

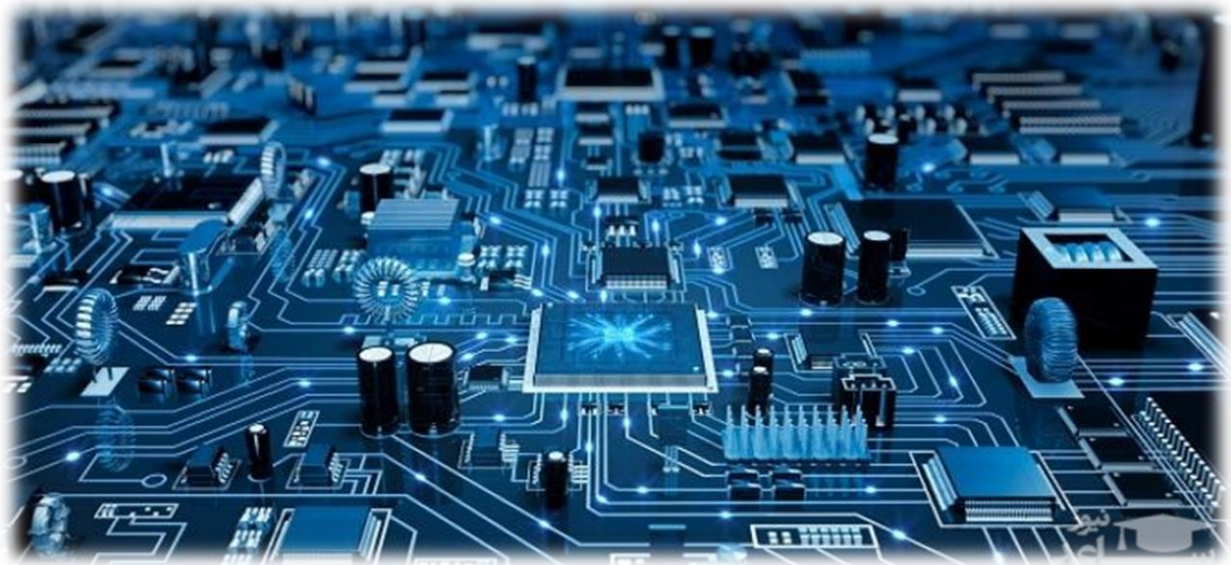
به نام خدا



## آزمایشگاه مبانی مهندسی برق

دانشکده مهندسی فناوری‌های نوین سبلان نمین،

دانشگاه محقق اردبیلی



گردآورنده: دکتر سید حمید صفوی

نیمسال اول تحصیلی ۱۳۹۷-۱۳۹۸

### مقدمه

در این آزمایشگاه سعی شده است تا مفاهیم درس مبانی مهندسی برق با آزمایش‌های ساده و قابل فهم ارائه گردد. در آزمایش اول با عناصر مداری مهمی که در این آزمایشگاه برای انجام آزمایش‌ها نیاز خواهیم داشت، آشنا خواهیم شد. در آزمایش دوم، دستگاه‌های موجود در آزمایشگاه و نحوه کار با آن‌ها ارائه خواهد شد. سپس از قوانین بنیادی معرفی شده در درس مبانی مهندسی برق، قوانین ولتاژ و جریان کیرشهف در آزمایش سوم بررسی خواهد شد. آزمایش‌های چهارم و پنجم به مدارهای یکسوساز نیم‌موج و تمام‌موج به عنوان هسته اصلی منابع تغذیه DC اختصاص دارد. در آزمایش بعدی به بررسی نحوه شارژ و دشارژ خازن در مدارهای DC خواهیم پرداخت. همچنین در آزمایش‌های هفتم و هشتم و نهم با صافی‌های مختلفی اعم از صافی پایین‌گذر، بالاگذر، میان‌گذر و میان‌نگذر آشنا خواهیم شد. در ادامه یک مورد از استفاده صافی‌های خازنی را در مدارهای یکسوساز دیودی خواهیم دید. در آزمایش یازدهم با ترانزیستور و منحنی‌های مشخصه ورودی و خروجی آن آشنا خواهیم شد. ترانزیستور مهم‌ترین عنصر الکترونیکی است که کاربردهای زیادی در طراحی تقویت‌کننده‌ها، منابع جریان و ... دارد. در آزمایش آخر هم یک نمونه از تقویت‌کننده‌های الکترونیکی (امپتر مشترک) را با استفاده از ترانزیستور طراحی خواهیم کرد.

### توجه:

۱. گروه‌ها به صورت دونفره بوده و هر فرد به صورت جداگانه مبادرت بر تنظیم گزارش کار خواهد کرد.
۲. انضباط در آزمایشگاه شامل نظم میز کار، دقت در استفاده و نگهداری از تجهیزات آزمایشگاه و در نهایت جمع‌آوری صحیح آن‌ها بعد از انجام آزمایش می‌باشد.
۳. امتحان پایانی در قالب انجام یک آزمایش جدید با استفاده از مطالب و مفاهیمی که در طول ترم آموخته‌اید خواهد بود.

### نحوه ارزیابی:

گزارش کار	۶ نمره
فعالیت در آزمایشگاه	۶ نمره
امتحان پایانی	۶ نمره
نظم و انضباط و رعایت اصول ایمنی در آزمایشگاه	۲ نمره



## فهرست آزمایش‌ها

آزمایش اول: آشنایی با عناصر مدار (مقاومت، خازن، سلف، دیود) و مولتی‌متر

آزمایش دوم: آشنایی با دستگاه‌های آزمایشگاه

آزمایش سوم: بررسی قوانین کیرشهف

آزمایش چهارم: یکسوکننده نیم موج

آزمایش پنجم: یکسوکننده تمام موج

آزمایش ششم: بررسی رفتار خازن در مدارهای DC

آزمایش هفتم: فیلتر پایین‌گذر و بالا‌گذر

آزمایش هشتم: فیلتر میان‌گذر

آزمایش نهم: فیلتر میان‌نگذر

آزمایش دهم: صافی خازنی در یکسوکننده‌های دیودی

آزمایش یازدهم: آشنایی با ترانزیستور و بررسی منحنی‌های مشخصه آن

آزمایش دوازدهم: تقویت کننده امیترمشترک

## آزمایش اول: آشنایی با عناصر مدار (مقاومت، خازن، سلف، دیود)

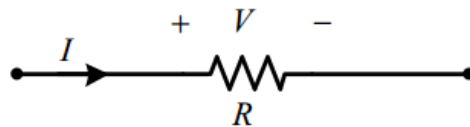
در این بخش با عناصر مختلف مدارهای الکتریکی آشنا خواهیم شد. گام اول در یادگیری و تحلیل مدارهای الکتریکی، شناختن عناصر موجود در مدار و همچنین اطمینان از سالم بودن آنها می‌باشد. معیوب بودن قطعات الکترونیکی باعث ایجاد اشکال در مدار شده و موجب می‌شود تا نتوانیم از مدار مورد نظر خروجی مطلوب را دریافت کنیم. به همین دلیل لازم است قبل از هر چیز، قطعات سالم را شناسایی کنیم. در این آزمایش سعی بر آن است که روش‌های شناخت برخی از عناصر ابتدایی مانند مقاومت و خازن و سلف و دیود بررسی شود.

### مقاومت<sup>1</sup>:

مقاومت یکی از اساسی‌ترین عناصری است که در مهندسی برق و الکترونیک با آن سر و کار داریم. مقاومت، عنصری است که ولتاژ دو سر آن ( $v$ ) و جریان گذرنده از آن ( $i$ ) را بتوان توسط یک منحنی در صفحه  $v$  و  $i$  نمایش داد. به عبارتی  $f(i, v) = 0$ . از نظر فیزیکی، مقاومت عنصری است که انرژی الکتریکی را به صورت حرارت تلف می‌کند.

همان‌طور که در درس مبانی مهندسی برق ذکر شده‌است، مقاومت‌ها می‌توانند خطی و یا غیرخطی، تغییرپذیر با زمان و یا تغییرناپذیر با زمان باشند. در آزمایشگاه بیشتر از دو نوع مقاومت استفاده خواهیم کرد: مقاومت خطی تغییرناپذیر با زمان (مقاومت ثابت) و همچنین مقاومت خطی تغییرپذیر با زمان (مقاومت متغیر).

**مقاومت ثابت:** شکل مداری نمایش این مقاومت به صورت زیر است:



ولتاژ دو سر این مقاومت متناسب با جریانی است که از دو سر آن می‌گذرد. به عبارت دیگر در قانون اهم صدق می‌کند.  $V = RI$

واحد مقاومت اهم است و با  $\Omega$  نمایش داده می‌شود. در ادامه با دو نوع از مقاومت‌های ثابت آشنا خواهیم شد. مقاومت‌های کربنی و مقاومت‌های سیمی

<sup>1</sup> Resistor

## مقاومت‌های کربنی:

مقاومت‌های کربنی در اکثر مدارات الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند که علت این امر قیمت پایین، زمخت بودن و کوچک بودن این نوع مقاومت‌ها می‌باشد. البته این نوع مقاومت‌ها دو ضعف عمده دارند، یکی این که در اثر عبور جریان از این نوع مقاومت‌ها حرارت نسبتاً زیادی درون این مقاومت‌ها ایجاد می‌گردد و به همین دلیل در مدارات با جریان زیاد نمی‌توانند مورد استفاده قرار گیرند و دیگر این که معمولاً تولرانس‌های بالایی دارند. نمونه‌هایی از این نوع مقاومت در شکل زیر نشان داده شده‌است. برای ساخت این نوع مقاومت‌ها معمولاً پودر کربن را با مواد عایق مخلوط می‌کنند که نسبت مخلوط کردن این مواد مقدار اهمی مقاومت را تعیین می‌کند. سپس مخلوط حاصل را در یک استوانه کائوچویی قرار می‌دهند و دو سیم نیز برای اتصال مقاومت به مدار به دو سر مقاومت وصل می‌کنند.



شکل ۱-۱: نمونه‌ای از مقاومت‌های کربنی

## مقاومت‌های سیمی:

از پیچاندن سیم‌های مقاومت‌دار طویل به دور یک هسته، مقاومت سیمی یا سیم پیچی شده ساخته می‌شود. معمولاً یک روپوش سرامیکی یا پلاستیکی بر روی سیم‌های پیچیده شده بر روی هسته می‌کشند تا سیم‌ها آسیب نبینند. مقاومت سیمی به سبب دارا بودن سیم پیچ، دارای خاصیت اندوکتانس (خودالقایی) بوده که این نوعی عیب برای آن محسوب می‌شود زیرا در فرکانس‌های بالا، مقاومت سیمی نسبت به مقدار نامی خود، مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. روش‌هایی برای کاهش خاصیت اندوکتانسی این گونه از مقاومت‌ها وجود دارد.



شکل ۱-۲: نمونه‌ای از مقاومت‌های سیمی

### مقاومت‌های متغیر:

### مقاومت‌های متغیر قابل تنظیم: پتانسیومتر و رئوستا



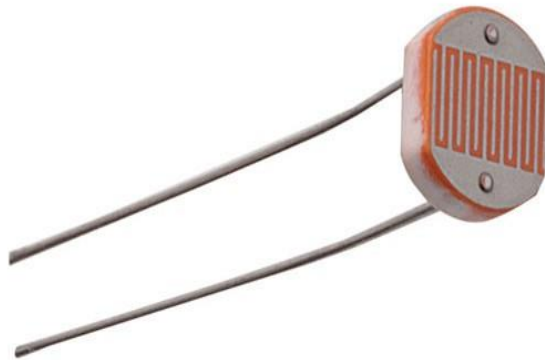
شکل ۱-۳: پتانسیومتر و ساختار داخلی آن

پتانسیومتر نوعی مقاومت است که بر خلاف مقاومت‌های رایج، دارای ۳ پایه است. ساختمان یک پتانسیومتر به این صورت است که دو ترمینال در طرفین وجود دارد و بین این دو ترمینال یک المان دارای مقاومت مشخص وجود دارد که مقاومت آن برابر با مقدار درج شده روی پتانسیومتر است و مادامی که پتانسیومتر سالم باشد این مقدار ثابت خواهد ماند (زمانی که شما یک پتانسیومتر ۱۰ کیلو خریداری می‌نمایید، در حقیقت مقاومت بین این دو پایه تقریباً ۱۰ کیلو اهم خواهد بود). پایه سوم که بین دو پایه دیگر قرار دارد، دارای یک کنتاكت لغزنده است که بر روی المان مقاومتی که ترمینال‌های کناری را به هم وصل کرده است می‌لغزد. با تغییر مکان کنتاكت متحرک، مقاومت پایه وسط نسبت به پایه‌های کناری تغییر می‌کند.

**مقاومت‌های متغیر گرمایی:** مقاومتی است که با تغییر درجه حرارت کار می‌کند و با افزایش و کاهش درجه حرارت، مقدار مقاومت آن بیشتر و کمتر می‌شود.

### مقاومت وابسته به نور (Light Dependent Resistor) یا LDR:

این مقاومت‌ها دارای دو صفحه فلزی جدا از هم هستند که بین این دو صفحه رسانا، یک خط نازک از جنس کادمیوم سولفید وجود دارد، با تابش نور به این ماده، مقاومت بین دو صفحه رسانا کم می‌شود به گونه‌ای که در فضاهای تاریک مقاومت این قطعه معمولاً چند صد برابر مقاومت آن در فضاهای پر نور است. از این مقاومت در ساخت فوتوسل‌ها یا به عنوان سنسور نور در برخی دستگاه‌ها استفاده می‌شود.



شکل ۱-۴: مقاومت وابسته به نور

### نحوه تعیین مقدار مقاومت‌ها:

معمولاً مقدار مقاومت‌ها و علی‌الخصوص مقاومت کربنی توسط نوارهای رنگی مشخص می‌شوند. مقاومت‌های ۴ نواره، ۵ نواره و ... وجود دارد. معمولاً از ۵ نوار برای مقاومت‌های دقیق‌تری استفاده می‌کنند. در مقاومت‌های متداول ۴ نواره، سه نوار رنگی برای مشخص کردن مقدار و یک نوار رنگی برای تولرانس و یا درصد خطا استفاده می‌شود. جدول رنگ‌ها برای مشخص شدن عدد مربوط به هر رنگ در شکل صفحه بعد آمده‌است.

توجه: برای محاسبه مقدار مقاومت‌ها از روی نوارهای رنگی، از سمتی که تجمع نوارها روی آن بیشتر است (اولین نوار به لبه سمت چپ که نزدیک‌تر است) استفاده می‌شود.

مثال: رنگ‌های مقاومتی به صورت زرد، بنفش، قهوه‌ای و نقره‌ای است. مقدار مقاومت چقدر است؟

$$47 \times 10^1 = 470\Omega \pm 10\%$$



مثال: رنگ‌های مقاومتی به صورت قهوه‌ای، سیاه، قرمز و قرمز است. مقدار مقاومت چقدر است؟

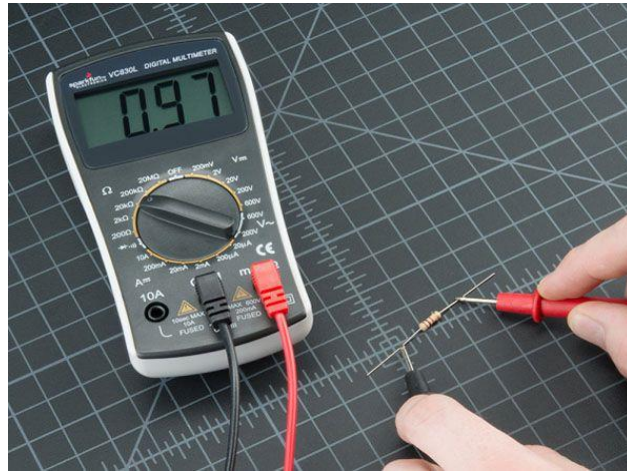
$$10 \times 10^2 = 1K\Omega \pm 2\%$$

رنگ نوار	رقم اول	رقم دوم	ضریب	درصد خطا
سیاه	0	0	$10^0$	-
قهوه‌ای	1	1	$10^1$	1%
قرمز	2	2	$10^2$	2%
نارنجی	3	3	$10^3$	-
زرد	4	4	$10^4$	-
سبز	5	5	$10^5$	-
آبی	6	6	$10^6$	-
بنفش	7	7	$10^7$	-
خاکستری	8	8	$10^8$	-
سفید	9	9	$10^9$	-
طلایی	-	-	$10^{-1}$	5%
نقره‌ای	-	-	$10^{-2}$	10%
بی‌رنگ	-	-	-	20%

### با استفاده از مولتی متر:

مولتی متر یا اهم متر وسیله‌ای است که به وسیله آن پارامترهای مختلف مدارها و قطعات الکترونیکی اعم از ولتاژ، جریان، مقاومت، سالم بودن دیود و ... را بررسی می‌کنیم. از این رو وسیله‌ای است که همواره همراه مهندسان می‌باشد. با وجود اینکه در بسیاری از موارد برای اندازه‌گیری مقاومت هر چیزی می‌توانیم از اهم‌متر یا مولتی‌متر استفاده کنیم؛ اما در موارد خاصی که نیاز داریم تا مقاومت قطعه مورد نظر خود را با دقت بسیار بالا بدانیم، یا در مواردی که مقاومت مجهول دارای مقداری بسیار بزرگ‌تر یا بسیار کوچک‌تر از محدوده عملکرد مولتی‌متر باشد باید از روش‌های دیگری استفاده کنیم. در ادامه دو نوع از مولتی‌مترهای دستی و رومیزی را مشاهده می‌کنید.





شکل ۱-۵: مولتی متر دستی



شکل ۱-۶: مولتی متر رومیزی

### با استفاده از قانون اهم:

به دلیل اینکه طبق قانون اهم، ولتاژ دو سر مقاومت با جریان گذرنده از آن نسبت مستقیم دارد، می توان با اعمال اختلاف پتانسیل معینی بر دو سر یک مقاومت و اندازه گیری جریان گذرنده از آن طبق رابطه  $R = \frac{V}{I}$  مقدار مقاومت را مشخص کرد.

**اجرای آزمایش:** تعدادی مقاومت موجود در آزمایشگاه را برداشته و مقدار مقاومت را بر اساس روش های گفته شده محاسبه کنید.

مقدار مقاومت براساس قانون اهم	مقدار مقاومت براساس مولتی متر	مقدار مقاومت براساس کدهای رنگی	
			مقاومت اول
			مقاومت دوم
			مقاومت سوم

## خازن<sup>۱</sup>:

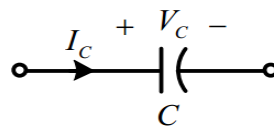
خازن یا انباره وسیله‌ای الکتریکی است که می‌تواند بار الکتریکی و انرژی الکتریکی را در خود ذخیره کند. انواع مختلفی از خازن‌ها وجود دارد اما همه آن‌ها شامل حداقل دو هادی هستند که توسط یک عایق، از یکدیگر جدا شده‌اند. نام این هادی‌ها صفحات خازن است. صفحات خازن می‌توانند از جنس فلز یا الکترولیت باشند. عایق دی الکتریک نیز لایه‌ای عایق است که بین صفحات خازن قرار می‌گیرد و ظرفیت خازن را افزایش می‌دهد، و جنس آن می‌تواند از شیشه، آب، سرامیک، پلاستیک، میکا، کاغذ و ... باشد.



شکل ۱-۷: نمونه‌های مختلفی از خازن‌ها

خازن‌ها کاربرد وسیعی دارند. از خازن‌ها برای صاف کردن سطح تغییرات ولتاژ مستقیم استفاده می‌شود. همچنین از خازن‌ها در مدارات به‌عنوان فیلتر هم استفاده می‌شود. زیرا خازن‌ها به راحتی سیگنال‌های متناوب را عبور می‌دهند ولی مانع عبور سیگنال‌های مستقیم می‌شوند.

شکل مداری نمایش خازن به صورت زیر است:



<sup>1</sup> Capacitor

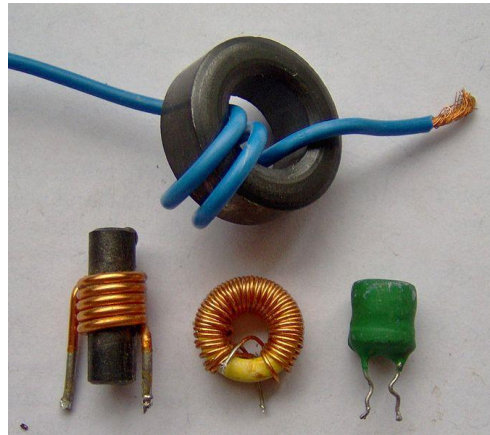
ظرفیت خازن را با  $C$  نشان می‌دهند و واحد آن فاراد ( $F$ ) است. عموماً اندازه خازن‌ها برحسب میکروفاراد ( $\mu F$ )، نانوفاراد ( $nF$ ) و پیکوفاراد ( $pF$ ) بیان می‌شود.

خازن دارای پایه مثبت و منفی می‌باشد. معمولاً پایه بلند مثبت و پایه کوتاه منفی می‌باشد. ضمن اینکه روی بدنه خازن معمولاً علامت منفی پایه هک می‌شود (همانطور که در تصویر می‌بینید علامت --- روی بدنه وجود دارد). رابطه بین جریان و ولتاژ دو سر خازن نیز به صورت زیر است:

$$I_C(t) = C \frac{dV_C(t)}{dt}, \quad V_C(t) = V_C(0_-) + \frac{1}{C} \int_0^t I_C(t') dt'$$

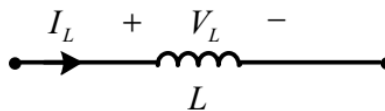
**سلف یا القاگر<sup>۱</sup>:**

با پیچیدن مقداری سیم به دور یک عایق از جنس پلاستیک، سرامیک و یا کاغذ می‌توان یک القاگر ساخت.



شکل ۱-۸: نمونه‌هایی از القاگر

شکل مداری نمایش القاگر به صورت زیر است:



ضریب القاگر را با  $L$  نمایش می‌دهند و واحد آن هنری ( $H$ ) است. عمل القای جریان الکتریکی، نتیجه پدید آمدن میدان مغناطیسی، پیرامون سیمی می‌باشد که جریان الکتریکی از آن می‌گذرد. جریان الکتریکی گذری از

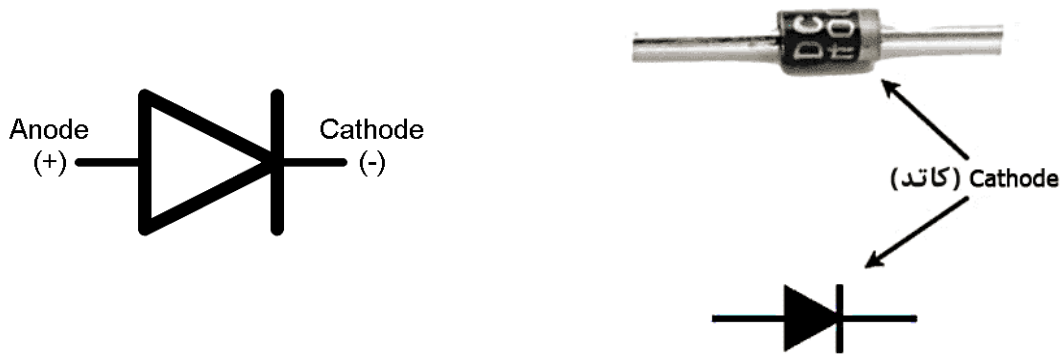
<sup>1</sup> Inductor

سیم، شار مغناطیسی متناسب با جریان پدیدمی آورد؛ بنابراین، هر تغییری در این جریان الکتریکی، ولتاژی می‌سازد که با تغییر جریان الکتریکی مخالفت می‌کند و مانع این امر می‌شود. این ولتاژ به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$V_L(t) = L \frac{dI_L(t)}{dt}, \quad I_L(t) = I_L(0) + \frac{1}{L} \int_0^t V_L(t') dt'$$

**دیود<sup>۱</sup>:**

ساده‌ترین و پایه‌ای‌ترین عنصر مداری غیرخطی، دیود است. شکل زیر نمونه‌ای از دیودها و شکل مداری نمایش دیود را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۹: دیود و نمایش مداری آن. نوار باریک سمت کاتد است

ناحیه بایاس مستقیم، یا ناحیه مستقیم، به ازای  $v$  مثبت حاصل می‌شود. در ناحیه مستقیم رابطه  $i-v$  با تقریب خوبی عبارتست از:

$$i = I_S \left( e^{\frac{v}{nV_T}} - 1 \right)$$

در رابطه فوق،  $I_S$  برای هر دیود و در هر دمای معینی مقداری ثابت دارد که جریان اشباع نامیده می‌شود. همچنین

ولتاژ  $V_T$  رابطه فوق ثابتی موسوم به ولتاژ گرمایی است و عبارت است از  $V_T = \frac{kT}{q}$  که در آن

$k =$  ثابت بولتزمن برابر  $1.38 \times 10^{-23}$  ژول بر کلوین

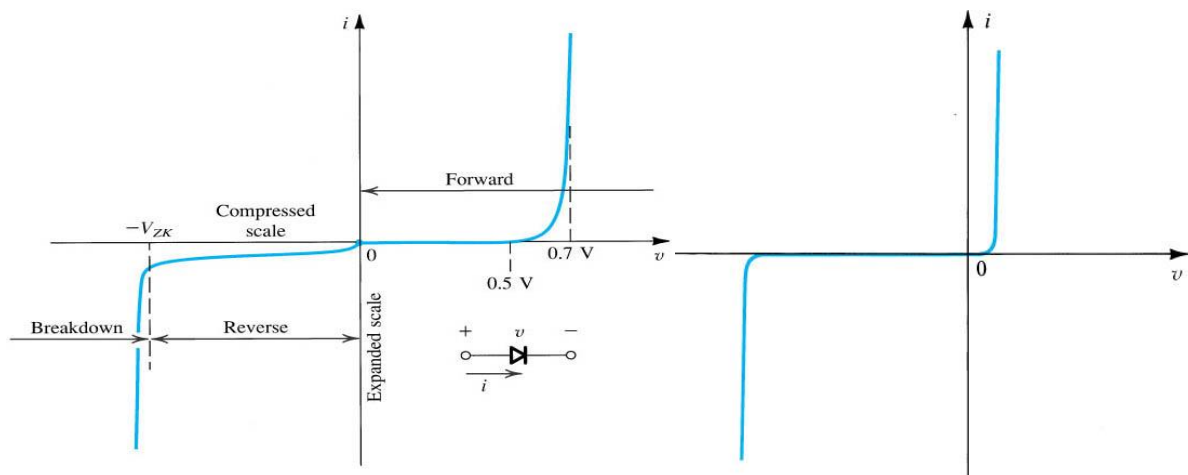
$T =$  دمای مطلق برحسب کلوین (درجه حرارت برحسب  $^{\circ}C$   $273 +$ )

<sup>1</sup> Diode

$q =$  اندازه بار الکترون برابر  $1.60 \times 10^{-19}$  کولن

در دمای اتاق مقدار ولتاژ گرمایی تقریباً برابر  $25\text{mV}$  است.

در شکل زیر مشخصه جریان-ولتاژ یک دیود پیوندی سیلیسیمی نشان داده شده است.



شکل ۱-۱: مشخصه جریان-ولتاژ یک دیود پیوندی سیلیسیمی

### تست سالم بودن دیود با مولتی‌متر:

مولتی‌متر را بر روی حالت تست دیود قرار دهید و پراب‌های مولتی‌متر را بر روی دو پایه دیود قرار دهید و عددی که مولتی‌متر نشان می‌دهد را به ذهن خود بسپارید. سپس جهت قرارگیری پراب‌های مولتی‌متر را تغییر دهید. بعد از انجام این کار باید شما بتوانید در یک جهت عددی را بر روی مولتی‌متر مشاهده کنید (ولتاژ بایاس دیود) و در جهت دیگر هیچ عددی مولتی‌متر نشان ندهد. در این صورت دیود شما سالم است. اگر در هر دو جهت هیچ عددی مشاهده نکردید. و یا در هر دو جهت عدد مشاهده کردید، دیود شما سوخته است.

همچنین در جهتی که مولتی‌متر عددی را نشان دهد، پراب قرمز به هر پایه وصل است و پراب سیاه به هر پایه وصل باشد کاتد است.

توجه: دیودها اکثراً در هنگام سوختن اتصال کوتاه می‌شوند. پس در این حالت مولتی‌متر در هر دو حالت یک عدد بسیار نزدیک به صفر نشان خواهد داد.

نکته: از تست اتصال کوتاه نیز می‌توان سالم بودن دیود را تشخیص داد.

**اجرای آزمایش:** تعدادی دیود برداشته و سالم بودن آن‌ها را با استفاده از روش‌های گفته شده بررسی کنید.

## آزمایش دوم: آشنایی با دستگاه‌های آزمایشگاه

### منبع تغذیه DC:

یک منبع تغذیه، دستگاهی است برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز برای مدارهای مختلف الکتریکی. معمولاً ویژگی‌های مشخص منبع تغذیه عبارتند از:

- مقدار ولتاژ و جریانی که می‌تواند برای بار خود تأمین کند.
- میزان پایداری ولتاژ خروجی و یا جریان آن زیر خط‌های مختلف و شرایط بار.

نمونه‌ای از منبع تغذیه موجود در آزمایشگاه‌ها را در شکل زیر مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۲: منبع تغذیه DC

### سیگنال ژنراتور<sup>۱</sup> و فانکشن ژنراتور<sup>۲</sup>:

سیگنال ژنراتور و فانکشن ژنراتور از مهم‌ترین دستگاه‌هایی هستند که کاربرد زیادی دارند. می‌توان گفت ماهیت این دو ژنراتور مثل هم است و هر دوی آن‌ها سیگنال متناوب تولید می‌کنند. اصلی‌ترین تفاوت این دو مولد در نوع سیگنالی می‌باشد که آن‌ها تولید می‌کنند. فانکشن ژنراتورها قادرند انواع سیگنال‌های مربعی، سینوسی،

<sup>1</sup> Signal generator

<sup>2</sup> Function generator

دندانه اره‌ای، مثلثی و .. را تولید کنند، در حالی که سیگنال ژنراتور فقط سیگنال سینوسی تولید می‌کند. تفاوت دیگر سیگنال ژنراتور با فانکشن ژنراتور در دامنه سیگنال و میزان فرکانس می‌باشد. کلا فرکانس سیگنالی که توسط فانکشن ژنراتورها تولید می‌شود از فرکانس سیگنالی که سیگنال ژنراتورها تولید می‌کنند کمتر می‌باشد. پس سیگنال ژنراتورها قادرند سیگنال‌هایی با فرکانس بالا ایجاد کنند، به عنوان مثال فرکانس تولیدی در مدل‌های معمولی تا ۱۵۰ مگا هرتز قابل تنظیم می‌باشد. در فانکشن ژنراتورهای معمولی فرکانس تولیدی حدود ۲،۳ مگاهرتز می‌باشد. تفاوت بعدی در دامنه سیگنال هست. در سیگنال ژنراتورها دامنه سیگنال‌های تولیدی خیلی کم و حدوداً چند ده میلی ولت می‌باشد. در فانکشن ژنراتورها دامنه سیگنال‌های تولید شده خیلی از سیگنال ژنراتورها بیشتر است. دامنه سیگنال در فانکشن ژنراتورهای معمولی در حدود ۱۰ تا ۲۰ ولت پیک تا پیک می‌باشد. نتیجه می‌گیریم سه فاکتور اصلی در مقایسه بین سیگنال ژنراتور و فانکشن ژنراتور عبارتند از: میزان فرکانس، دامنه و شکل موج.

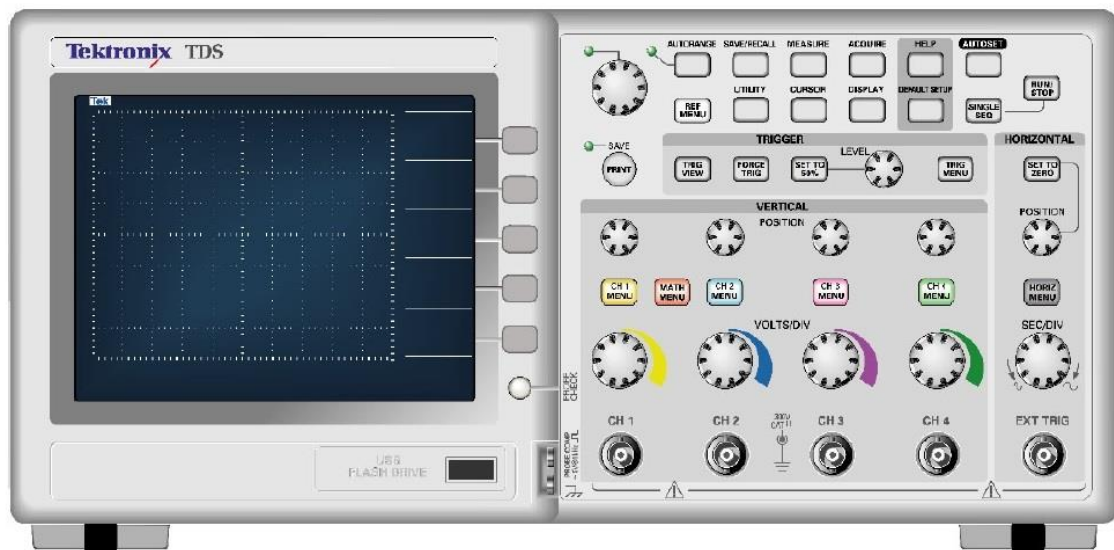
نمونه‌ای از فانکشن ژنراتور موجود در آزمایشگاه‌ها را در شکل زیر مشاهده می‌کنید.



شکل ۲-۲: فانکشن ژنراتور

## اسیلوسکوپ<sup>۱</sup>:

اسیلوسکوپ به معنی نوسان‌نما یا نوسان‌سنج است. این وسیله برای نمایش دوبعدی سیگنال‌های متغیر با زمان بکار می‌رود که محور افقی زمان و محور عمودی اختلاف ولتاژ بین دو نقطه از مدار را نشان می‌دهد. اسکوپ این قابلیت را دارد که ضمن نمایش همزمان سیگنال‌های متفاوت که به کانال‌های آن وصل شده، کمیت‌های مختلف شکل موج‌ها را اندازه‌گیری نماید. اساس کار اسیلوسکوپ بر مبنای انحراف و یا نوسان اشعه الکترونی در یک میدان الکتریکی و یا مغناطیسی است.



شکل ۲-۳: نمونه‌ای از اسیلوسکوپ دیجیتال

برای محاسبه کمیت‌های مختلف یک سیگنال مشاهده‌شده توسط اسیلوسکوپ، موارد زیر یادآوری می‌شود:  
 دامنه سیگنال: ماکزیمم ولتاژی است که سیگنال دارد. نام دیگر آن پیک ولتاژ می‌باشد.  
 پیک تا پیک (P-P): دو برابر مقدار دامنه یا پیک ولتاژ می‌باشد.  
 دوره تناوب (T): زمانی است که برای طی شدن یک سیکل کامل نیاز است.

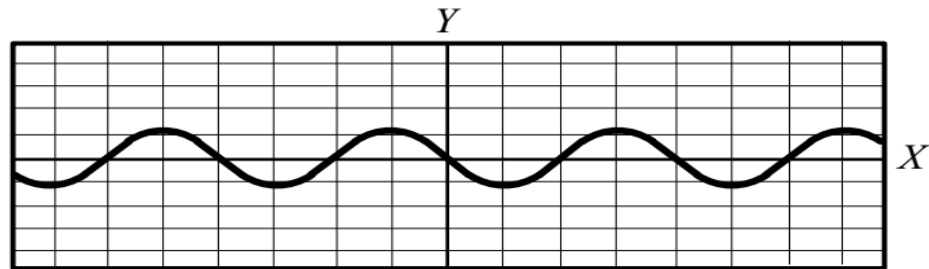
### روش اندازه‌گیری با اسیلوسکوپ:

برای اندازه‌گیری دامنه ولتاژ  $V_m$  تعداد تقسیماتی که دامنه موج را در بر می‌گیرد در عددی که سلکتور (Selector)  $\frac{volt}{div}$  در مقابل آن قرار دارد، ضرب می‌کنیم. برای اندازه‌گیری زمان دوره تناوب (T) تعداد

<sup>1</sup> Oscilloscope



تقسیماتی که دوره تناوب را در بر می‌گیرد در عددی که در مقابل  $\frac{time}{div}$  روی آن قرار دارد، ضرب می‌کنیم. برای مثال در حالت نشان داده‌شده در شکل زیر اگر چنانچه سلکتور  $\frac{volt}{div}$  بر روی ۲ ولت و سلکتور  $\frac{time}{div}$  بر روی  $1ms$  باشد، در این صورت اندازه دامنه و دوره تناوب برابر است با:



$$\text{Domain } V_m = (2) \times (1.2) = 2.4 \text{ v} \quad \text{Alternative Time } T = (4) \times (1) = 4 \text{ ms}$$

$$\text{Frequency } f = \frac{1}{T} = 250 \text{ HZ}$$

### مقدار موثر<sup>۱</sup> یا RMS<sup>۲</sup> چیست؟

ولتاژهای متناوب AC با مقدار دامنه موثرشان معرفی می‌گردند. در عمل وقتی با مدارهای AC کار می‌کنیم، بیشتر به مقادیر متوسط نیاز داریم تا مقادیر لحظه‌ای ولتاژ، جریان و توان. نشان داده شده است که جهت نمایندگی کردن یک سیگنال، مقدار موثر فاکتور به مراتب بهتری از مقدار پیک و یا متوسط آن است. زمانی که می‌گوییم برق شهر ۲۲۰ ولت است یعنی مقدار موثر آن ۲۲۰ ولت می‌باشد و این مقدار ولتاژ در تمامی دوره تناوب کمتر از مقدار بیشینه آن است. مقدار موثر و یا همان RMS، مقدار متوسط توان دوم سیگنال می‌باشد. مقدار موثر، قدرت تاثیر سیگنال را نشان داده و قابلیت مقایسه آن را با یک سیگنال DC فراهم می‌سازد. به عبارت دیگر مقدار موثر ولتاژ یا همان RMS، مقدار ولتاژی می‌باشد که اگر به صورت DC به مدار اعمال گردد، توان تلف شده در مدار برابر توان تلف شده زمانی است که همان سیگنال AC به مدار اعمال گردد. از رابطه مقدار موثر مشخص است که مقدار موثر همان جذر توان متوسط کل است که برای سیگنال‌های متناوب در یک دوره تناوب محاسبه می‌شود.

توجه: مقداری که توسط ولت‌مترها نشان داده می‌شود، همان مقدار موثر یا RMS می‌باشد.

مثال: مقدار موثر سیگنال سینوسی

<sup>1</sup> Effective value

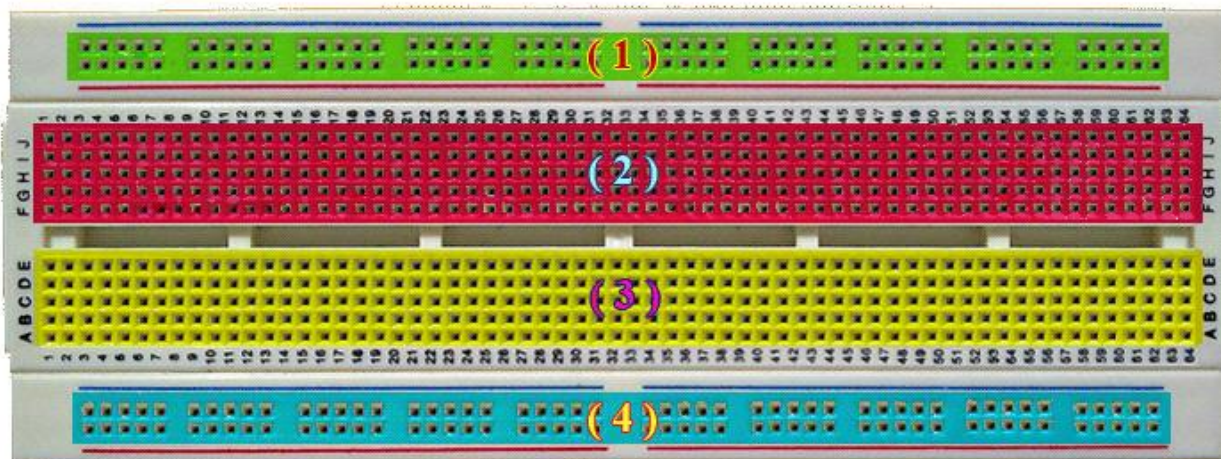
<sup>2</sup> Root mean square

$$\begin{aligned}
 V_{rms} &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |V_m \sin \theta|^2 d\theta} \\
 &= \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |V_m|^2 |\sin \theta|^2 d\theta} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[ \frac{1}{2}(1 - \cos 2\theta) \right] d\theta} \\
 &= \sqrt{\frac{V_m^2}{4\pi} (2\pi + 0)} = \sqrt{\frac{V_m^2}{2}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}
 \end{aligned}$$

### بردبرد<sup>۱</sup>:

در آزمایشگاه‌های الکترونیک برای اینکه مداری را به طور موقت بسته و مورد آزمایش قرار دهیم از برد برد استفاده می‌کنیم. بردبردها وسایل سودمندی هستند که در انواع و شکل‌ها و اندازه‌های گوناگون برای شروع کار با قطعات الکترونیکی استفاده می‌شوند؛ و می‌توان از آن‌ها به عنوان یک PCB مجازی استفاده کرد؛ به این صورت که برای بستن هر مدار الکترونیکی دیگر مجبور به طراحی PCB و لحیم کاری و دردهای مربوط به آن نخواهیم بود. بردبرد صفحه‌ای است که قطعات مدارهای الکترونیکی روی آن جای می‌گیرند؛ و می‌توان قبل از تهیه یک برد مدار چاپی، ابتدا مدار مورد نظر را روی آن بسته و نتایج حاصل را بررسی کرد.

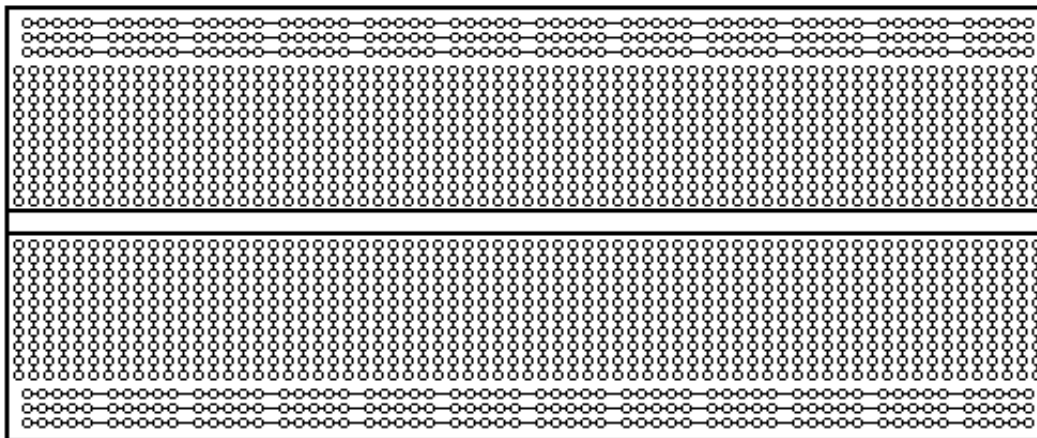
بعد از اطمینان از صحت نتایج، می‌توان اقدام به تهیه برد مدارچاپی نمود. ضمن اینکه می‌توان پس از انجام آزمایش‌های لازم روی بردبرد، دوباره قطعات را از روی آن باز کرده و یا مجدداً نصب و استفاده کرد. یک بردبرد از چهار بخش اصلی تشکیل شده، که در شکل زیر مشخص شده است:



شکل ۲-۴: بردبرد

<sup>1</sup> Breadboard

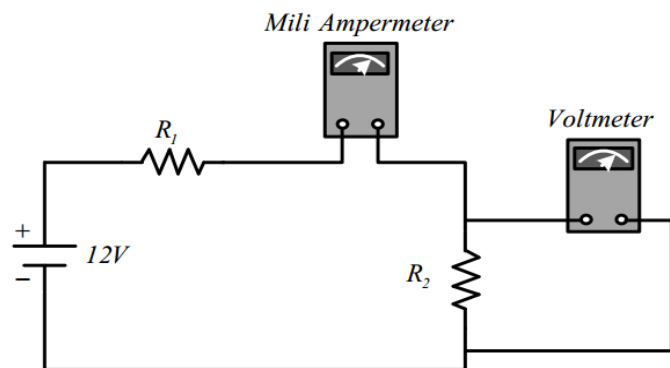
بخش ۱ و ۴ مربوط به تغذیه است. بدین صورت که می‌توان این بخش‌ها را به منبع تغذیه متصل نمود و از آن‌ها به دیگر قسمت‌ها انشعاب گرفت. می‌توان یک طرف را مثبت و طرف دیگر را منفی قرار داد و یا اینکه در یک بخش از هر دو پلاریته منبع استفاده کرد. در بخش ۱ و ۴ اتصال بین سوراخ‌ها افقی است. بخش ۲ و ۳ برای قراردادن قطعات و بستن مدار مورد نظران می‌باشد. در این بخش اتصالات به صورت عمودی است. در شکل زیر نحوه اتصالات را مشاهده می‌کنید:



شکل ۲-۵: اتصالات در بردبورد

### شرح آزمایش:

مداری مطابق شکل زیر بر روی برد آزمایش ببندید.



شکل ۲-۶: یک مدار ساده و نحوه اندازه‌گیری ولتاژ دو سر مقاومت و جریان عبوری از آن

الف) جریان مدار را با توجه به مقادیر  $R_1$  و  $R_2$  اندازه‌گیری نموده و در جدول یادداشت کنید.



ب) با استفاده از ولت‌متر DC، ولتاژ دو سر مقاومت  $R_1$  را اندازه بگیرید و در جدول بنویسید.

ج) با اسیلوسکوپ ولتاژ دو سر مقاومت  $R_2$  را اندازه بگیرید و در جدول بنویسید.

د) با استفاده از قانون اهم، ولتاژ و جریان را محاسبه کرده و در جدول بنویسید.

$V$	$R_1$	$R_2$	جریان با آمپر متر	ولتاژ با ولت‌متر	ولتاژ با اسیلوسکوپ	جریان محاسبه شده	ولتاژ محاسبه شده
12v	10K	1K					
12v	1K	0.47K					

### آزمایش سوم: بررسی قوانین کیرشهف

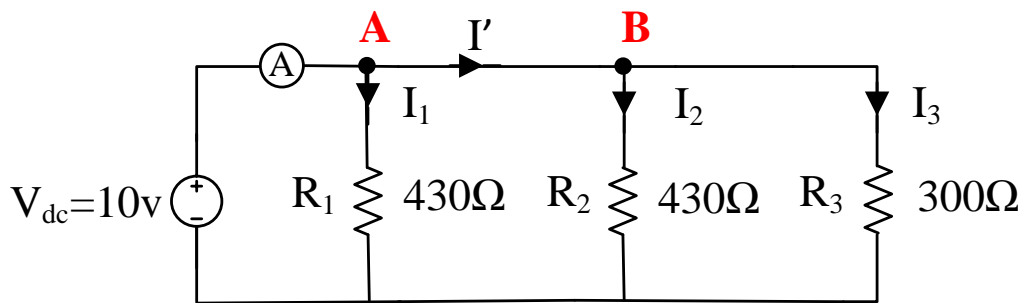
#### قانون جریان کیرشهف (KCL):

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

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

#### شرح آزمایش:

مدار را طبق شکل زیر را روی برد آزمایشگاه ببندید (بررسی شدت جریان شاخه‌های موازی). سپس جدول را کامل نمایید. (توجه: منبع ولتاژ در این آزمایش، منبع ولتاژ ایده آل می باشد)



شکل ۱-۳: مدار مورد استفاده برای قانون جریان کیرشهف

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

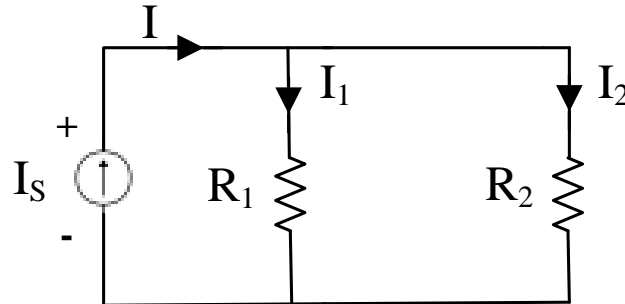
#### سؤال:

- چه رابطه‌ای بین جریان‌های ورودی و خروجی هر یک از گره‌های A و B وجود دارد؟ (قانون جریان KCL را تحقیق کنید).
- چه مقدار مقاومتی را ( $R_4$ ) می‌توان به جای مجموع مقاومت‌های مدار ( $R_1, R_2, R_3$ ) جایگزین کرد تا جریان کل یعنی  $I_A$  بدون تغییر بماند؟

#### مقسم جریان:

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

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



شکل ۳-۲: مدار مورد استفاده برای مقسم جریان

مدار مقسم جریان فوق را با منبع جریان 50mA ببندید و با تغییر مقاومت جدول زیر را کامل نمایید.

	$R_1$	$R_2$	$I(mA)$	$I_1(mA)$	$I_2(mA)$
A	200Ω	1000Ω			
B	200Ω	300Ω			
C	200Ω	200Ω			
D	200Ω	100Ω			

درستی رابطه مقسم جریان را در آزمایش انجام شده تحقیق کنید.

### قانون ولتاژ کیرشهف (KVL):

جمع جبری ولتاژهای عناصر در هر مسیر بسته برابر صفر است.

### مقسم ولتاژ:

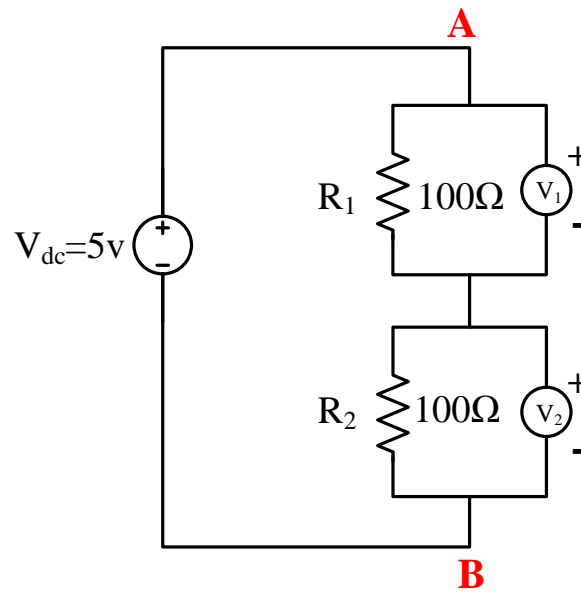
در صورتیکه به مقدار کمتری از ولتاژ یک منبع نیاز داشته باشیم، از مدار مقسم ولتاژ استفاده می کنیم. در این صورت:

$$\frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{R_2}, \quad V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$$

### شرح آزمایش:

مدار شکل زیر را روی برد آزمایشگاه ببندید و سپس ولتاژ هریک از مقاومتها را در جدول داده شده، بنویسید.

$V_1 (v)$	$\frac{R_1}{R_1 + R_2} V_s$	$V_2 (v)$	$\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_s$	$V_{AB} (v)$	جمع جبری ولتاژها در حلقه مدار

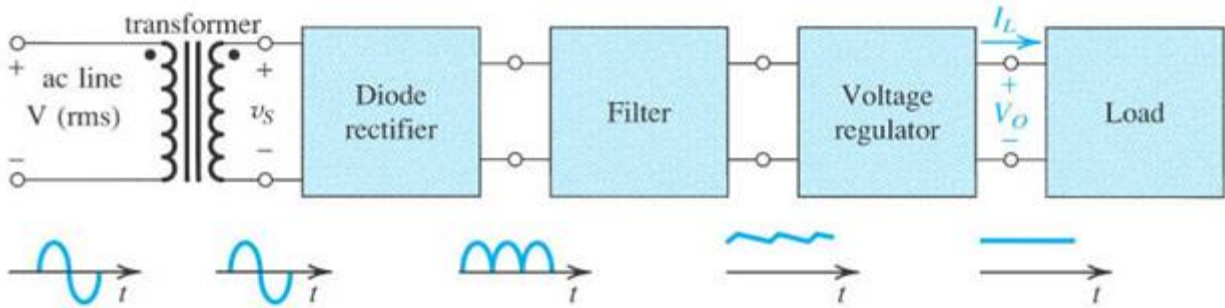


شکل ۳-۳: مدار مورد استفاده برای قانون ولتاژ کیرشهف

با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسبه شده، درستی روابط قانون ولتاژ کیرشهف و مقسم ولتاژ را بررسی کنید.

## آزمایش چهارم: یکسوکننده نیم‌موج

### یادآوری: مدارهای یکسوساز



شکل ۴-۱: نمودار بلوکی یک منبع تغذیه DC

یکی از مهم‌ترین کاربردهای دیود استفاده از آن در طراحی مدارهای یکسوساز است. یکسوساز دیودی، واحد اساسی منبع تغذیه DC لازم برای تامین توان مدارهای الکترونیکی است. شکل فوق نمودار بلوکی چنین منبعی را نشان می‌دهد. بلوک اولیه منبع تغذیه DC، ترانسفورماتور توان است. طراح با انتخاب مناسب نسبت دور ترانسفورماتور، می‌تواند ولتاژ خط را پایین آورده و آن را به مقدار لازم برای ایجاد ولتاژ DC مطلوب در خروجی برساند.

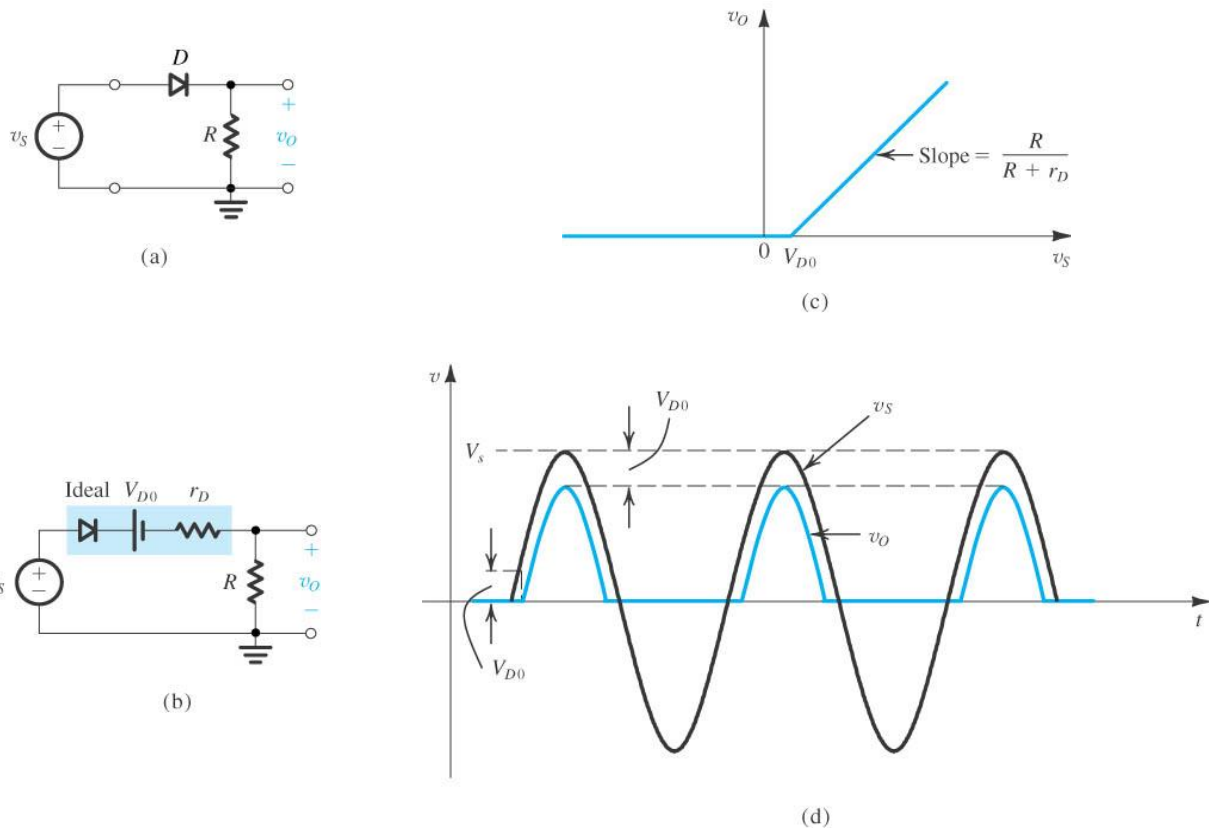
با استفاده از یکسوکننده‌های نیم‌موج می‌توان نیم تناوب‌های مثبت یا منفی یک ولتاژ متناوب ورودی را حذف نمود. در شکل‌های صفحه بعد مدار یکسوکننده نیم‌موج را به همراه ولتاژ ورودی و خروجی مدار یکسوساز نیم‌موج مشاهده می‌کنید.

در نیم سیکل‌های مثبت ولتاژ ورودی، دیود هدایت نموده و می‌توان آن را به صورت یک مقاومت کوچک  $r_D$  در نظر گرفت.

$$V_s = V_m \sin \omega t, \quad i = \frac{V_s - V_{D0}}{R + r_D}$$

$$V_{dc} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} V_o(t) dt \approx \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_m \sin \omega t dt = \frac{V_m}{\pi}$$





شکل ۴-۲: الف) مدار یکسوساز نیم‌موج با دیود واقعی، ب) مدار یکسوساز نیم‌موج با مدل دیود واقعی، ج) مشخصه خروجی-ورودی یکسوساز نیم‌موج، د) شکل موج ولتاژ خروجی یکسوشده و ولتاژ ورودی

### شرح آزمایش:

۱. مدار یکسوساز نیم‌موج را بر روی برد آزمایشگاهی ببندید و جدول زیر را پر کنید.

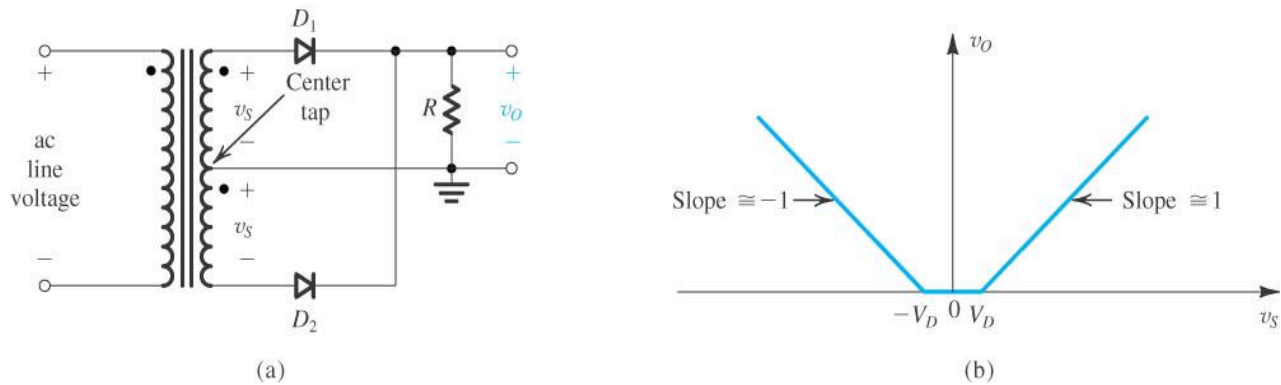
$R$	$330\Omega$	$1k$	$10k$
$V_0 (v)$			

۲. شکل موج ولتاژ خروجی را برای هر سه مقدار مقاومت بار بر روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید.
۳. ماکزیموم ولتاژ معکوس (PIV) که بر روی دیود می‌افتد، چقدر است؟ از روی دیتاشیت دیود انتخابی برای آزمایش، این پارامتر را گزارش کنید. در عمل، احتیاط ایجاب می‌کند که دیودی برگزینیم که PIV آن حداقل ۵۰ درصد بزرگتر از PIV مورد نیاز باشد.

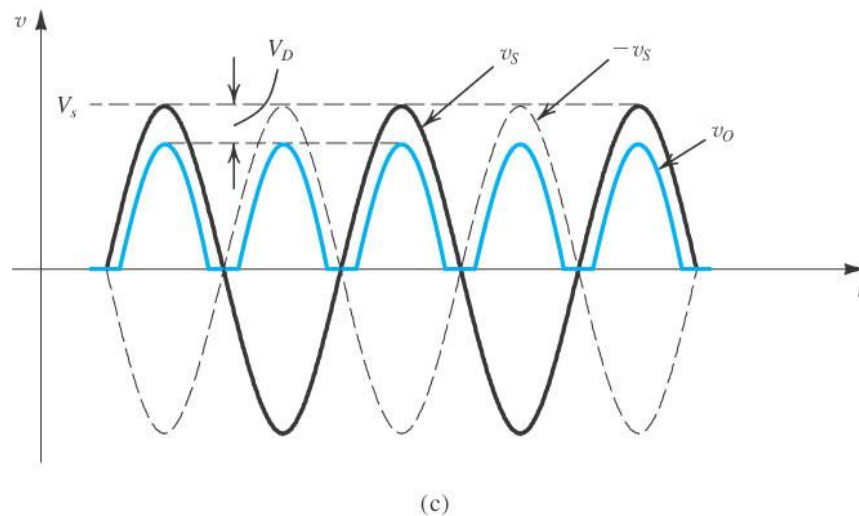
## آزمایش پنجم: یکسوکننده تمام‌موج

### یادآوری:

در شکل ۱-۵ مدار یکسوکننده تمام‌موج به همراه مشخصه ورودی-خروجی آن نشان داده شده‌است. این مدار در حقیقت از دو مدار نیم‌موج تشکیل شده‌است که هر کدام در یکی از نیم‌سیکل‌های ولتاژ سینوسی ورودی هدایت می‌کنند. همان‌طور که در مدار مشاهده می‌شود در نیم‌سیکل مثبت ولتاژ ورودی فقط دیود  $D_1$  هدایت نموده و جریان  $i_1$  را از مقاومت بار عبور می‌دهد. در نیم‌سیکل منفی ولتاژ ورودی، دیود  $D_1$  قطع است ولی دیود  $D_2$  هدایت می‌کند و جریان  $i_2$  آن به مقاومت بار می‌رسد. شکل موج ولتاژ ورودی و ولتاژ خروجی (یکسوشده) مدار یکسوساز را برحسب زمان نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵: یکسوساز تمام‌موج با ترانس سه سر و مشخصه ورودی-خروجی آن

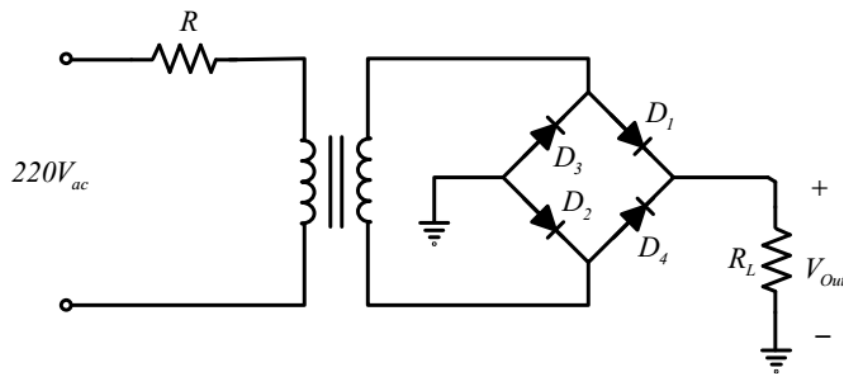


شکل ۱-۵: شکل موج ولتاژ خروجی (آبی رنگ) و ورودی (مشکی رنگ) یکسوساز تمام‌موج بر حسب زمان

ولتاژ و جریان DC در مدار یکسوساز تمام‌موج از روابط زیر بدست می‌آید.

$$I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}, \quad I_m = \frac{V_m}{R+r_D}, \quad V_{dc} = I_{dc} \times R_L$$

نکته‌ای که در ارتباط با مدار این آزمایش وجود دارد، این است که اگر ترانس سه‌سر نداشته باشیم ولتاژ متناوب سه‌سریه ثانویه ممکن است عملکرد مورد انتظار را نداشته باشد. می‌دانیم که اختلاف ولتاژ سه‌سریه ثانویه به این معنا نیست که سه منفی همیشه باید صفر در نظر گرفته شود. مثلاً اگر یک سیکل مثبت را در نظر بگیریم که در نقطه ماکزیموم خود ولتاژ ۱۰ ولت را تولید می‌کند، در ترانس دو سر ممکن است این ولتاژ نتواند هیچ یک از دیودها را روشن کند. در شرایطی که آند دیود  $D_1$  صفر ولت و آند دیود  $D_2$  برابر ۱۰- ولت است چون کاتد هر دو صفر ولت است، هیچ کدام قابلیت هدایت نخواهند داشت. برای رفع این مشکل در صورت نبود ترانس سه‌سریه از مدار زیر که به پل دیودی معروف است، کمک می‌گیریم. پل دیودی اجازه رخ دادن حالتی را که تشریح کردیم، نمی‌دهد.



شکل ۵-۳: مدار یکسوساز تمام‌موج با استفاده از پل دیودی

### شرح آزمایش:

۱. مدار یکسوساز تمام‌موج را بر روی برد آزمایشگاهی ببندید و جدول زیر را پر کنید.

$R$	$330\Omega$	$1k$	$10k$
$V_0 (v)$			

۲. شکل موج ولتاژ خروجی را برای هر سه مقدار مقاومت بار بر روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید.

۳. ماکزیموم ولتاژ معکوس (PIV) که بر روی دیودها می‌افتد، چقدر است؟

## آزمایش ششم: بررسی رفتار خازن در مدارهای DC

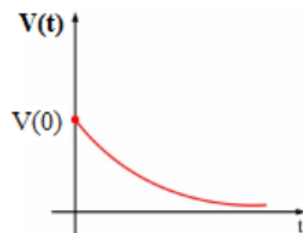
### یادآوری:

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

$$\tau(s) = \begin{cases} R_{eq}(\Omega) \times C(F), & \text{RCCircuit} \\ \frac{L(H)}{R_{eq}(\Omega)}, & \text{RLCircuit} \end{cases}$$

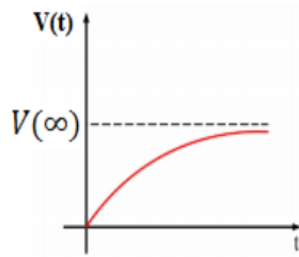
پس در مدارهای جریان مستقیم و در حالت ماندگار، خازن به صورت یک کلید باز عمل می‌کند. در حالی که به اندازه ولتاژ اعمال شده به دو سر آن، شارژ شده است. ( $R_{eq}$  مقاومت معادل دیده شده از دو سر خازن یا سلف است و از این به بعد به زمان‌های بزرگتر از ۵ برابر ثابت زمانی می‌گوییم بی‌نهایت! البته بی‌نهایت فیزیکی؛ یعنی ممکن است این بی‌نهایت کمتر از میلی ثانیه هم باشد.) درضمن هر پاسخی در مدارهای مرتبه اول به صورت نمایی است و برای انواع پاسخها

(a) ولتاژ اولیه خازن (یعنی  $t=0$ ) را  $V(0)$  در نظر بگیریم و در این زمان خازن با یک مقاومت R بسته می‌شود:



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

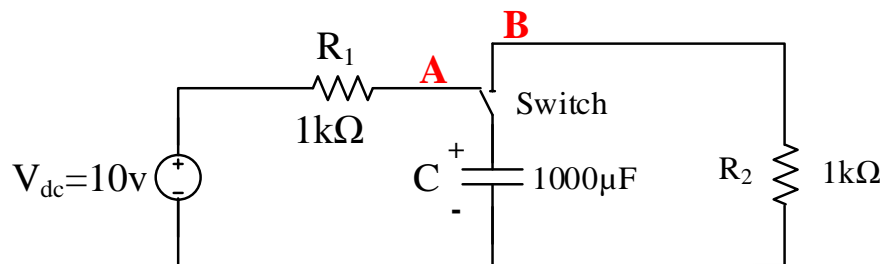
(b) ولتاژ لحظه‌ای خازن، در صورتی که خازن توسط یک مقاومت R به منبع ولتاژ وصل شود:



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

### شرح آزمایش: مشاهده شارژ و دشارژ خازن

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



شکل ۶-۱: مدار شارژ و دشارژ خازن

الف) کلید را در وضعیت A قرار داده، و وضعیت شارژ خازن را مشاهده نمایید.

ب) کلید را در وضعیت B قرار دهید و وضعیت دشارژ خازن را مشاهده نمایید.

### سؤال

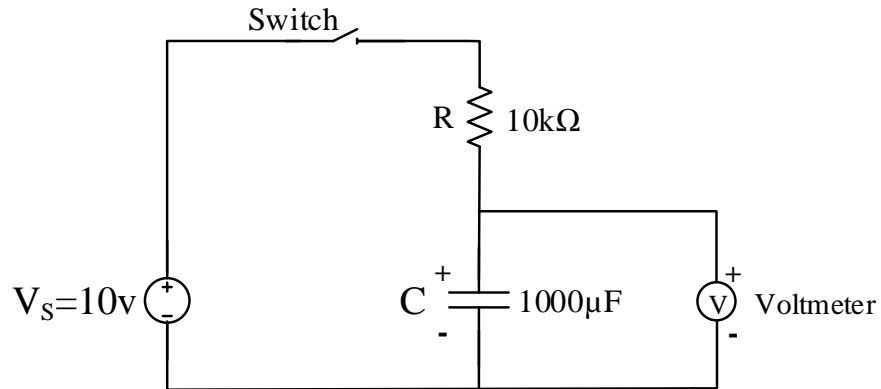
۱. در حالت A ولتاژ دوسر خازن چقدر است؟ و با کدامیک از روابط a یا b آنرا اثبات می‌کنید.
۲. در حالت B پس از گذشت مدت قابل ملاحظه زمان، ولتاژ دوسر خازن چقدر است؟ و با کدامیک از روابط a یا b آنرا اثبات می‌کنید؟

### شارژ شدن خازن بر حسب زمان:

مدار زیر را بسته و دقت داشته باشید قبل از اتصال کلید، خازن کاملاً تخلیه شده باشد. سپس مقادیر خواسته شده را در زمان‌های مورد نظر یادداشت نمایید.

(راهنمایی: از ولت‌متر آنالوگ برای خواندن استفاده نمایید و همچنین برای محاسبه جریان می‌توانید از فرمول

$$I_C = \frac{V_S - V_C}{R = 10K} \text{ (استفاده نمایید.)}$$



شکل ۶-۲: مدار شارژ خازن

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

### سوال:

۱. با رسم منحنی (ولتاژ بر حسب زمان)، یا مقدار ثابت زمانی مدار را بدست آورید. سپس با مقدار تئوری آن مقایسه کرده و دلایل تفاوت بین مقادیر را توضیح دهید.

۲. زمان شارژ خازن در این مدار چقدر است؟

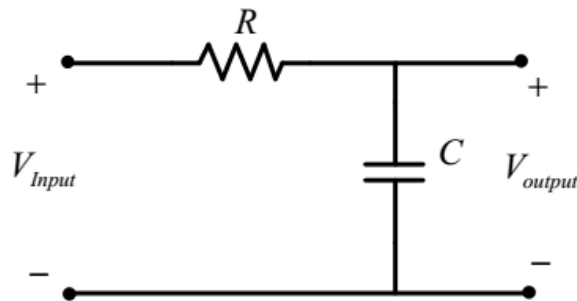
## آزمایش هفتم: فیلتر پایین گذر و بالا گذر

### صافی یا فیلتر:

در مدار الکتریکی وظیفه فیلتر عبور دادن سیگنال‌هایی است که فرکانس آن‌ها در محدوده مورد نظر واقع باشد. مدار فیلتر از عناصری نظیر سلف، خازن و مقاومت تشکیل شده است. فیلترها با توجه به محدوده فرکانس‌هایی که عبور می‌دهند و یا حذف می‌کنند به انواع مختلفی از جمله پایین گذر، بالاگذر، میان گذر و میان نگذر تقسیم‌بندی می‌شوند.

### الف) فیلتر پایین گذر:

این فیلتر از فرکانس صفر تا یک فرکانس معین را عبور داده و سایر فرکانس‌های بالا را عبور نمی‌دهد. در شکل زیر مدار صافی پایین گذر RC نشان داده شده است. هنگامی که یک موج سینوسی با دامنه ثابت  $V_m$  و فرکانس متغیر  $f$  به دو سر ورودی این مدار اعمال می‌شود ولتاژ خروجی نیز موج سینوسی ولی با دامنه و فاز متفاوت با ولتاژ ورودی بوده و به طور کلی تابعی از فرکانس موج ورودی خواهد بود.



شکل ۷-۱: مدار صافی پایین گذر

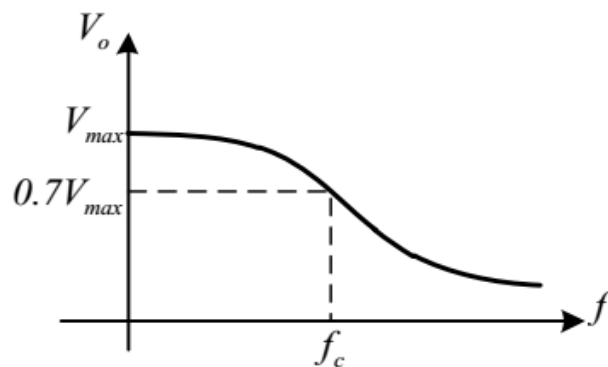
با استفاده از قاعده تقسیم ولتاژ، ولتاژ خروجی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$V_{out} = \frac{Z_C}{Z_C + R} V, \quad Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{\frac{1}{j\omega C} + R} = \frac{1}{1 + jR\omega C}, \quad \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}}, \quad \phi = -\text{Arctan}(RC\omega)$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که در فرکانس‌های پایین وقتی که  $RC\omega \ll 1$  می‌باشد،  $\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| \approx 1$  خواهد بود.

همچنین در فرکانس‌های بالا وقتی که  $RC\omega \gg 1$  می‌باشد،  $\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| \approx 0$  است. بنابراین مدار فوق که ولتاژهایی با فرکانس پایین را عبور می‌دهد و ولتاژهای با فرکانس بالا را به شدت تضعیف می‌کند به صافی پایین گذر معروف است. در فرکانس‌های پایین  $\phi = 0$  بوده و در فرکانس‌های بالا  $\phi = -90$  خواهد بود. منحنی مشخصه ولتاژ خروجی با فرض اینکه  $V = 1V$  در شکل زیر رسم شده است.



شکل ۷-۲: منحنی مشخصه ولتاژ خروجی برحسب فرکانس

فرکانس  $f_c$  فرکانس قطع بوده و فیلتر پایین گذر فرکانس‌های بالاتر از آن را به شدت تضعیف می‌کند. در این فرکانس توان خروجی نصف توان ورودی است.

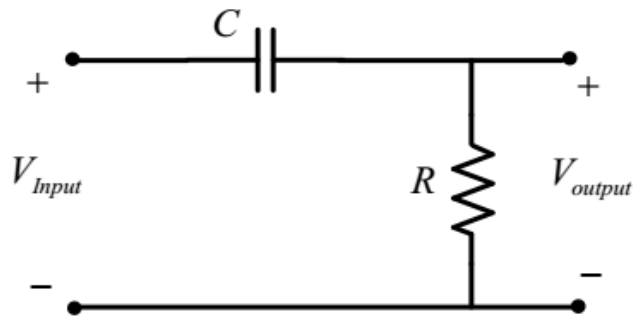
$$\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1+(RC\omega)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{در صورتی که } \omega = \frac{1}{RC} \text{ باشد، آنگاه خواهیم داشت:}$$

$$f = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{و این یعنی فرکانس قطع برابر است با:}$$

### ب) فیلتر بالاگذر

این فیلتر، فرکانس‌های پایین را عبور نمی‌دهد. مدار فیلتر بالاگذر RC در شکل زیر نشان داده شده است.





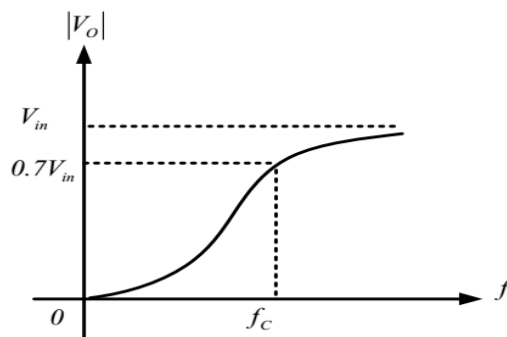
شکل ۷-۳: مدار صافی بالاگذر

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{jR\omega C}{1 + jR\omega C}, \quad \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{RC\omega}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}}, \quad \phi = \text{Arctan}\left(\frac{1}{RC\omega}\right)$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که در فرکانس‌های بالا وقتی که  $RC\omega \gg 1$  می‌باشد،  $\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| \approx 1$  و  $\phi = 0$  است.

همچنین در فرکانس‌های پایین وقتی که  $RC\omega \ll 1$  می‌باشد،  $\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| \approx 0$  و  $\phi = 90$  خواهد بود. به این ترتیب،

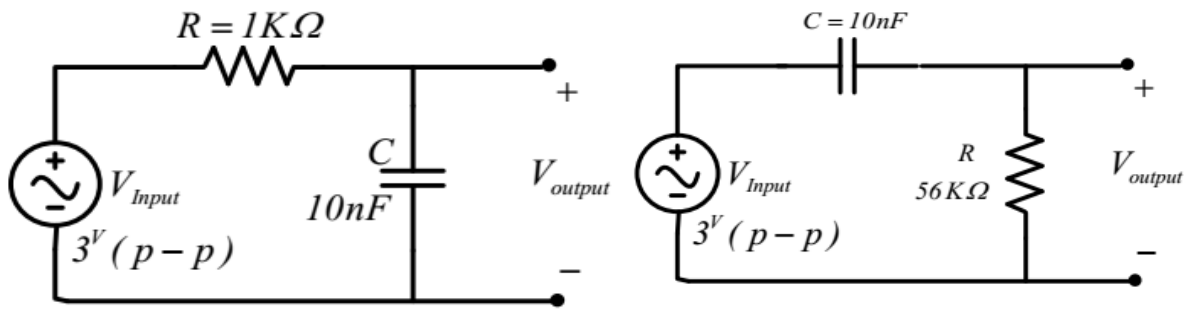
این مدار فرکانس‌های بالا را از خود عبور می‌دهد. در این فیلتر فرکانس قطع برابر  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  می‌باشد. منحنی مشخصه ولتاژ خروجی برحسب فرکانس در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۷-۴: منحنی مشخصه ولتاژ خروجی برحسب فرکانس

### شرح آزمایش:

مداری مطابق شکل‌های زیر (فیلتر پایین گذر و بالاگذر) ببندید و با استفاده از سیگنال ژنراتور یک موج سینوسی با دامنه  $V_m = 3V$  به مدار اعمال کنید. سپس فرکانس را از  $1KHz$  تا  $100KHz$  تغییر دهید و ولتاژ خروجی را بوسیله اسیلوسکوپ اندازه بگیرید و در جدول یادداشت کنید.



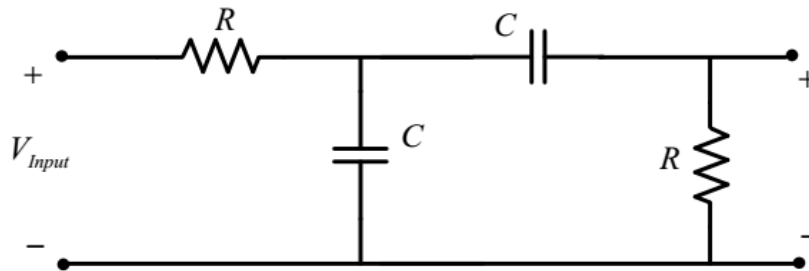
شکل ۷-۵: الف) فیلتر بالاگذر (سمت راست)، ب) فیلتر پایین گذر (سمت چپ)

منحنی تغییرات  $V_{output}$  بر حسب فرکانس را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید و  $f_c$  را برای هر یک از مدارها بدست آورید.

$f$	$V_{output}$ اندازه گیری شده فیلتر پایین گذر	$V_{output}$ محاسبه شده فیلتر پایین گذر	$V_{output}$ اندازه گیری شده فیلتر بالاگذر	$V_{output}$ محاسبه شده فیلتر بالاگذر
1K				
2K				
3K				
4K				
5K				
10K				
30K				
50K				
100K				

### آزمایش هشتم: فیلتر میان گذر

این فیلتر محدوده خاصی از فرکانس‌ها را می‌گذراند و از عبور تمام فرکانس‌های خارج از آن محدوده جلوگیری می‌کند. با سری نمودن مدار صافی بالاگذر و پایین‌گذر می‌توان صافی میان‌گذر ساخت. در شکل زیر این نوع صافی نشان داده شده‌است.

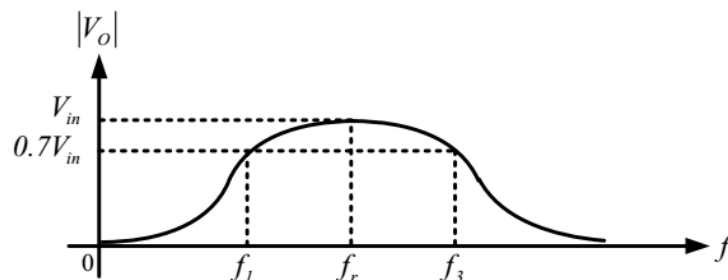


شکل ۸-۱: مدار فیلتر میان‌گذر

نسبت خروجی به ورودی این مدار برابر است با:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{jR\omega C}{1 + 3jR\omega C - R^2C^2\omega^2}, \quad \left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| = \frac{RC\omega}{\sqrt{(1 - R^2C^2\omega^2)^2 + 9R^2C^2\omega^2}}, \quad \phi = 90 - \text{Arctan}\left(\frac{3RC\omega}{1 - R^2C^2\omega^2}\right)$$

رابطه فوق نشان می‌دهد که در فرکانس‌های بالا وقتی که  $RC\omega \gg 1$  می‌باشد و همچنین فرکانس‌های پایین زمانی که  $RC\omega \ll 1$  می‌باشد،  $\left| \frac{V_{out}}{V_{in}} \right| \approx 0$  است. در نتیجه، خروجی در فرکانس‌های میانی به ماکزیمم خود می‌رسد. منحنی تغییرات ولتاژ خروجی نسبت به فرکانس در شکل زیر رسم شده‌است. در این مدار دو فرکانس قطع  $f_1$  و  $f_2$  داریم. در این نقاط که نقاط نصف توان و یا نصف قدرت نامیده می‌شوند، ولتاژ خروجی به  $0.7V_{in}$  می‌رسد.

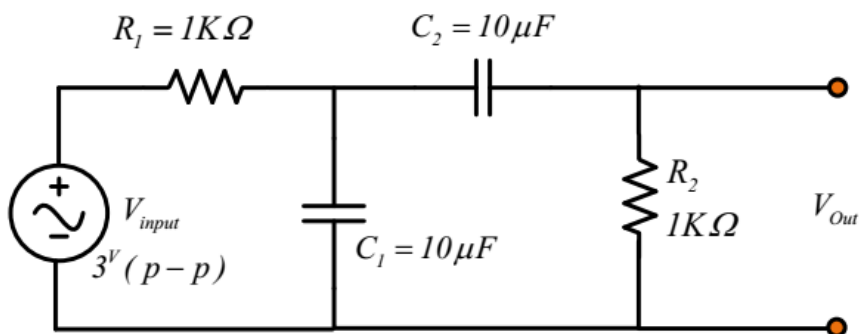


شکل ۸-۲: منحنی مشخصه ولتاژ خروجی فیلتر میان‌گذر برحسب فرکانس

### شرح آزمایش:

الف) مداری مطابق شکل زیر ببندید. رنج مولد سیگنال را روی  $100\text{KHz}$  قرار دهید. سپس برای فرکانس‌های داده شده در جدول، ولتاژ خروجی را خوانده و در جدول یادداشت کنید.

ب) منحنی تغییرات ولتاژ خروجی نسبت به فرکانس را بر روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید و پهنای باند را مشخص کنید.

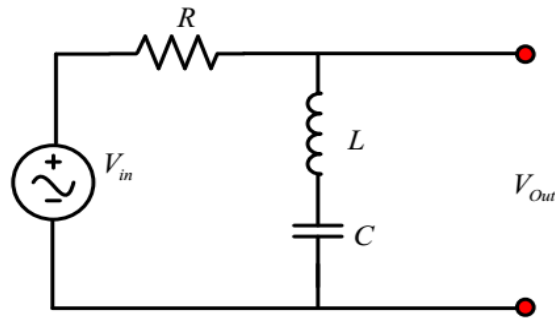


شکل ۸-۳: مدار مورد آزمایش برای فیلتر میان‌گذر

$f \text{ (Hz)}$	5	10	15	20	30	50	100	200	400	600	800	1000
$V_{out} \text{ (v)}$												

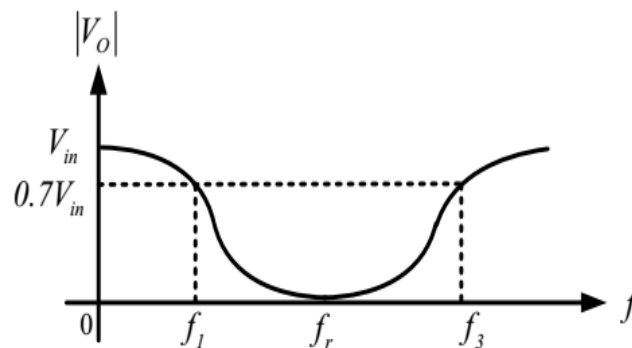
### آزمایش نهم: فیلتر میان‌گذر

این فیلتر از عبور محدوده معینی از فرکانس‌ها جلوگیری کرده و همه فرکانس‌های خارج از آن محدوده را عبور می‌دهد. در شکل زیر مدار فیلتر میان‌گذر را مشاهده می‌کنید.



شکل ۹-۱: مدار فیلتر میان‌گذر

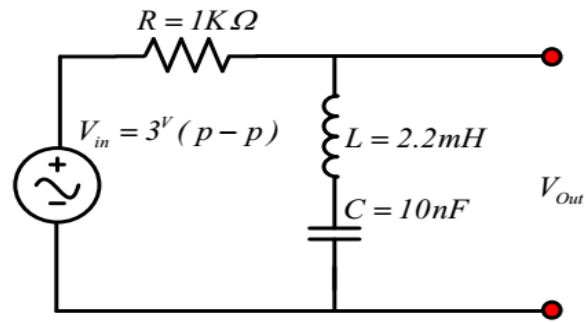
منحنی تغییرات ولتاژ خروجی برحسب فرکانس در شکل زیر نشان داده شده‌است.



شکل ۹-۲: منحنی مشخصه ولتاژ خروجی فیلتر میان‌گذر برحسب فرکانس

### شرح آزمایش:

الف) مداری مطابق شکل زیر ببندید. رنج مولد سیگنال را روی 10KHz قرار دهید. سپس به ازای فرکانس‌های داده شده، ولتاژ  $V_{out}$  را در جدول یادداشت کنید.



شکل ۹-۳: مدار فیلتر میان‌گذر با مقادیر پارامترها برای انجام آزمایش

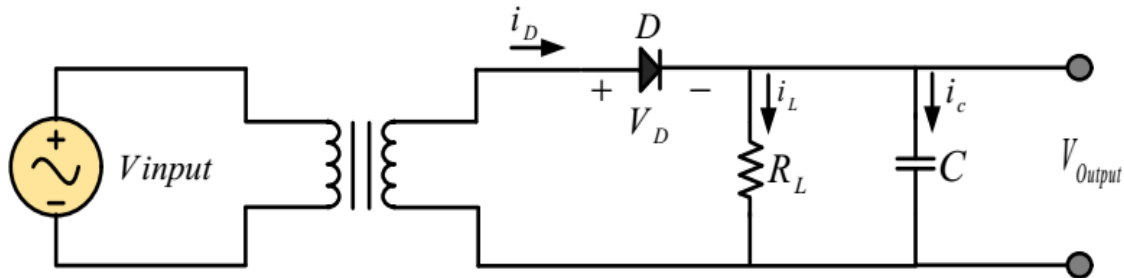
ب) منحنی تغییرات  $V_{out}$  را برحسب فرکانس روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.

$f (Hz)$	2	4	6	8	10	15	20	40	60	80	100	120
$V_{out} (v)$												

## آزمایش دهم: صافی خازنی در یکسوکننده‌های دیودی

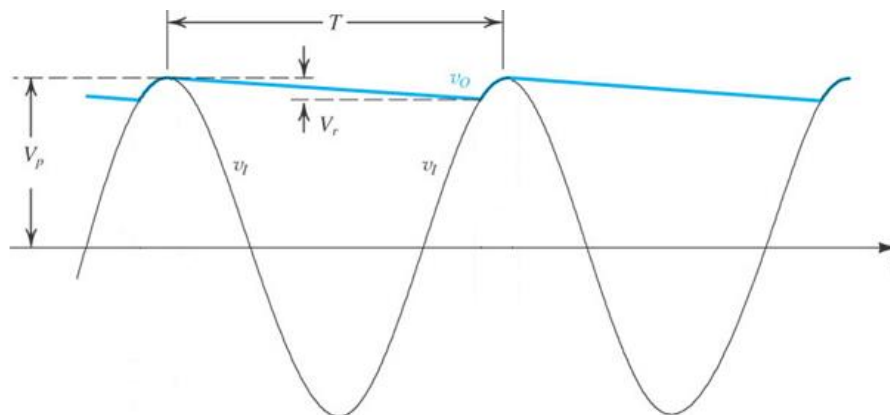
### یادآوری: صافی خازنی

همان‌طور که مشاهده کردیم ولتاژ خروجی مدارهای یکسوکننده با شکل ولتاژ ورودی تفاوت اساسی پیدا نموده و در واقع ولتاژی که در ورودی شامل هیچگونه مولفه DC نیست، یک ولتاژ DC توام با ریپل و یا به عبارتی ناصاف بوجود می‌آورد. برای حذف ناصافی موجود در خروجی یکسوکننده‌ها می‌توان از صافی‌های خازنی استفاده نمود. این صافی‌ها در حقیقت مانع رسیدن فرکانس‌های بالای موجود در شکل موج ورودی به مقاومت بار گردیده و با اعمال آن به صاف‌تر شدن ولتاژ خروجی کمک می‌نمایند. در شکل زیر مدار یکسوکننده نیم‌موج با صافی خازنی نشان داده شده‌است.

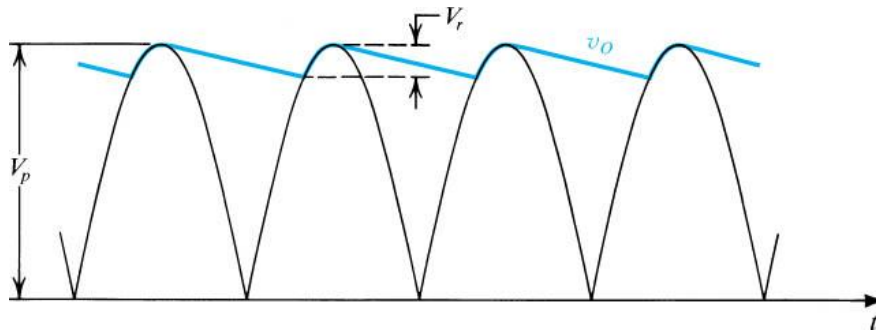


شکل ۱۰-۱: مدار یکسوساز نیم‌موج با صافی خازنی

بعد از قرار دادن خازن، شکل موج خروجی مدار در شکل‌های زیر برای یکسوساز نیم‌موج و تمام‌موج رسم شده‌است.



شکل ۱۰-۲: شکل موج ولتاژ خروجی مدار یکسوساز نیم‌موج با صافی خازنی



شکل ۱۰-۳: شکل موج ولتاژ خروجی مدار یکسوساز تمام‌موج با صافی خازنی

همان‌طور که مشاهده می‌شود، شکل موج خروجی دارای اعوجاج (ریپل<sup>۱</sup>) به اندازه  $V_r = V_m - V_{m'}$  می‌باشد. ولتاژ DC و یا همان ولتاژ متوسط خروجی را برای مدار یکسوساز با صافی خازنی می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$V_{dc} = V_m - \frac{V_r}{2}$$

که در آن  $V_r$  تغییرات ولتاژ خازن پس از تخلیه به مدت  $T_c$  ثانیه است. به عبارت دیگر

$$V_r = \frac{1}{C} \int_0^{T_c} i(t) dt = \frac{1}{C} \int_0^{T_c} \frac{dq}{dt} dt = \frac{1}{C} [q(T_c) - q(0)] = \frac{1}{C} \Delta Q$$

$$V_r = \frac{1}{C} \Delta Q = \frac{I_{dc} T_c}{C} \approx \frac{I_{dc} T}{C} = \frac{I_{dc}}{f \times C}$$

$$V_{dc} = V_m - \frac{I_{dc}}{2f \times C}$$

در رابطه فوق برای راحتی و به دلیل اینکه استخراج مقدار دقیق  $T_c$  ممکن نیست از تقریب  $T_c \approx T$  استفاده کردیم.

در نتیجه برای یکسوکننده تمام‌موج با صافی خازنی، ولتاژ DC از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$V_r = \frac{I_{dc}}{2f \times C}, \quad V_{dc} = V_m - \frac{I_{dc}}{4f \times C}$$

ضریب ریپل: ضریب ریپل یک موج چنین به دست می‌آید:

<sup>1</sup> Ripple



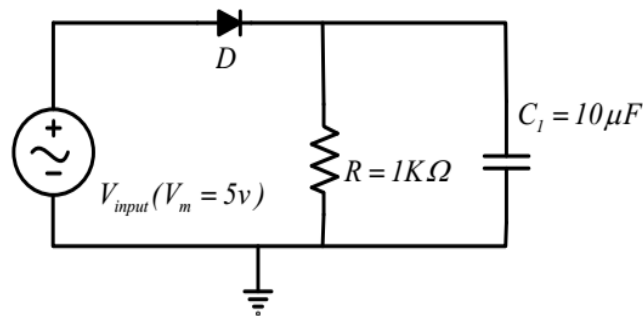


$$r = \frac{I_{rms}}{I_{dc}} = \frac{V_{rms}}{V_{dc}}$$

$$V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}, \quad I_{dc} = \frac{2I_m}{\pi}, \quad V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} = R_L I_{dc}$$

شرح آزمایش:

مداری مطابق شکل زیر ببندید.



شکل ۱۰-۳: مدار یکسوساز نیم‌موج با صافی خازنی با مقادیر پارامترها برای انجام آزمایش

الف) ولتاژ خروجی دو سر مقاومت  $1K$  و همچنین ولتاژ ورودی را بوسیله اسیلوسکوپ مشاهده و رسم نمایید.

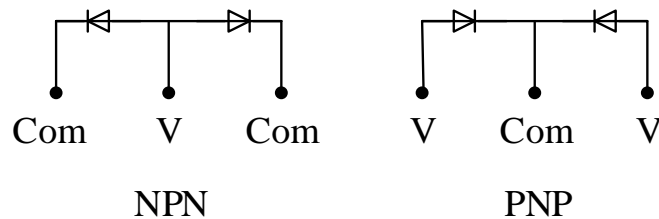
ب) مقدار  $V_m$  را بوسیله اسیلوسکوپ و  $V_{dc}$  را بوسیله ولت‌متر اندازه‌گیری کرده و از رابطه  $V_{dc} = V_m - \frac{V_r}{2}$  مقدار  $V_r$  را محاسبه کرده و در جدول زیر یادداشت نمایید.

$V_r$	$V_{dc}$	$V_m$	
			بدون خازن
			با خازن

ج) مقدار  $V_{dc}$  را محاسبه کنید و با مقدار اندازه‌گیری‌شده مقایسه کنید.

## آزمایش یازدهم: آشنایی با ترانزیستور و بررسی منحنی‌های مشخصه آن

در درس مبانی مهندسی برق، با ترانزیستور BJT آشنا شده‌اید. می‌دانیم که می‌توان هر BJT را متشکل از دو دیود در نظر گرفت:

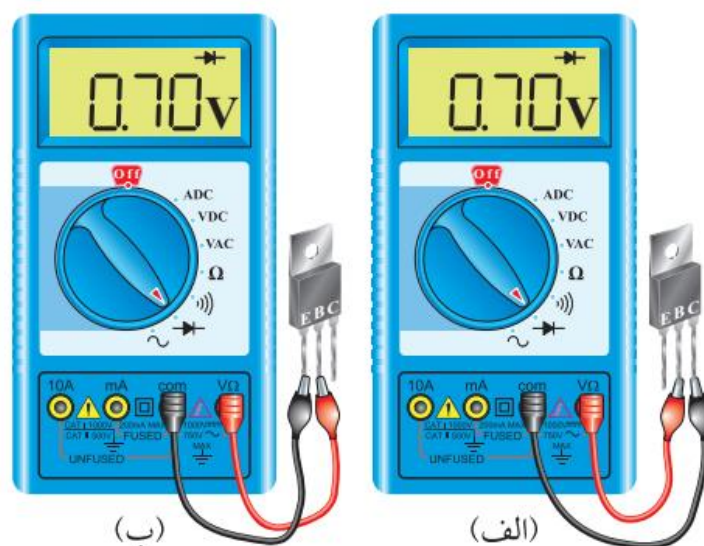


شکل ۱-۱۱: مدار معادل دیودی ترانزیستور

با توجه به مطلب بالا راهی برای شناسایی پایه‌های ترانزیستور پیشنهاد می‌شود.

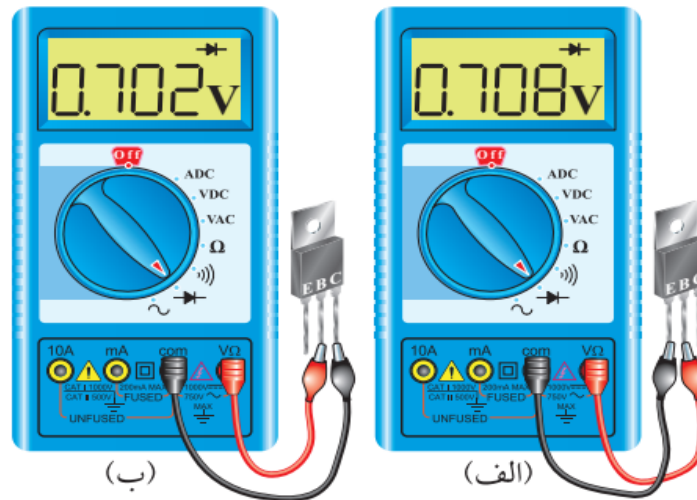
### شناسایی پایه‌های ترانزیستور:

همان‌طور که می‌دانید با قرار دادن مولتی‌متر در حالت دیود می‌توان آند و کاتد و ولتاژ آستانه یک پیوند  $P-N$  را شناسایی کرد. با توجه به مطلب فوق برای شناسایی پایه‌های ترانزیستور به کمک مولتی‌متر از روش زیر استفاده می‌کنیم:



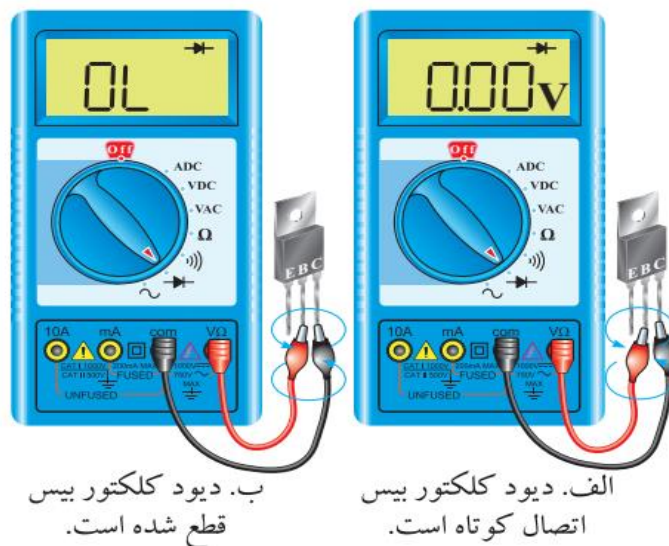
شکل ۲-۱۱: تشخیص پایه بیس ترانزیستور با استفاده از مولتی‌متر دیجیتال

با توجه به مطالب بیان شده در مورد ساختار ترانزیستور، پایه‌ای که با دوپایه دیگر ولتاژ آستانه نشان دهد، بیس است (شکل ۱۱-۲). حال اگر هنگام تست کردن، سر  $V$  مولتی‌متر به بیس وصل بود، ترانزیستور از نوع NPN است و اگر سر COM مولتی‌متر به بیس وصل بود، ترانزیستور PNP است.



شکل ۱۱-۳: ولتاژ آستانه دو سر بیس کلکتور کمتر از بیس امیتر است.

برای تشخیص امیتر و کلکتور از ولتاژ آستانه کمک می‌گیریم. به این صورت که پایه‌ای که با بیس ولتاژ آستانه بیشتری نشان داد، امیتر است (شکل ۱۱-۳). زیرا امیتر بیشتر از کلکتور آرایش شده است و دارای حامل‌های بیشتری است. در شکل ۱۱-۴ نیز حالت‌های مختلف ترانزیستور معیوب نشان داده شده است.



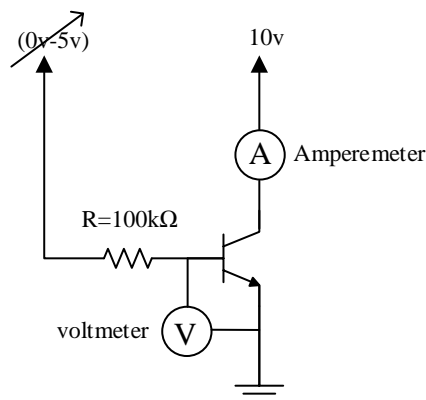
ب. دیود کلکتور بیس قطع شده است.

الف. دیود کلکتور بیس اتصال کوتاه است.

شکل ۱۱-۴: نمایش یک ترانزیستور معیوب در دو حالت

### شرح آزمایش:

- الف) ابتدا ترانزیستور BC107 را برداشته و با استفاده از روش گفته شده، پایه‌های آن را شناسایی کنید.
- ب) با توجه به پایه‌های ترانزیستور آن را در قسمت  $\beta$  سنج مولتی‌متر قرار دهید و مقدار  $\beta$  را یادداشت نمایید.
- ج) یافتن منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور مطابق شکل مدار را ببندید:



شکل ۱۱-۲: مدار مورد استفاده برای یافتن منحنی مشخصه ورودی ترانزیستور

سپس جدول زیر را تکمیل نموده و منحنی مشخصه ورودی را بر روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید.

ولتاژ ورودی	0.2	0.5	0.7	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	5
$V_{BE}$											
$I_C$											

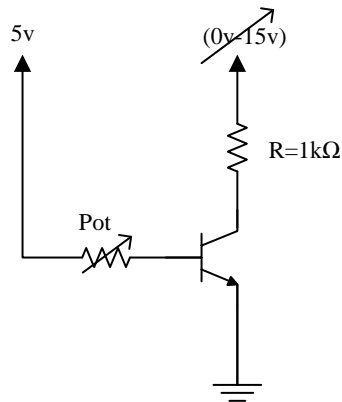
**توجه:** برای اندازه‌گیری ولتاژ ورودی و  $V_{BE}$  به کمک یک ولت‌متر، یک سر ولت‌متر را به امیتر وصل کنید و سر دیگر ولت‌متر را هر بار ابتدا به خروجی تغذیه بزنید و پس از تنظیم آن به بیس وصل کرده و ولتاژ BE را بخوانید.

**توجه:** مقدار پارامتر  $V_{BE}$  باید به دقت اندازه‌گیری شود. زیرا تغییرات آن اندک خواهد بود.

د) یافتن منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور:

مدار شکل زیر را ببندید. در هر بار اندازه‌گیری ابتدا جریان بیس را به کمک پتانسیومتر تنظیم کنید و سپس با تنظیم  $V_{CE}$  های مختلف توسط منبع متغیر، مقدار جریان کلکتور را اندازه بگیرید.

**توجه:** برای اندازه‌گیری  $V_{CE}$  و  $I_C$  به کمک یک مولتی‌متر سر COM را به کلکتور، سر  $V$  را به آمپتر و سر آمپر را به مقاومت  $R = 1k\Omega$  وصل کنید.



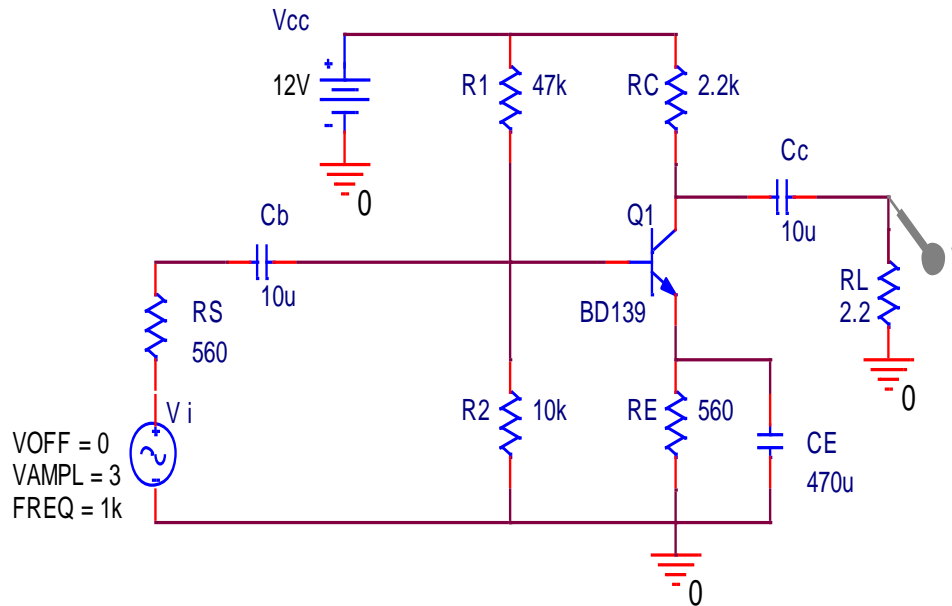
شکل ۱۱-۳: مدار مورد استفاده برای یافتن منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور

جدول را تکمیل نموده و منحنی مشخصه خروجی ترانزیستور را بر روی کاغذ میلیمتری رسم نمایید.

	$V_{CE}$	1	2	3	4	5	7	10
$I_B = 0mA$	$I_C = ?$							
$I_B = 10mA$	$I_C = ?$							
$I_B = 20mA$	$I_C = ?$							
$I_B = 40mA$	$I_C = ?$							

### آزمایش دوازدهم: تقویت کننده امیترمشترک

هدف از این آزمایش آشنایی با تقویت کننده امیترمشترک به عنوان یکی از تقویت کننده‌های سیگنال کوچک است.



شکل ۱۲-۱: مدار تقویت کننده امیترمشترک

### شرح آزمایش:

در مدار شکل فوق، بهره ولتاژ را در حالت‌های زیر محاسبه و اندازه‌گیری کنید. همچنین نتایج تئوری را با نتایج اندازه‌گیری شده مقایسه نمایید.

الف) مقاومت بار  $R_L = 2.2k$  و خازن امیتر  $C_E = 470\mu F$

ب) مقاومت بار  $R_L = 2.2k$  و خازن امیتر حذف شود.

ج) مقاومت بار بی‌نهایت و خازن امیتر  $C_E = 470\mu F$

د) مقاومت بار بی‌نهایت و خازن امیتر حذف شود.

**سوال:** وجود خازن در امیتر تقویت کننده چه اثری دارد؟ بهره را کاهش می‌دهد و یا افزایش؟

## منابع و مراجع

۱. دستور کار آزمایشگاه مبانی مهندسی برق، دانشکده فناوری‌های نوین نمین، دانشگاه محقق اردبیلی، یاسر شکری
۲. دستور کار آزمایشگاه مدارهای الکتریکی و اندازه‌گیری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. دستور کار آزمایشگاه الکترونیک ۱، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۴. کتاب مدارهای میکروالکترونیک؛ مولف: سدره-اسمیت، ترجمه محمود دیانی

## راهنمای تهیه گزارش کار برای آزمایشگاه مبانی برق

تهیه گزارش، نامه و اوراق رسمی قسمت مهمی از کار هر مهندسی است. به طور کلی شیوه و اصول تمام گزارش‌ها شبیه همدیگرند. بنابراین بجاست که در همین دروس آزمایشگاه ارائه شده در مقطع کارشناسی این اصول فرگرفته شود. لازم به ذکر است که تمام جملات گزارش باید در زمان گذشته ساده و سوم شخص غایب باشد.

شماره آزمایش

عنوان آزمایش

مشخصات دانشجو شامل نام، نام خانوادگی و شماره دانشجویی

اسامی اعضای گروه

تاریخ انجام آزمایش

تاریخ تحویل گزارش کار



## وسایل مورد نیاز:

علاوه بر قطعات استفاده شده در این آزمایش در صورتی که از دستگاهی برای نخستین بار استفاده می کنید در این قسمت قید شود و درباره حدود کارکرد دستگاهها توضیحات لازم ارائه گردد.

## هدف انجام آزمایش:

هدف مختصر و با جملات کامل در زمان گذشته ساده بیان گردد.

### مقدمه:

(نوشتن این قسمت اختیاری است) مقدمه عموماً ذهن خواننده را به سمت اهداف گزارش سوق می دهد. مقدمه در واقع شامل تاریخچه مطلب مورد آزمایش و علت انجام آزمایش است. اینکه جایگاه این آزمایش در تئوری مدارهای منطقی چیست؟ و یا این آزمایش در جهت تست کدام بخش از درس نظری مربوطه است؟

## تئوری آزمایش:

این بخش بدنه اصلی گزارش کار است و مطالب زیر باید گنجانده شود:

### الف) شماتیک مدار

در این بخش، قبل از هر کاری قطعات بکار رفته در مدار (به جز منابع تغذیه و وسایل اندازه گیری) مشخص می گردد. در مرحله بعد اتصالات مدار باید تشریح گردد. برای تشریح اتصالات شماتیکی از مدار بصورت دستی یا نرم افزاری (منظور نرم افزارهای شبیه ساز مانند پروتئوس و ... می باشد) رسم می گردد. تصاویر دوربین های تلفن همراه برای این بخش قابل قبول نمی باشد.

### ب) توضیح عملکرد مدار

در این بخش لازم است عملکرد مدار از لحاظ تئوری تشریح گردد. توضیح عملکرد مدار باید از نقطه اعمال ورودی شروع شده و شامل پردازش انجام شده بر روی ورودی ها برای تولید خروجی باشد.

### ج) مدار پیاده سازی شده

در این بخش اگر تصاویری از مدار توسط دوربین تهیه شده است میتواند مورد استفاده قرار گیرد. تصاویر دارای شماره و توضیح بوده که باید قبل از خود شکل در متن قرار گیرد. لازم است در شرح مربوطه به تک تک تصاویر ارجاع داده شود. در مورد تصاویر دقت شود که ورودی ها و خروجی ها تا جای ممکن مشخص باشند. نتیجه حاصل از پیاده سازی عملی در انتها توضیح داده شود.

## د) عوامل تاثیرگذار بر آزمایش

- گاهی در اجرای عملی یک آزمایش خوش ذوقی‌هایی بکار می‌رود که منجر به ساده و شکیل‌تر شدن مدار پیاده شده نسبت به مدار گروه‌های دیگر است، آن مورد توضیح داده شود.
- گاهی در انجام یک آزمایش به مرحله‌ای می‌رسیم که نیاز به یک ابتکار عمل برای اجرای تئوری مطرح شده است (مثلا نیازمند تولید پالس هستیم و دستگاه خارجی پالس مطلوبی تولید نمی‌کند، LED برای مشاهده خروجی در دسترس نیست و ...) در این بخش کشفیات طی انجام آزمایش توضیح داده خواهد شد.
- ممکن است در اجرای آزمایش ابتدا پاسخی در خروجی مدار دریافت نشود. دانشجویان در این شرایط مجبور به عیب‌یابی هستند. توضیح داده شود که چگونه عیب‌یابی کرده‌اند و عیب مورد نظر از کدام بخش بوده است.
- گاهی تئوری پیش‌بینی شده با آنچه که در عمل مشاهده می‌گردد متفاوت است. در این بخش عوامل ایجاد خطا و علت این تفاوت توضیح داده شود.

## مشاهدات، محاسبات و رسم نمودارها:

در این قسمت خلاصه مشاهدات آزمایش با جداول و نمودارهای لازم آورده می‌شود. تمام مشاهدات باید با دقت تمام نوشته شود. هرگونه سستی در توضیح دقیق این قسمت می‌تواند برای افراد دیگری که با استناد به این گزارش، آزمایش را تکرار می‌کنند دردسرساز و خطرناک شود. مشاهدات اگر کمی هستند در آن یک عدد دارای دیمانسیون ذکر می‌گردد. در صورتی که آزمایش شامل محاسبات ریاضی باشد، باید آن‌ها را نیز در این قسمت انجام داد.

## نتیجه‌گیری و پیشنهاد

بحث پیرامون نتایج و تفسیر احتمالی آن‌ها در این بخش قید می‌گردد. نتیجه‌گیری باید با توجه به هدف آزمایش که در ابتدا بیان شد صورت گیرد. همچنان که موضوع هر آزمایش به نتیجه اشاره دارد. باید خلاصه و مربوط به آزمایش و با استفاده از اطلاعات داده شده و نتایج کسب شده باشد.

نتیجه‌گیری عبارت است از عقاید و قضاوت‌های شخص آزمایش‌کننده که باید همراه با دلیل باشد. این دلیل ممکن است متکی به تئوری یا نتایج آزمایش‌های مشابه قبلی باشد. یکی از راه‌هایی که می‌توان با تکیه بر آن نتیجه‌گیری خوبی انجام داد، در نظر گرفتن دقت روش به کار رفته، اطلاعات داده شده و نتایج بدست آمده است.

پیشنهادها غالباً مهم‌تر از نتیجه‌گیری است، زیرا آزمایش‌کننده احساس می‌کند که کارهای بهتری و بیشتری میتواند انجام داد. دانشجو با کمی دقت و با محدود بودن کارآیی دستگاه و مسائلی از این قبیل می‌باشد که پیشنهادها می‌تواند در مورد برطرف کردن این مسائل باشد تا بدین وسیله به هدف اصلی که در ابتدا ذکر شده است برسد.

## پاسخ به سوالات موجود در دستور کار و انجام تمرینات خواسته شده:

اگر در دستور کار مربوط به آزمایش سوالی وجود داشت باید در این بخش به آن‌ها پاسخ داده شود.

## لیست مراجع:

چنانچه دانشجو در انجام بخشی از گزارش کار از مرجعی استفاده کرده است آن مرجع در این بخش قید می‌گردد. دانشجویان محترم توجه داشته باشند که حتماً باید از داخل متن به مرجع مورد نظر ارجاع شده باشد.