار ۱، این دو منحنی را رسم کنید.

سوال ۱: در چه فرکانسی این دو منحنی یکدیگر را قطع می کنند؟

در این فرکانس $\frac{V_\circ^2}{V_i^2} = \frac{1}{2}$ می باشد (V_o دامنه ولتاژ خروجی در این فرکانس و V_i دامنه ولتاژ اعمال شده است) و چون مقدار قدرت متناسب با توان دوم دامنه ولتاژ است این فرکانس به فرکانس نیم قدرت معروف است (فرکانس *3db*).

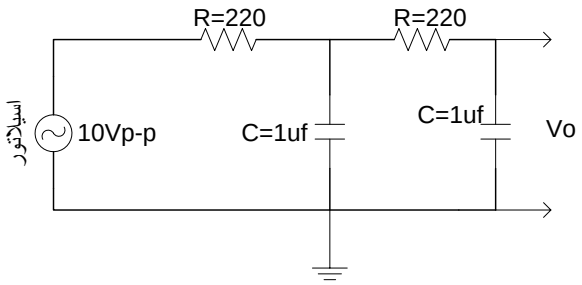
سوال ۲: مقدار $(\frac{V_o}{V_i})^2$را در نقطه قطع دو نمودار بیابید و سپس با مقایسه با عدد *1/2*، مقدار خطا را حساب کنید.

سوال ۳: از روی منحنی های به دست آمده فیلتر بودن مدار *RC* را در حالات مزبور تعبیر کرده و کار عناصر سازنده مدار را در فرکانس های بالا و پائین شرح دهید.

سوال ۴: می دانیم امپدانس خازن به صورت $1/jc\omega$ نوشته می شود که $\omega=2\pi f$. با محاسبه ولتاژ دو سر مقاومت، فرکانس نیم قدرت را محاسبه نموده و با فرکانسی که از روی منحنی به دست آورده اید مقایسه کنید (خطا را به دست آورید).

حال مدار شکل زیر را بسته و ولتاژ خروجی را در سطر دوم جدول ۲ به ازای فرکانس ۱۰۰ تا ۱۰،۰۰۰ هرتز پر کنید (توجه: بازه های اندازه گیری را به صورت لگاریتمی زیاد کنید.) و از روی آن، منحنی پاسخ فرکانسی مدار را رسم کنید (نمودار.۲). این مدار از ترکیب دو فیلتر هم شکل ساخته شده است.

سوال ۵: فرکانس نیم قدرت را بر روی منحنی ۲ مشخص نموده و به تغییر آن نسبت به مدار قبل توجه نمایید. (توجه: در این حالت، به جای ولتاژ ورودی، ولتاژ بیشینه خروجی را در رابطه ی فرکانس نیم قدرت قرار دهید.)



شکل ۳

سوال ۶: مدار فوق چه نوع فیلتری می باشد؟ توضیح دهید.

سوال ۷: با توجه به تحلیل های فوق بگویید در شکل زیر، کدامیک از مدارها فیلتر بالاگذر و کدامیک پایین گذر است؟

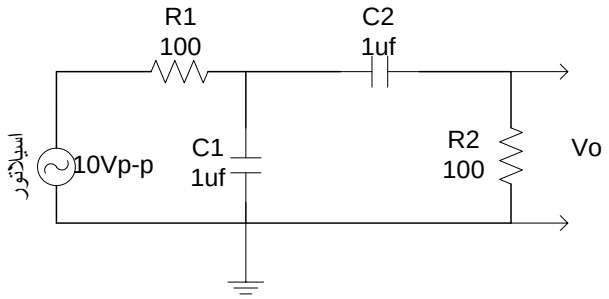
شکل۴

فیلتر میان گذر

مدار زیر را ببندید. این مدار از ترکیب سری دو مدار بالا گذر و پائین گذر درست شده و در نتیجه بازه محـدودی از فرکـانس ها را عبورمی دهد .مقدار ولتاژ دو سر مقاومت V_{R2} را به ازای بازه فرکانسی ۱۰۰ تـا ۱۰،۰۰۰ هرتـز در جـدول ۳ یادداشـت کنیـد. سپس از روی آن منحنی V_{R2} را بر حسب f در نمودار ۳ رسم کنید

سوال ۸: کار عناصر سازنده این مدار را در فرکانس های بالا و پایین شرح دهید.

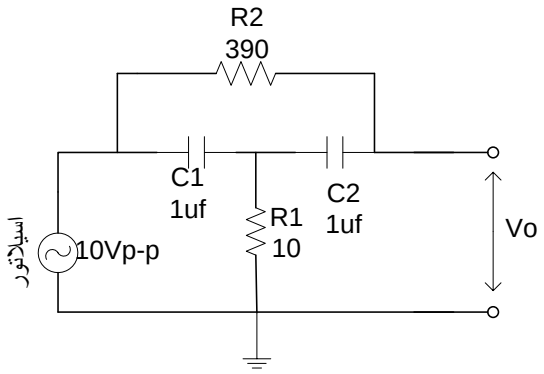
سوال ۹: از روی منحنی به دست آمده فرکانس های نیم قدرت را به دست آورید. (توجه: در این حالت، به جای ولتـاژ ورودی، ولتاژ بیشینه خروجی را در رابطه ی فرکانس نیم قدرت قرار دهید.)



شکل۵

فیلتر میان نگذر

مدار زیر را ببندید. به ازای فرکانس ۱۰۰ تا ۱۰،۰۰۰ هرتز، مقدار V_o را توسـط اسیلوسـکوپ بـه دسـت آورده و جـدول ۴ را تکمیل کنید.



شکل ۶

حال منحنی V_o را بر حسب فرکانس در کاغذ نیمه لگاریتمی نمودار ۴رسم کنید.

سوال ۱۰: با شرح کار عناصر سازنده مدار را بنویسید که چرا یک چنین منحنی ای به دست می آید؟

مدار انتگرال گیر و مشتق گیر

می دانیم که ولتاژ دو سر سلف از رابطه $V = L\frac{dI}{dt}$ به دست می آید یعنی ولتاژ دو سر سف مشتق جریان اعمال شده را خواهد داد. به همین ترتیب ولتاژ دو سر خازن از رابطه $V = \frac{1}{C}\int idt$ به دست می آید یعنی ولتاژ دو سر خازن انتگرال جریان اعمال شده را خواهد داد. حال می خواهیم بگوییم که اگر ولتاژ $V_i = V_m \sin \omega t$ را به مدار شکل ۱ اعمال کنیم در حالت بخصوص $RC\omega << 1$ ولتاژ دو سر مقاومت در مدار بالا مستقیماً مشتق همین ولتاژ را می دهد. می دانیم که :

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \frac{1}{(C\omega)^2}} \qquad ,\varphi = Arctg\,\frac{1}{RC\omega}$$

حال با اعمال شرط $RC\omega << 1$ رابطه های اخیر به صورت زیر در می آیند:

$$|Z| = \frac{1}{C\omega}\sqrt{1 + R^2C^2\omega^2} \approx \frac{1}{C\omega} \qquad ,\varphi = Arctg(\infty) = \frac{\pi}{2}$$

بنابراین اگر $V_i = V_m \sin \omega t$ باشد برای جریان داریم:

$$I = I_m \sin(\omega t + \varphi) = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \cos \omega t$$

ولتاژ دو سر مقاومت برابر است با :

$$V_\circ = RI_m \cos\omega t$$

و چون $V_m = |Z| I_m$ است برای I_m داریم:

$$I_m = C\omega V_m$$

که با قرار دادن آن در معادله V_o خواهیم داشت:

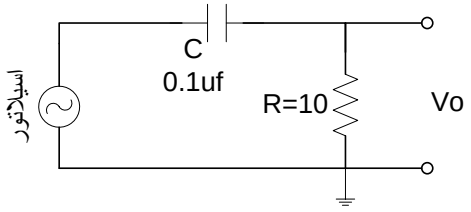
$$V_\circ = (RC\omega) V_m \cos\omega t$$

از طرفی داریم: $\frac{dV_i}{dt} = \omega V_m \cos\omega t$ پس :

$$V_\circ = RC\frac{dV_i}{dt}$$

در نتیجه این فیلتر بالا گذر در حالت $RC\omega << 1$ نقش یک مدار مشتق گیر را بازی خواهد کرد که موارد استعمال زیادی در مدارهای الکترونیکی به خصوص در کامپیوتر دارد.

برای دیدن این اثر، مدار زیر را ببندید و فرکانس را حدود ۴۰۰Hz انتخاب نمائید. یک موج سینوسی به مدار داده و خروجی آن را با اسیلوسکپ مشاهده کنید و در نمودار ۵ (سمت راست) بکشید.



شکل ۷

سوال ۱۱: موج خروجی در این حالت چه نوع موجی می باشد؟ چرا؟

سوال ۱۲: مقدار $RC\omega$ در مدار مزبور چه قدر است؟ آیا شرط لازم را برای آن که مدار فوق یک مدار مشتق گیر باشد ارضا می نماید؟

حال به جای موج سینوسی یک موج مربعی به ورودی مدار مزبور بدهید و شکل خروجی را مشاهده کنید و در نمودار ۵ (سمت چپ) بکشید.

سوال ۱۳: شکل موج حاصله را تعبیر نمایید.

حال اگر ولتاژ دو سر خازن را مورد نظر قرار دهیم، در حالت به خصوص $RC\omega >> 1$ نقش یک مدار انتگرال گیر را بازی خواهد کرد زیرا:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{C\omega}\right)^2} = R\sqrt{1 + \left(\frac{1}{RC\omega}\right)^2} \approx R \quad , \quad \varphi = Arctg\left(\frac{1}{\infty}\right) = 0$$

$$V_C = \frac{1}{C}\int i dt = \frac{1}{C}\int I_m \sin(\omega t + \varphi) dt = -\frac{I_m}{C\omega}\cos(\omega t + \varphi)$$

چون داریم:

$$I_m = \frac{V_m}{|Z|} \Rightarrow I_m = \frac{V_m}{R}$$

پس خواهیم داشت :

$$V_C = -\frac{V_m}{RC\omega}\cos\omega t$$

از طرفی داریم:

$$V_i = V_m \sin\omega t \Rightarrow \int V_i . dt = -\frac{V_m}{\omega}\cos\omega t$$

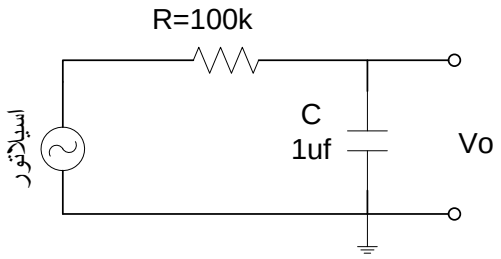
پس با مقایسه دو رابطه اخیر داریم:

$$V_C = \frac{1}{RC}\int V_i.dt$$

رابطه اخیر نمایشگر همان چیزیست که مورد نظر ما بود یعنی **ولتاژ دو سر خازن در حالت** $RC\omega >> 1$ **نقش یک مدار انتگرال گیر را بازی می کند.**

برای دیدن این اثر، مدار زیر را ببندید. مدار مزبور قادر است انتگرال موجی را که به ورودی آن داده می شود حساب کرده و به خروجی بدهد. برای تحقیق این عمل یک موج سینوسی به فرکانس *1 KHz* به ورودی مدار داده و خروجی آن را با اسیلوسکپ مشاهده کنید و در نمودار ۶ (سمت راست) بکشید.

سوال ۱۴: موج خروجی در این حالت چه نوع موجی می باشد؟ چرا؟



شکل ۸

سوال ۱۵: مقدار $RC\omega$ در مدار مزبور چه قدر است؟ آیا شرط لازم را برای آن که مدار فوق یک مدار انتگرال گیر باشد ارضا می نماید؟

حال به جای موج سینوسی یک موج مربعی به ورودی مدار مزبور بدهید و شکل خروجی را مشاهده کنید و در نمودار ۶ (سمت چپ) بکشید.

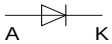
سوال ۱۶:شکل موج حاصله را تعبیر نمایید.

آزمایش شماره ۴

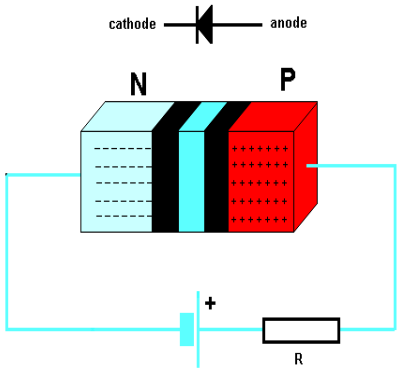
رسم منحنی مشخصه دیودها

هدف: رسم منحنی مشخصه دیود معمولی و دیود زنر – محاسبه مقاومت های استاتیک و دینامیک دیود در نقطه کار داده شده

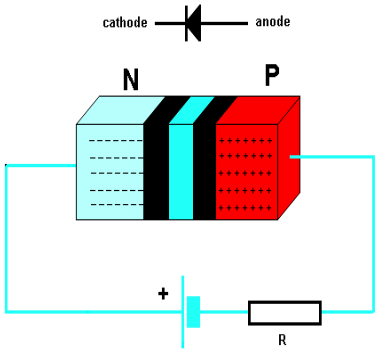
وسایل آزمایش: دیودهای ژرمانیم و سیلیسیوم و زنر- منبع تغذیه ولتاژ مستقیم و متناوب – ولتمتر- میلی آمپرمتر- مقاومت- پتانسیومتر- اسیلوسکوپ

مقدمه: چنانچه دو نیم رسانای نوع *(P)* و *(N)* به طور مکانیکی به گونه ای پیوند داده شوند که تشکیل یک بلور واحد را بدهند که در آن پیوستگی ساختمان آن حفظ شده باشد چنین پیوندی را یک پیوند *PN* با یک دوقطبی می نامند، که دیود نامیده می شود و آنرا با علامت 

که *A* آند و *K* کاتد آن می باشد نشان میدهند.



الف:بایاس مستقیم



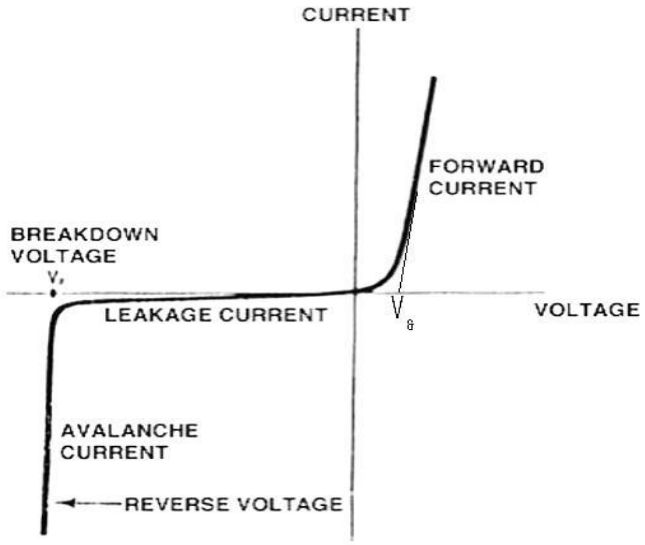
ب : بایاس معکوس

شکل۱

برای مشخص شدن کاتد و آند در یک دیود، کاتد را با یک حلقه مشخص می کنند و یا علامت دیود را روی آن می گذارند. دیودهای نیمه هادی معمولاً از ژرمانیم (با ولتاژ آستانه ۰/۳ ولت) و سیلیسیم (با ولتاژ آستانه ۰/۶ ولت) ساخته می شوند که به دلیل قابلیت تحمل دمای بالای دیود سیلیسیوم در جریان های زیاد از آن استفاده می شود.

چنانچه قطب های یک ولتاژ خارجی (منبع تغذیه) به گونه ای که در شکل (۱-الف) نشان داده شده است (مثبت به آند و منفی به کاتد) به دو سر دیود بسته شود در این صورت می گویند دیود به طور مستقیم بایاس ***(Bias)*** شده و در غیر این صورت بایاس به طور معکوس خواهد بود (شکل ۱- ب).

وقتی دیود به طور مستقیم تغذیه می شود نباید اجازه داد تا جریان زیادی از آن بگذرد، زیرا باعث سوختن دیود می شود. در حالت تغذیه معکوس نیز ولتاژ اعمال شده نباید از ولتاژ شکست دیود تجاوز نماید باعث سوختن دیود می شود. غیر خطی بودن مقاومت دیود باعث می شود که منحنی تغییرات جریان دیود نسبت به ولتاژ اعمال شده به دو سر آن به صورت خط مستقیم نبوده و شکلی شبیه منحنی شکل (۲) را داشته باشد.



شکل۲

شکل (۲) منحنی مشخصه دیود(I_D برحسب V_D) در حالت بایاس مستقیم و معکوس نشان می دهد.

با توجه به این منحنی، در حالت مستقیم ***(FORWARD)*** تا زمانی که ولتاژ اعمال شده کمتر از ولتاژ V_γ باشد، (V_γ برای دیود ژرمانیم حدود ۰/۳ و برای دیود سیلیسیم حدود ۰/۶ ولت) به علت زیاد بودن مقاومت دینامیک دیود و عدم تخلیه ولتاژ سد، در محل اتصال ***P*** و ***N*** ولتاژی ایجاد شده و جریان بسیار کم می باشد و در ازای ولتاژهای بیش از V_γ به علت کم شدن مقاومت دینامیکی دیود، جریان به شدت با تغییر ولتاژ بالا می رود. در حالت معکوس ***(REVERSE)*** ، با توجه به منحنی، ابتدا جریان بسیار ناچیز ***(I_S)*** و تقریبا مستقل از ولتاژ می باشد و به ازاء ولتاژ معکوس بیش از V_Z (ولتاژ شکست) جریان دیود به سرعت افزایش می

یابد، و اگر اعمال این ولتاژ ادامه یابد و توان مصرف شده از توانی که دیود قابلیت تحمل آنرا دارد بیشتر شود باعث سوختن دیود می شود. به همین علت دیودهای معمولی برای چنین شرایطی به کار نمی روند بلکه از دیود زنر که به منظور استفاده ناحیه *REVERSE* ساخته شده استفاده می شود.

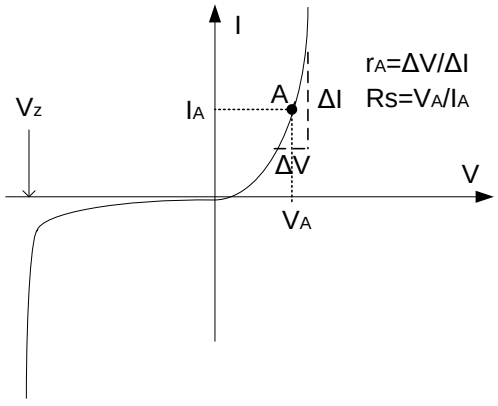
تعیین قطب های دیود: با توجه به توضیحات داده شده که مقاومت دیود در حالت بایاس مستقیم بسیار کم و در حالت بایاس معکوس بسیار زیاد است، می توان قطب های دیود را مشخص نموده و سالم و یا معیوب بودن آن را آزمایش کرد. برای این کار به کمک یک اهم متر مقاومت دیود در دو جهت مختلف اندازه گیری می شود. در صورتی که دیود سالم باشد دو مقدار بسیار متفاوت نشان داده خواهد شد. در صورتی که مقاومت کم نشان داده شود بایاس مستقیم بوده و قطب مثبت اهم متر (اتصال سیم قرمز در اهم متر الکترونیکی و اتصال سیاه در اهم مترهای معمولی یا آومتر) به *P* و قطب منفی به *N* وصل است.

۱- سالم بودن دیودهائی که به شما داده شده است به وسیله اهم متر کنترل نمائید و قطب های هر یک را مشخص نمائید.

مقاومت دیود:

الف- مقاومت استاتیک: مقاومت استاتیک در یک نقطه عبارت است از حاصل تقسیم اختلاف ولتاژدو قطبی به شدت جریان آن. در شکل (۳) مقاومت استاتیک در نقطه *(A)* با رابطه $R_S = \frac{V}{I}$ مشخص می شود.

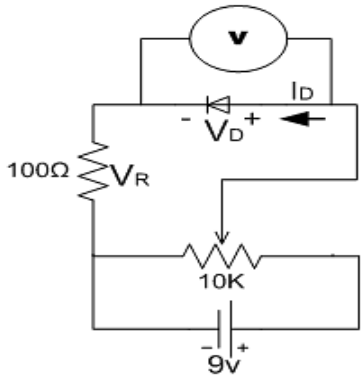
ب- مقاومت دینامیک: مقاومت دینامیک حاصل تقسیم جزئی ولتاژ (ΔV) به تغییرات جزئی جریان (ΔI) در حوالی نقطه کار می باشد . $r_A = \frac{\Delta V}{\Delta I}$



شکل ۳ مقاومت دینامیک واستاتیک

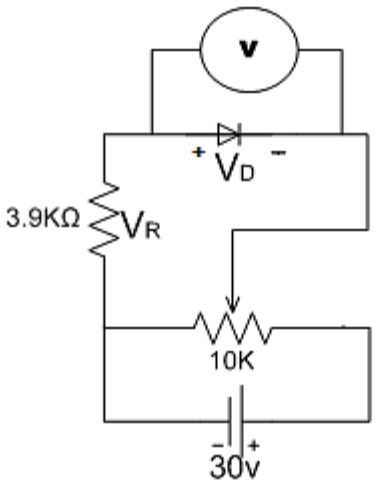
۲- مداری مطابق شکل ۴ ببندید. این مدار را اتصال مستقیم *(FORWARD)* می نامند. با تغییر جریان مدار به وسیله پتانسیومتر مقادیر خوانده شده در جدول مربوط به تغذیه مستقیم را اندازه گیری کرده و جدول ۱ را کامل کنید. سپس منحنی تغییرات جریان دیود را نسبت به ولتاژ آن رسم نمایید.

جریان دیود را از تقسیم ولتاژ V_R مقاومت R_1 به دست آورید.



شکل ۴

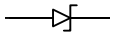
۳- برای رسم منحنی مشخصه دیود معمولی در حالت معکوس مدار شکل ۵ را ببندید.



شکل ۵

با تغییر پتانسیومتر مقادیر خواسته شده را در جدول اندازه گیری کنید و جدول ۲ را کامل نمائید. نتایج را روی کاغذ میلی متری رسم کنید. جریان دیود را از تقسیم ولتاژ مقاومت $R' = 3.9k\Omega$ بر آن به دست آورید.

۴-در صورتی که مقاومت R در مدار شکل ۴ و R' در شکل ۵ قرار داده نشود چه اشکالی پیش می آید؟ چرا مقاومت این دو مدار متفاوت در نظر گرفته شده است؟

دیود زنر: دیود زنر در جهت مستقیم شبیه دیود معمولی عمل می کند ولی در جهت معکوس وقتی به ولتاژ شکست برسد ولتاژ خروجی تقریباً مستقل از جریان گشته و ثابت می ماند. این خاصیت دیود زنر در تنظیم ولتاژ به کار می رود. بنابراین به عنوان تنظیم کننده باید کاتد نسبت به آند مثبت باشد. (تغذیه معکوس در مدار تنظیم کننده) در مدارهای الکتریکی دیود زنر را به صورت  نشان می دهند.

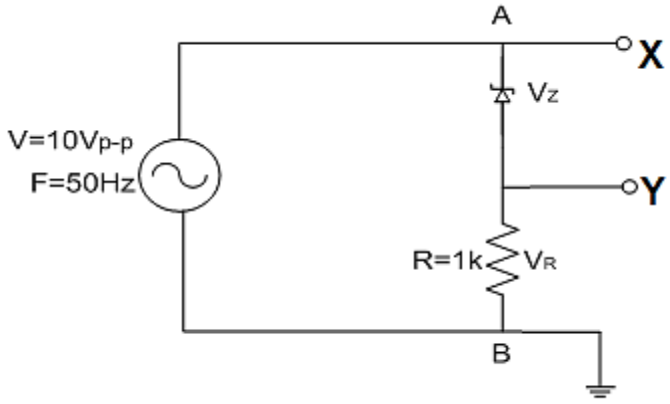
۵- در مدار شکل ۵ یک دیود زنر قرار داده و قسمت قبل را برای اعداد داده شده در جدول ۳ تکرار نمائید.

۶- به کمک منحنی های به دست آمده مقادیر V_γ و I_S مربوط به دیودهای داده شده را تعیین کرده و ولتاژ شکست دیود زنر را تعیین کنید.

۷- اگر ولتاژ نقطه کار $V=0.7V$ باشد از روی منحنی رسم شده مقاومت استاتیک و دینامیک دیود معمولی را تعیین کنید.

- مشاهده منحنی مشخصه دیود زنر روی صفحه اسیلوسکوپ:

مداری مطابق شکل ۶آماده نمائید. نقاط A و B را به ورودی های X و Y اسیلوسکوپ وصل کنید با ترکیب سیگنال های ورودی اسیلوسکوپ منحنی مشخصه استاتیک دیود را در روی صفحه اسیلوسکوپ مشاهده نمائید. شکل دیده شده را روی محورهای مدرج رسم کنید و با منحنی ترسیم شده در قسمت ۲ و ۳ مقایسه کنید. V_γ و V_Z را از روی شکل چگونه تعیین می کنید.



شکل ۶

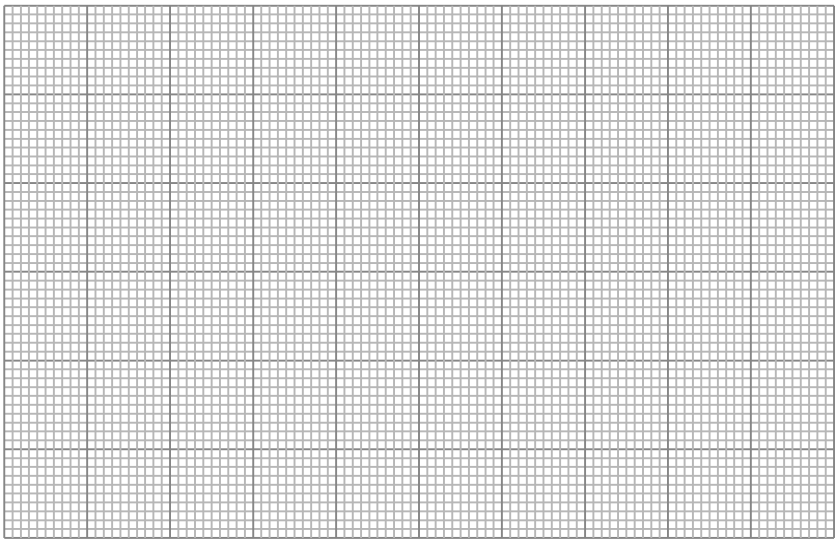
۸- نحوه کار مدار در شکل ۶ را توضیح دهید.
۹- نحوه تست دیود توسط مولتی مترهای آنالوگ یا دیجیتال را شرح دهید.
۱۰- موارد استعمال دیود زنر را بیان کنید.

گزارش آزمایش شماره ۱، اسیلوسکپ اشعه کاتدی

نام و نام خانوادگی:

شماره دانشجویی:

نمودار ۱

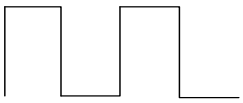
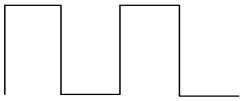
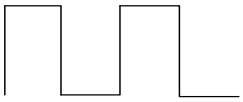
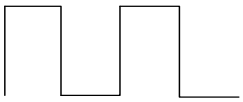


گزارش آزمایش شماره ۲

نام و نام خانوادگی:

شماره دانشجویی:

جدول ۱

فرکانس	شکل ولتاژ V_{AB}	شکل ولتاژ V_{BC}	شکل ولتاژ منبع
250 Hz			
2500 Hz			
5 KHz			
15 KHz			

$\tau =$ از راه محاسبه

$\tau =$ از راه آزمایش

= خطای نسبی

مقاومت (اهم)	منحنی
۱۰۰	
۳۳۰	
۴۷۰۰	
۱۰۰۰۰	

از طریق محاسبه $L=?$

از طریق آزمایش $L=?$

گزارش آزمایش شماره ۳، فیلترها

نام و نام خانوادگی:

شماره دانشجویی:

نکات مهم:

قبل از شروع آزمایش از سالم بودن اسیلوسکوپ و اسیلاتور و سیم های رابط اطمینان حاصل نمایید:

در هر جدول، ستون (سطر) طوسی رنگ، به «عنوان» و «واحد» اندازه گیری اختصاص دارد که بایستی طبق تشخیص خودتان ان را پر نمایید

در هر نمودار بایستی عنوان نمودار، عنوان محورها، واحد اندازه گیری و تقسیم بندی مشخص باشد.

برای کشیدن نمودار، بازه مناسب را، پس از تکمیل جدول مربوطه انتخاب کنید.

به نقاط رسم شده در نمودار منحنی فیت نکنید! نقاط را فقط با خط راست به هم متصل نمایید.

جدول ۱

جدول ۲

جدول ۳

جدول ۴

گزارش آزمایش شماره ۴رسم منحنی مشخصه دیود ها

نام و نام خانوادگی:

شماره دانشجویی:

جدول ۱

$V_R(V)$	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1	1.2	1.5	2	2.5	3
V_D												
I_D												

جدول۲

$V_D(V)$	1	2	3	5	7	9	11	15	20	25
V_R										
I_D										

جدول ۳

$V_R(V)$	0.5	1	1.5	2	2.5	3	5	7	9	11	15	20	25
V_Z													
I_Z													