

هو الرحمن
جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



هو الرحمن

آزمایشگاه مدار و اندازه گیری

پیشگفتار

یکی از دروس مهم و پایه در رشته برق، درس مدارهای الکتریکی می باشد که در آن دانشجویان با مفاهیم اولیه مدارها آشنا می شوند. در این اثر تا جای ممکن سعی شده است تا تمام مطالب سرفصل درس مدارهای الکتریکی پوشش داده شود. علاوه بر آن آشنایی با وسایل اندازه گیری الکترونیکی و نحوه عملکرد اجزای اصلی آنها نیز توضیح داده شده است.

۱- مولتی متر

یکی از متداول ترین وسایل مورد استفاده در اندازه گیری مولتی متر می باشد. این وسیله عموماً برای اندازه گیری ولتاژ یا جریان DC و AC و اندازه گیری مقاومت کاربرد دارد. همچنین بعضی از مولتی مترها قادر به تشخیص اتصال کوتاه، تست دیود و ترانزیستور (hfe)، اندازه گیری درجه حرارت و ... می باشد. مولتی مترها به دو صورت دیجیتال و آنالوگ وجود دارند.

- **مولتی متر آنالوگ:** در ظاهر مولتی متر آنالوگ یا عقربه ای معمولاً از یک صفحه با تعدادی خطوط مدرج، یک عقربه که می تواند روی خطوط مدرج حرکت کند، یک سلکتور، تعدادی ترمینال، یک پیچ تنظیم صفر و دو سیم رابط تشکیل می شود.
- **مولتی متر دیجیتال:** مولتی متر دیجیتال کمیت های اندازه گیری شده را به صورت رقم و یا ارقامی بر روی صفحه نمایش نشان می دهد و معمولاً واحد کمیت اندازه گیری شده را نیز به طریق مناسبی نمایش می دهد.



طرز کار با مولتی متر دیجیتال

(۱) طرز اندازه گیری ولتاژ مستقیم (DC-Volt): سلکتور را بر روی DC آورده و فیش سیاه رنگ را درون ترمینال COM و فیش قرمز را درون ترمینال ولت-اهم، قرار می دهیم. سر دیگر آن ها را به طور مناسب به قطبین مولد یا دو نقطه از مدار وصل می کنیم و ولتاژ را اندازه گیری می کنیم.

(۲) طرز اندازه گیری شدت جریان مستقیم (DC-Current): فیش مشکی را به COM و قرمز را به mA و یا 10A قرار می دهیم. در این حالت برای اندازه گیری جریان مستقیم، آمپر متر به صورت سری قرار می گیرید. دقت: چنانچه آمپر متر به صورت موازی در مدار قرار گیرید فیوز آن می سوزد.

(۳) طرز اندازه گیری ولتاژ متناوب (ACV): کلید سلکتور را روی ACV و یکی از فیش ها را درون ترمینال COM و دیگری را به ترمینال مربوط به ولت وصل می کنیم.

(۴) طرز اندازه گیری شدت جریان متناوب (ACA): فیش سیاه رنگ را درون ترمینال COM و فیش قرمز را درون ترمینال مربوط به mA وصل می کنیم. یا در صورت لزوم به ترمینال 10A وصل می کنیم.

(۵) اندازه گیری مقاومت: کلید سلکتور را روی بیشترین پله (Range) مقاومت قرار می دهیم، فیش سیاه رنگ را درون ترمینال COM (مشترک) و فیش قرمز به درون ترمینال ولت-اهم قرار می دهیم. سر دیگر آن ها را به طرز مناسبی به طرفین مقاومت مورد نظر وصل می کنیم و مقاومت را می خوانیم.

(۶) تست اتصال کوتاه همراه با صدا: در این حالت سلکتور را روی Buzzer قرار داده فیش های قرمز و مشکی به ترتیب در ورودی اهم-ولت و ورودی مشترک COM قرار می دهیم. چنانچه مقاومت مدار تحت آزمایش در محدوده $20\Omega \pm 10\Omega$ باشد صدای بوق به گوش می رسد که نشان هادی بودن مسیر است.

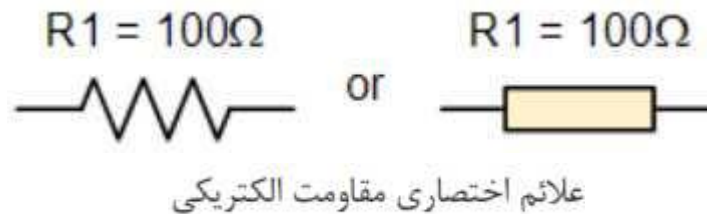
(۷) تست دیود: برای این کار تنها لازم است که سلکتور مولتی متر را بر روی قسمت تست دیود Diode check قرار دادیم، فیش های قرمز و مشکی به ترتیب در ورودی اهم-ولت و ورودی مشترک COM قرار می گیرند. حال اگر سیم قرمز را به آند دیود و سیم مشکی را به کاتد وصل کنیم در صورت سالم بودن دیود، نمایشگر ولتاژی بین ۳۰۰ تا ۸۰۰ میلی ولت نشان می دهد. در صورت خراب بودن، نمایشگر عدد ۰۰۰ یا ۱ را نشان خواهد داد.

هنگام کار با دستگاه مولتی متر توجه به نکات زیر ضروری است:

- ✓ برای اندازه گیری شدت جریان باید دستگاه را به طور سری در مدار قرار داد.
- ✓ برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل باید دستگاه را به طور موازی بین دو نقطه از مدار قرار داد.
- ✓ مقدار ولتاژ و جریان اندازه گیری شده در حالت AC توسط مولتی متر مقدار RMS می باشد.
- ✓ هنگام اندازه گیری مقاومت، لازم است جریان برق را قطع کنیم. در غیر این صورت به دستگاه آسیب می رسد.
- ✓ دستگاه را با احتیاط جابه جا می کنیم و از وارد آمدن ضربه به آن و یا سقوط دستگاه جلوگیری می نماییم.
- ✓ همیشه هنگام اندازه گیری کمیت ها کلید سلکتور را روی بیشترین درجه قرار می دهیم و در صورت لزوم به تدریج آن را کاهش می دهیم تا به دستگاه صدمه ای وارد نشود.

۲- مقاومت

به هر قطعه یا عنصری که در مقابل عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت نشان می دهد مقاومت الکتریکی گفته می شود. واحد اندازه گیری مقاومت الکتریکی اهم است که آن را با علامت Ω نشان می دهند. یک اهم بنا به تعریف مقدار مقاومتی است که اگر اختلاف پتانسیل یک ولت به دو سر آن وصل شود شدت جریان یک آمپر را از خود عبور دهد. مقاومت ها در صنایع برق و الکترونیک از اهمیت بالایی برخوردارند و بیشتر به منظور محدود کردن جریان و تقسیم جریان و نیز ایجاد ولتاژهای مختلف در مدارات به کار گرفته می شود.



پارامترهای مقاومت

- **مقدار مقاومت:** مقدار مقاومت را بر حسب واحد آن یعنی اهم، کیلو اهم و مگا اهم بیان می کند. هر چه مقدار اهمی مقاومتی بیشتر باشد نشان دهنده این است که آن مقاومت در برابر عبور جریان الکتریکی از خود مخالفت بیشتری نشان می دهد و سبب افت جریان بیشتری در مدار می گردد.

- **توان مجاز مقاومت:** بیشترین توانی است که یک مقاومت به طور دائم می تواند تحمل کند. توان مجاز هر مقاومت با مساحت بدنه مقاومت و یا به عبارتی با حجم مقاومت نسبت مستقیم دارد یعنی هر چه یک مقاومت دارای حجم بیشتری باشد در واحد زمان می تواند حرارت بیشتری را به محیط اطراف انتقال دهد و در نتیجه دارای توان مجاز بیشتری می باشد. توان مجاز مقاومت را روی آن می نویسند و یا با توجه به اندازه و حجم مقاومت، میزان توان مجاز آن مشخص می شود.

$$p = V \times I = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

مقاومت هایی که در صنایع الکترونیک مورد استفاده قرار می گیرند معمولاً دارای توان هایی به شرح زیر می باشند :

0.125w, 0.25w, 0.5w, 1w, 2w, 3w, 4w, 5w

- **تولرانس یا خطا:** منظور از تولرانس یک مقاومت حداکثر خطای مجاز یک مقاومت نسبت به مقدار نامی آن مقاومت می باشد که معمولاً بر حسب درصد بیان می شود و به عبارت دیگر تولرانس یک مقاومت، محدوده مقدار واقعی آن مقاومت را مشخص می کند. مقدار تولرانس مقاومت ها یا به صورت عدد بر روی مقاومت ها نوشته می شود و یا در مقاومت های با نوارهای رنگی به وسیله یک نوار رنگی مشخص می شود.

انواع مقاومت های الکتریکی

مقاومت های الکتریکی به دو دسته کلی مقاومت های ثابت و مقاومت های متغیر تقسیم می شوند.

مقاومت های ثابت

مقاومت هایی هستند که مقدار اهمی آنها همواره ثابت است. مقاومت های ثابت خود به سه دسته تقسیم می شوند:

- ۱- مقاومت های کربنی (ترکیبی)
- ۲- مقاومت های سیمی (سیم پیچی شده)
- ۳- مقاومت های لایه ای

۱- مقاومت های کربنی (ترکیبی):

مقاومت های کربنی در اکثر مدارات الکترونیکی مورد استفاده قرار می گیرند که علت این امر قیمت پایین، زمخت بودن و کوچک بودن این نوع مقاومت ها می باشد. البته این نوع مقاومت ها دو ضعف عمده دارند، یکی این که در مدارات با جریان زیاد نمی توانند مورد استفاده قرار گیرند و دیگر این که معمولاً تolerانس های بالایی دارند.



۲- مقاومت های سیمی:

از پیچاندن سیم های مقاومت دار طویل به دور یک هسته، مقاومت سیمی یا سیم پیچی شده ساخته می شود. معمولاً یک روپوش سرامیکی یا پلاستیکی بر روی سیم های پیچیده شده بر روی هسته می کشند تا سیم ها آسیب نبینند.



۳- مقاومت های لایه ای:

این نوع مقاومت ها، ترکیبی از مقاومت های سیمی و کربنی می باشند، یعنی دقت مقاومت های سیمی را دارند ولی از نظر اندازه و قیمت به مقاومت های کربنی نزدیک اند.



مقاومت‌های متغیر

مقاومت‌هایی هستند که مقدار اهم آنها قابل تغییر است. مقاومت‌های متغیر نیز خود به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند.

(۱) مقاومت‌های قابل تنظیم

(۲) مقاومت‌های وابسته (تابع)

۱- مقاومت‌های متغیر قابل تنظیم

مقاومت‌هایی هستند که می‌توان توسط گردش یا لغزش محور آن مقدار اهم دلخواه را به دست آورد موارد مصرف این مقاومت‌ها :

- زمانی که نتوان مقدار دقیق مقاومت را حساب کرد.
- زمانی که مقدار مقاومت مورد استفاده در مدار در مواقع مختلف فرق می‌کند.
- زمانی که مقاومت محاسبه شده استاندارد نباشد ولی لازم باشد که مقدار دقیق مقاومت بکار برده شود.

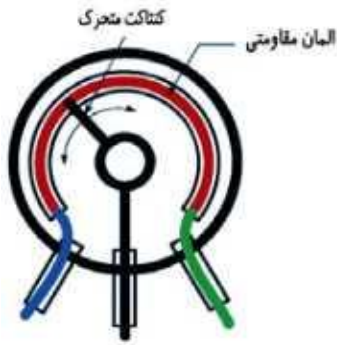
از انواع مقاومت‌های متغیر قابل تنظیم می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- پتانسیومتر (Potentiometer)

۲- رئوستا

۱- پتانسیومتر:

پتانسیومتر از یک المان مقاومتی دوار که درون محفظه‌ای قرار گرفته، تشکیل شده است. این المان مقاومتی ممکن است به صورت سیمی، لایه‌ای و یا کربنی باشد. دو ترمینال به دو انتهای این المان مقاومتی متصل است که مقدار مقاومت بین این دو ترمینال همواره ثابت و برابر مقدار اهمی المان مقاومتی است. بین این دو ترمینال، یک ترمینال دیگر وجود دارد که به یک کنتاکت متحرک متصل است و این کنتاکت متحرک می‌تواند بر روی المان مقاومتی حرکت کند و سبب تغییر مقاومت بین ترمینال وسط و هر یک از ترمینال‌های کناری گردد. برای حرکت کنتاکت متحرک بر روی المان مقاومتی، انتهای المان مقاومتی را به یک ولوم و یا به یک صفحه شیاردار که توسط پیچ‌گوشتی قابل حرکت است متصل می‌کنند.



۲- رئوستا:

رئوستا همان پتانسیومتر است با یک تفاوت کوچک که در رئوستا یکی از ترمینال‌های ثابت مورد استفاده قرار نگرفته و آزاد می‌ماند. به عبارتی رئوستا از یک المان مقاومتی، یک کنتاکت متحرک و یک کنتاکت ثابت تشکیل شده است. رئوستا در مدارات به منظور تغییر جریان به کار می‌رود.



۲- مقاومت‌های وابسته (تابع)

مقاومت‌های وابسته (تابع) به مقاومت‌هایی گفته می‌شود که مقدار آن‌ها به عوامل مختلفی مانند حرارت، نور، ولتاژ و ... بستگی دارد.

۱- مقاومت‌های تابع حرارت

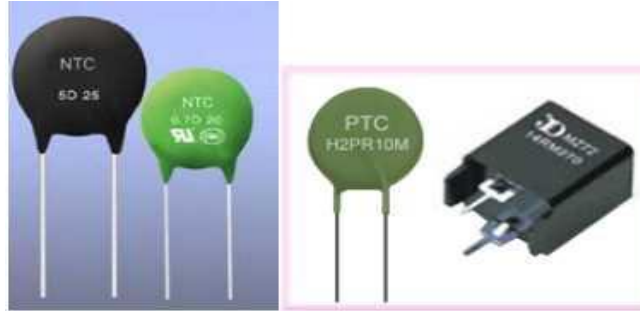
۲- مقاومت‌های تابع نور

۳- مقاومت‌های تابع ولتاژ

۴- مقاومت‌های تابع میدان مغناطیسی

۱- مقاومت‌های تابع حرارت:

- مقدار اهم این نوع از مقاومت‌ها تابع حرارت است یعنی در اثر تغییر دما، مقدار مقاومت آن‌ها نیز تغییر می‌کند. به این نوع از مقاومت‌ها TDR نیز می‌گویند. نام دیگر این مقاومت‌ها ترمیستور (Thermistor) می‌باشد.
- ترمیستور با ضریب حرارتی مثبت (PTC): مقدار اهم این نوع از مقاومت‌ها با افزایش دما، افزایش می‌یابد.
 - ترمیستور با ضریب حرارتی منفی (NTC): مقدار اهم مقاومت‌های NTC با افزایش دما، کاهش می‌یابد.



۲- مقاومت‌های تابع نور:

- مقدار اهم این نوع از مقاومت‌ها به شدت نور تابیده شده به سطح مقاومت بستگی دارد. این مقاومت‌ها در فضای تاریک دارای مقاومت خیلی زیاد (در حد مگا اهم) و در روشنایی دارای مقاومت کم (در حد کیلو اهم و یا اهم) می‌باشند. به این مقاومت‌ها فتورزیستور و همچنین LDR نیز می‌گویند.



۳- مقاومت‌های تابع ولتاژ:

مقدار اهم این نوع از مقاومت‌ها با ولتاژ رابطه معکوس دارد؛ یعنی با افزایش ولتاژ، مقدار اهم آن‌ها کاهش می‌یابد. به این نوع از مقاومت‌ها واریستور (Varistor) و همچنین VDR نیز می‌گویند.



۴- مقاومت‌های تابع میدان مغناطیسی:

در اثر اعمال میدان مغناطیسی بر این مقاومت‌ها، مقدار اهم آن‌ها تغییر می‌کند. به این مقاومت‌ها MDR نیز می‌گویند.

طریقه خواندن مقاومت‌ها

برای استفاده از یک مقاومت، ابتدا باید مقدار اهم و تلرانس مقاومت را داشته باشیم. کارخانه‌های سازنده مقاومت، معمولاً مقدار اهم و تلرانس مقاومت را به سه روش مشخص می‌کنند که این سه روش عبارت‌اند از:

۱- نوشتن مشخصات مقاومت بر روی مقاومت



در این روش مقدار اهم و تلرانس و معمولاً توان مجاز مقاومت مستقیماً بر روی مقاومت نوشته می‌شود.

۲- استفاده از رمزهای متشکل از حروف و اعداد

در این روش با استفاده از اعداد و یک سری حروف خاص، رمزهایی ساخته می‌شود و این رمزها مقدار اهم و تلرانس مقاومت‌ها را مشخص می‌کنند. در هر یک از این رمزها معمولاً دو حرف به کار می‌رود که یکی از این حروف نشان دهنده تلرانس مقاومت و دیگری به عنوان ضریبی برای اعداد موجود در آن رمز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

حرف	R	K	M
ضریب	1	1000	1000000

ضریب

B	C	D	F	G	H	J	K	M
0.1%	0.25%	0.5%	1%	2%	3%	5%	10%	20%

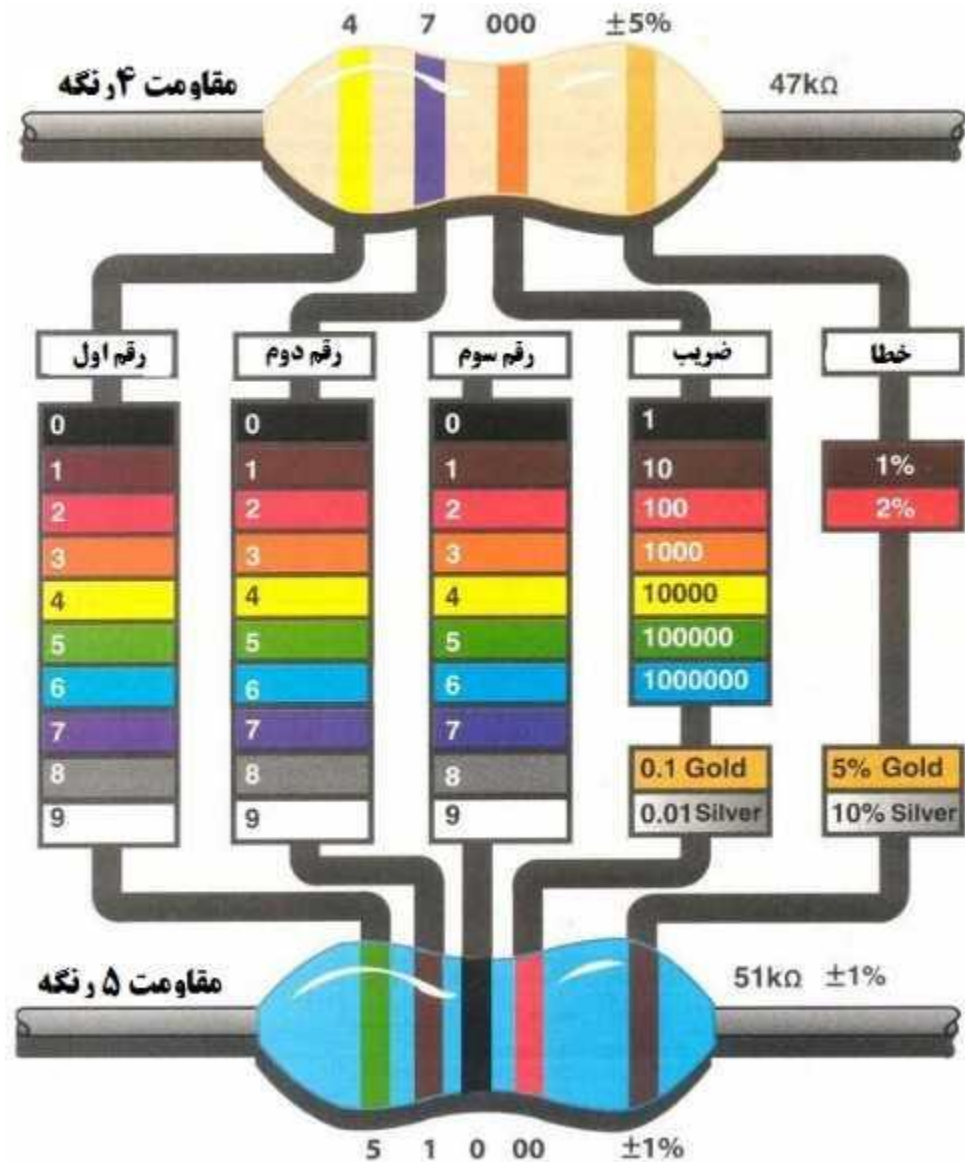
تلرانس

کد	مقدار	تولرانس
R22M	0.22	$\pm 20\%$
4R7K	4.7	$\pm 10\%$
5M6M	5.6Mega	$\pm 20\%$

۳- استفاده از نوارهای رنگی

- سه رنگی: رنگ اول و دوم به عنوان عدد و رنگ سوم تعداد صفر است. در این حالت تولرانس آن $\pm 20\%$ در نظر گرفته می شود.
- چهار رنگی: این روش که معمول تر هم است از دو رنگ اول و دوم برای عدد، رنگ سوم برای تعداد صفرها و رنگ چهارم برای تولرانس استفاده می شود.
- پنج رنگی: در این روش بر روی مقاومت پنج نوار رنگی وجود دارد که سه رنگ اول معرف عدد، رنگ چهارم معرف تعداد صفر و رنگ پنجم بیان گر تولرانس است.

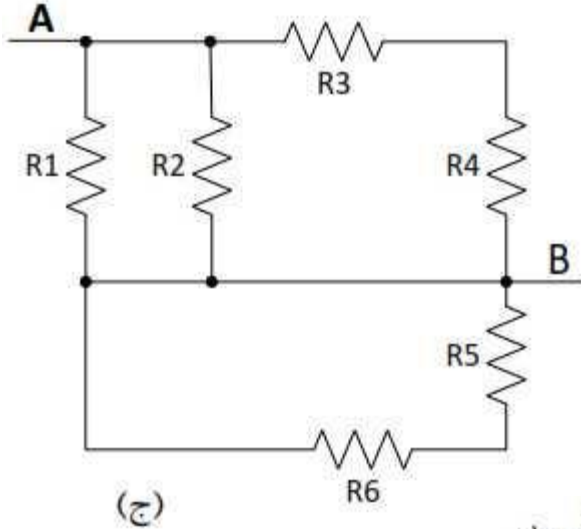
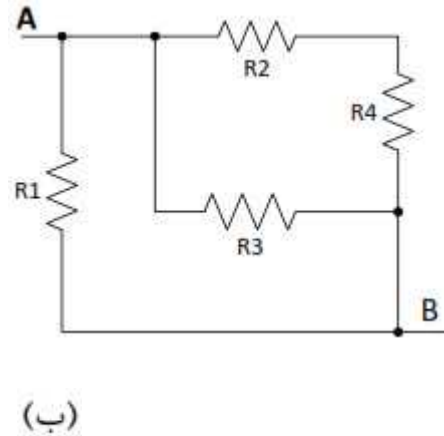
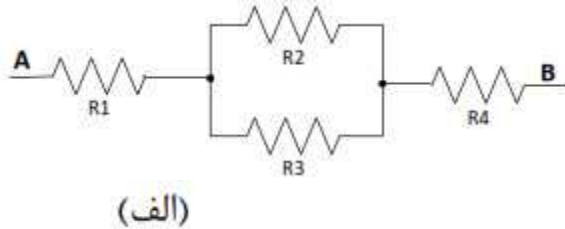
اعداد	رنگ‌ها
صفر	مشکی
۱	قهوه‌ای
۲	قرمز
۳	نارنجی
۴	زرد
۵	سبز
۶	آبی
۷	بنفش
۸	خاکستری
۹	سفید



مراحل آزمایش:

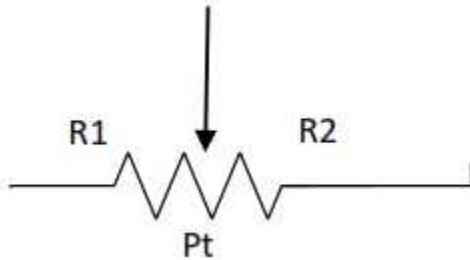
[illegible]

با استفاده از مقاومت‌های دلخواه مدارهای الف، ب و ج را بر روی برد بورد ببندید و به سؤالات زیر پاسخ دهید.



- مقاومت کل از دوسر A و B را با استفاده از رنگ‌ها برای هر قسمت به دست آورید.
- مقاومت کل را از دوسر A و B توسط مولتی‌متر برای هر قسمت اندازه‌گیری نمایید.

دو پتانسیومتر دلخواه انتخاب نموده و با توجه به آن جدول زیر را کامل نمایید.

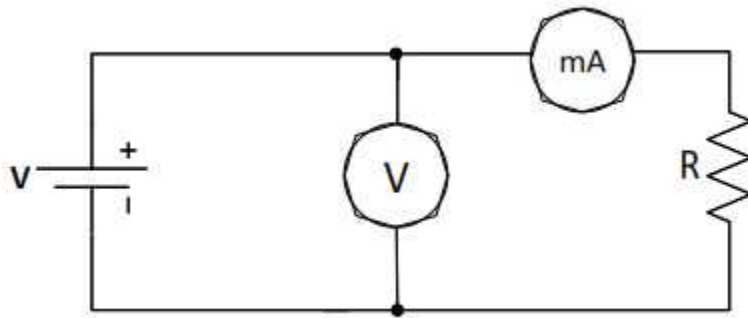


پتانسیومتر	عدد نوشته شده بر روی پتانسیومتر	مقدار پتانسیومتر با توجه به عدد روی آن	مقدار اندازه گیری شده توسط مولتی متر (دوسر ثابت)	اندازه گیری مقاومت R1 (یک سر ثابت و متغیر)	اندازه گیری مقاومت R2 (سر دیگر ثابت و متغیر)
Pt1					
Pt2					

آزمایش ۲: قانون اهم، KVL و KCL

مراحل آزمایش:

مدار زیر را ببندید. دقت کنید در این مدار ولت‌متر به صورت موازی با مقاومت و آمپرتر به صورت سری با آن قرار گیرد.

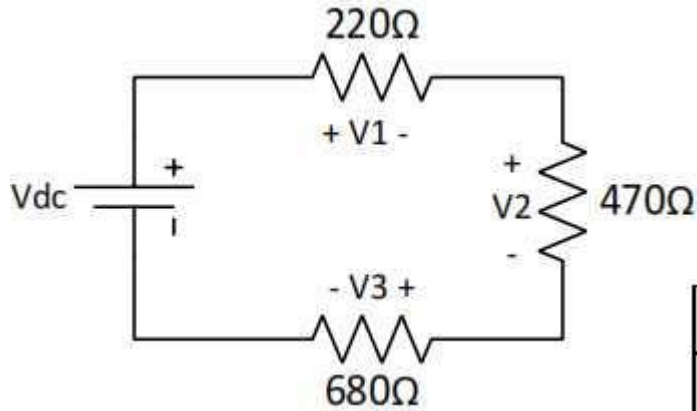


- جدول زیر را برای $R=220\ \Omega$ و $R=1.2\ k\Omega$ کامل کنید.
- با توجه به جدول برای هر مقاومت نمودار V بر حسب I را رسم کنید.

V	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I ($R=220\ \Omega$)											
I ($R=1.2\ k\Omega$)											

- از روی نمودارهای رسم شده چگونه می‌توان مقدار مقاومت را به دست آورد؟
- با توجه به قانون اهم، مقاومت اتصال کوتاه و اتصال باز چقدر است؟

مدار روبرو را بر روی بردبورد ببندید.

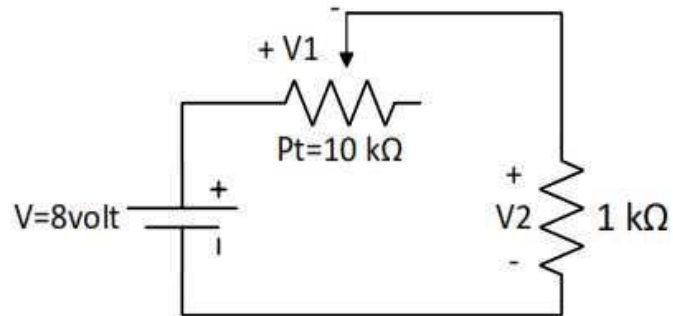


– جدول زیر را برای $V_{dc}=5\text{ V}$ و $V_{dc}=9\text{ V}$ تکمیل کنید.

– قانون KVL را در هر مورد تحقیق کنید.

V_{dc}	V_1	V_2	V_3
5 V			
9 V			

مدار روبرو را ببندید و جدول و مقادیر خواسته شده را به دست آورید.



V	$P_{t_{max}}$	$P_{t_{min}}$	$P_{t_{mid}}$
V_1			
V_2			

- جدول زیر را برای ولتاژهای $V_{dc}=5\text{ V}$ و $V_{dc}=9\text{ V}$ تکمیل کنید.
- قانون KCL را در هر مورد تحقیق کنید.

[illegible]

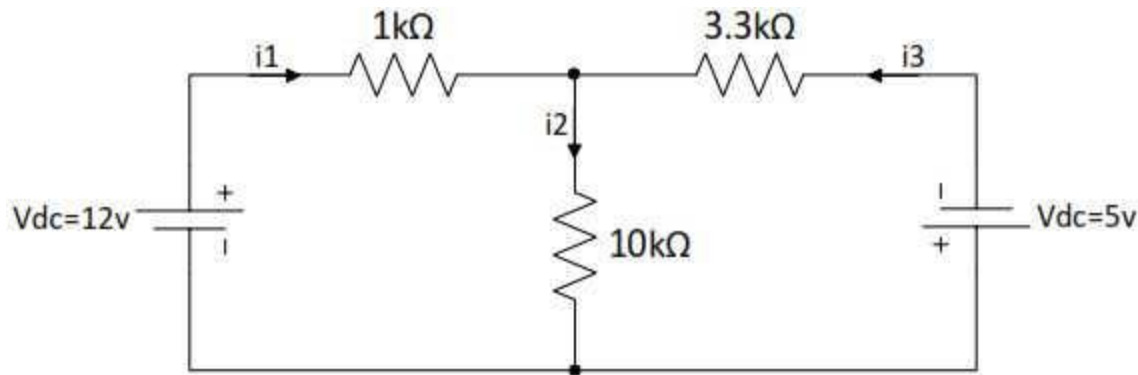
آزمایش ۳: قضیه جمع آثار، معادله تونن و نورتن و قضیه حداکثر توان انتقالی

مراحل آزمایش:

۱- قضیه جمع آثار

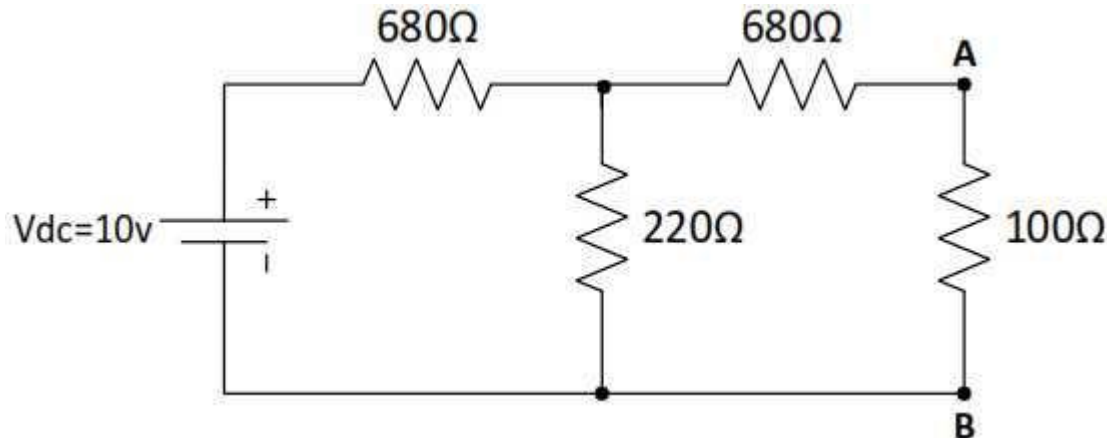
بیان قضیه: در هر مدار خطی با جواب یگانه، هر پاسخ مدار به ورودی‌ها که هم‌زمان کار می‌کنند، برابر است با مجموع پاسخ‌های مدار به تک‌تک ورودی‌ها، وقتی که به تنهایی در همان مدار هستند.

- ابتدا مدار را به صورت زیر ببندید و جریان‌های i_1 ، i_2 ، i_3 را یادداشت نمایید. سپس یک‌بار منبع 5V و بار دیگر منبع 12V را غیرفعال کرده و جریان‌های i_1 ، i_2 ، i_3 را در هر مرحله به‌طور مجزا اندازه‌گیری نمایید.

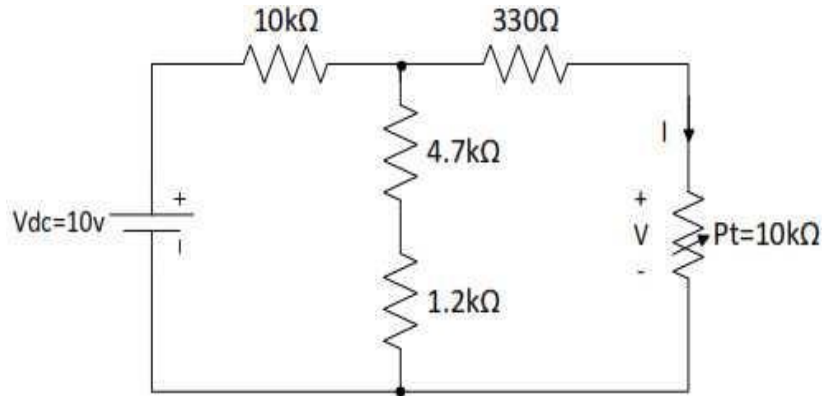


۲- معادله تونن و نورتن

- مدار شکل زیر را ببندید. با اتصال کوتاه کردن دو نقطه A و B جریان I_{sc} (جریان اتصال کوتاه بین این دو نقطه) را اندازه گرفته و سپس با مدار باز کردن دو نقطه A و B، V_{oc} (ولتاژ مدار باز) را با ولت‌متر اندازه‌گیری نمایید. در انتها با داشتن V_{oc} و I_{sc} مقدار R_{th} را محاسبه نمایید.
- منبع تغذیه 10 V را از مدار جدا کرده و به جای آن یک سیم قرار دهید. توسط اهم‌متر مقاومت R_{th} از دو سر AB را اندازه‌گیری و یادداشت کنید. سپس نتیجه را با قسمت قبلی مقایسه نمایید.



۳- حداکثر توان انتقالی



- مدار شکل روبرو را بر روی بردبورد ببندید.
- جدول زیر را با تغییر پتانسیومتر از صفر تا $10\text{ k}\Omega$ و اندازه گیری مقدار جریان عبوری از آن و ولتاژ دو سر آن کامل نمایید.

R (k Ω)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V (V)										
I (mA)										
P (mwatt)										

- با توجه به جدول نمودار P (توان) بر حسب R (مقاومت) را رسم نمایید.
- مقدار مقاومتی را که به ازای آن توان جذب شده به مقدار ماکزیمم رسیده است را با توجه به نمودار و جدول پیدا کنید.

اسیلوسکوپ (Oscilloscope)

اسیلوسکوپ (Oscilloscope) یک دستگاه اندازه گیری است که از آن برای مشاهده شکل موج ها و اندازه گیری ولتاژ، زمان تناوب، اختلاف فاز و همچنین مشاهده منحنی مشخصه ولت- آمپر عناصر نیمه هادی مانند دیود و ترانزیستور استفاده می شود. اسیلوسکوپ یک ولت متر دقیق است ولی توانایی اندازه گیری جریان را به طور مستقیم ندارد و برای اندازه گیری جریان باید از روش های غیرمستقیم مانند قانون اهم استفاده کرد. یکی از مزایای اسیلوسکوپ این است که برخلاف مولتی مترهای معمولی، در فرکانس های بالا نیز به خوبی کار می کند. اندازه گیری و مشاهده شکل موج ها در اسیلوسکوپ از ولتاژ با فرکانس صفر (DC) شروع و به فرکانس مشخصی ختم می گردد که معمولاً اسیلوسکوپ را با این فرکانس مشخص می کنند. اسیلوسکوپ ها در نوع آنالوگ و دیجیتال ساخته می شوند که ما در اینجا به بررسی نوع آنالوگ آن می پردازیم.

اسیلوسکوپ ها ممکن است یک کاناله و یا چند کاناله باشند. اسیلوسکوپ های یک کاناله در هر لحظه فقط می توانند یک سیگنال را روی صفحه نمایش خود نمایش دهند؛ اما اسیلوسکوپ های چند کاناله، همزمان می توانند چند سیگنال را روی صفحه نمایش خود، نمایش دهند. اسیلوسکوپ نمایش داده شده در شکل (۱)، دو نمونه اسیلوسکوپ دو کاناله می باشند که همزمان قادر به نمایش دادن دو سیگنال روی صفحه نمایش خود می باشد. برای انتقال سیگنال های الکتریکی به اسیلوسکوپ، از پروب استفاده می شود که در ادامه به بررسی آن می پردازیم.



پروب (Probe)

برای انتقال سیگنال‌های الکتریکی به اسیلوسکوپ، از پروب استفاده می‌شود. نمونه‌هایی از پروب در شکل زیر نمایش داده شده است. سیم رابط پروب معمولاً از جنس کابل کواکسیال می‌باشد تا میزان نویز به حداقل برسد. نوک پروب به صورت گیره‌ای فتری است که می‌توان آن را به یک نقطه از مدار وصل کرد. اگر پوشش پلاستیکی نوک پروب را برداریم، نوک آن به صورت سوزنی می‌شود که در بعضی مواقع از آن استفاده می‌گردد. انتهای فلزی سیم رابط که به ورودی اسیلوسکوپ وصل می‌شود، فیش BNC نام دارد. فیش BNC دارای یک شیار مورب است که وقتی آن را به ورودی اسیلوسکوپ وصل می‌کنیم و ۹۰ درجه در جهت عقربه‌های ساعت می‌چرخانیم این قطعه کاملاً به اسیلوسکوپ متصل می‌شود. همچنین روی پروب کلیدی با دو حالت $\times 1$ و $\times 10$ وجود دارد که در حالت $\times 1$ ، سیگنال بدون هیچ‌گونه تضعیفی از طریق پروب به اسیلوسکوپ اعمال می‌گردد و در حالت $\times 10$ ، ابتدا سیگنال در داخل پروب ۱۰ برابر تضعیف شده و سپس به اسیلوسکوپ اعمال می‌گردد. باید توجه داشت که اگر از حالت $\times 10$ پروب، برای اندازه‌گیری استفاده شود مقادیر قرائت شده دامنه را باید در عدد ۱۰ ضرب نمود تا مقدار واقعی دامنه سیگنال به دست آید. موارد کاربرد $\times 10$ برای سیگنال‌های با دامنه زیاد می‌باشد.

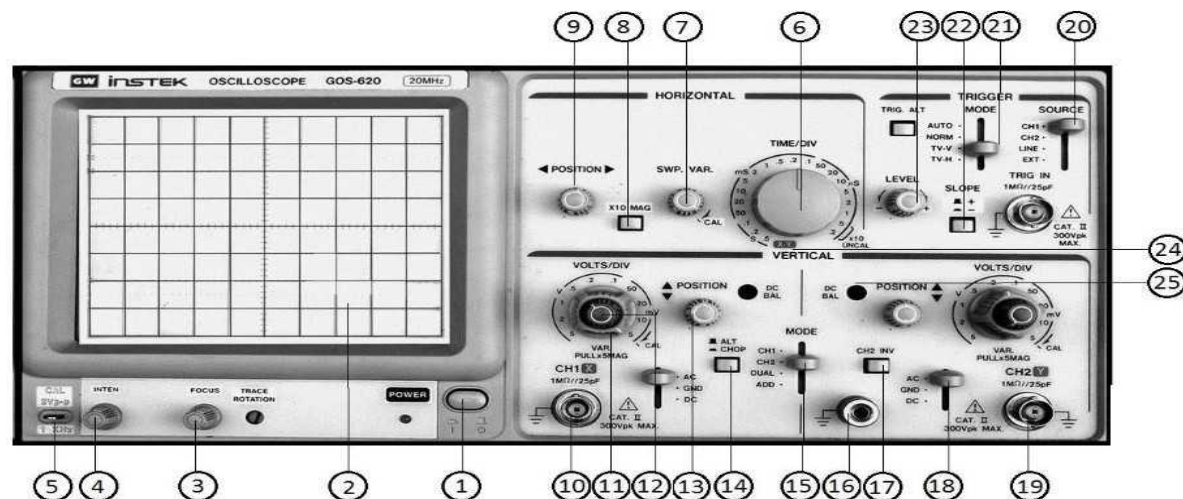


شرح عملکرد اسیلوسکوپ

۱- کلید روشن و خاموش کردن اسیلوسکوپ: در هر اسیلوسکوپ کلیدی برای روشن و خاموش کردن اسیلوسکوپ وجود دارد که آن را با کلمه POWER و یا ON/OFF نمایش می‌دهند. در نزدیکی این کلید، معمولاً یک LED جهت نمایش روشن و یا خاموش بودن اسیلوسکوپ وجود دارد.

۲- صفحه نمایش اسیلوسکوپ: اسیلوسکوپ‌ها دارای یک صفحه نمایش هستند که این صفحه نمایش در راستای افقی به ۱۰ قسمت و در راستای عمودی به ۸ قسمت تقسیم می‌شود که برای دقت بیشتر در اندازه‌گیری، در راستاهای افقی و عمودی، خطوط وسط دارای تقسیمات ریزتری نیز می‌باشند به طوری که هر خانه به ۵ قسمت تقسیم شده و هر قسمت معادل ۰/۲ خانه است.

۳- ولوم Focus: کلمه Focus به معنای کانونی و یا تمرکز است و این ولوم ضخامت موج رسم شده بر روی صفحه اسیلوسکوپ را کم و زیاد می‌کند. این ولوم باید در حالتی قرار داده شود که خطوط شکل موج، حداقل ضخامت را داشته باشند.



۴- ولوم Intensity: این ولوم شدت نور سیگنال نمایش داده شده را کم و زیاد می کند. این ولوم باید در حالتی قرار گیرد که شدت نور برای رؤیت سیگنال کافی باشد. این ولوم ممکن است به اختصار با Inten نمایش داده شود.

۵- پین تنظیمات یا کالیبراسیون: این قسمت برای تست و تنظیم سلکتورهای Volt/Div و Time/Div و نیز برای بررسی سالم و یا معیوب بودن پروب مورد استفاده قرار می گیرد. اسیلوسکوپ یک سیگنال مرجع با دامنه و فرکانس معین برای تست و تنظیم خود ایجاد می کند و به این پین انتقال می دهد. اگر سیگنال مزبور به ورودی اسیلوسکوپ داده شود، می توان شکل موج آن را مشاهده کرد. در عین حال چون دامنه و فرکانس سیگنال مزبور معین است، می توان صحت تنظیمات سلکتورهای Volt/Div و Time/Div را تحقیق کرد. همچنین اگر در اثر تماس نوک پروب با این پین، سیگنال موجود بر روی پین، در صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر شود و زمانی که گیره زمین پروب را هم زمان با نوک پروب به این پین متصل می کنیم یک خط افقی و یا به عبارتی ولتاژ صفر، روی صفحه اسیلوسکوپ ظاهر شود، پروب سالم است.

۶- کلید Time/Div: این کلید دارای ضرایبی بر حسب ثانیه، میلی ثانیه و میکروثانیه است و برای فشردن و باز کردن شکل موج در راستای افقی و اندازه گیری زمان تناوب توسط اسیلوسکوپ استفاده می شود.

۷- ولوم (SWP.Var) Time Variable: این ولوم برای فشردن و باز کردن شکل موج در راستای افقی استفاده می شود. برای اندازه گیری زمان تناوب توسط اسیلوسکوپ باید حتماً این ولوم تا آخر در جهت حرکت عقربه های ساعت چرخانده شده و روی علامت Cal قرار گیرد. اگر این ولوم از حالت Cal خارج شود ضرایب Time/Div دیگر معتبر نبوده و نمی توان زمان تناوب را محاسبه نمود. از این ولوم زمانی استفاده می شود که صحت ضرایب Time/Div اهمیتی نداشته باشد مثل زمانی که می خواهیم اختلاف فاز دو موج هم فرکانس را محاسبه کنیم.

۸- کلید بزرگنمایی در راستای افقی: توسط این کلید می توان مقیاس افقی را به میزان ۱۰ برابر بزرگ نمود. به این ترتیب که در حالت عادی مقیاس افقی همان است که سلکتور Time/Div نشان می دهد اما در حالت انتخاب این کلید، شکل موج در جهت افقی ۱۰ برابر باز می شود و این معادل این است که عدد نشان داده شده توسط سلکتور Time/Div به ۱۰ تقسیم شده باشد. مورد استفاده کلید بزرگنمایی افقی در مورد نمایش امواج با فرکانس زیاد است. این کلید با MAG به همراه $\times 10$ نمایش داده می شود.

۹- ولوم تغییر مکان افقی (Horizontal Position): این ولوم شکل موج را در جهت افقی جابه جا می کند. این ولوم ممکن است به اختصار با Hor.Pos و یا با علامت $\blacktriangleleft \blacktriangleright$ نشان داده می شود.

۱۰- ترمینال ورودی CH1: محل اتصال سیگنال ورودی کانال یک و ورودی افقی در حالت X-Y می باشد.

۱۱- کلید Volt/Div: این کلید نیز همانند کلید Time/Div دارای ضرایبی است که این ضرایب بر حسب ولت و میلی ولت می باشند و هر ضریب بیان کننده این است که هر خانه در راستای عمودی چند ولت می باشد. این کلید برای اندازه گیری دامنه ولتاژ به کار می رود. با تغییر این کلید، شکل موج در راستای عمودی باز و جمع می شود.

۱۲- ولوم Volt Variable: این ولوم شکل موج را در راستای عمودی فشرده و باز می کند؛ اما اگر این ولوم از حالت Cal خارج شود دیگر مقادیر Volt/Div معتبر نبوده و نمی توان اندازه ولتاژ را محاسبه نمود؛ بنابراین این ولوم هنگام اندازه گیری ولتاژ باید روی علامت Cal باشد.

۱۳- ولوم Vertical Position: این ولوم شکل موج را در راستای عمودی جا به جا می کند و ممکن است به اختصار با Ver.Pos و یا با استفاده از علامت های $\blacktriangledown$ و $\blacktriangle$ نمایش داده شود.

۱۴- کلید CHOP-ALT: اگر فرکانس سیگنال‌های ورودی بیشتر از 1 kHz باشد با استفاده از حالت ALT می‌توانیم دو شکل موج را به طور هم‌زمان در صفحه نمایش اسیلوسکوپ مشاهده کنیم؛ اما اگر فرکانس سیگنال‌های ورودی کم باشد مشاهده دو شکل موج به طور هم‌زمان در حالت انتخاب ALT امکان‌پذیر نخواهد بود؛ زیرا در این صورت وقتی اسیلوسکوپ سیگنال کانال ۱ را نمایش می‌دهد سیگنال کانال ۲ از دید محو می‌شود و وقتی اسیلوسکوپ سیگنال کانال ۲ را نمایش می‌دهد، سیگنال کانال ۱ از دید محو می‌شود و بنابراین دو موج به صورت چشم‌کزن روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر می‌شوند. برای نمایش سیگنال‌های با فرکانس کم از حالت CHOP استفاده می‌کنیم.

۱۵- کلید ADD-DUAL-CH2-CH1: اگر این کلید در حالت CH1 باشد فقط سیگنال اعمال شده به کانال ۱ روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود و اگر این کلید در حالت CH2 باشد فقط سیگنال اعمال شده به کانال ۲ روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود. در صورتی که DUAL را انتخاب کنیم شکل موج‌های هر دو کانال هم‌زمان روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شوند و در صورت انتخاب ADD حاصل جمع لحظه‌ای دو شکل موج روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده می‌شود.

۱۶- اتصال زمین دستگاه: استفاده از اتصال زمین باعث جلوگیری از خطرات احتمالی و کارایی بهتر دستگاه می‌شود.

۱۷- کلید CH2 INV: زمانی که این کلید انتخاب می‌شود شکل موج کانال ۲ به اندازه ۱۸۰ درجه اختلاف فاز پیدا می‌کند.

۱۸- کلید AC-GND-DC: اگر این کلید در حالت AC باشد یک خازن در مسیر ورودی اسیلوسکوپ قرار می گیرد که سبب حذف مؤلفه DC شکل موج می گردد؛ یعنی در این حالت فقط سیگنال های AC روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ، نمایش داده می شوند و سیگنال های DC حذف می شوند؛ اما اگر این کلید در حالت DC باشد هر چه در ورودی باشد بدون تغییر در صفحه نمایش اسیلوسکوپ، نمایش داده می شود؛ یعنی در این حالت مؤلفه های AC و DC روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ، نمایش داده می شوند و در صورتی که این کلید در حالت GND باشد ورودی اسیلوسکوپ به صفحات انحراف عمودی که در ادامه در رابطه با آن ها صحبت می کنیم منتقل نخواهد شد بلکه این صفحات به اختلاف پتانسیل صفر ولت متصل می شوند. در این حالت روی صفحه اسیلوسکوپ یک خط افقی دیده می شود که از آن برای تعیین خط مبنای عمودی و یا ولتاژ صفر ولت استفاده می شود.

۱۹- ترمینال ورودی CH2: محل اتصال سیگنال ورودی کانال دو در وضعیت عادی و ورودی محور عمودی در حالت X-Y می باشد.

۲۰- کلید Source Trigger: این کلید ممکن است دارای حالت های زیر باشد.

- CH1 : در این حالت عمل تریگر توسط سیگنال اعمال شده به کانال ۱ انجام می شود.
- CH2 : در این حالت عمل تریگر توسط سیگنال اعمال شده به کانال ۲ انجام می شود.
- Line : در این حالت عمل تریگر با فرکانس برق شهر انجام می شود.
- Ext : در این حالت باید موجی را که می خواهیم توسط آن عمل تریگر انجام شود از خارج اسیلوسکوپ و توسط ترمینال مخصوص آن به اسیلوسکوپ اعمال کنیم.

۲۱- کلید Mode Trigger: این کلید ممکن است دارای حالت‌های زیر باشد:

- **Auto:** اگر این کلید در حالت Auto باشد حتی اگر به ورودی اسیلوسکوپ سیگنالی اعمال نشود مدار داخلی اسیلوسکوپ یک موج دندان‌اره‌ای به صفحات انحراف افقی اعمال می‌کند و بنابراین خطی افقی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر می‌شود که نشان دهنده آماده به کار بودن اسیلوسکوپ است.
- **Normal:** اما در صورتی که این کلید در حالت Normal باشد عمل تریگر فقط به کمک موج ورودی انجام می‌شود و لذا در صورتی که ورودی نداشته باشیم هیچ‌گونه خطی و یا موجی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر نخواهد شد. این کلید در حالت عادی باید بر روی Auto باشد.
- **TV-H:** در این حالت یک فیلتر پایین گذر مؤلفه‌های فرکانس بالای موج ورودی را حذف نموده و سپس عمل تریگر انجام می‌شود. این کلید در حالتی استفاده می‌شود که یک موج مزاحم بر روی موج اصلی، مانع عمل تریگر شود. در این حالت عمل تریگر توسط سیگنال‌های افقی تلویزیون انجام می‌شود.
- **TV-V:** در این حالت عمل تریگر توسط سیگنال‌های عمودی تلویزیون انجام می‌شود.

۲۲- کلید Slope: این کلید مشخص کننده این است که اولین نیم سیکل موج نشان داده شده مثبت و یا منفی می‌باشد. در حالت عادی باید علامت مثبت (+) انتخاب شود. در واقع علامت مثبت (+) به معنای شیب مثبت و علامت منفی (-) به معنای شیب منفی در نقطه شروع موج می‌باشد.

۲۳- ولوم Level: این ولوم نقطه شروع موج نشان داده شده بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ را معین می کند. همچنین اگر موج نمایش داده شده بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ، در جهت افقی حرکت کند و ثابت نباشد باید به کمک این ولوم شکل موج را ثابت نگهداشت.

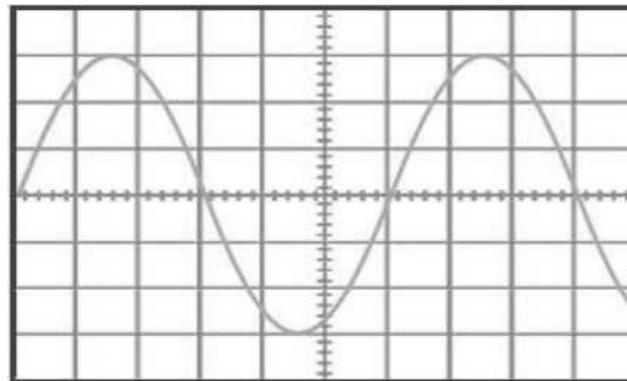
۲۴- کلید X-Y: اگر این کلید فعال شود هر یک از سیگنال های ورودی به یکی از صفحات انحراف افقی یا عمودی اعمال می شود؛ بنابراین در حالت انتخاب کلید X-Y، سیگنال ورودی کانال ۱ به صفحات انحراف افقی و سیگنال ورودی کانال ۲ به صفحات انحراف عمودی اعمال می شود. این کلید برای مشاهده منحنی مشخصه ولت - آمپر عناصر نیمه هادی و نیز مشاهده اشکال لیسازور کاربرد دارد.

۲۵- پیچ بالانس DC: به دلیل استفاده از اسیلوسکوپ در مناطق و حرارت های متفاوت می بایست سلکتورهای Volt/Div هر یک از دو کانال، از نظر DC بالانس شوند. با تنظیم این پیچ ها باید حالتی را انتخاب نمود که در آن حالت با تغییر سلکتور Volt/Div، خط افقی هیچ تغییر مکانی در جهت عمودی نداشته باشد. این پیچ ها معمولاً با DC-Bal مشخص می شوند.

اندازه گیری ولتاژ

توسط اسیلوسکوپ می توان ولتاژهای AC و DC را با دقت خیلی زیاد اندازه گیری کرد. برای این منظور ابتدا ولوم Volt Variable را تا انتها در جهت حرکت عقربه های ساعت می چرخانیم و آن را در حالت Cal قرار می دهیم. سپس با قرار دادن کلید AC-GND-DC روی حالت GND اشعه را ترجیحاً در وسط صفحه نمایش اسیلوسکوپ و یا در هر نقطه دلخواه دیگری از صفحه نمایش تنظیم می کنیم و سپس کلید فوق را در حالت DC قرار می دهیم تا سیگنال اعمال شده به اسیلوسکوپ بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر شود. حال در صورتی که سیگنال ورودی، یک سیگنال AC باشد برای به دست آوردن ولتاژ پیک آن، تعداد خانه های اشغال شده بین محل تنظیم اشعه در حالت GND و پیک سیگنال AC را شمرده و در ضریب Volt/Div ضرب می کنیم. در صورت سینوسی بودن شکل موج، برای به دست آوردن ولتاژ مؤثر آن، مقدار ولتاژ پیک به دست آمده را بر $\sqrt{2}$ تقسیم می کنیم. به عنوان مثال در شکل یک سیگنال سینوسی بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ نمایش داده شده است. اگر ضریب Volt/Div برابر با ۰/۵ ولت باشد. فاصله قله سیگنال سینوسی نمایش داده شده در شکل تا محور X ها برابر است با فاصله دره این سیگنال سینوسی تا محور X ها؛ بنابراین محور X ها را به عنوان ولتاژ صفر ولت در نظر می گیریم. یعنی در این مثال مقدار ولتاژ پیک سیگنال سینوسی برابر است با :

$$V_p = 3 \times 0.5 = 1.5$$



برای به دست آوردن ولتاژ مؤثر (V_{rms}) سیگنال سینوسی فقط کافی است مقدار ولتاژ پیک سیگنال سینوسی را بر $\sqrt{2}$ تقسیم کنیم. در این مثال مقدار ولتاژ مؤثر سیگنال سینوسی برابر است با :

$$V_{rms} = \frac{1.5}{\sqrt{2}} = 1.06 \text{ V}$$

حال اگر ولتاژ مورد اندازه گیری یک ولتاژ DC باشد تعداد خانه های اشغال شده بین محل تنظیم اشعه در حالت GND و ولتاژ DC را بشمرده و در ضریب Volt/Div ضرب می کنیم تا مقدار ولتاژ DC به دست آید.

ولتاژ پیک-توپیک (peak to peak) اختلاف ولتاژ کمترین و بیشترین مقدار در شکل موج است (در مثال بالا $6 \times 0.5 = 3 \text{ V}_{p-p}$).

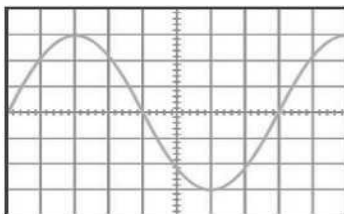
اندازه گیری زمان تناوب و فرکانس

برای اندازه گیری زمان تناوب یک موج متناوب باید ابتدا ولوم Time Variable را در حالت Cal قرار داده و سپس تعداد خانه های در بر گرفته شده توسط یک موج متناوب را در ضریب Time/Div ضرب نمود. به عنوان مثال با فرض اینکه ضریب Time/Div برابر با ۰/۵ میلی ثانیه و ولوم Time Variable در حالت Cal باشد و تعداد خانه های در بر گرفته شده توسط یک سیکل برابر با ۸ خانه می باشد.

بنابراین زمان تناوب برابر است با :

$$T = 8 \times 0.5 \text{ ms} = 4 \text{ ms}$$

اگر بخواهیم فرکانس یک سیگنال متناوب را به دست آوریم تنها کافی است عدد یک را بر زمان تناوب آن سیگنال تقسیم کنیم. به عنوان مثال فرکانس موج سینوسی نمایش داده شده برابر است با :

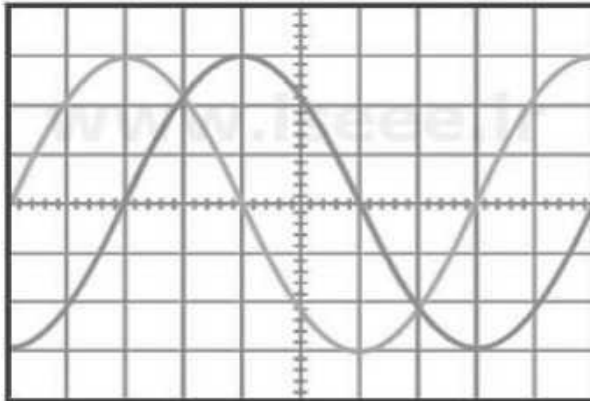


$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4 \text{ ms}} = 250 \text{ Hz}$$

اندازه گیری اختلاف فاز

با توجه به اینکه اسیلوسکوپ های دو کاناله می توانند هم زمان دو شکل موج را نمایش دهند امکان اندازه گیری اختلاف فاز بین دو موج متناوب هم فرکانس توسط این نوع اسیلوسکوپ ها امکان پذیر است. برای این منظور دو روش وجود دارد.

روش اول: در این روش ابتدا 360° را بر تعداد خانه های در بر گرفته شده توسط یک سیکل تقسیم می کنیم تا مقدار اختلاف فاز به ازای هر خانه مشخص شود. سپس تعداد خانه های قرار گرفته بین دو شکل موج در راستای افقی را در مقدار اختلاف فاز به ازای هر خانه ضرب می کنیم تا اختلاف فاز بین دو شکل موج به دست آید. اختلاف فاز را با Φ (فی) نمایش می دهند.

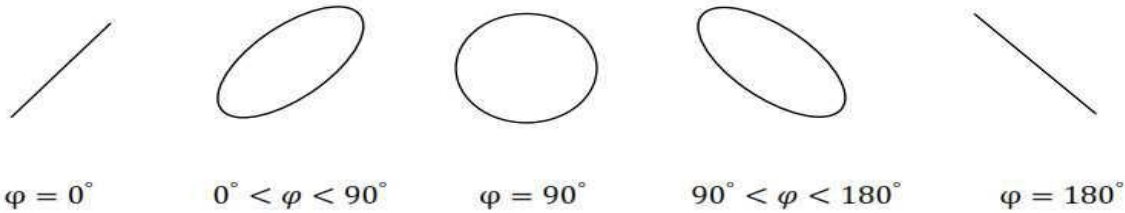


$$\text{اختلاف فاز به ازای هر خانه} = \frac{360^\circ}{8} = 45^\circ$$

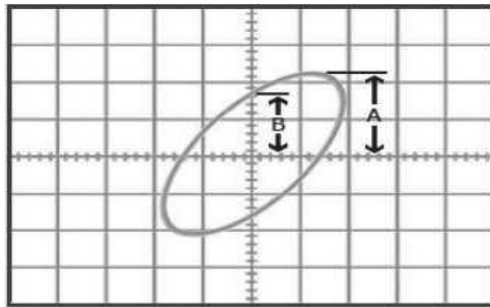
$$\varphi = 45^\circ \times 2 = 90^\circ$$

بنابراین این دو شکل موج با یکدیگر 90° درجه اختلاف فاز دارند.

روش دوم: در این روش برای اندازه گیری اختلاف فاز بین دو شکل موج از اشکال لیسازور استفاده می شود. برای این منظور اسیلوسکوپ را در حالت X-Y قرار داده دو ورودی را به کانال های X و Y (کانال های ۱ و ۲) اعمال کرده تا بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ ظاهر شوند.

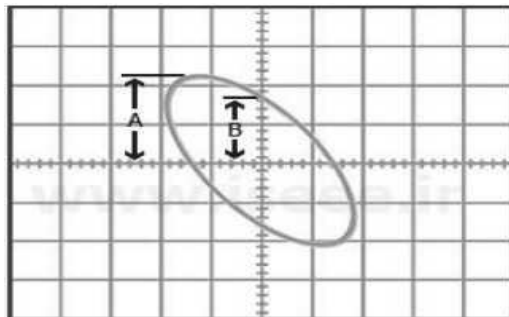


در تصویرهای ۱، ۳ و ۵ مقدار اختلاف فاز بین دو موج مشخص است اما در تصویر ۲ و ۴ برای به دست آوردن اختلاف فاز بین دو موج به طریق زیر عمل می کنیم.



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

در صورت ایجاد تصویر ۴ بر روی صفحه نمایش اسیلوسکوپ، از رابطه زیر برای محاسبه اختلاف فاز بین دو شکل موج استفاده می شود.

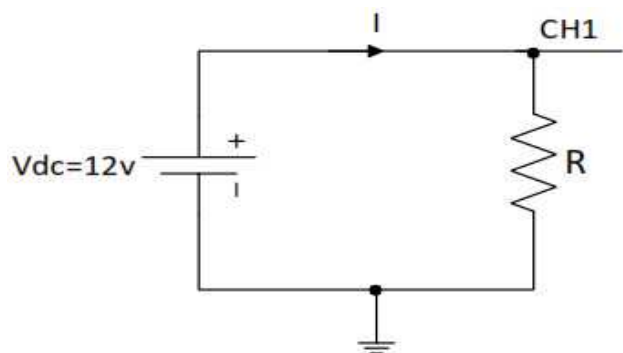


$$\varphi = 180 - \sin^{-1}\left(\frac{B}{A}\right)$$

آزمایش ۴: عملکرد سیگنال ژنراتور و اسیلوسکوپ

مراحل آزمایش:

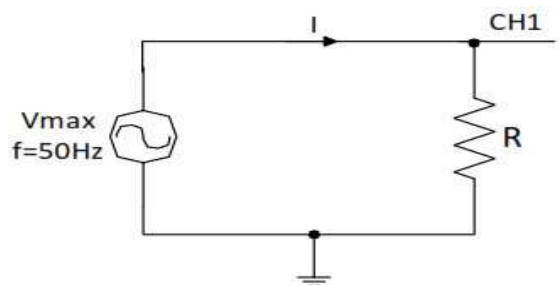
۱- مدار زیر را ببندید و جدول را کامل کنید.



R	I (mA) جریان مولتی متر	Vo.s ولتاژ اسیلوسکوپ	$I = \frac{Vo.s}{R}$
R=1 kΩ			
R=10 kΩ			

- نتایج حاصل از اندازه گیری جریان DC توسط مولتی متر و اندازه گیری با توجه به اسیلوسکوپ را با یکدیگر مقایسه کنید.

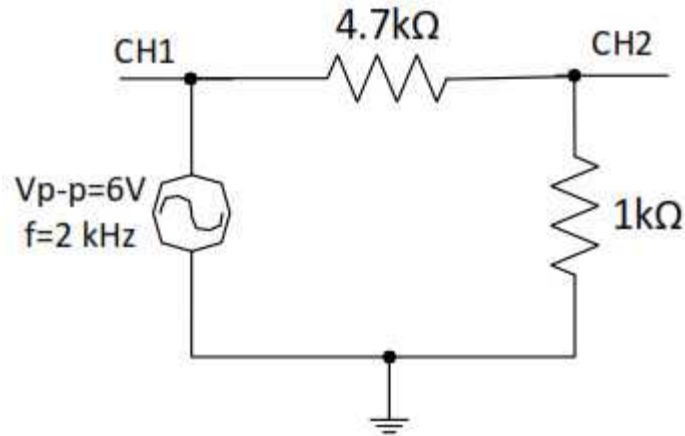
۲- مدار زیر را بر روی بردبورد ببندید (ولتاژ سیگنال ژنراتور را روی مقدار Max قرار دهید) و جدول را کامل کنید.



R	I (mA) جریان مولتی متر	Vo.s ولتاژ اسیلوسکوپ	$I = \frac{Vo.s}{R}$
R=1 kΩ			
R=10 kΩ			

- نتایج حاصل از اندازه گیری جریان AC توسط مولتی متر و اندازه گیری با توجه به اسیلوسکوپ را با یکدیگر مقایسه کنید.

۳- مدار زیر را ببندید. سیگنال ژنراتور را دامنه ۶ ولت پیک تا پیک و فرکانس 2 kHz تنظیم کنید. کانال یک اسیلوسکوپ را به ورودی فانکشن ژنراتور و کانال دو اسیلوسکوپ را به مقاومت 1 k Ω وصل کنید.



- شکل موج‌های کانال یک و دو را هم‌زمان مشاهده و رسم کنید.
- شکل موج‌های کانال یک را با کانال دو جمع نمایید و شکل موج خروجی را رسم نمایید.
- شکل موج‌های کانال یک را از کانال دو کم (تفریق) نمایید و شکل موج خروجی را رسم نمایید.

خازن (Capacitor)

خازن المانی است که انرژی الکتریکی را به صورت بار الکتریکی ذخیره می کند. خازن از دو یا چند صفحه هادی که بین آنها ماده عایق یا دی الکتریک قرار گرفته است تشکیل می شوند. به صفحات خازن، جوشن های خازن نیز می گویند که معمولاً از آلومینیوم، نقره، قلع و روی ساخته می شوند. صفحات خازن در فاصله ای بسیار نزدیک به هم قرار می گیرند. عایق بین صفحات خازن معمولاً از جنس هوا، کاغذ، میکا، پلاستیک، سرامیک، اکسید آلومینیوم و اکسید تانتالیوم می باشد. به عایق بین صفحات خازن دی الکتریک می گویند.



مشخصه های الکتریکی خازن

۱- ظرفیت خازن: ظرفیت هر خازن نشان دهنده توانایی خازن در ذخیره کردن بار الکتریکی است و بنا به تعریف، ظرفیت خازن برابر است با مقدار بار الکتریکی که باید روی یکی از صفحات خازن جمع شود تا پتانسیل آن نسبت به صفحه دیگر به اندازه یک ولت افزایش یابد. ظرفیت خازن را با حرف C نمایش می دهند. بنابراین ظرفیت خازن را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود.

$$C = \frac{Q}{V}$$

در این رابطه C ظرفیت خازن بر حسب فاراد (F) و Q بار یک صفحه بر حسب کولن (C) و V ولتاژ دو سر خازن بر حسب ولت (V) است.

ظرفیت یک خازن به عوامل مختلفی بستگی دارد که مهم ترین این عوامل عبارتند از:

۱- مساحت صفحات خازن ۲- ثابت دی الکتریک خازن ۳- فاصله بین صفحات خازن

انواع خازن

خازن ها به دو دسته کلی تقسیم می شوند. ۱- خازن های ثابت ۲- خازن های متغیر

۱- خازن های ثابت: این خازن ها دارای ظرفیت ثابتی هستند و بر اساس نوع ماده دی الکتریک به کار رفته در آن ها تقسیم بندی و نام گذاری می شوند و از آن ها در مصارف مختلف استفاده می شود. مهم ترین خازن های ثابت عبارت اند از:

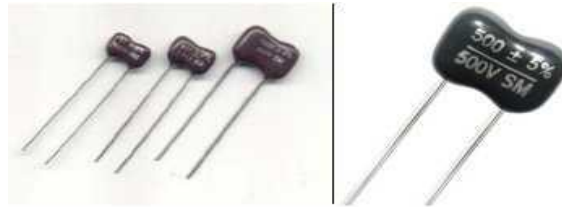
- ۱- خازن سرامیکی
- ۲- خازن میکا
- ۳- خازن ورقه ای
- ۴- خازن الکتrolیتی

۱- خازن سرامیکی (Ceramic Capacitor): خازن سرامیکی یکی از پرکاربردترین خازن ها می باشد. دی الکتریک به کار رفته در خازن سرامیکی از جنس سرامیک است و به دلیل اینکه سرامیک ثابت دی الکتریک بالایی دارد می توان خازن های سرامیکی را در اندازه های کوچک و ظرفیت های بالا نسبت به حجمشان ساخت و این یکی از بزرگترین مزیت های خازن های سرامیکی است. ولتاژ کار این خازن ها از ۵۰ ولت به بالاست. ظرفیت خازن های سرامیکی معمولاً بین 1 pF تا 100 nF است.



مقدار ظرفیت خازن های سرامیکی را ممکن است به همراه واحد آن بر روی خازن بنویسند که در این صورت مقدار ظرفیت خازن به راحتی خوانده می شود. گاهی برای تعیین ظرفیت خازن فقط از چند عدد استفاده می شود و واحدی برای ظرفیت خازن بر روی آن نوشته نمی شود. اگر عدد روی خازن بزرگتر از یک باشد، دو رقم اول را نوشته و به تعداد رقم سوم به آن ها صفر اضافه می کنیم. عدد حاصل مقدار ظرفیت خازن را بر حسب پیکوفاراد نشان می دهد.

۲- خازن میکا: خازن‌های میکا از تعدادی ورقه نازک میکا به عنوان دی‌الکتریک و تعدادی ورقه نازک فلزی به عنوان صفحات هادی تشکیل می‌شوند. این ورقه‌ها به صورت یک در میان روی هم قرار می‌گیرند. ظرفیت خازن‌های میکا کم و از چند پیکوفاراد تا حداکثر ۵ نانوفاراد است. از ویژگی‌های اصلی و مهم این خازن‌ها می‌توان داشتن ولتاژ کار بالا، ثبات ظرفیت، ضریب حرارتی پایین، عمر کارکرد طولانی و کاربرد در مدارات فرکانس بالا را نام برد. در شکل (۵) تصویری از یک خازن میکا نمایش داده شده است.



۳- خازن ورقه‌ای: در خازن‌های ورقه‌ای از کاغذ و مواد پلاستیکی به عنوان دی‌الکتریک استفاده می‌شود. این گروه از خازن‌ها خود به دو صورت ساخته می‌شوند. ۱- خازن‌های کاغذی ۲- خازن‌های پلاستیکی

۳-۱- خازن کاغذی: دی‌الکتریک این نوع خازن‌ها از یک صفحه نازک کاغذی متخلخل تشکیل شده است که یک دی‌الکتریک مناسب درون آن تزریق می‌گردد تا مانع از جذب رطوبت گردد. برای جلوگیری از تبخیر دی‌الکتریک درون کاغذ، خازن را درون یک قاب محکم و نفوذ ناپذیر قرار می‌دهند. خازن‌های کاغذی به علت کوچک بودن ضریب دی‌الکتریک عایق آن‌ها، دارای ابعاد فیزیکی بزرگی هستند اما از مزایای این خازن‌ها این است که در ولتاژها و جریان‌های زیاد می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.



۳-۲- خازن پلاستیکی: در این نوع از خازن‌ها از ورقه‌های نازک پلاستیک به عنوان دی‌الکتریک استفاده می‌شود. ورقه‌های پلاستیکی به همراه ورقه‌های نازک فلزی به صورت لوله شده در درون قاب پلاستیکی بسته‌بندی می‌شوند. امروزه این نوع خازن‌ها به دلیل داشتن مشخصات خوب، در مدارات زیاد به کار می‌روند. این خازن‌ها نسبت به تغییرات دما حساسیت زیادی ندارند و به همین سبب از آن‌ها در مداراتی استفاده می‌شود که احتیاج به خازنی با ظرفیت ثابت در مقابل حرارت وجود داشته باشد. ماکزیمم فرکانس کار خازن‌های پلاستیکی حدود یک مگاهرتز است. خازن‌های پلاستیکی جریان نشتی خیلی کمی دارند.



۴- خازن الکترولیتی: اگر دی‌الکتریک یک خازن طی یک واکنش شیمیایی ایجاد شده باشد آن خازن را یک خازن الکترولیتی و در غیر این صورت آن را یک خازن خشک می‌گویند. از خازن‌های الکترولیتی به دلیل قابلیتی که در ساخت آن‌ها وجود دارد برای ظرفیت‌های بالا استفاده می‌کنند. در اکثر خازن‌های الکترولیتی پلاریته مثبت و منفی مشخص شده است و اصطلاحاً گفته می‌شود خازن‌های الکترولیتی قطبی هستند. به همین سبب، هنگام کار با این نوع خازن‌ها باید دقت نمود، زیرا اگر خازن به صورت معکوس اتصال داده شود، دی‌الکتریک آن از بین رفته و خازن تبدیل به یک هادی می‌شود و سپس محلول الکترولیت خازن تجزیه می‌گردد و در اثر گاز ایجاد شده در محفظه، خازن منفجر می‌شود. خازن‌های الکترولیتی در دو نوع آلومینیومی و تانتالیومی ساخته می‌شوند.



۴-۱- خازن الکترولیتی آلومینیومی: این خازن ها از دو ورقه آلومینیومی تشکیل شده اند که یکی از این ورقه ها که لایه اکسید روی آن ایجاد می شود، آند و ورقه آلومینیومی دیگر کاتد نامیده می شود. از معایب این خازن ها می توان به تبخیر و خارج شدن الکترولیت از پولک پلاستیکی و بالا بودن جریان نشتی آن ها اشاره کرد و از جمله ویژگی های خوب این خازن ها داشتن ظرفیت زیاد نسبت به حجمشان است. پایه منفی (کاتد) خازن های الکترولیتی را با نواری که بر روی آن علامت منفی (-) درج شده است مشخص می کنند. بر روی این خازن ها، ولتاژ مجاز و مقدار ظرفیت آن ها را به طور مستقیم می نویسند.



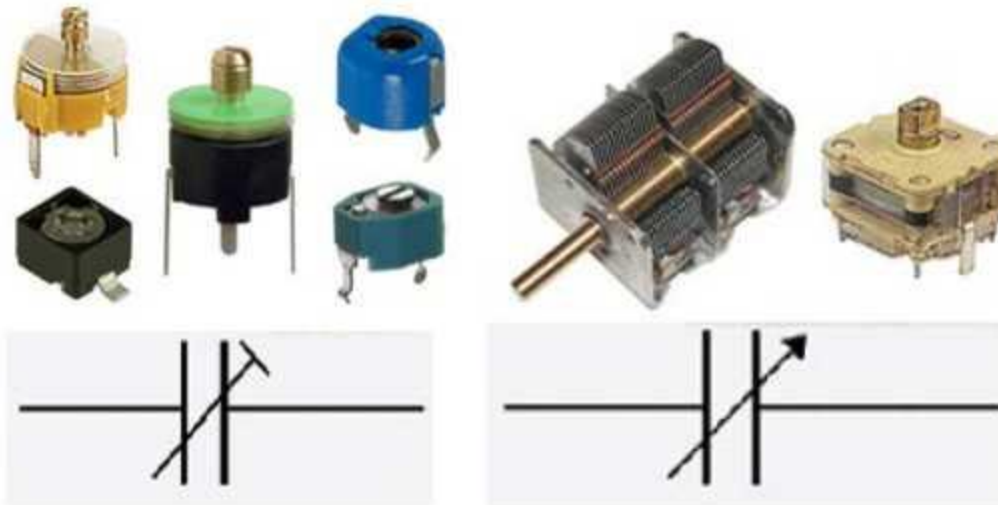
۴-۲- خازن الکترولیتی تانتالیومی: در این نوع خازن ها به جای فلز آلومینیوم از فلز تانتالیوم استفاده می شود. به دلیل اینکه ثابت دی الکتریک اکسید تانتالیوم نسبت به اکسید آلومینیوم بیشتر است خازن های تانتالیومی نسبت به خازن های آلومینیومی در حجم مساوی دارای ظرفیت بیشتری می باشند. خازن های تانتالیومی از خازن های آلومینیومی گران تر هستند. خازن های تانتالیومی حجم کمتری؛ طول عمر کارکرد بیشتر و جریان نشتی کمتر دارند. اما باید دقت داشته باشید که خازن های تانتالیومی نسبت به افزایش ولتاژ دو سر خازن به بیش از ولتاژ مجاز و نیز اشتباه وصل شدن ولتاژ به دو سر خازن از نظر پلاریته، حساس تر از خازن های آلومینیومی هستند و سریع تر آسیب می بینند. خازن های آلومینیومی در ظرفیت های بالا نیز ساخته می شوند (تا چند هزار میکرو فاراد) اما خازن های تانتالیومی حداکثر تا ظرفیت $330 \mu F$ ساخته می شوند.



۲- خازن‌های متغیر: به طور کلی با تغییر سه عامل می‌توان ظرفیت خازن‌ها را تغییر داد. این سه عامل عبارت‌اند از:

۱- فاصله صفحات خازن ۲- سطح مؤثر بین صفحات خازن ۳- نوع دی‌الکتریک

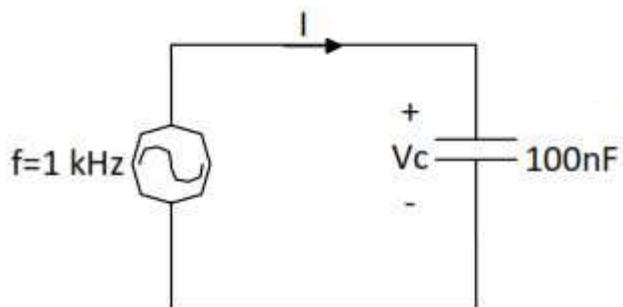
اساس کار خازن‌های متغیر بر مبنای تغییر سطح مشترک صفحات خازن و یا تغییر فاصله بین صفحات خازن است. نوع دی‌الکتریک به کار رفته در خازن‌های متغیر معمولاً از جنس هوا یا پلاستیک است. خازن متغیری که عمل تغییر ظرفیت در آن به وسیله یک ولوم انجام می‌شود را خازن واریابل (Variable) و نوع دیگر را که در آن عمل تغییر ظرفیت باید به کمک پیچ‌گوشتی انجام گیرد خازن تریمر (Trimmer) گویند. محدوده تغییر ظرفیت در خازن‌های واریابل از ۱۰ تا ۴۰۰ پیکوفاراد و در خازن‌های تریمر از ۵ تا ۳۰ پیکوفاراد است.



آزمایش ۵: رفتار خازن تحت شکل موج متناوب

مراحل آزمایش:

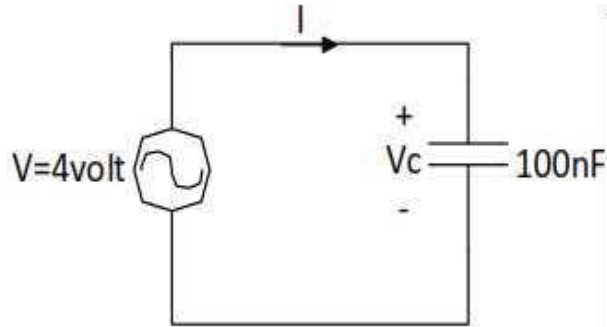
۱- مدار زیر را بر روی برد بورد ببندید و جدول را زیر با تغییر ولتاژ ورودی فانکشن ژنراتور کامل نمایید.



- آیا خازن از قانون اهم در این فرکانس پیروی می کند؟
- نمودار I-V (جریان بر حسب ولتاژ) را برای خازن رسم نمایید.

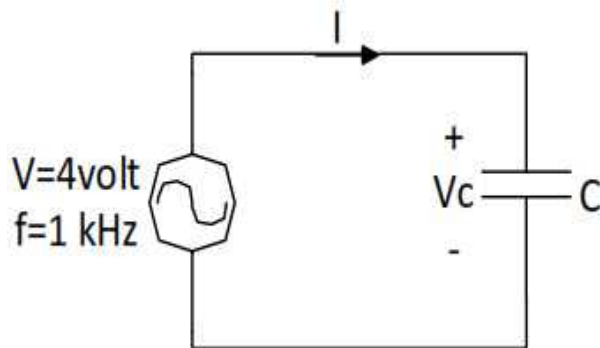
ولتاژ	0.7	1.5	2	2.5	2.8	3.5	4
I (mA) (مولتی متر)							
$X_c = \frac{V}{I} (k\Omega)$ (راکتانس)							

۲- با توجه به مدار جدول زیر را با تغییر فرکانس پر کنید.



فرکانس (f)	10Hz	50Hz	100Hz	500Hz	1kHz
I (mA) (مولتی متر)					
$X_c = \frac{V}{I} (k\Omega)$ (راکتانس)					

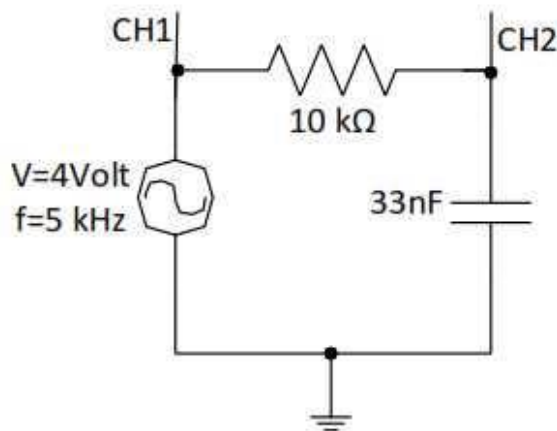
۳- جدول زیر را با تغییر مقدار خازن کامل نمایید.



C(nf)	100	220	470	1000
I(mA) مولتی متر				
X_c (راکتانس)				

آزمایش ۶: اختلاف فاز مدارهای RC

مراحل انجام آزمایش:



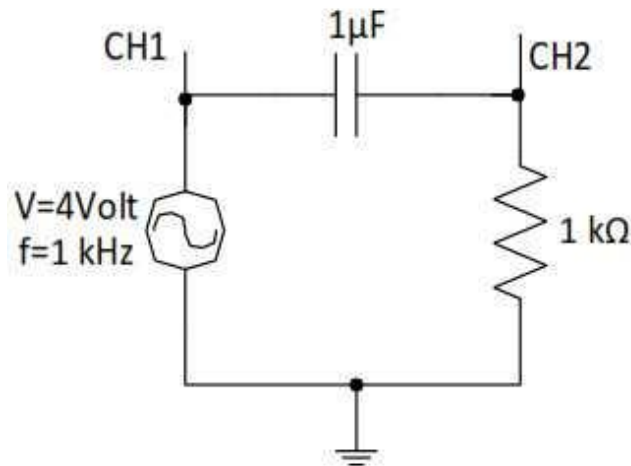
۱- مدار زیر را بر روی بردبورد ببندید.

- اختلاف فاز بین کانال ۱ (دوسر منبع فانکشن ژنراتور) و کانال ۲ (دوسر خازن) را به صورت Chop با رسم شکل به دست آورید.

- اختلاف فاز بین کانال ۱ (دوسر منبع فانکشن ژنراتور) و کانال ۲ (دوسر خازن) را در حالت X-Y (لیسازر) با رسم شکل به دست آورید.

- در مدار روبرو نسبت تقدم و تأخر فاز ولتاژ و جریان خروجی (رابطه ولتاژ و جریان دوسر خازن) چگونه است؟

- رابطه اختلاف فاز بین ولتاژ ورودی (منبع فانکشن ژنراتور) و جریان مدار را به صورت تئوری به دست آورید. (برای به دست آوردن رابطه اختلاف فاز، منبع را V_i در نظر گرفته و با در نظر گرفتن مقاومت و خازن در حالت کلی R و C رابطه بین ولتاژ ورودی و جریان مدار را به دست آورید).



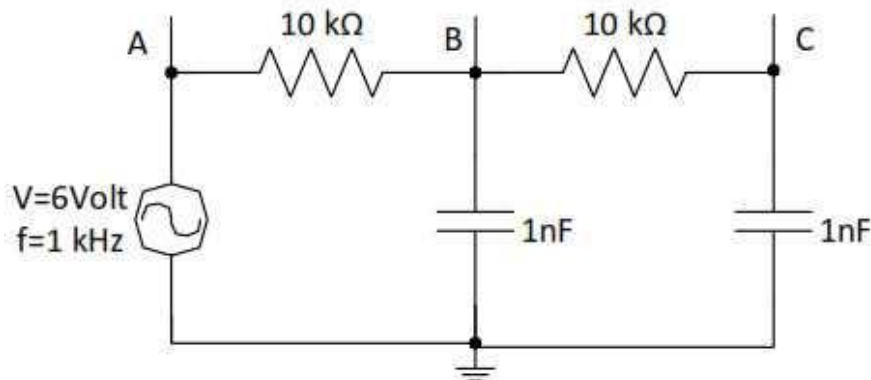
۲- مدار زیر را بر روی برد ببندید.

- اختلاف فاز بین کانال ۱ (دوسر منبع فانکشن ژنراتور) و کانال ۲ (دوسر مقاومت) را به صورت Chop با رسم شکل به دست آورید.

- اختلاف فاز بین کانال ۱ (دوسر منبع فانکشن ژنراتور) و کانال ۲ (دوسر مقاومت) را در حالت X-Y (لیسازر) با رسم شکل به دست آورید.

- در مدار روبرو نسبت تقدم و تأخر فاز ولتاژ و جریان خروجی (رابطه ولتاژ و جریان دوسر مقاومت) چگونه است؟

۳- مدار مقابل را ببندید.



- اختلاف فاز بین دو نقطه A و B را با یکی از روش‌های اختلاف فاز (روش Chop، حالت X-Y) با رسم شکل به دست آورید.

- اختلاف فاز بین دو نقطه B و C را با یکی از روش‌های اختلاف فاز با رسم شکل به دست آورید.

- اختلاف فاز بین دو نقطه A و C را با یکی از روش‌های اختلاف فاز با رسم شکل به دست آورید.

- رابطه فاز بین سه نقطه A، B و C را به دست آورید.

پاسخ فرکانسی مدارهای RC (فیلتر RC)

فیلتر سیستمی است که فقط فرکانس‌های معینی را از خود عبور داده و سایر فرکانس‌ها را تضعیف می‌کند. از انواع فیلترها می‌توان به فیلترهای پایین‌گذر و بالاگذر اشاره کرد.

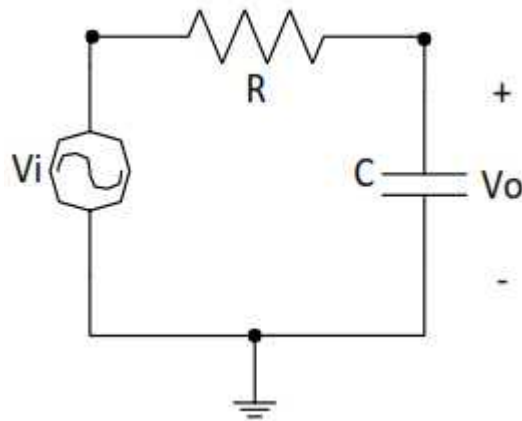
فیلتر پایین‌گذر (Low Pass Filter) مقدار dc یا سیگنال با فرکانس پایین را عبور داده و سایر فرکانس‌های بالا را تضعیف می‌کند. فیلتر بالاگذر (High Pass Filter) نیز فرکانس‌های بالا را عبور داده و فرکانس‌های پایین را تضعیف می‌کند. برای تشخیص بالاگذر یا پایین‌گذر بودن یک فیلتر به روش زیر می‌توان عمل کرد :

- در $\omega = 0$ به جای خازن مدار باز ($\frac{1}{j\omega c} = \infty$) و به جای سلف اتصال کوتاه می‌گذاریم ($j\omega L = 0$) اگر پاسخ صفر باشد مدار بالاگذر و اگر پاسخ غیر صفر باشد مدار پایین‌گذر است.
- در $\omega = \infty$ به جای خازن اتصال کوتاه ($\frac{1}{j\omega c} = 0$) و به جای سلف اتصال باز می‌گذاریم ($j\omega L = \infty$) اگر پاسخ صفر باشد مدار پایین‌گذر و در غیر این صورت مدار بالاگذر است.

آزمایش ۷: پاسخ فرکانسی مدارهای RC (فیلتر RC)

مراحل انجام آزمایش:

- ۱- مدار را به ازای $R = 4.7 \text{ k}\Omega$ و $C = 33 \text{ nF}$ بر روی بردبرد ببندید. یک نوسان ساز سینوسی با مقدار پیک 4 ولت به ورودی اعمال کنید. با توجه به آن به سؤالات زیر پاسخ دهید.

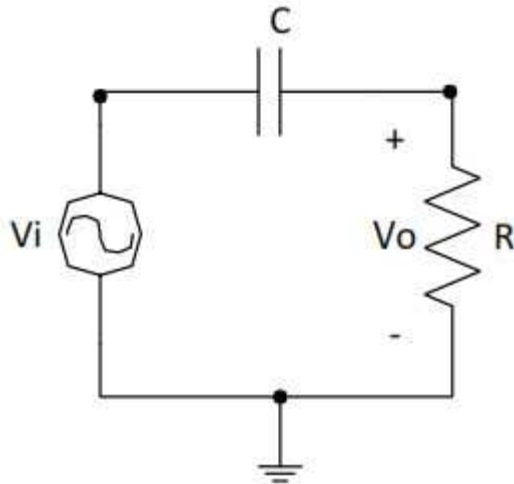


- جدول زیر را کامل کنید.

f									
$V_o(p-p)$									

- منحنی مشخصه خروجی بر حسب فرکانس را رسم کنید.
- فرکانس قطع مدار (f_{3dB}) را به صورت عملی و تئوری به دست آورید.

۲- مدار را به ازای $R=1\text{ k}\Omega$ و $C=1\text{ nF}$ بر روی بردبورد ببندید. یک نوسان ساز سینوسی با مقدار پیک ۵ ولت به ورودی اعمال کنید.



- جدول زیر را به ازای فرکانس های مختلف کامل کنید.

f									
$V_o(p-p)$									

- منحنی مشخصه خروجی بر حسب فرکانس را رسم کنید.
- فرکانس قطع مدار f_{3dB} را به صورت عملی به دست آورید.
- فرکانس قطع مدار را به صورت تئوری به دست آورید.

سلف

از پیچیدن یک یا چندین سیم هادی با روپوش عایق به صورت مارپیچ سلف به وجود می آید. این سیم پیچ ها می توانند دارای هسته یا بدون هسته باشند.

انواع سلف ها:

سلف با هسته آهنی: به سیم پیچ هایی که دارای هسته فلزی هستند و تعداد دور استاندارد سیم دارند، در اصطلاح چوک (Choke) می گویند. مانند چوک مهتابی که معمولاً به اشتباه آن را ترانس مهتابی می گویند.

سلف با هسته فریت: این نوع سیم پیچ از پیچیده شدن روی یک هسته فریت به وجود می آید. سلف با هسته فریت به صورت ثابت و متغیر وجود دارد.

سلف با هسته هوا: از پیچیده شدن یک سیم پیچ روی یک لوله فرضی یا پلاستیکی، کاغذی و یا مواد عایق دیگر به وجود می آید.



مشخصات سلف

اندوکتانس سیمپیچ: مهم ترین مشخصه یک سیمپیچ و در حقیقت یکی از خصوصیات فیزیکی یک سیمپیچ است که مقدار آن وابسته به جنس هسته سیمپیچ، تعداد دور سیمپیچ، طول سیمپیچ و سطح مقطع سیمپیچ است و طبق تعریف، اندوکتانس هر سیمپیچ نشان می دهد که به ازای یک آمپر در ثانیه تغییر در جریان، چند ولت در سیمپیچ القا می شود. مقدار اندوکتانس هر سیمپیچ از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$L = \frac{\mu AN^2}{l}$$

که در این رابطه μ قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی هسته بر حسب هانری است. A سطح مقطع هسته بر حسب مترمربع، N تعداد دور سیمپیچ و l طول سیمپیچ بر حسب متر می باشد.

در سلف تغییرات آنی جریان ممکن نیست و ولتاژ القا شده در سیمپیچ برابر است با حاصل ضرب اندوکتانس سیمپیچ در تغییرات لحظه ای جریان نسبت به زمان و از رابطه زیر به دست می آید.

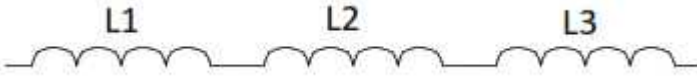
$$V = L \frac{di}{dt}$$

سلف در برابر جریان DC مانند اتصال کوتاه عمل می کند و در برابر جریان AC دارای راکتانس زیر می باشد.

$$X_L = 2\pi fL$$

سری و موازی کردن سلفها:

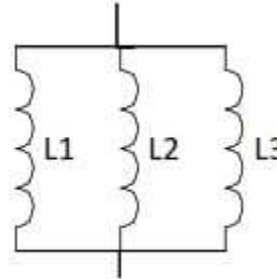
اگر تعدادی سلف با یکدیگر سری شوند، اندوکتانس معادل سلفها از رابطه زیر به دست می آید.

$$L = L_1 + L_2 + L_3$$


بنابراین سری بستن سلفها، سبب افزایش ظرفیت معادل و افزایش راکتانس سلف معادل می شود.

در صورتی که سلفها به صورت موازی بسته شوند، مقدار اندوکتانس معادل سلفها از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$



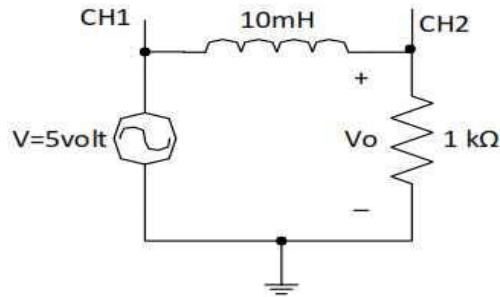
بنابراین موازی بستن سلفها، سبب کاهش اندوکتانس معادل و کاهش راکتانس سلف معادل می گردد.

خواندن مقدار سلفها:

- نوشته روی سلفها چنانچه به صورت یک کد سه رقمی مشخص شده باشد. دو رقم اول اندوکتانس سلف و رقم سوم نشان دهنده تعداد صفری است که باید به دو رقم اول اضافه شود. رقم به دست آمده بر حسب میکرو هانری می باشد.
- مقدار برخی از سلفها با کدهای رنگی مشابه مقاومت مشخص می شود. مقدار اندوکتانس به دست آمده در این روش بر حسب میکرو هانری می باشد.

آزمایش ۸: بررسی مدارهای RL

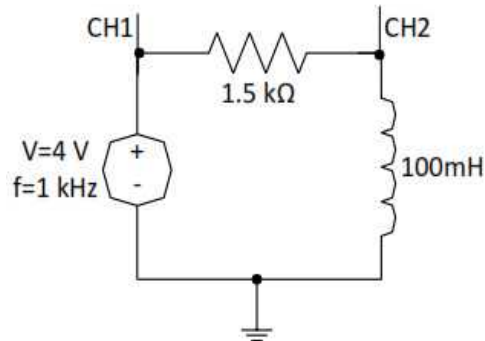
مراحل انجام آزمایش:



۱- مدار زیر را با توجه به سلفی که در اختیار دارید ببندید.

- یک شکل موج مربعی به ورودی اعمال کرده و خروجی و ورودی را همزمان مشاهده و رسم نمایید.
- یک شکل موج مثلثی به ورودی اعمال کرده و خروجی و ورودی را همزمان مشاهده و رسم نمایید.

- رابطه بین ولتاژ ورودی (ولتاژ دو سر منبع فانکشن ژنراتور) و ولتاژ خروجی (ولتاژ دو سر سلف) را به دست آورید.
- با توجه به رابطه بین ورودی - خروجی به دست آمده برای شکل‌های خروجی رسم شده در مراحل بالا، این رابطه را توجیه کنید.



۲- مدار زیر را ببندید.

- جدول زیر را کامل کنید.
- مدار چگونه فیلتری است؟
- با توجه به جدول منحنی مشخصه خروجی بر حسب فرکانس را رسم کنید.
- فرکانس قطع مدار (f_{3dB}) را به صورت عملی و تئوری به دست آورید.

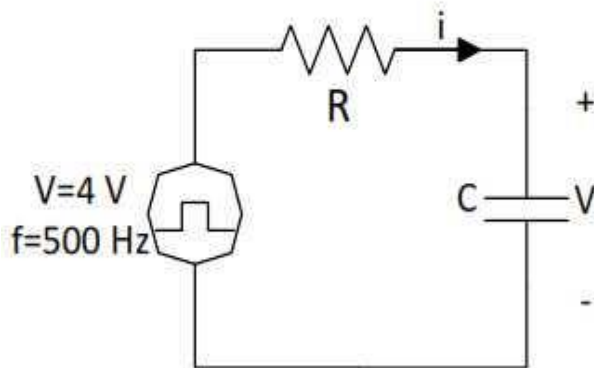
f									
$V_o(p-p)$									

آزمایش ۹: ثابت زمانی مدارهای RC و RL

مراحل انجام آزمایش:

۱- مدار زیر را بر روی برد بورد ببندید.

- شکل موج جریان و ولتاژ (ولتاژ دو سر خازن) را به ازای مقادیر مختلف مقاومت و خازن زیر مشاهده و رسم نمایید.



- 1) $R=220\ \Omega$, $C=1\ \mu\text{F}$
- 2) $R=1\ \text{k}\Omega$, $C=1\ \mu\text{F}$
- 3) $R=220\ \Omega$, $C=100\ \text{nF}$

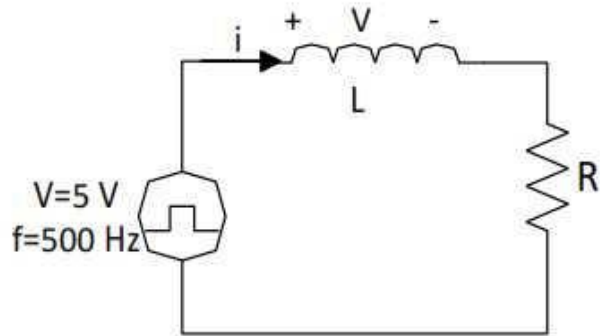
- از روی نمودارهای رسم شده مقدار ثابت زمانی را در هر حالت پیدا کنید.

- ثابت زمانی مدار را برای هر قسمت تئوری محاسبه کنید.

- چگونگی تغییرات ثابت زمانی را با توجه به تغییر R و C بررسی کنید.

- معادله خروجی مدار $V_C(t)$ را با فرض ورودی ثابت به صورت تئوری به دست آورید.

۲- مدار زیر را ببندید.



- شکل موج های جریان و ولتاژ (سلف) را در هر یک از حالات زیر مشاهده و رسم نمایید.

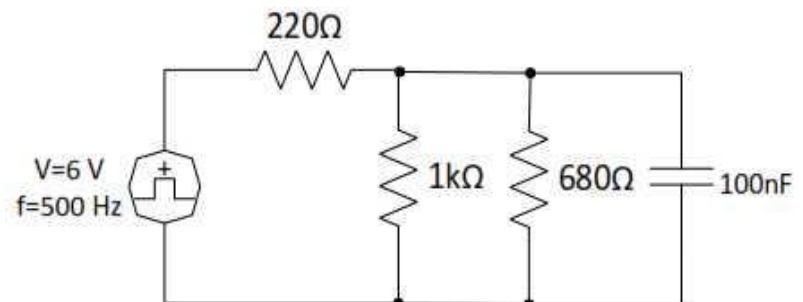
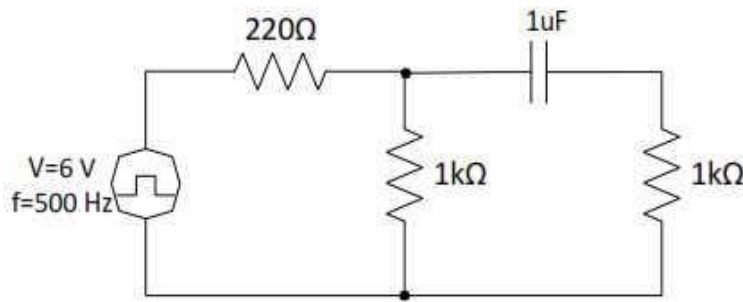
- 1) $R = 1 \text{ k}\Omega$, $L = 0.1 \text{ H}$
- 2) $R = 2.2 \text{ k}\Omega$, $L = 0.1 \text{ H}$
- 3) $R = 1 \text{ k}\Omega$, $L = 10 \text{ mH}$

- از روی نمودارهای رسم شده مقدار ثابت زمانی را در هر حالت پیدا کنید.

- ثابت زمانی مدار را در هر حالت به صورت تئوری محاسبه کنید.

- معادله خروجی مدار $i_L(t)$ را با فرض ورودی ثابت به صورت تئوری به دست آورید.

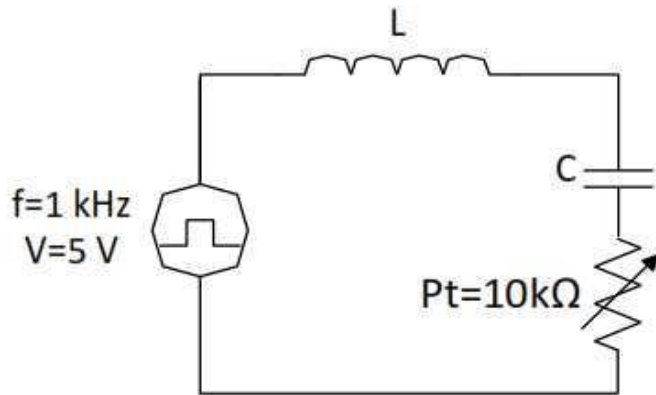
۳- در مدارهای زیر ثابت زمانی مدار را از طریق رسم شکل موج خروجی و بار دیگر از طریق محاسبه پیدا کنید.



آزمایش ۱۰: بررسی مدارهای RLC

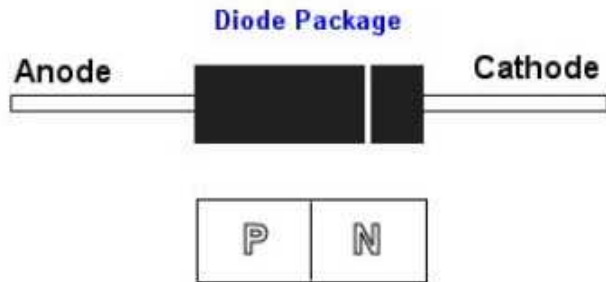
مراحل آزمایش:

- ۱- مدار زیر را ببندید.
- مدار RLC سری را با مقادیر $L=100\text{ mH}$, $C=47\text{ nF}$ و پتانسیومتر $50\text{ k}\Omega$ را بسته و ورودی مربعی را به مدار اعمال کنید خروجی را از دو سر خازن ببینید.
- با تغییر مقاومت، سه حالت پاسخ گذرای مدار شامل فوق میرا، میرای بحرانی و نوسانی میرا را روی اسیلوسکوپ مشاهده و رسم نمایید.
- مقدار مقاومت بحرانی را تعیین کنید.



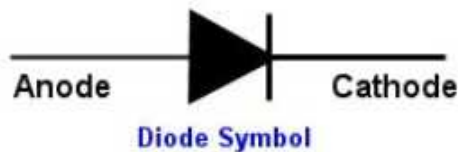
دیودها

دیودها یک المان دوسر می‌باشند که از یک پیوند P-N ساده تشکیل شده‌اند. محل اتصال نیمه‌هادی نوع P را آند (Anode) و محل اتصال نیمه‌هادی نوع N را کاتد (Cathode) می‌نامند. جریان از سمت آند به کاتد برقرار است که نسبت به عبور جریان در یک سمت مقاومت کمی نشان داده (forward) ولی مقاومت آن‌ها نسبت به عبور جریان در سمت مخالف (از سمت کاتد به آند) بسیار بالا (reverse) می‌باشد. این جریان عبوری قابل صرف نظر کردن است. معمولاً بر روی دیود، پایه



کاتد توسط یک نوار رنگی و یا یک نقطه مشخص می‌شود.

نیمه‌هادی‌های مورد استفاده در دیودها معمولاً سیلیکونی (Si) یا ژرمانیوم (Ge) می‌باشد.



- دیودهای Ge نسبت به Si در بایاس مستقیم افت ولتاژ کمتری ایجاد می‌کند.

- جریان نشستی معکوس دیود Ge نسبت به Si به میزان زیادی بالاست.

- مقاومت مستقیم دیودهای Si در مقایسه با دیوهای Ge بسیار پایین است.

- دیودهای Ge معمولاً فقط برای آشکارسازی وجود سیگنال مورد استفاده قرار می‌گیرد. در حالی که دیودهای Si برای یک‌سوسازی و سایر کاربردها بکار می‌روند.

مقادیر حد در دیودها

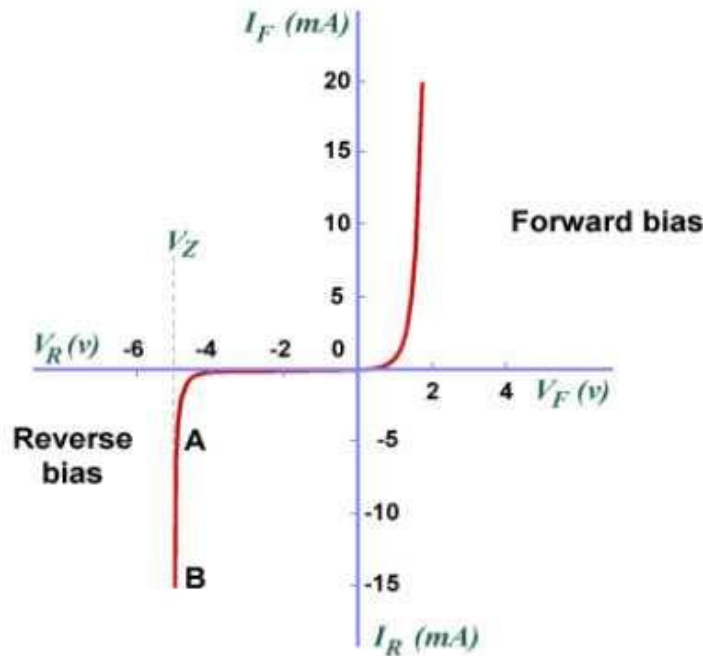
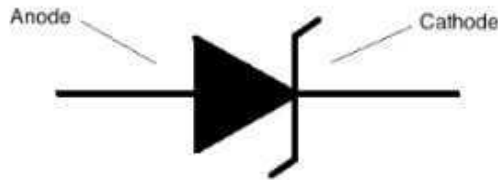
- ۱- **حداکثر ولتاژ معکوس:** حداکثر ولتاژی که در بایاس معکوس می‌تواند در دو سر دیود قرار گیرد به‌طوری که دیود آسیب نبیند، حداکثر ولتاژ معکوس دیود نام دارد.
- ۲- **حداکثر جریان مستقیم:** به حداکثر جریان DC یا متوسط که می‌توان از دیود در گرایش مستقیم عبور داد به گونه‌ای که دیود آسیب نبیند حداکثر جریان مستقیم دیود می‌گویند.
- ۳- **درجه حرارت محل پیوند:** حداکثر حرارتی که در یک دیود، در محل پیوند نیمه‌هادی‌های P و N می‌تواند ایجاد شود به طوری که به دیود آسیب نرسد و آن را با T_j نمایش داده می‌شود.

کاربردهای دیود :

- **دیودهای پردازش سیگنال:** این دسته از دیودها در انواع مدارهای Clipper و Clamper و آشکارسازهای دیودی و چند برابر کننده‌های ولتاژ استفاده می‌شود.
- **یکسوسازها:** یکی از مهم‌ترین کاربردهای دیود در مدارات یکسوساز می‌باشد. در این مدارات ولتاژ متناوب به ولتاژ DC تبدیل می‌شود.

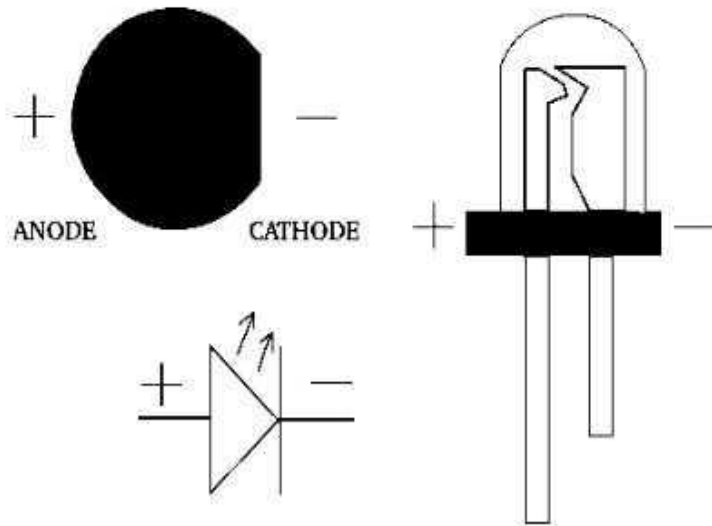
دیود زنر (Zener Diode)

دیود زنر هم مانند دیود معمولی از اتصال دو کریستال P و N ساخته می‌شود. جنس نیمه‌هادی‌های این دیود از سیلیسیم بوده و در بایاس موافق مانند یک دیود معمولی سیلیسیومی عمل می‌کند. برخلاف دیودهای معمولی که در بایاس مخالف، در منطقه شکست آسیب می‌بینند، دیودهای زنر به گونه‌ای ساخته می‌شوند تا بتوانند در منطقه شکست کار کنند. در ناحیه شکست مشخصه I-V دیود تقریباً یک خط راست می‌باشد که با تغییرات جریان، ولتاژ ثابت می‌ماند.



دیود نور دهنده یا LED

واژه LED از عبارت Light Emitting Diode به معنای دیود منتشرکننده نور گرفته شده است. در این نوع دیودها با عبور جریان لازم در جهت مستقیم دیود شروع به تولید نور می‌کند. هرگاه این دیود در بایاس مستقیم قرار گیرد و جریان به اندازه کافی باشد، دیود از خود نور تولید می‌کند. نور تولیدی در محل اتصال نیمه‌هادی‌های P و N ایجاد می‌شود. رنگ نور تولیدی به جنس نیمه‌هادی‌های استفاده شده در دیود بستگی دارد و این دیودها معمولاً دارای نورهایی به رنگ‌های آبی، قرمز، زرد، نارنجی، سفید و سبز هستند.



مراحل آزمایش :

[illegible]



- نمودار جریان ولتاژ دیود زبر را با توجه به جدول بالا رسم نمایید.
- با توجه به جدول ولتاژ شکست دیود زبر را چقدر است؟

[illegible]