بسمه تعالی

دانشکده برق و کامپیوتر

دستور کارآزمایشگاه

اندازه‌گیری و مدار

رشتهٔ برق و کامپیوتر

تهیه کننده : مجتبی خیرخواه

آزمایش اول

خواندن مقاومتها

قبل از ورود به آزمایشگاه و انجام آزمایش ضمیمهٔ الف را مطالعه نمایید .

۱- خواندن مقدار مقاومت از طریق نوارهای رنگی

مقدار هر یک از مقاومتهایی که در اختیار دارید از طریق نوارهای رنگی بدست آورید ودر جدول زیر یادداشت کنید.

	رنگها	رنگ خطا	مقدار
R1			
R2			
R3			
R4			

۲- خواندن مقدار مقاومت با استفاده از اهم متر

مقدار هر یک از مقاومتها را با استفاده از اهم متر دیجیتال بدست آورید و در جدول زیر درج نمایید .مقدار خطا تفاضل مقدار خوانده شده با نوارهای رنگی و مقدار خوانده شده با مالتی متر است.بررسی کنید مقدار خطا در رنج حلقه رنگی خطا وجود دارد یا نه.

	اهم متر دیجیتال		مقدار خطا
R1			
R2			
R3			
R4			

۳- مقاومت متغیر با دما

مقاومتهایی که با افزایش دما مقاومتشان زیاد می شود را PTC و آنهایی را با افزایش دما مقاومتشان کم می شود را NTC می نامند . اکنون با استفاده از اهم متر دیجیتال مقدار مقاومت متفیر با دما را در دمای اتاق اندازه بگیرد سپس با گرمای دست خود آنرا گرم کنید و رون تغییر مقاومت را ببینید وسپس نوع آنرا مشخص کنید .

۴-ولوم(پتانسیومتر)

ولومی را که در اختیار دارید روی برد برد قرار دهید وبا تغییرولوم و اندازه گیری مقاومت سرهای آن، مقدار مقاومت کل و محدوده تغییر مقاومت سر وسط را نسبت به سرهای ثابت را اندازه گیری کنید..

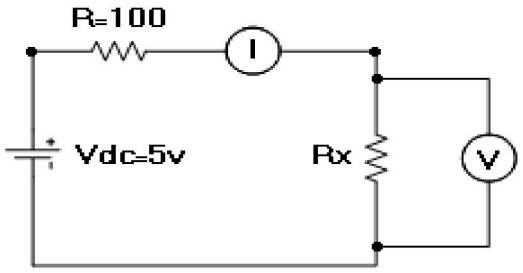
۵- خواندن مقدار خازن

مقادیر خازنهای را که در اختیار دارید را بدست آورید و در جدول زیر یادداشت کنید . عدد شاخص عددی است که روی خازن نوشته شده است و مقدار آنرا مشخص میکند.

	عدد شاخص	مقدار خازن	مقدار خطا
C1			
C2			
C3			
C4			

۶- روش ولت _ آمپری

مدار زیر را ببندید و با گذاشتن هر یک از مقاومتهای مجهول بجای مقاومت Rx و خواندن ولتاژ و جریان آن ، مقدار مقاوت را بدست آورید و در جدول یادداشت کنید . به وضعیت پروپ های مالتی متر دقت داشته باشید.اگر مالتیمتر شما در حالت آمپر متر باشد و شما با آن ولتاژ اندازه بگیرید به علت کم بودن مقاومت داخلی امکان سوختن فیوز دستگاه وجود دارد.



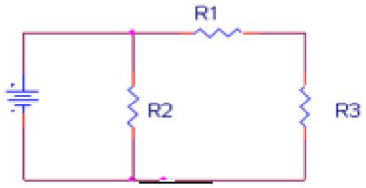
	ولتاژ	جریان	V/I	خطا
R1				
R2				
R3				
R4				

آزمایش دوم

ولت متر و آمپر متر DC

آزمایش ۲-۱- اندازه گیری ولتاژ مستقیم

با بستن مدار زیر و مطابق جداول اندازه گیری ولتاژ را با ولت متر عقربه ای و دیجیتال انجام دهید .



R1=2.2K R2=1K R3=1.5K

در مورد مقدار خطای موجود در هر یک از این جداول توضیح دهید .***به وضعیت پروپ های مالتی متر دقت کنید.***

	ولتاژ منبع تغذیه							
	1v	2v	3v	5v	8v	10v	12v	15v
V_{R_1}								
V_{R_2}								
V_{R_3}								

جدول آزمایش ۲-۱- اندازه گیری ولتاژ مستقیم با ولت متر عقربه ای

	ولتاژ منبع تغذیه							
	1v	2v	3v	5v	8v	10v	12v	15v
V_{R_1}								
V_{R_2}								
V_{R_3}								

جدول آزمایش ۲-۱- اندازه گیری ولتاژ مستقیم با ولت متر دیجیتال

آزمایش ۲-۲- اندازه‌گیری جریان مستقیم

با بستن مدار آزمایش قبل و مطابق جداول زیر ، اندازه گیری جریان را با مالتی متر عقربه ای و دیجیتال انجام دهید . برای اندازه گیری جریان هر مقاومت ، آمپرمتر بصورت سری با آن قرار می گیرد .***به وضعیت پروپ های مالتی متر دقت کنید.***

با مقایسهٔ مقادیر در دو جدول در مورد تفاوت آنها و خطای موجود توضیح دهید .

	ولتاژ منبع تغذیه								
	1v	2v	3v	5v	8v	10v	12v	15v	
I_{R_1}									
I_{R_2}									
جدول آزمایش ۲-۲- اندازه گیری جریان مستقیم با آمپرمتر عقربه ای									

	ولتاژ منبع تغذیه								
	1v	2v	3v	5v	8v	10v	12v	15v	
I_{R_1}									
I_{R_2}									
جدول آزمایش ۲-۲- اندازه گیری جریان مستقیم با آمپرمتر دیجیتال									

آزمایش سوم

آشنایی با اسیلوسکوپ

۳-۱- خواندن دامنه ولتاژ توسط اسیلوسکوپ

ابتدا اسکوپ را روشن نمایید و سپس منتظر بمانید تا خط اشعه روی صفحه ظاهر گردد . کانال یک را انتخاب نموده و سپس با قرار دادن کلید کوپلینگ این کانال در وضعیت GND و با استفاده از ولوم Position عمودی خط اشعه را روی خط وسط صفحه اسکوپ قرار دهید .

۳-۱-۱- با توجه به وضعیت سه کلید اسکوپ که در زیر آمده و با استفاده از مولد موج یک شکل موج سینوسی با دامنه دو ولت و فرکانس یک کیلو هرتز به کانال یک اسکوپ اعمال نمایید . با توجه به شکل ظاهر شده روی صفحه اسکوپ دامنه شکل موج را به صورت دقیق تنظیم نمایید . چگونگی انجام مراحل این کار را توضیح دهید .

Volt/Div=0.1v
Time/div=0.1 ms
Coupling → AC

اکنون دامنه شکل موج مولد موج را به ۵ ولت افزایش دهید . آیا با وضعیت کنونی سلکتور volt/div امکان مشاهده و تنظیم شکل موج وجود دارد ؟ برای رفع این مشکل چه باید کرد ؟

برای ادامه کار وضعیت کلیدهای اسکوپ ودامنه شکل موج را به حالت آزمایش اول برگردانید .

۳-۱-۲- وضعیت ولوم کالیبراسیون ولتاژ کانال یک را تغییر دهید . با تغییر ابن ولوم چه تغییری در شکل موج روی صفحه اتفاق می افتد . آیا در این حالت می توان دامنه شکل موج را بدرستی اندازه گرفت ؟

ولوم را به حالت کالیبره برگردانید و سپس آنرا در حالت Pull قرار دهید (بیرون بکشید) . تغییرات شکل موج روی صفحه را توضیح دهید . اکنون ولوم را به حالت اولیه برگردانید .

۳-۱-۳- برای ادامه آزمایش کلید کوپلینگ را در وضعیت DC قرار دهید . اکنون با استفاده از ولوم dc-offset مولد موج به اندازه یک ولت مقدار dc به شکل موج اضافه نمایید . چگونگی انجام کار را توضیح دهید . به عبارت دیگرتوضیح دهید چگونه توسط اسکوپ میتوان مقدار dc شکل موج را اندازه گیری کرد ؟

در ادامه ، کلید کوپلینگ را در حالت AC قرار دهید . اکنون وضعیت شکل موج چگونه است ؟

۳-۲- اندازه‌گیری دوره تناوب و فرکانس توسط اسیلوسکوپ

۳-۲-۱- دوره تناوب شکل موج اعمال شده به اسکوپ را به صورت دقیق اندازه‌گیری نمایید و سپس با استفاده از این مقدار فرکانس شکل موج را بدست آورید . آیا این مقدار با مقدار تنظیم شده روی مولد موج یکسان است ؟ در صورت وجود خطا بین این دو ، علت وجود آنرا بیان کنید . آیا مقدار تنظیم شده روی مولد موج معتبرتر است یا مقدار خوانده شده از روی صفحه اسکوپ توسط شما ؟ برای کاهش خطا توسط اسکوپ برای اندازه گیری دوره تناوب چه پیشنهادی دارید ؟ به صورت عملی پیشنهادات خود را آزمایش کنید .

۳-۲-۲- ولوم swp-var (ولوم کالیبراسیون محور افقی) را از حالت کالیبراسیون خارج کنید . با تغییر این ولوم چه تغییراتی روی شکل موج اعمال می‌شود ؟ آیا دراین حالت می‌توان دوره تناوب را بدرستی اندازه گرفت ؟

ولوم کالیبراسیون را به حالت اولیه برگردانید و سپس ولوم position افقی را در حالت pull قرار دهید . در این حالت دوره تناوب را اندازه‌گیری نمایید . چه تغییری در مقدار اندازه‌گیری پدید آمده است ؟ توضیح دهید .

۳-۳- تریگر کردن (تطبیق)

اگر شکل موج در حال نمایش ورودی ، روی صفحه اسکوپ به صورت ثابت و بدون حرکت باشد اصطلاحا" به این حالت ، حالت تریگر و یا تطبیق می‌گوییم . در این حالت فرکانس و نقطه شروع شکل موج دندانه‌اره‌ای به گونه‌ای است که شکل موج اعمال شده به اسکوپ به صورت ثابت نمایش داده می شود . البته برای فهم بهتر این مطلب می‌توانید به قسمت ۵-۲۲ ضمیمه اول این جزوه مراجعه کنید .

۳-۳-۱- ابتدا ولوم position افقی را آنقدر تغییر دهید تا بتوانید ابتدای شکل موج را ببینید . در این حالت با تغییر ولوم Level تغییرات شکل موج را مشاهده کنید . در همین حالت این ولوم را تغییر دهید تا شکل موج از حالت ایستا خارج شود . توضیح دهید که چه موقع (با توجه به نقطه شروع شکل موج) شکل موج از حالت ثابت خارج می‌شود ؟
ولوم Level را حرکت دهید تا شکل موج به صورت ثابت نمایش داده شود سپس همین ولوم را در حالت pull قرار دهید . چه تغییری در نمایش شکل موج بوجود آمده است ؟

۳-۳-۲- کلید source را در حالت Ext قرار دهید اکنون نمایش شکل موج چگونه است ؟ آیا با تغییر ولوم Level شکل موج ثابت می‌شود ؟ چرا ؟
اکنون با استفاده از پروپ اضافی(پروپ کانال ۲) که در اختیار دارید شکل موج مولد را همزمان به ورودی Ext اعمال نمایید و سپس با تغییر ولوم Level شکل موج را ثابت کنید . علت ثابت شدن شکل موج چیست ؟ توضیح دهید .

۳-۴- نمایش همزمان دو شکل موج

۳-۴-۱-وضعیت کلیدهای اصلی هر دو کانال را همانند حالتی که در آزمایش اول آمده است قرار دهید و سپس خروجی مولد موج را به پروپهای هر دو کانال اعمال کنید . در مرحله بعد کلید MODE را در وضعیت ALT قرار دهید . با تغییر ولوم Position عمودی یکی از کانالها ، سعی کنید دو شکل موج را به صورت مجزا روی صفحه ببینید . فکر میکنید چگونه اسیلوسکوپ با وجودن داشتن فقط یک لامپ اشعه کاتدی می‌تواند دو شکل موج را به صورت همزمان نمایش دهد .

۳-۴-۲-فرکانس مولد موج تا حدود ۴۰ هرتز تنظیم کنید آیا نمایش همزمان دو شکل موج به صورت مناسب انجام می‌شود ؟ با تغییر وضعیت کلید MODE و قرار دادن آن در حالت CHOP ، آیا کیفیت نمایش شکل موجود بهتر می‌شود ؟
در این مرحله فرکانس مولد موج را تا ۲۰ KHz تنظیم کنید . با تغییر سلکتور Time/Dive سعی کنید سه یا چهار سیکل از شکل موج روی صفحه نمابش داده شود و در مرحله بعد با کمی تغییر ولوم فرکانس مولد موج مشاهده می‌کنید که شکل موجهای نمایش داده شده توسط اسکوپ به صورت گسسته ظاهر می‌شوند ، علت این امر را توضیح دهید .
در همین حالت با تغییر حالت کلید MODE به وضعیت ALT چگونگی نمایش را مشاهده کنید . با توجه به آزمایشات انجام شده آیا می‌توانید بگویید که هر یک از موارد ALT و CHOP برای چه حوزه‌ای از فرکانس مناسب می‌باشند ؟ توضیح دهید .

۳-۴-۴- برای این آزمایش زمین هر دو کانال را در وسط صفحه اسکوپ تنظیم کنید(با استفاده از ولوم position) و سپس کلید کوپلینگ هر دو کانال را د رحالت AC قرار دهید . در این حالت باید دو شکل موج بر روی هم منطبق باشند . اکنون کلید MODE را در وضعیت ADD قرار دهید در این وضعیت نمایش شکل موج چگونه است ؟
بدون تغییر در وضعیت کلیدها ، ولوم Position کانال دو را بیرون بکشید (Pull) در باره مشاهدات خود توضیح دهید.
در ادامه آزمایش به صورت عملی در مورد کلید INT TRG تحقیق کنید و در مورد کاربرد آن توضیح دهید .

به موارد زیر هنگام کار با اسیلوسکوپ دقت داشته باشید:

- در صورتیکه پروپ شما کلید X10 نداشته باشد پروپ شما X10 است.
- کلید X10 پروپ فقط در اندازه گیری ولتاژ تاثیر دارد و دراندازه گیری زمان تاثیری ندارد.
- اگر روی صفحه اسیلوسکوپ شکل موجی دیده نمیشود ابتدا ولوم INTENSITY را در حالت ماکزیمم قرار دهید. سپس کلید کوپلینگ کانال مربوطه را روی GND قرار داده و با استفاده از ولوم POSITION کانال مربوطه زمین اسیلوسکوپ را در وسط صفحه تنظیم کنید. سپس کلید کوپلینگ را روی حالت AC قرار داده و با استفاده از سلکتورهای TIME/DIV , VOLT/DIV سعی کنید شکل موج را در صفحه اسیلوسکوپ جا دهید.
- زمین های هر دو کانال به یکدیگر وصل هستند در نتیجه قرار دادن تنها یک زمین در مدار کفایت میکند.
- اگر پروپ شما سیم اتصال زمین ندارد از کانکتور زمین روی اسکوپ برای اتصال زمین استفاده کنید.
- در صورتیکه زمین اسکوپ شما وصل نباشد احتمالا سیگنال نویز برق شهر روی سیگنال اندازه گیری شده سوار میشود. در چنین حالاتی سیگنال نمایش داده شده توسط اسیلوسکوپ ممکن است اعوجاج داشته باشد.

آزمایش چهارم

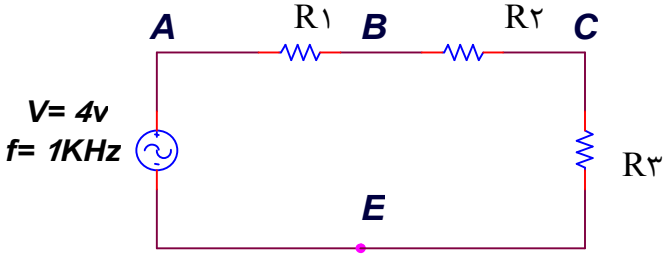
آشنایی با اسیلوسکوپ

در این آزمایش با بعضی از کاربردهای اسیلوسکوپ در اندازه گیری کمیتهای مختلف آشنا می‌شویم .

۱- اندازه‌گیری ولتاژ

با توجه به شکل ۱ و مقادیر داده شده برای مقاومتهای مدار و همچنین ولتاژ و فرکانس ورودی آزمایشهای زیر را انجام دهید .مقدار مقاومتها را قبل از قرار دادن درمدار با مالتی متر تست کنید.

۱- ۱- با استفاده ازکانال ۱ اسکوپ ولتاژهای ذکر شده در زیر را جداگانه اندازه‌گیری نمایید وسپس با استفاده از قوانین مدار ، صحت مقادیر بدست آمده را بررسی کنید . (R1=2.2K , R2=1K , R3=2.2K)



$V_{AB} =$

$V_{BC} =$

$V_{CE} =$

شکل (۱)

۱-۲ – حال با استفاده از هر دو کانال اسکوپ ، هر یک از زوج ولتاژهای زیر را به صورت همزمان روی صفحه اسکوپ در صورت امکان نمایش دهید و مقادیر دامنه آنرا اندازه‌گیری کنید و با مقادیر بدست آمده از آزمایش قبل مقایسه نمایید . آیا این مقادیر با هم مساوی هستند ؟ در صورت وجود اختلاف ، دلیل آنرا بیان کنید .

$V_{AB} =$	$V_{BC} =$	$V_{AB} =$
$V_{BC} =$	$V_{CE} =$	$V_{CE} =$

آیا امکان نمایش همزمان هر یک از موارد بالا روی صفحه اسکوپ وجود دارد ؟ چرا ؟

ورودی تغذیه از برق شهر اکثر دستگاههای الکترونیک دارای سه سیم یا اتصال فاز ، نول و اِرت می‌باشد . اتصال اِرت هر دستگاه به بدنه دستگاه و زمین یا مبنای صفر ولتاژ داخلی دستگاه متصل است مثلا برای اسیلوسکوپ ، اِرت دستگاه به بدنه اسکوپ و همچنین مبنای صفر اسکوپ و زمین هر یک ازپروپها متصل می‌باشد . از طرفی دیگر اِرت هر دستگاه از طریق کابل تغذیه به اِرت شبکه برق آزمایشگاه واز طریق آن نیز به چاه اِرت متصل می‌باشد . در این صورت زمینهای همه دستگاههای موجود در آزمایشگاه از طریق سیم اِرت بهم متصل هستند . اکنون با توجه به این توضیحات می‌خواهیم با یک آزمایش ساده تاثیر اِرت در اندازه‌گیری ولتاژ در یک مدار توسط اسکوپ را مشاهده کنیم .

سؤال : فایده وجود سیم اِرت در شبکه برق چیست ؟

۱-۳- ابتدا اسکوپ را خاموش کنید سپس کابل تغذیه اسکوپ را از پریز اول جدا کرده و به پریز دیگری منتقل کنید . لازم به ذکر است که پریز اول به شبکه اِرت متصل نیست که با برچسب WITHOUT EARTH مشخص شده است

ولی سایر پریز ها دارای ارت است . اکنون اسکوپ را روشن کرده و V_{AB} را اندازه گیری کنید .اسکوپ و فانکشن باید هر دو به پریز ارت دار متصل باشند. مقادیر فعلی را با مقادیر بدست آمده از آزمایش ۱ مقایسه کنید . در صورت وجود اختلاف دلیل آنرا بیان نمایید .روشی پیشنهاد کنید که در این حالت بتوانیم V_{AB} را بطور صحیح روی صفحه اسکوپ ببینیم.پس از پایان این آزمایش اسکوپ را دوباره به پریز بدون ارت وصل کنید.

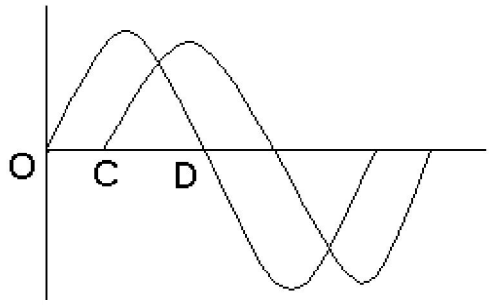
۲- اندازه‌گیری اختلاف فاز

برای اندازه‌گیری اخلاف فاز توسط اسکوپ می‌توان از دو روش اختلاف زمانی بین دو سیگنال و اَشکال لیساجوس استفاده کرد . در شکلهای زیر چگونگی استفاده از این دو روش آمده است :

روش ۱:

$\alpha=[OC/OD]*180$

شکل (۲)



OC : تفاوت زمانی بین نقطه شروع دو شکل موج

OD : مقدار زمانی نیم پریود هر یک از دو شکل موج

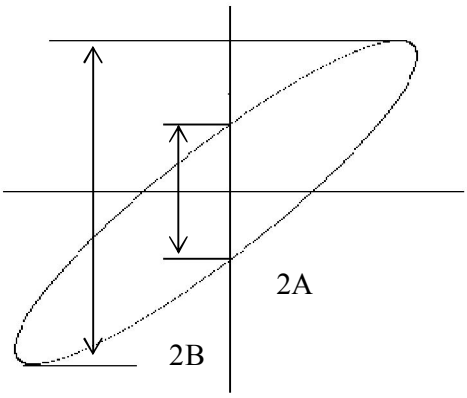
در این روش:

- در این روش باید زمین هر دو کانال بر هم منطبق باشد
- کلید INT TRIG نباید در حالت VERT MODEباشد.

شکل (۳)

روش ۲:

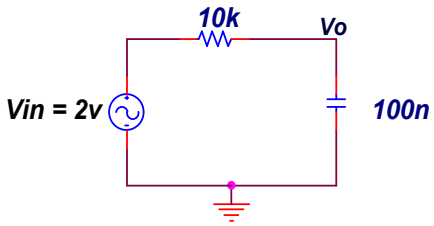
کلید کوپلینگ هر دو کانال را در حالت GND قرار داده و سلکتور TIME/DIV را در حالت X-Y قرار دهید ، نقطه نورانی را وسط صفحه اسکوپ قرار دهید.



$$\alpha = ArcSin\frac{2A}{2B}$$

سؤال – آیا می‌توانید روابط داده شده در بالا را اثبات کنید ؟

۲-۱- با توجه به مدار شکل زیر و برای هر یک از فرکانسهای داده شده وبا استفاده از دوروش ذکر شده اختلاف فاز بین ورودی Vin و خروجی Vo را در فرکانسهای ۵۰،۱۰۰،۱۵۰ هرتز بدست آورید . کدام یک از این دو روش دقیقتراست . توضیح دهید .

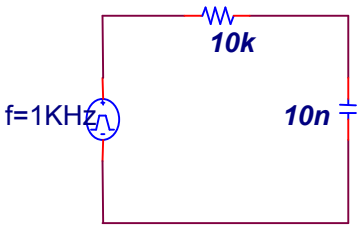


پاسخ مدارهای درجهٔ اول به ورودی سینوسی و پله

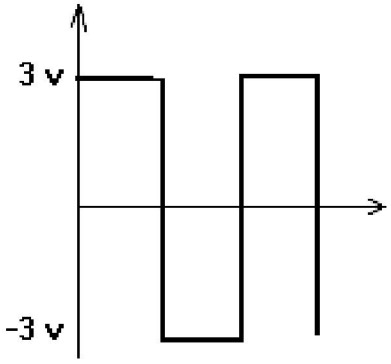
قبل از انجام آزمایش ضمیمهٔ ج را حتماً مطالعه کنید .

آزمایش ۵-۱- پاسخ مدار RC به ورودی پله

الف – مدار شکل ۵-۱ را ببندید . یک پالس مربعی مطابق شکل ۵-۲ با مشخصات ذکر شده در مدار به آن اعمال نمایید سپس با اتصال کانال ۱ اسکوپ به ورودی و کانال ۲ اسکوپ به خروجی و با مشاهده همزمان دو شکل موج جدول ۵-۱ را تکمیل نمایید .



شکل ۵-۱- مدار RC



شکل۵- ۲ – شکل موج مربعی

		مقدار ولتاژ پاسخ خروجی (Vc)					
	τ	t=0	t=τ	t=2τ	t=3τ	t=4τ	t=5τ
عملی							
تئوری							

جدول ۵-۱

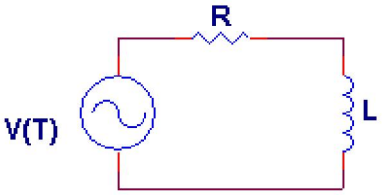
آزمایش ۵-۲ – پاسخ مدار RC به ورودی سینوسی

در این آزمایش پاسخ فرکانسی یا همان H(jw) را برای مدار RC را بدست می آوریم اندازه پاسخ فرکانسی از نسبت دامنه خروجی به دامنه ورودی به دست می آید و فاز پاسخ فرکانسی را از اندازه گیری اختلاف فاز ورودی و خروجی به دست می آوریم.این روش را برای بدست آوردن پاسخ فرکانسی مدارهای درجه دو نیز در آزمایش بعدی به کار خواهیم برد.مدار شکل ۵-۱ را ببندید. یک موج سینوسی با دامنهٔ ۳ ولت به ورودی اعمال نمایید سپس با اتصال کانال ۱ اسکوپ به ورودی(ولتاژ منبع) و کانال ۲ اسکوپ به خروجی (Vc) و با مشاهده همزمان دو شکل موج جدول ۵-۳ را تکمیل نمایید .در جدول زیر θ اختلاف فاز ولتاژ منبع و ولتاژ خازن است و Vc دامنه ولتاژ خازن است.

	F(khz)	نتایج آزمایش		نتایج محاسبات تئوری	
		V_c	θ	Vc	θ
جدول ۵-۳ پاسخ مدار RC به ورودی سینوسی	0.1				
	0.3				
	0.5				
	1				
	3				
	5				
	10				
	15				
	20				
	30				
	50				

تغییرات ولتاژ و فاز بر حسب فرکانس را بصورت جداگانه رسم کنید . با توجه به شکل منحنی، دو سر خازن در این مدار به صورت فیلتر بالا گذر عمل می‌کند یا فیلتر پایین‌گذر ؟ دو سر مقاومت چطور ؟ توضیح دهید .

آزمایش ۵-۳- پاسخ مدار RL به ورودی سینوسی



مدار شکل روبرو را ببندید . یک موج سینوسی با دامنهٔ ۳ ولت به ورودی اعمال نمایید سپس با اتصال کانال ۱ اسکوپ به ورودی و کانال ۲ اسکوپ به خروجی(V_L) و با مشاهده همزمان دو شکل موج جدول ۵-۴ را تکمیل نمایید .در صورتیکه شکل موج خروجی دارای اعوجاج است اندازه گیری اختلاف فاز لازم نیست فقط ذکر کنید که خروجی دارای اعوجاج است.(R=1k,L=15mH)

	F(khz)	نتایج آزمایش		نتایج محاسبات تئوری	
		V_L	θ	V_L	θ
جدول ۵-۴ پاسخ مدار RL به ورودی سینوسی	0.5				
	1				
	3				
	5				
	10				
	15				
	20				
	30				
	50				
	75				
	100				

تغییرات ولتاژ و فاز بر حسب فرکانس را بصورت جداگانه رسم کنید . با توجه به شکل منحنی، دو سر مقاومت در این مدار به صورت فیلتر بالا گذر عمل می‌کند یا فیلتر پایین‌گذر ؟ دو سر سلف چطور ؟ توضیح دهید .

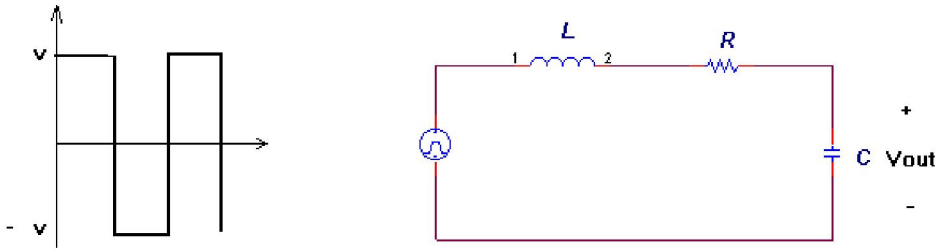
- با افزایش فرکانس از ۵۰ KHz تا ۵۰۰ KHz آیا حالت غیر عادی در مدار مشاهده می‌کنید ؟ در صورت مشاهده در مورد دلائل آن توضیح دهید .

پاسخ مدار RLC به ورودی پله و سینوسی

قبل از انجام آزمایش ضمیمهٔ مربوط به این قسمت را مطالعه نمایید

آزمایش ۶-۱- پاسخ مدار RLC سری به ورودی پله

مدار RLC سری شکل ۶-۱ را ببندید . ورودی مدار که یک موج مربعی طبق شکل ۶-۱ می‌باشد(را به مدار اعمال نمایید . و مراحل زیر را با دقت انجام دهید .فرکانس ورودی ۶۰۰هرتز و دامنه ۲ ولت است.



شکل ۶-۱- مدار آزمایش و شکل موج ورودی

الف – با تغییر مقاومت R(مقادیر مورد نیاز را میتوانید با ترکیب سه مقاومت ۱۰۰ اهم و دو مقاومت ۱ کیلو اهم بسازید و سلف ۷.۵ میلی هانری از موازی کردن دو سلف ۱۵ میلی هانری بدست میآید) طبق جدول ۶-۱ پارامترهای خواسته شده درجدول را اندازه گرفته و یادداشت کنید .مقادیر t_s ، M_p و ω_dرا با استفاده از شکل خروجی بدست آورید و سایر مقادیر خواسته شده را با توجه به این سه مقدار حساب کنید.

ب – مقدار مقاومت Rرا برای حالت بحرانی بدست آورید و آنرا با مقدار محاسبه شده از روابط تئوریک مقایسه کنید علت تفاوت احتمالی این دو مقدار را بنویسید .

$C(nF)$	$L(mH)$	$R(\Omega)$	$T_d(\mu s)$	$M_p(v)$	$t_s(ms)$	ω_d	α	حالت میرایی
47	۷.۵	50						
		100						
		200						
		300						
		500						
		600						

جدول۶-۱- نتایج آزمایش مدار RLC سری به ورودی پله

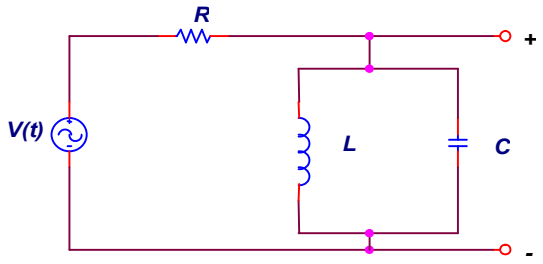
ج – با صفر کردن مقدار مقاومت R ، یک مدار LC خواهیم داشت در این حالت رفتار مدار چگونه است ؟

چون L و C بکار رفته در مدار ایده‌آل نیست مدار باز هم دارای مقاومت معادل r می‌باشد . مقدار این مقاومت را بدست آورید .

مقدار بدست آمده برای مقاومت معادل با اختلاف مقاومت بحرانی بدست آمده ازروابط تئوریک و مقاومت بحرانی بدست آمده از آزمایش را مقایسه کنید .

آزمایش ۶-۲- پاسخ مدار RLC موازی به ورودی سینوسی

مدار شکل ۶-۳ را ببندید و یک ورودی سینوسی با دامنه ۴ ولت مطابق شکل به ورودی اعمال نمایید . خروجی و ورودی را همزمان توسط اسکوپ مشاهده کنید. (L=15mH و C=100nF وR=10K)



شکل ۶-۳- مدار RLC موازی (تشدید)

الف – با تغییر فرکانس طبق جدول زیر ، مقادیر خواسته شده را اندازه گرفته و در جدول درج نمایید .

توجه داشته باشید هنگام تغییر فرکانس ، دامنهٔ ورودی تغییر نکند و همچنین در هنگام اندازه‌گیری فاز به تقدم و یا تاخر فاز نیز توجه داشته و در جدول با علامت + و - مشخص کنید . اندازه پاسخ فرکانسی نسبت دامنه خروجی به دامنه ورودی است و زاویه پاسخ فرکانسی با اندازه گیری اختلاف فاز خروجی و ورودی بدست می آید.

پس از پر کردن جدول زیر منحنی تغییرات نسبت دامنهٔ ورودی و خروجی را بر حسب فرکانس رسم نموده و از طریق آن ، پهنای باند ، ضریب کیفیت و فرکانسهای قطع را بدست آورید .

دامنهٔ سیگنال ورودی ۴ ولت		نتایج تئوری			نتایج عملی		
		$\angle H(j\omega)$	$\lvert H(j\omega)\rvert$	V_o	$\angle H(j\omega)$	$\lvert H(j\omega)\rvert$	V_o
فرکانس مولد موج (KHz)	0.1						
	0.3						
	0.5						
	1						
	1.5						
	2						
	2.5						
	3						
	3.5						
	4						
	5						
	7						
	10						
	12						

ب- با تغییر پیوسته فرکانس ، فرکانس تشدید را بصورت دقیق بدست آورید و سپس مقدار آنرا با مقدار محاسبه شده از لحاظ تئوری مقایسه کنید . دلیل اختلاف احتمالی در چیست ؟

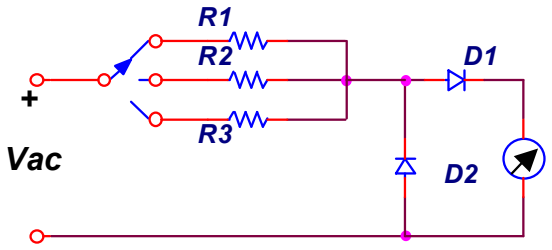
ج – ضمن ثابت نگهداشتن دامنهٔ سیگنال ورودی د رفرکانس تشدید ، دامنهٔ خروجی را اندازه بگیرید . آیا این مقدار با دامنهٔ محاسبه شده از طریق تئوری یکسان است ؟ چرا ؟

آزمایش هفتم

ولت متر AC

قبل از انجام این آزمایش برای یادآوری مطالب مربوط به ساختار و چگونگی عملکرد ولتمترهای AC لازم است به کتابهای مربوط به این موضوع مانند کتاب اندازه‌گیری الکتریکی ساونی مراجعه شود .

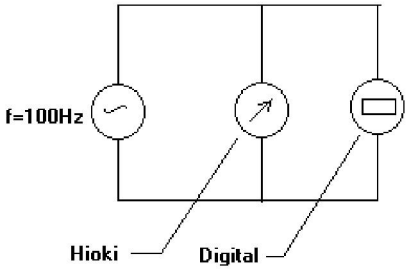
در شکل زیر ساختار یک ولت متر ساده AC را می بینید .



آزمایش ۷-۱- مقایسه چند ولتمتر AC

الف – دقت ولتمتر : یک موج سینوسی با دامنهٔ ۴ ولت به دو ولتمتری که دراختیار دارید متصل کنید. با مقایسهٔ مقادیر ولتمترها با مقادیر خوانده شده توسط اسکوپ ، در مورد دقت اندازه‌گیری هریک از این ولتمترها توضیح دهید .

خطای احتمالی هر یک از این دستگاهها ناشی از چیست ؟



شکل۷-۱

ب – رفتار ولتمترنسبت به شکل موجهاي ديگر :

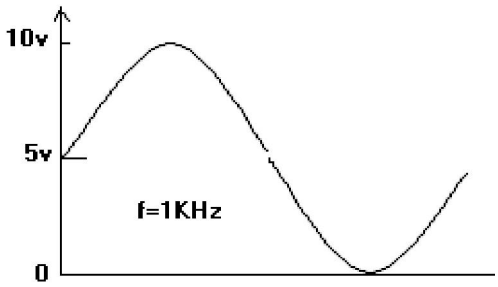
اکنون با ثابت نگهداشتن دامنهٔ ولتاژ روی ۴ ولت وبا تغییر نوع شکل موج ، جدول زیر را تکمیل کنید . در مورد مقادیر بدست آمده توضیح دهید .

	نوع ولتاژ اعمال شده به ولتمتر ها		
نوع ولتمتر	سینوسی	مثلثی	مربعی
دیجیتال			
Hioki			

ج – حساسیت نسبت به مقادیر DC : دراین آزمایش حساسیت یک ولتمتر AC را به مقدار DC بررسی میکنیم یک مؤثر سنج خوب معمولا نباید به مقادیر DC ورودی حساس باشد اکنون با اعمال یک ولتاژ ثابت ۲ ولت توسط

منبع تغذیهDC به هر یک از ولتمترها(درحالت AC) ، مقادیر نشان داده شده توسط هر یک را یادداشت کنید . کدام یک از ولتمترها از این نظر برتر است ؟

در ادامهٔ آزمایش یک ولتاژ سینوسی مانند شکل روبرو به هریک از ولتمترها اعمال کنید مقادیر اندازه‌گیری شده را یادداشت نمایید. آیا به درستی این مقادیر اطمینان دارید؟ در این مورد توضیح دهید .



شکل ۷-۲

د – **حوزهٔ فرکانسی** : بازه‌ای از فرکانس که ولتمتر AC مقادیر ولتاژ ورودی خود را با تقریب خوب به درستی نشان می‌دهد را حوزهٔ فرکانسی و یا پهنای باند ولتمتر می‌گوییم .

با توجه به شکل ۷-۱ وتنظیم دامنه شکل موج به اندازه ۴ ولت با تغییر فرکانس ورودی مطابق جدول زیر مقادیر ولتاژ را خوانده و در جدول یادداشت کنید . در گزارش کار خود منحنی تغییرات ولتاژ نسبت به فرکانس را برای هر دو ولتمتر در یک دستگاه مختصات ترسیم نمایید.

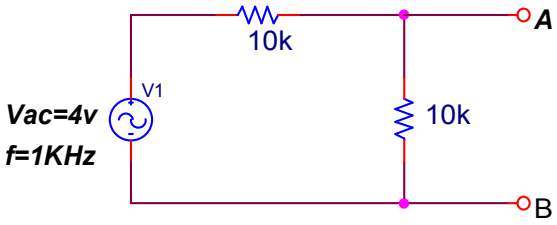
	فرکانس مولد موج Hz											
ولتمتر	10	50	100	500	1k	5k	10k	25k	100k	250k	500k	1M
دیجیتال												
Hioki												

جدول آزمایش ۷-۱-د- تعیین حوزهٔ فرکانسی ولتمتر AC

با مقایسهٔ این منحنیها کدام ولتمتر دارای حوزهٔ فرکانسی بیشتری است ؟

ه – **اثر بارگذاری** : معمولاً ولتمترها برای اندازه‌گیری ولتاژ ، مقداری جریان از مدار تحت اندازه‌گیری خود می‌کشند حال هرچه مقدار این جریان کمتر باشد اثر بارگذاری ولتمتر نیز کمتر خواهد بود .

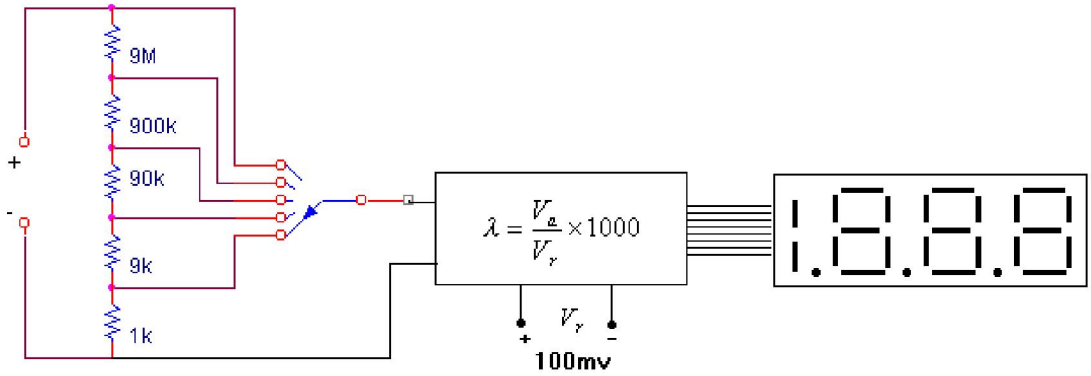
مداری مطابق شکل زیر ببندید و سپس با قرار دادن پروپ اسکوپ به دو نقطهٔ A و B شکل موج ولتاژ را روی صفحه مشاهده کنید . در این مرحله با قرار دادن دو سر هر یک از ولتمترها به صورت جداگانه به دو نقطهٔ A و B تغییرات احتمالی دامنهٔ ولتاژ روی صفحهٔ اسکوپ را مشاهده کنید . آیا تغییر حوزهٔ اندازه‌گیری ولتمترها تاثیری روی دامنهٔ ولتاژ روی صفحه اسکوپ دارد ؟ چرا ؟



شکل ۷-۳

کدام یک از ولتمترها اثر بارگذاری کمتری دارد ؟ در این مورد با توجه به ساختار داخلی ولتمترها توضیح دهید .

- شکل زیر مدار داخلی یک ولت متر دیجیتال با پنج رنج اندازه‌گیری را نشان می‌دهد .



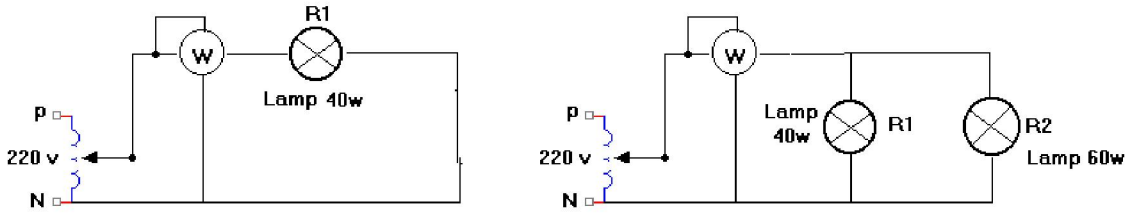
وات متر و فرکانس متر

در این آزمایش با چگونگی اندازه‌گیری مقدار توان و ضریب توان در مدارهای DC و AC آشنا خواهیم شد .

توجه : در آزمایشهایی که مدار آن با برق شهر تغذیه می‌شود قبل از شروع کار ، مدار خود را همراه با مربی آزمایشگاه بررسی کرده تا از صحیح بستن آن مطمئن شوید سپس آنرا به برق متصل کنید . در هنگام انجام آزمایش از دست زدن به اتصالات خودداری کنید .

آزمایش ۸-۱- اندازه گیری توان AC در یک مدار مقاومتی

با استفاده از اتوترانس و لامپهای موجود در آزمایشگاه مدار زیر را ببندید . سپس با تغییر ولتاژ ورودی طبق جدول زیر و با استفاده از دو وات‌متر رومیزی و دستی ، توان مصرفی مدار را اندازه گرفته ودر جدول یادداشت کنید .



شکل ۸-۱- مدار مقاومتی سری و موازی برای اندازه‌گیری توان AC

ولتاژ ورودی AC										
وات متر	230v	220v	180v	140v	100v	80v	50v	30v	10v	
دستی										*I*
رومیزی										
دستی										*P*
رومیزی										

جدول آزمایش۸-۱- اندازه گیری توان برای حالت تک لامپی

ولتاژ ورودی AC										
وات متر	230v	220v	180v	140v	100v	80v	50v	30v	10v	
دستی										*I*
رومیزی										
دستی										*P*
رومیزی										

جدول آزمایش ۸-۱- اندازه گیری توان دو لامپ موازی

ضمیمه الف: مقاومت – خازن

تقریباً تمام مدارهای الکترونیکی برای عملکرد صحیح به مقاومت احتیاج دارند . مقاومتها امکان کنترل جریان و یا ولتاژ ارائه شده را فراهم می‌کنند .برای استفاده از یک مقاومت در یک مدار خاص باید مشخصات آن مقاومت را مورد دقت قرار داد مشخصات مورد نظر عبارتند از :

مقدار ،توان قابل تحمل ، میزان خطا ، ضریب حرارتی ، ایجاد نویز و پایداری

مقاومتهای متداول از نظر جنس عبارتند از :

مقاومت کربنی ، لایهٔ کربنی ، لایهٔفلزی ، سیمی

مقادیر مقاومتها

معمولاً مقاومتها با مقادیر دهدهی مشخصی ارائه می‌شوند . تعداد و فواصل این مقادیر در هر سری به درصد تولرانس آن بستگی دارد . در زیر سه سری اصلی لیست شده‌است :

سری E6 (خطای ۲۰ درصد) 1.0 ,1.5 ,2.2 ,3.3 , 4.7 , 6.8

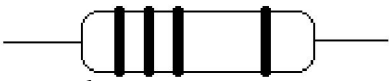
سری E12 (خطای ۱۰ درصد) 1.0 , 1.2 , 1.5 , 1.8 , 2.2 , 2.7 , 3.3, 3.9 , 4.7 , 5.6 , 6.8 , 8.2

سری E24 (خطای ۵ درصد)

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

کدهای رنگی

مقاومتهای کربنی و اکسید فلزی همواره به صورت کدهای رنگی بر روی بدنهٔ آنها نشان داده می‌شود . دو روش متداول برای این منظور وجود دارد . در زیر این دو روش آمده است :

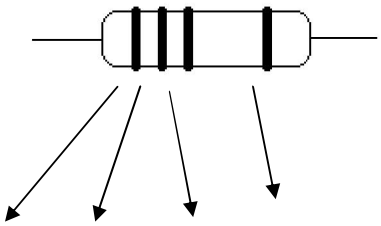


اولین حلقه رنگی	
سیاه	۰
قهوه‌ای	۱
قرمز	۲
نارنجی	۳
زرد	۴
سبز	۵
آبی	۶
بنفش	۷
خاکستری	۸
سفید	۹

دومین حلقه رنگی	
سیاه	۰
قهوه‌ای	۱
قرمز	۲
نارنجی	۳
زرد	۴
سبز	۵
آبی	۶
بنفش	۷
خاکستری	۸
سفید	۹

سومین حلقه رنگی	
نقره‌ای	× ۰/۰۱
طلایی	× ۰/۱
سیاه	× ۱
قهوه‌ای	× ۱۰
قرمز	× ۱۰۰
نارنجی	× ۱۰۰۰
زرد	× ۱۰۰۰۰
سبز	× ۱۰۰۰۰۰
آبی	× ۱۰۰۰۰۰۰

چهارمین حلقه رنگی	
قرمز	۲ درصد
طلایی	۵ درصد
نقره‌ای	۱۰ درصد
بدون حلقه	۲۰ درصد



قهوه‌ای = یک

سیاه = صفر

نارنجی = ۱۰۰۰ ×

طلایی = ۵ درصد

R=10 * 1000 =10k

طلایی نارنجی سیاه قهوه‌ای

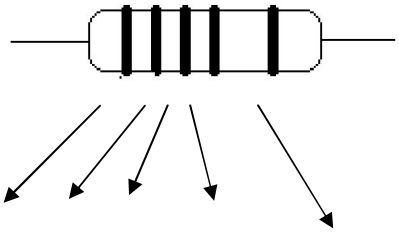
پنجمین‌حلقه رنگی	
قرمز	۲ درصد
طلایی	۵ درصد
نقره‌ای	۱۰ درصد
بدون حلقه	۲۰ درصد

چهارمین حلقه رنگی	
نقره‌ای	۰/۰۱ ×
طلایی	۰/۱ ×
سیاه	۱ ×
قهوه‌ای	۱۰ ×
قرمز	۱۰۰ ×
نارنجی	۱۰۰۰ ×
زرد	۱۰۰۰۰ ×
سبز	۱۰۰۰۰۰ ×
آبی	۱۰۰۰۰۰۰ ×

سومین‌حلقه رنگی	
سیاه	۰
قهوه‌ای	۱
قرمز	۲
نارنجی	۳
زرد	۴
سبز	۵
آبی	۶
بنفش	۷
خاکستری	۸
سفید	۹

دومین‌حلقه رنگی	
سیاه	۰
قهوه‌ای	۱
قرمز	۲
نارنجی	۳
زرد	۴
سبز	۵
آبی	۶
بنفش	۷
خاکستری	۸
سفید	۹

اولین‌حلقه رنگی	
سیاه	۰
قهوه‌ای	۱
قرمز	۲
نارنجی	۳
زرد	۴
سبز	۵
آبی	۶
بنفش	۷
خاکستری	۸
سفید	۹



قرمز = دو

سیاه = صفر

سیاه = صفر

قهوه‌ای = ۱ ×

R=200 * 10 = 2000

طلایی قهوه‌ای سیاه سیاه قرمز

در مقاومتهای با اندازه بزرگ مانند مقاومتهای توان مستقیماً مقدار مقاومت روی آن نوشته می‌شود و میزان خطا را با حروف F (خطای ۱درصد) G (خطا ۲ درصد) و J (خطای ۵ درصد) و K (خطای ۱۰درصد) M (خطای ۲۰درصد) مشخص می‌کنند .

از شعر زیر به منظور بخاطر سپردن رنگ مقاومتها استفاده میشود.(حرف اول کلمات به ترتیب مشخص کننده رنگهاست).

ساقی قدحی قرار نه زیر سبو آبی بفشان خانه سنبل به نکو

خازن

خازن نیز مانند مقاومت وجودش در مدارهای الکترونیکی کاملاً الزامی است . ازجمله کاربردهای خازن می‌توان به کوپلاژ AC بین طبقه‌های تقویت کننده ، دکوپلاژ خط تغذیه و .. ارشاره کرد .

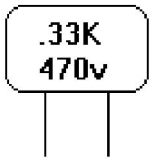
مشخصات یک خازن عبارتند از :

ظرفیت ، ولتاژ کار ، میزان خطا ، ضریب حرارتی ، مقاومت ایزولاسیون

انواع خازن از نظر جنس :

خازن سرامیکی ، الکترولیت ، لایهٔ فلزی ، میکا ، پلی کربنات ، پلی استر ، تانتالیوم و ۰ ۰ ۰

مقدار ظرفیت خازن معمولاً توسط نوارهای رنگی (همانند مقاومت) و بیشتر توسط اعداد مشخص می‌شود .



C = .33 uf = 330nf
± %10

C= 33 × 10000 pf = 330 nf

C= 33 pf

هنگام کار با مولتی متر دیجیتال به موارد زیر دقت داشته باشید:

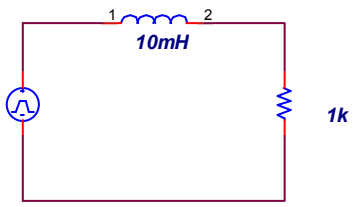
- اگر DISPLAY دستگاه چشمک زن باشد در حالت OVER-RANGE قرار دارید و باید رنج بالاتر را انتخاب کنید.
- در صورتیکه رنج ۲۰۰ را انتخاب کرده باشید بسته به اینکه کلید فانکشن در چه حالتی باشد واحد عدد خوانده شده میلی ولت یا میکرو آمپر و یا اهم خواهد بود.
- کلید رنج در حالت ۲۰ مگا اهم فقط برای اندازه گیری مقاومت استفاده میشود و واحد عدد خوانده شده مگااهم خواهد بود.
- اگر کلید رنج روی 10A باشد با اعمال جریانهای بالا به کانکتور 10A میتوانید جریانهای تا ۱۰ آمپر را اندازه گیری کنید در این حالت واحد عدد خوانده شده آمپر خواهدبود
- در سایر موارد که برروی کلیدهای رنج واحدی ذکر نشده واحد عدد خوانده شده از روی کلید FUNCTION مشخص میشود.

ضمیمهٔ ب: پاسخ مدار RL و RC به ورودی سینوسی و پله

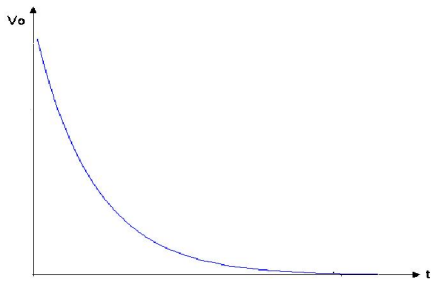
۱- پاسخ مدار RL به ورودی پله : شکل ۱ یک مدار RL سری با تحریک پله‌ای یکنواخت را نشان می‌دهد . اگر ولتاژ دو سر سلف را به عنوان خروجی در نظر بگیریم پاسخ مدار به صورت زیر خواهد بود :

$$V_L = V_O e^{\frac{-t}{\tau}} u(t) \qquad \tau = \frac{L}{R}$$

شکل موج پاسخ در شکل ۲ آمده است .



شکل ۱ – مدار RL

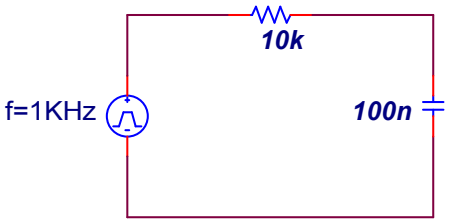


شکل ۲ – پاسخ مدار RL

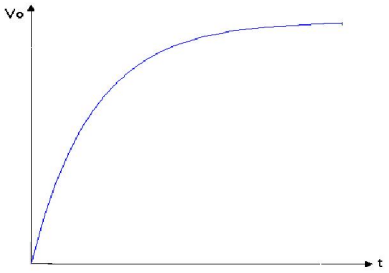
ثابت زمانی از پارامترهای مهم در مدار RL و RC می‌باشد با مشخص شدن این پارامتر تغییرات زمانی پاسخ بین مقدار اولیه و نهایی آن بطور کامل مشخص می‌شود . در مدار RL ثابت زمانی به زمانی گفته می‌شود که پاسخ به ۳۷ درصد مقدار نهایی خود رسیده باشد .

۲- پاسخ مدار RCبه ورودی پله : با توجه به شکل ۳ پاسخ مدار RC به ورودی پله اگر ولتاژ دو سر خازن بعنوان خروجی در نظر گرفته شود بصورت زیر است :

$$V_C = V_O(1 - e^{\frac{-t}{\tau}})u(t) \qquad \tau = RC$$



شکل ۳ – مدار RC



شکل ۴- پاسخ مدار RC

در این حالت ثابت زمانی ، به زمانی گفته می‌شود که پاسخ به ۶۳ درصد مقدار نهایی خود رسیده باشد .

۳ – پاسخ حالت دائمی مدار RC به ورودی سینوسی : با توجه به مدار شکل ۳ و ورودی سینوسی آن ، روابط خروجی در دو سر خازن و مقاومت به صورت زیر خواهد بود :

$$V_i(t) = V_i \cos(\omega t) \qquad V_R(t) = V_R \cos(\omega t + \theta_R) \qquad V_C(t) = V_C \cos(\omega t + \theta_c)$$

$$\theta_R = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1}(RC\omega) \qquad \theta_c = -\tan^{-1}(RC\omega)$$

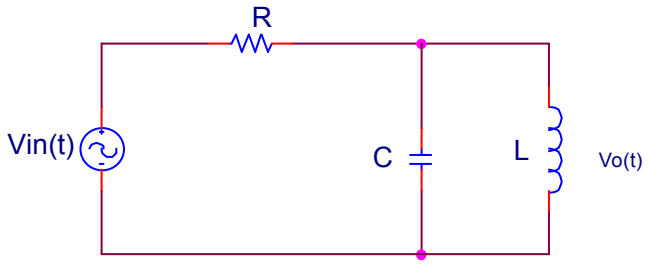
۴- پاسخ حالت دائمی مدار RL به ورودی سینوسی : با توجه به مدار شکل ۱ با ورودی سینوسی آن ، روابط خروجی در دو سر مقاومت به صورت زیر خواهد بود :

$$V_R(t) = V_R \cos(\omega t + \theta_R) \qquad \theta_R = -\tan^{-1}(\omega L / R)$$

ضمیمه ج- مدارات تشدید

در یک مدار الکتریکی دو قطبی که حداقل دارای یک سلف و خازن باشد هنگامی تشدید اتفاق می افتد که امپدانس ورودی مدار بصورت یک مقاومت خالص باشد . بنابراین هنگامی که ولتاژ و جریان ورودی مدار با مشخصات فوق ، هم‌فاز باشند ، مدار در حالت تشدید است.

در شکل زیر یک مدار RLC موازی درجهٔ دوم نشان داده شده است .



شکل ۱ – مدار تشدید موازی

ادمیتانس این مدار(از دید منبع جریان مدار معادل نورتن) برابر است با :

$$Y(j\omega) = \frac{1}{R} + j(c\omega - \frac{1}{L\omega})$$

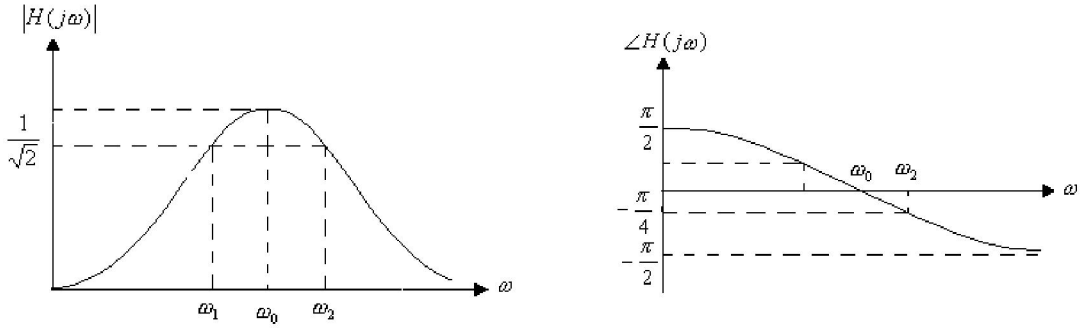
در حالت تشدید طبق تعریف مقدار ادمیتانس باید هدایت خالص باشد پس با مساوی صفر قرار دادن جزء موهومی ادمیتانس فرکانس تشدید بدست می‌آید :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

در تجزیه وتحلیل حالت دائمی سینوسی ، معمولاً از مفهوم تابع شبکه یا انتقال که نسبت فازور خروجی به فازور ورودی تعریف می‌شود ، استفاده می‌کنند . در مدار مذکور مقادیر قدر مطلق و فاز تابع شبکه بصورت زیر است :

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\left[1 + R^2(C\omega - \frac{1}{L\omega})^2\right]^{\frac{1}{2}}} \qquad \angle H(j\omega) = -\tan^{-1} R(C\omega - \frac{1}{L\omega})$$

چنانچه منحنی‌های دامنه و فاز تابع شبکه را که پاسخ فرکانسی نامیده می‌شود ، ترسیم کنیم ، شکلی مشابه شکل۲ بدست می‌آید .



شکل ۲- پاسخ فرکانسی برای مدار تشدید موازی

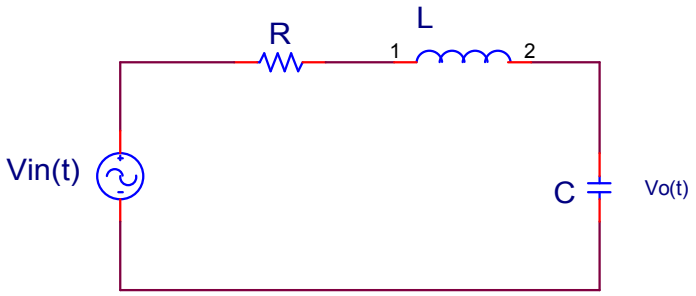
پارامترهای دیگر مدار مانند ضریب کیفیت Q و ضریب تضعیف α و پهنای باند بصورت زیر تعریف می‌شوند :

$$BW = \frac{\omega_0}{Q} = 2\alpha \qquad \alpha = \frac{1}{2RC} \qquad Q = \omega_0 RC = R\sqrt{\frac{C}{L}}$$

پاسخ مدار RLC به تحریک پله

شبکهٔ RLC سری شکل ۳ را در نظر بگیرید . در این شبکه ولتاژ دو سر خازن بعنوان خروجی و $V_i(t)$ بعنوان ورودی در نظر گرفته شده است . اگر معادله دیفرانسیل مدار را بنویسیم ، نتیجه می‌شود :

$$\frac{d^2V_o(t)}{dt} + \frac{R}{L}\frac{dV_o(t)}{dt} + \frac{1}{LC}V_o(t) = \frac{1}{LC}V_i(t) \qquad (۱)$$



شکل ۳ – مدار RLC سری

از مقایسهٔ رابطه فوق با رابطه استاندارد (۲) ، دو پارامتر شبکه‌های درجه دوم در پاسخ به تحریک پله بدست می‌آید.

$$\frac{d^2V_o(t)}{dt} + 2\alpha\frac{dV_o(t)}{dt} + \omega_0{}^2V_o(t) = \omega_0{}^2V_i(t) \qquad \alpha = \frac{R}{2L} \qquad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \qquad (۲)$$

α را ضریب میرایی یا ضریب تضعیف ، و ω_0 را فرکانس تشدید یا فرکانس نامیرای شبکه می‌نامند .

پاسخ شبکه به ورودی پله : با فرض اینکه مدار برای t<0 در حالت آرامش باشد ، پاسخ شبکه مذکور به تابع تحریک پله واحد بصورت زیر است :

$$C\frac{dV_o(0)}{dt} = i(0) = 0 \qquad V_o(0) = 0$$

معادله مشخصهٔ شبکه و فرکانسهای طبیعی آن بصورت زیر خواهد بود :

$$S^2 + 2\alpha S + \omega_0{}^2 = 0 \qquad S_1, S_2 = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega_0^2}$$

بسته به مقادیر نسبی α و ω_0 ، چندین حالت میرایی را خواهیم داشت .

الف – میرایی شدید : در این حالت $\omega_0 < \alpha$ می‌باشد وبرای خروجی خواهیم داشت :

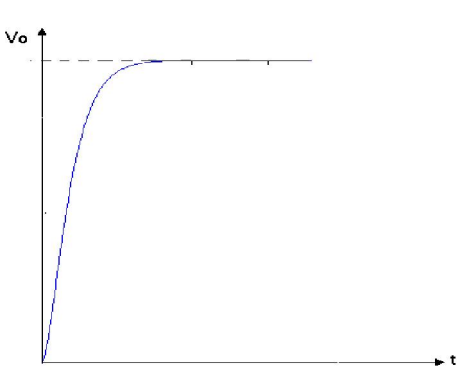
$$V_o(t) = \left[1 + \frac{1}{S_1 - S_2}(S_2 e^{S_1 t} - S_1 e^{S_2 t})\right]u(t)$$

شکل ۲ این پاسخ را نشان می‌دهد .

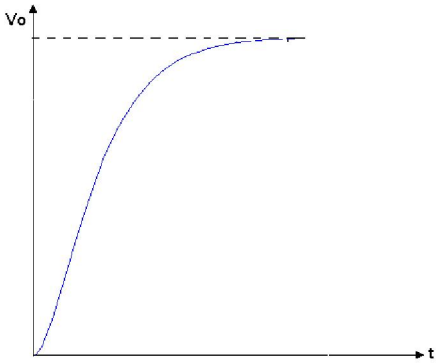
ب – میرایی بحرانی : در این حالت $\alpha = \omega_0$ است و پاسخ خروجی بصورت زیر است :

$$V_0(t) = \left[1 - e^{-\omega_0 t}(1 + \omega_0 t)\right]u(t)$$

شکل ۳ این پاسخ را نشان می‌دهد .



شکل ۳ – میرایی بحرانی



شکل ۲ – میرایی شدید

ج – میرایی ضعیف : در این حالت $\alpha < \omega_0$ است و در نتیجه فرکانسهای طبیعی شبکه مزدوج و مختلط بوده و بصورت زیر بیان می‌گردد :

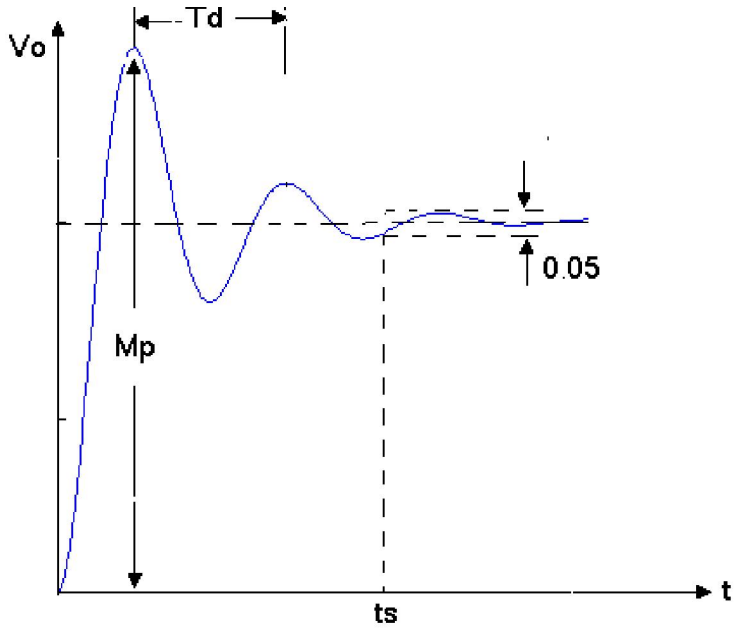
$$S_1, S_2 = -\alpha \pm j\sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = -\alpha \pm j\omega_d$$

رابطه خروجی مدار بر حسب زمان نیز بصورت زیر می‌باشد :

$$V_o(t) = \left[1 - \frac{\omega_0}{\omega_d} e^{-\alpha t}\cos(\omega_d t - \phi)\right]u(t) \qquad \phi = \tan^{-1}\frac{\alpha}{\omega_d} \qquad \omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}$$

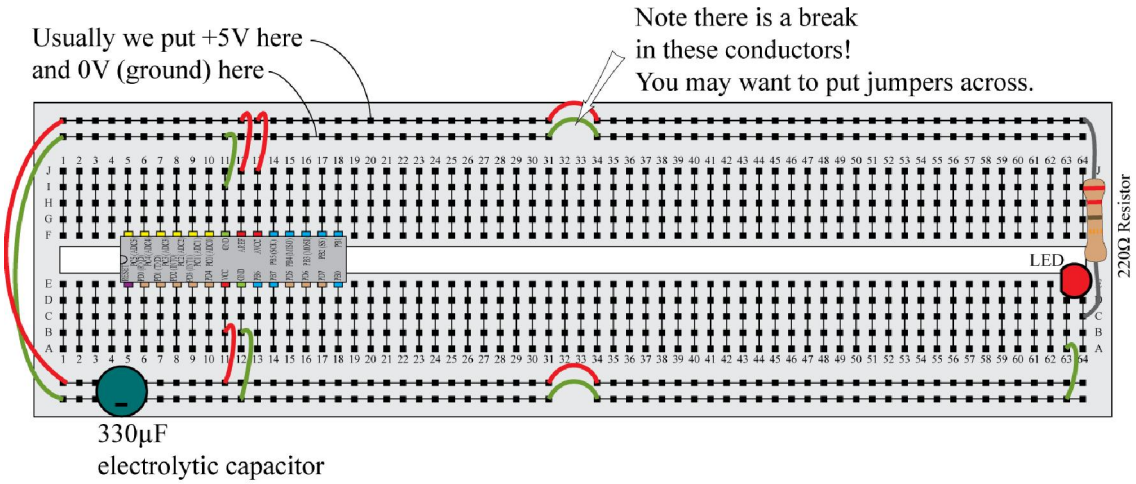
شکل ۴ این پاسخ را نشان می‌دهد .

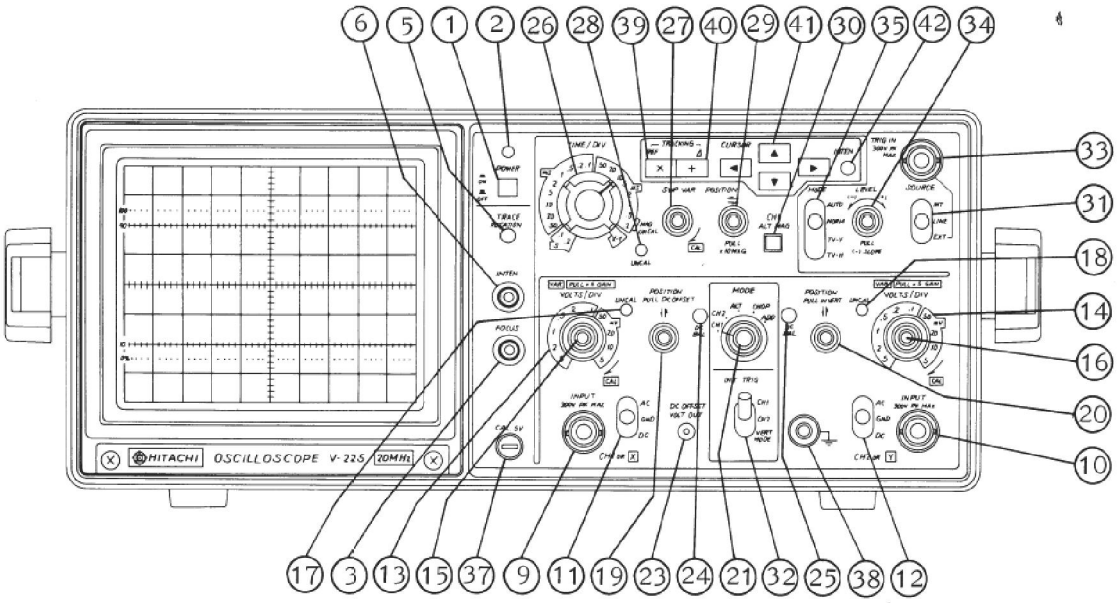
در این شکل ts زمان استقرار پاسخ یا زمان آخرین نقطه‌ای است که پاسخ به ۹۵ درصد مقدار نهایی خود می‌رسد .



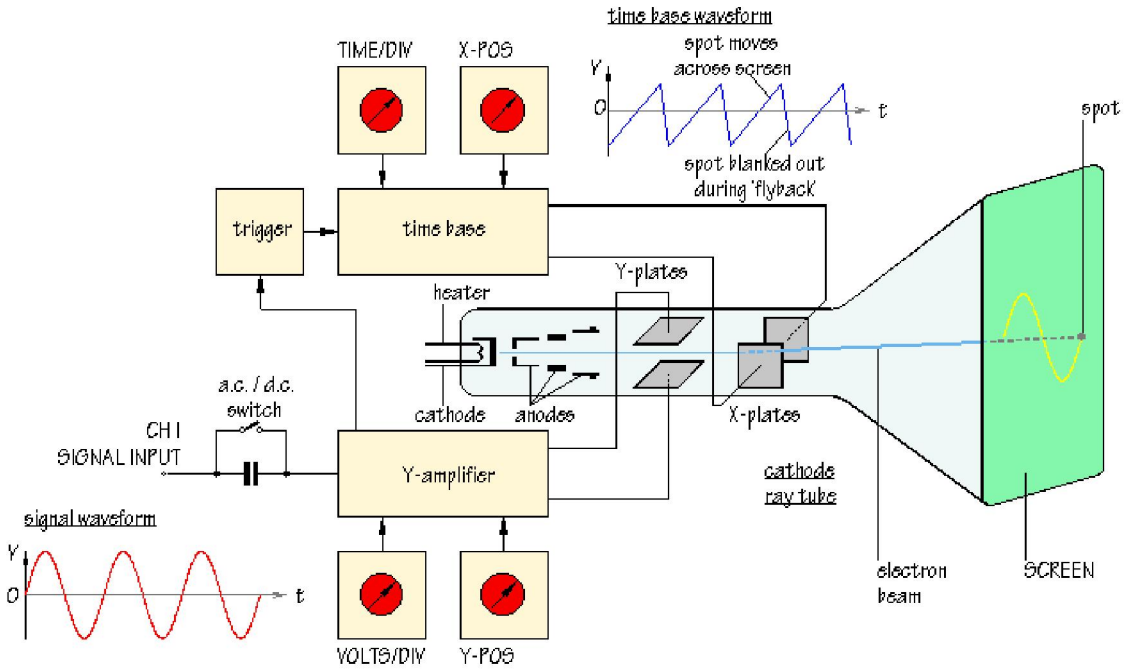
برای خطای ۵ درصد: $t_S \approx 3/\alpha$

اتصالات BREAD BOARD :



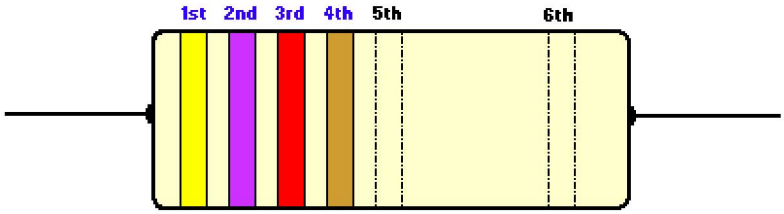


بلوک دیاگرام اسیلوسکوپ:



اسیلوسکوپ موجود در آزمایشگاه:

Example: 4.7K or 4700 ohms (Carbon)



Band 1, 2, 3

Black = 0
Brown = 1
Red = 2
Orange = 3
Yellow = 4
Green = 5
Blue = 6
Violet = 7
Gray = 8
White = 9
Gold = 0.1

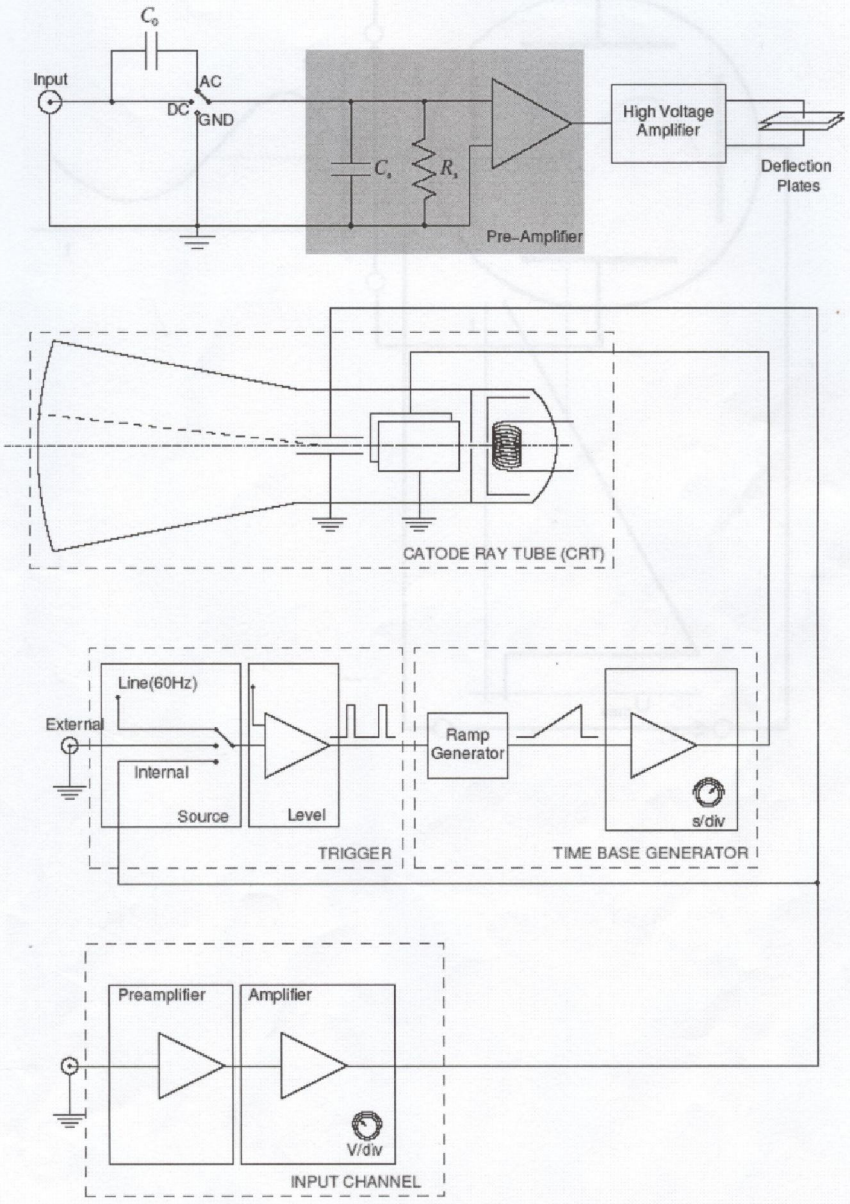
Band 1: Yellow - 4 4
Band 2: Violet - 7 7
Band 3: Red - 2 00
Band 4, Gold, 5% Tolerance 4700 Ohms

Band 1, first #
Band 2, secnd #
Band 3, multiplier with '0's
Band 4, tol. in %

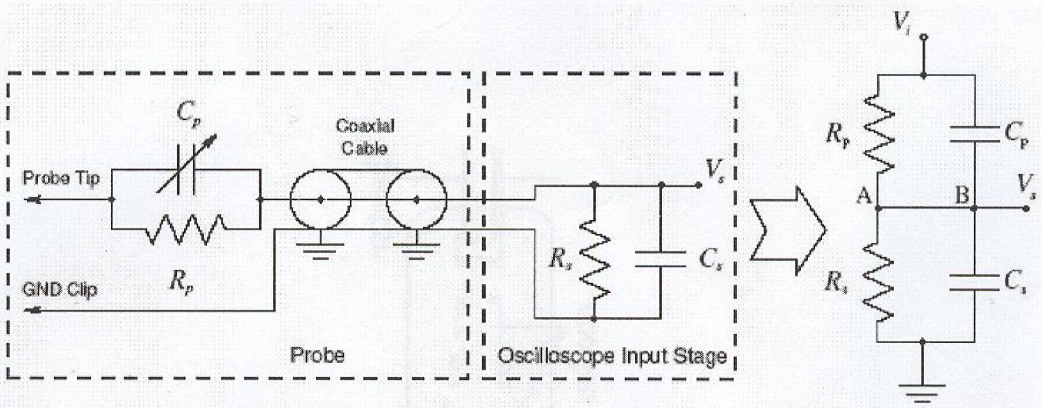
Tolerance: Brown = 1%
Red = 2%
Band 4 Gold = 5%
Silver = 10%
None = 20%

Band 5 & 6 usually for 1% metal film types. Band 6 for temp. coefficient.

- شکل کارکردی اسیلوسکوپ



- شکل مدارات داخلی پروپ و مدارمعادل ورودی اسیلوسکوپ



$$\tau_p = C_p R_p, \quad \alpha = \frac{R_s}{R_s + R_p}, \quad \beta = \frac{C_p}{C_s + C_p},$$

$\frac{\alpha}{\beta} < 1 \Rightarrow$ over-compensation

$\frac{\alpha}{\beta} = 1 \Rightarrow$ compensation $\Rightarrow \frac{R_s}{R_p} = \frac{C_p}{C_s}$

$\frac{\alpha}{\beta} > 1 \Rightarrow$ under-compensation