**بسمه تعالی**

**دانشکده فیزیک**

# آزمایشگاه الکترونیک

ویژه دانشجویان فیزیک

**گردآوری و تنظیم:علی عسکری**

**۱۳۹۵**

فایل این نوشته در تابلوی اعلانات دانشکده فیزیک در وب سایت دانشگاه شاهرود قابل دریافت است

# فهرست

آزمایش ۱ :آشنایی با وسایل

آزمایش ۲:صافی‌ها

آزمایش ۳:دیود

آزمایش ٤:یکسوسازها

آزمایش ٥:برشگرها

آزمایش ٦:چند برابر کننده ولتاژ

آزمایش ۷:تنظیم کننده ولتاژ

آزمایش ۸:ترانزیستور

آزمایش ۹:تغذیه مستقیم

آزمایش ۱۰:بررسی مدارهای تقویت کننده

## مقدمه و آشنایی با وسایل

انجام هر آزمایش مستلزم اندازه گیری یک یا چند کمیت فیزیکی است. به این منظور لازم است با زمینه های نظری آزمایشها و روش انجام هر آزمایش و نیز طرز کار دستگاه ها و وسایل اندازه گیری آشنایی داشته باشیم.

همچنین نکات ایمنی و مقررات آزمایشگاه را رعایت کنیم و با حضور به موقع در آزمایشگاه شرایط لازم برای انجام آزمایش را که یک کار جمعی است، فراهم سازیم.

در ارتباط با نگهداری از وسایل لازم است نکات زیر را یادآوری کنیم:

الف) مشخص کنیم که با یک وسیله چه کمیت هایی را میتوانیم اندازه بگیریم.

ب) حداکثر و حداقل درجه ی سنجش کمیت ها و نیز یکای آن ها را در نظر بگیریم.

ج) با حساسیت و قدرت تشخیص دستگاه در کالیبره های مختلف آشنا باشیم.

د) در آغاز کار، دستگاه آزمایش شود و تدابیر حفاظتی لازم جهت کار دستگاه در حوزه انتخابی پیش بینی شود.

ه) ولتاژ منبع تغذیه با ظرفیت و قدرت تحمل مصرف کننده ها و دستگاه های اندازه گیری متناسب باشد.

در این آزمایشگاه بیشتر از دستگاه ها و وسایل ذیل استفاده می کنیم:

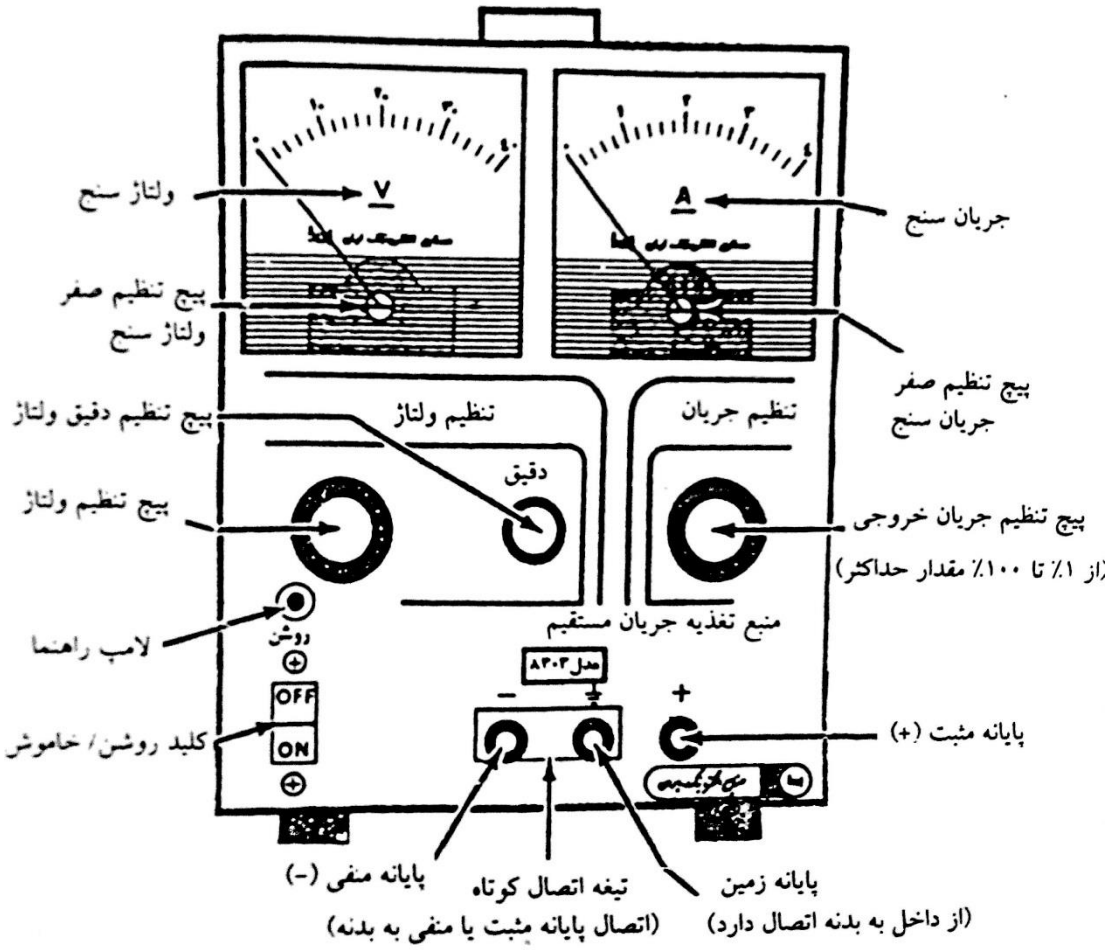
منبع تغذیه جریان مستقیم، سیگنال ژنراتور (مولد موج)، مولتی متر دیجیتال (چندگانه سنج رقمی)، اسیلوکوپ و برد بورد (تخته آزمایش).

نخست به بررسی مختصر طرز کار و مشخصات این وسایل می پردازیم :

### منبع تغذیه جریان مستقیم

۱. در خروجی قادر به تولید ولتاژ DCتثبیت شده با مقدار بین صفر تا۳۲ ولت جریان خروجی DC(مستقیم) بین صفر تا ۳ آمپر است.
۲. به یک ولتمتر (ولتاژ سنج) و یک آمپرمتر (جریان سنج) جهت نمایش ولتاژ و جریان خروجی مجهز است.

۳. در طراحی دستگاه یک مدار داخلی جهت تعیین حد نهایی جریان در نظر گرفته شده است.




**شکل ۱. دستگاه منبع تغذیه جریان مستقیم**

**دستگاه مولد موج(Signal Generator)**

**مشخصات کلی**

۱. دستگاه قادر است انواع امواج سینوسی، مثلثی و مربعی را تولید و در خروجی خود ارائه کند. علاوه بر آن دستگاه یک خروجی با دامنه ثابت ۵ولت برای کار با IC های TTL دارد.

۲. با تغییر پیچ های تنظیم بسامد و فشار دادن یکی از هفت حوزه بسامدی(Rang Hz)، میتوان بسامد مورد نظر را در یک محدوده ۱ هرتز و ۰ تا ۱ مگاهرتز تنظیم کرد.

۳. مقاومت خروجی دستگاه ۶۰۰ $\Omega$ و درصد تغییرات آن $\pm$۵ درصد است.

۴. حداکثر دامنه ولتاژ های خروجی در حالت بی باری ۲۰ولت قله تا قله ($20V_{p-p}$) است و تحت بار ۶۰۰$\Omega$ تا میزان ۱۰ ولت قله تا قله ($10V_{p-p}$) کاهش می یابد.

۵. در صورتی که هیچ یک از لید های انتخاب شکل موج فشار داده نشده باشند، خروجی دستگاه ولتاژ مستقیمی با مقداری حداکثر $\pm ۱۰V$ در حالت بی باری است و امپدانس خروجی دستگاه در این حالت هم $۶۰۰\Omega$ است. در این حالت کار، دامنه ولتاژ خروجی به وسیله پیچ کنترل ولتاژ مستقیم(DC Offset)، کنترل می شود.

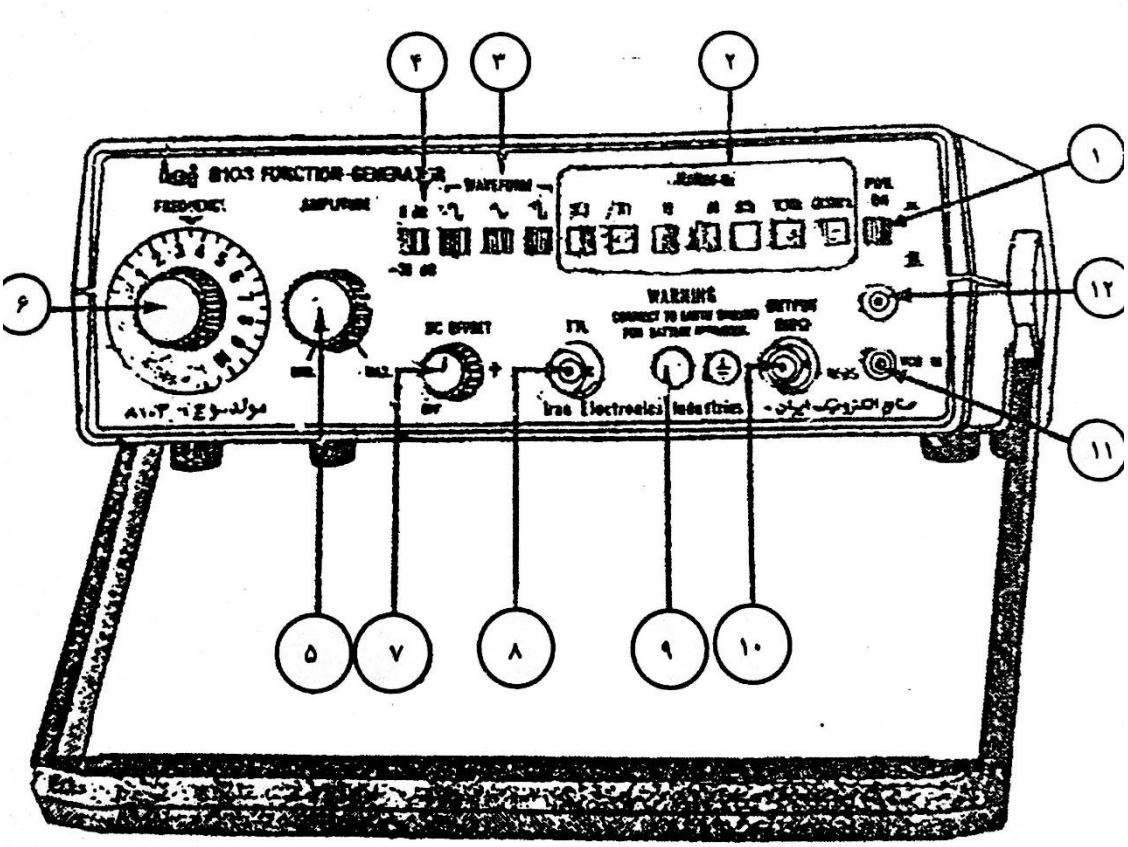
۶. به وسیله کنترل ولتاژ مستقیم، می توان شکل موج های خروجی دستگاه را به میزان مناسبی تغذیه کرد.

**شرح دکمه ها و پیچهای کنترل و پایانه ها**

۱. **دکمه روشن و خاموش کردن دستگاه؛** با قرار گرفتن دکمه روی ON دستگاه روشن و برق مورد نیاز به دستگاه اعمال می شود. این دکمه باعث قطع و وصل برق ورودی به قسمت های مختلف بجز قسمت شارژ باتری می شود.

۲. **دکمه های انتخاب حوزه بسامدی؛** با فشردن یکی از این دکمه ها به ترتیب بسامد خروجی با ضریب ۱۰ افزایش می یابد و با تغییر پیچ تنظیم بسامد، می توان بسامد مورد نظر را در محدوده ۱Hz و ۰تا ۱MHz تنظیم کرد. مثلا اگر پیچ تنظیم بسامد روی ۱۰ قرار گیرد و دکمه انتخاب حوزه در حالت ۱۰۰ × باشد، بسامد خروجی $۱۰۰ \times ۱۰۰ = ۱۰۰۰Hz$ خواهد بود.

۳. **دکمه های انتخاب شکل موج(Wave Form)؛** با فشردن هر یک از سه دکمه این قسمت می توان یکی از سه شکل موج سینوسی، مثلثی و یا مربعی را انتخاب کرد که در این صورت موج انتخابی در پایانه خروجی$۶۰۰\Omega$




**شکل ۲. دستگاه مولد موج**

(OUT PUT ۶۰۰) در دسترس خواهد بود.

۴. **دکمه تضعیف دامنه(dB/-۳۰dB.)**؛ اگر این دکمه بیرون باشد دامنه سیگنال خروجی دستگاه به میزان تقریبی ۳۰ دسی بل کاهش می یابد.

۵. **پیچ کنترل دامنه(Amplitude)**؛ این دکمه به همراه دکمه تضعیف دامنه (dB/-۳۰Db.) جهت کنترل دامنه سیگنال خروجی مورد استفاده قرار می گیرد.

۶. **پیچ تنظیم بسامد(Frequency)**؛ مقدار بسامد تنظیم شده توسط این پیچ کنترل، ضرب در ضریب دکمه های حوزه بسامدی، مقدار بسامد خروجی توسط رابط های (TTL) و خروجی ۶۰۰Ω، (۶۰۰ OUT PUT)، را تنظیم می کند.

۷. **پیچ کنترل ولتاژ مستقیم**؛ این پیچ مولفه ولتاژ مستقیم سیگنال خروجی را در ترمینال خروجی ( OUT PUT ۶۰۰) تغییر می دهد. اگر این پیچ در وضعیت OFF قرار گیرد؛ مولفه ولتاژ مستقیم سیگنال خروجی به کلی حذف می شود.

۸. **خروجی(TTL)**؛ این خروجی دارای یک موج مربعی با همان بسامد سیگنال خروجی (۶۰۰ OUT PUT) است و مقدار ولتاژ آن ثابت است و بستگی به تغییرات پیچ کنترل دامنه و پیچ کنترل ولتاژ مستقیم و دکمه تضعیف دامنه ندارد.

۹. **محل اتصال دستگاه با زمین است.**

۱۰. **خروجی 600Ω (۶۰۰ OUT PUT)**؛ سیگنالی که توسط دکمه انتخاب شکل موج و پیچ کنترل ولتاژ مستقیم تنظیم می شود، از طریق این خروجی در دسترس قرار می گیرد.

۱۱. **ورودی کنترل بسامد خروجی (VC GIN)**؛ با اعمال ولتاژ مناسب خارجی به این ورودی می توان بسامد انتخاب شده را تغییر داد.

۱۲. **دیود نورده (LED)** : با فشردن کلید، روشن/خاموش، این دیود روشن می شود که بیانگر آماده به کار بودن دستگاه است.

**مولتی متر دیجیتال**

مولتی متر دیجیتال یا چندگانه سنج رقمی دستگاهی است که برای اندازه گیری سه کمیت اختلاف پتانسیل ( برحسب آمپر) و مقاومت الکتریکی ( بر حسب اهم) به جای وسایل تک منظوره ای مثل ولت متر( ولتاژ سنج) یا آمپرمتر (جریان سنج) به کار می رود.

همچنین این دستگاه برای تست دیود و اندازه گیری $h_{fe}$ (بهره جریانDC) ترانزیستور نیز به کار می رود و برای مقاومت های زیر ۲۰Ω دارای بوق اتصال کوتاه است. این وسیله اندازه گیری با نمایش دیجیتالی(رقمی) خودکار خواندن کمیت ها را بسیار ساده می کند.

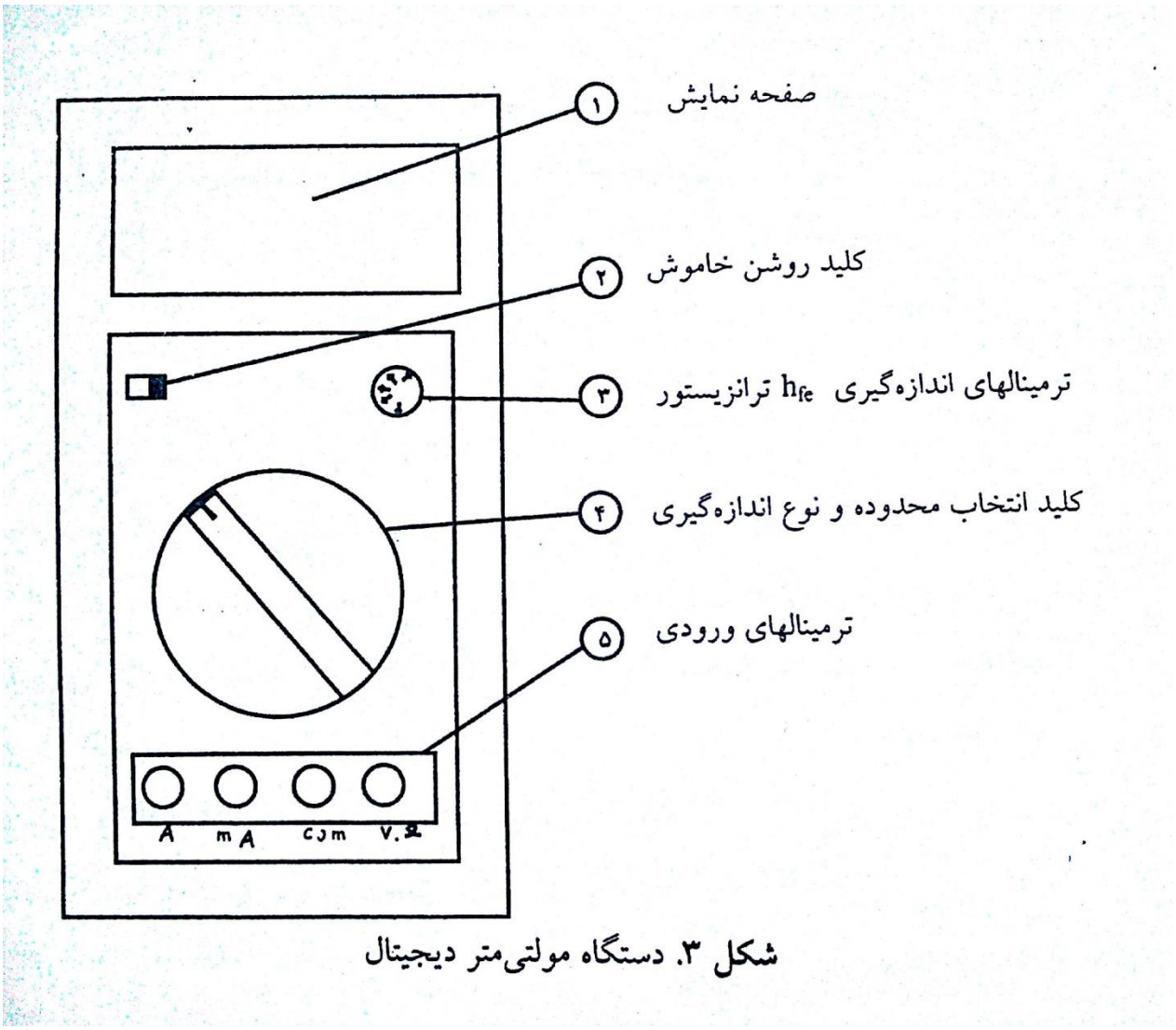
برای ایمنی دستگاه هنگام اندازه گیری بایستی به حداکثر ورودی های مجاز آن، به شرح زیر، توجه کرد:

ولتاژ متناوب: حداکثر تا ۷۵۰ولت (rms)

ولتاژ مستقیم: حداکثر تا ۱۰۰۰ولت

شدت جریان ورودی: حداکثر تا ۱۰ آمپر

محدوده بسامد ورودی: از ۴۵ تا ۵۰۰ هرتز




**شکل ۳. دستگاه مولتی‌متر دیجیتال**

**شرح دکمه ها و پیچ های کنترل و پایانه ها**

۱. **نمایشگر:**نمایشگر این نوع دستگاه از نوع کریستال مایع بوده و جهت خواندن ارقام بر روی دستگاه به کار می‌رود.

۲. **کلید(روشن /خاموش):** با قرار دادن کلید در وضعیت on دستگاه آماده به کار است و ولتاژ مورد نیاز آن از باتری تامین می شود.

۳. **پایانه های(Terminal) اندازه گیری $h_{fe}$:** از این پایانه ها جهت اندازه $h_{fe}$ ترانزیستور ها استفاده می شود. در این قسمت با انتخاب نوع ترانزیستور NPN یا PNP می توان $h_{fe}$ (بهره جریان DC) را بدست آورد. برای انجام این کار بایستی پایه های ترانزیستور در محلهای مربوطه قرار گیرند.

۴. **کلید انتخاب حوزه سنجش و نوع کمیت:** کمیت ها و حوزه های اندازه گیری آن ها به شرح زیر است:

**الف) مقاومت سنج:** با انتخاب این بخش، مقاومت الکتریکی اندازه گیری می شود. حوزه های سنجش این بخش عبارتند از :

$۲۰M\Omega$– $۲M\Omega$ - $۲۰۰k\Omega$ -$۲۰k\Omega$ - $۲k\Omega$ - $۲۰۰\Omega$

**ب) انـدازه گیـری ولتـاژ DC یـا (DC.V)**: بـرای انـدازه گیـری ولتـاژ مسـتقیم انتخـاب مـی شـود و حـوزه هـای انـدازه گیری آن عبارت است از:۲۰۰mV - ۲V - ۲۰V - ۲۰۰V- ۱۰۰۰V.

**ج)اندازه گیری ولتـاژ AC یـا (AC.V)**: جهـت انـدازه گیـری ولتـاژ متنـاوب بـا حـوزه هـای سـنجش ذیـل بـه کـار مـی رود؛ ۲۰۰mV- ۲V - ۲۰V- ۲۰۰V- ۷۵۰V.

**د)اندازه گیری شـدت جریـان AC یـا (AC.V)**: در صـورت انتخـاب ایـن قسـمت، مـی تـوان شـدت جریـان متنـاوب را در حوزه های$\mu A$ ۲۰۰ - ۲mA- ۲۰mA - ۱۰A- ۲۰۰mA انداره گیری نمود.

**ه)اندازه گیری شدت جریـان DC یـا (DC.A)**: بـا انتخـاب ایـن بخـش مـی تـوان شـدت جریـان مسـتقیم را در یکـی از حوزه های تا $2\mu A$ -۲۰mA- ۲۰۰mA تا ۱۰A اندازه گیری نمود.

**و)اتصال کوتـاه سـنج**: در ایـن قسـمت اگـر دو سـیم رابـط دسـتگاه مقـاومتی کمتـر از $20\Omega$ وجـود داشـته باشـد، بـوق دستگاه به نشانه اتصال کوتاه به صدا در می آید.

**ز)تست دیود:** در این بخش در صـورتی کـه دیـود سـالم باشـد، بـا اتصـال سـیم رابـط قرمز(مثبـت) بـه آنـد دیـود و سـیم رابط مشکی به کاتد دیـود، عـددی بـین ۵۰۰تـا۸۰۰ را نمـایش مـی دهـد واگـر سـیم هـا در جهـت عکـس بـه دیـود سـالم اتصال داده شوند، چندگانه سنج عدد۱ را نشان می دهد.

**توجه:** هنگـام انـدازه گیـری شـدت جریـان بایـد متناسـب بـا حـوزه انـدازه گیـری، سـیم رابـط قرمـز در یکـی از دو ورودی مربوطـه و سـیم مشـکی همیشـه در ورودی مشـترک(Com) قـرار گیـرد. همچنـین در صـورت خـارج بـودن مقـدار کمیـت مورد اندازه گیری از حوزه انتخابی، چندگانه سنج عدد۱یا ۱- را نشان می دهد.

**۵)پایانـه هـای ورودی:** ایـن دسـتگاه ۴ پایانـه ورودی دارد کـه یـک جفـت آن بـرای سـیم هـای قرمـز و مشـکی در حالـت انـدازه گیری ولتـاژ و مقاومـت الکتریکـی و جفـت دیگـر بـرای سـیم هـای قرمـز بـه هنگـام انـدازه گیـری شـدت جریـان بـه کـار مـی رود و سیم مشکی چنان که قـبلا اشـاره شـد همیشـه در ورودی مشـترک (Com) قـرار مـی گیرد.چندگانـه سـنج مـورد اسـتفاده بـه فیـوز محافظ آمپر و باتری کتابی ۹ ولتی جهت تامین ولتاژ مورد نیاز برای کار مجهز است.

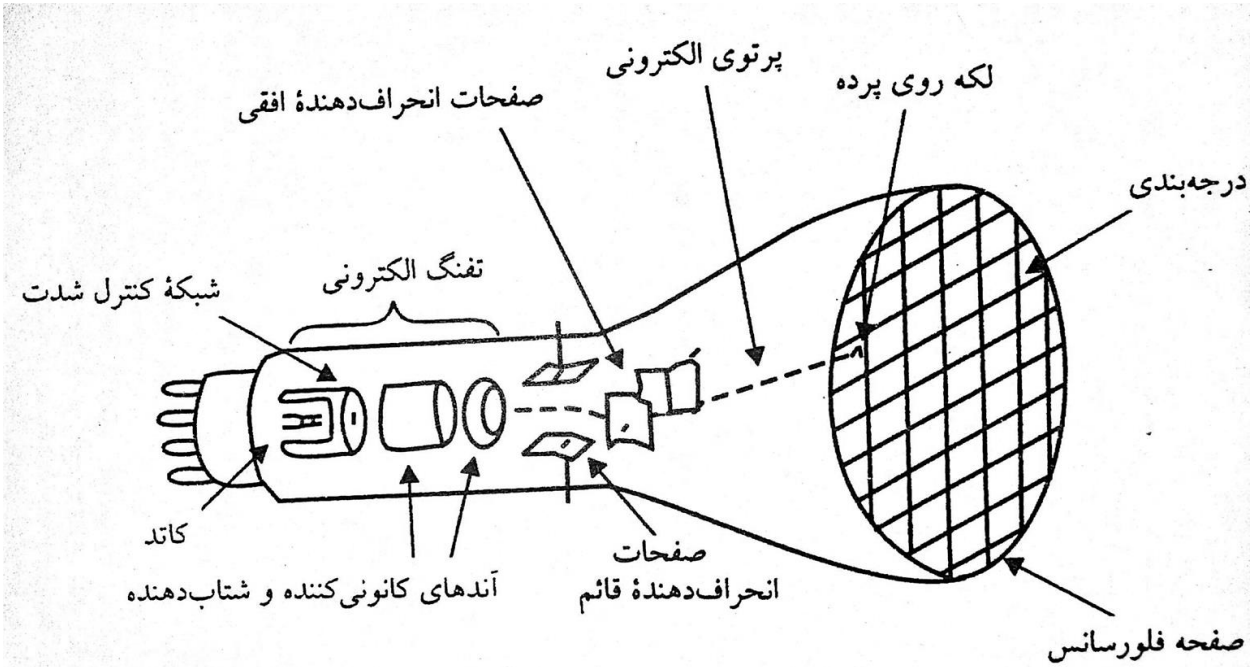
**اسیلوسکوپ**

یکی از وسایل انـدازه گیـری کـه بـا آن مـی تـوان شـکل مـوج، دامنـه، بسـامد، شـدت جریـان، زمـان و اخـتلاف فـاز بـین دو مـوج را مشـاهده و تعیـین کـرد، اسیلوسـکوپ اسـت. باتوجـه بـه ایـن کـه الکتـرون هـا تحـت تـاثیر میـدان هـای الکتریکـی و مغناطیسـی منحرف می شوند و این انحـراف بـه ولتـاژ اعمـال شـده بسـتگی دارد، مـی تـوان گفـت اسیلوسـکوپ در اصـل یـک ولتـاژ سـنج اسـت که با استفاده از مدار های اضافی امکان اندازه گیری کمیت های الکتریکی دیگر را فراهم می آورد.

**قسمت های مختلف یک اسیلوسکوپ ساده**

**۱.لامـپ اشـعه کاتـدی(C.R.T)**: تشـکیل شـده اسـت از تفنـگ الکترونـی(Electron Gun) یـا پرتـاب کننـده الکتـرون که با گرم شدن کاتـد، از آن الکتـرون هـا گسـیل مـی شـوند و یـک شـبکه کنتـرل درخشـندگی و چنـد آنـد شـتاب دهنـده الکتـرون

ها کـه متمرکـز یـا کـانونی کـردن آن هـا را بـر عهـده دارد. بـا تغییـر ولتـاژ منفـی متصـل بـه شـبکه مـی تـوان تعـداد الکتـرون ها(روشنایی حاصـل از برخـورد الکتـرون هـا بـه صـفحه) را کنتـرل کـرد. الکتـرون هـا بـا عبـور از آنـد هـای تمرکـز دهنـده و شـتاب دهنده که شبیه عدسی عمـل مـی کننـد بـه صـورت شـعاع بـاریکی بـا سـرعت بـه سـمت صـفحه ی فلورسـانس هـدایت مـی شـوند. این باریکه در مسیر خود از میان دو جفـت صـفحه منحـرف کننـده عمـود بـر هـم عبـور مـی کنـد کـه اگـر هـیچ ولتـاژی بـه ایـن دو



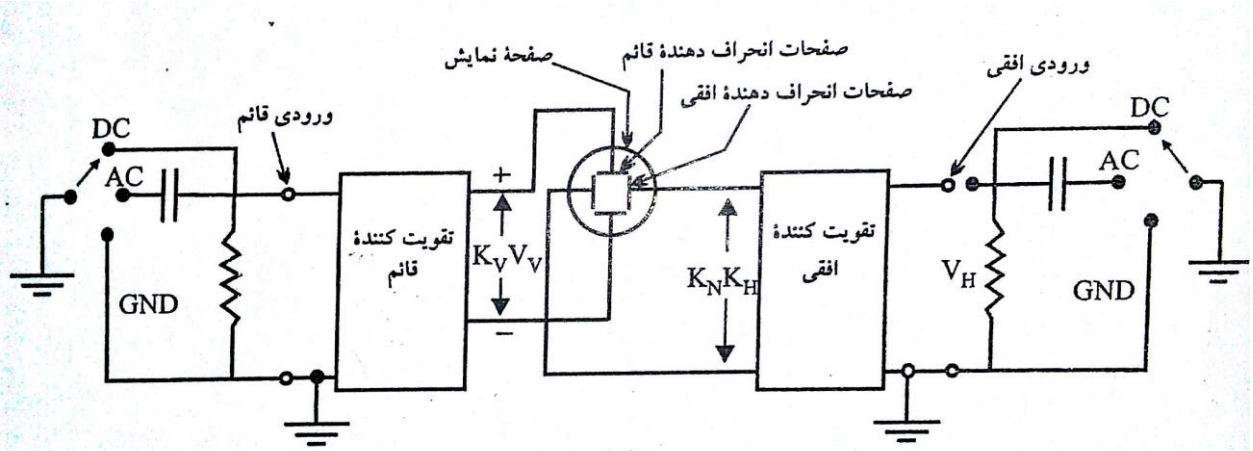

**شکل ۴. لامپ اشعهٔ کاتدی به‌طور ساده**

صفحات اعمال نشده باشد اشعه با طـی مسـیر مسـتقیم بـه وسـط صـفحه برخـورد کـرده، یـک نقطـه روشـن بـه وجـود مـی آورد. بـا اتصـال ولتـاژ DC بـه ایـن صـفحات مـی تـوانیم اشـعه را در هـر نقطـه ای از صـفحه متمرکـز کنـیم و بـا تغییـر ایـن ولتـاژ توسـط پتانسیومترهای موسوم به کنتـرل مکـان مـی تـوان شـکل مـوج روی صـفحه را بـه هـر طـرف دلخـواه انتقـال داد. بـا توجـه بـه اینکـه صـفحه فلورسـانس مـدت کوتـاهی پـس از برخـورد اشـعه بـه تـابش ادامـه مـی دهـد و نیـز بـا توجـه بـه اثـر پسـماند نـور در چشـم، هنگامی که شعاع الکتـرون از مسـیر یکسـانی بـه طـور متنـاوب و بـه انـدازه کـافی سـریع عبـور کنـد، مجمـوع نقـاطی نـورانی از روی صفحه بصورت یک مسیر پیوسته به نظر می رسد.

با توجه به اینکـه ۹۰ درصـد انـرژی الکتـرون هـا بـه گرمـا و تنهـا ۱۰ درصـد آن بـه انـرژی نـورانی تبـدیل مـی شـود، بـا کـم کـردن درخشـندگی بـه خصـوص وقتـی کـه لکـه نـورانی روی صـفحه ثابـت اسـت، مـی تـوان از سـوختن فسـفرو ایجـاد سـوراخ بـر روی پوشـش فسـفر صـفحه اسیلوسـکوپ جلـوگیری کـرد. ایـن عمـل توسـط کلیـد شـدت نـور(Intensity) انجـام مـی شـود. بنـابراین باید سعی شود لکـه نـور مـدت طـولانی روی صـفحه ثابـت نمانـد. در اغلـب اسیلوسـکوپ هـا صـفحه نمـایش بصـورت سـانتی متـری مدرّج شده است و در برخی از آن ها مداری برای تنظیم روشنایی این صفحه در نظر گرفته اند.

۲.**تقویت کننـده هـای اسیلوسـکوپ:** چـون ولتـاژ هـایی کـه بـه ورودی هـای اسیلوسـکوپ اعمـال مـی شـوند معمـولا خیلـی کـوچکتر از آن هسـتند کـه مسـتقیما بـه صـفحات انحـراف دهنـده متصـل شـوند، ایـن ولتاژهـای ورودی ابتـدا بـه تقویـت کننـده هـایی کـه دامنـه آن را افـزایش مـی دهنـد وصـل مـی شـوند. تنظـیم درجـه تقویـت در اسیلوسـکوپ توسـط کلیـد ولـت بـر

قسمت(V/div) صورت می گیرد.اغلب اسیلوسکوپ ها علاوه بر تقویت AC قابلیت تقویت DC رانیز دارند. معمولا "در ورودی هر تقویت کننده یک کلید سه وضعیتی (AC-GND-DC) قرار دارد که به وسیله ی آن می توان سیگنال های مختلف و مولفه های آن ها را با دقت دلخواه روی صفحه ی اسیلوسکوپ مشاهده کرد.

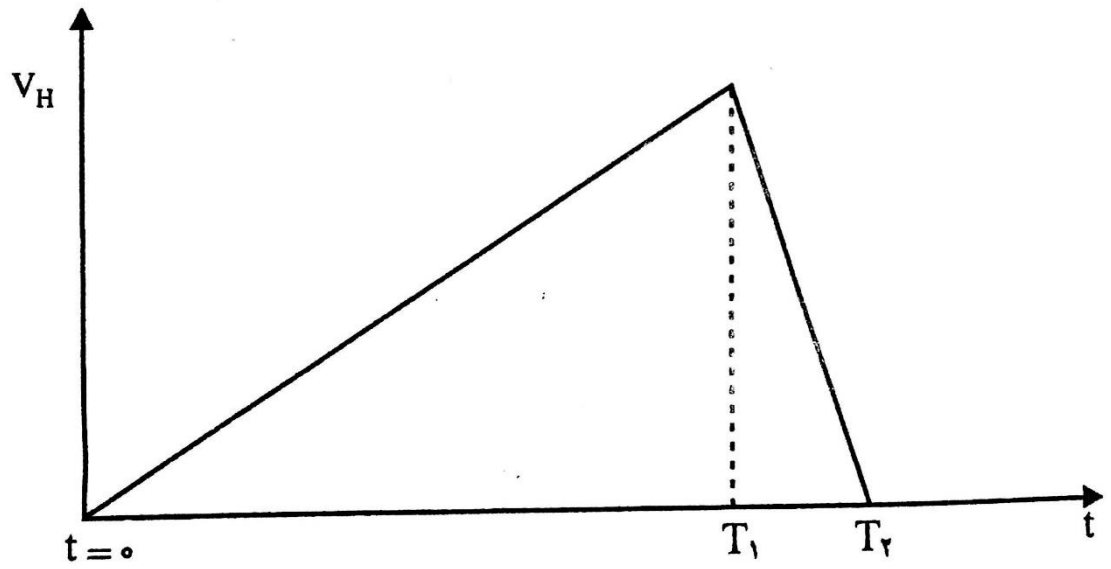



شکل ۵

با قرار دادن کلید سه وضعیتی در حالتGND ، ورودی زمین شده و هیچگونه سیگنالی به تقویت کننده وارد نمی شود. یکی از موارد استفاده از این حالت، تنظیم صفر بر روی صفحه است. در حالت AC فقط مولفه AC وارد مدار تقویت کننده می شود. در حالی که در حالت DC مولفه های AC و DC با هم وارد می شوند.

یکی از موارد استفاده از حالت AC مشاهده سیگنال AC کوچکی است که بر روی یک مقدار DC خیلی بزرگتر از خود سوار شده باشد.

۳.**مدار قسمت زمان:** برای نمایش یک سیگنال بر حسب زمان باید آن را با سیگنالی که توسط زمان تولید میشود و موج جاروب(Sweep) نام دارد ترکیب و همزمان کرد. نمایش موج جاروب بر حسب زمان بصورت زیر است:

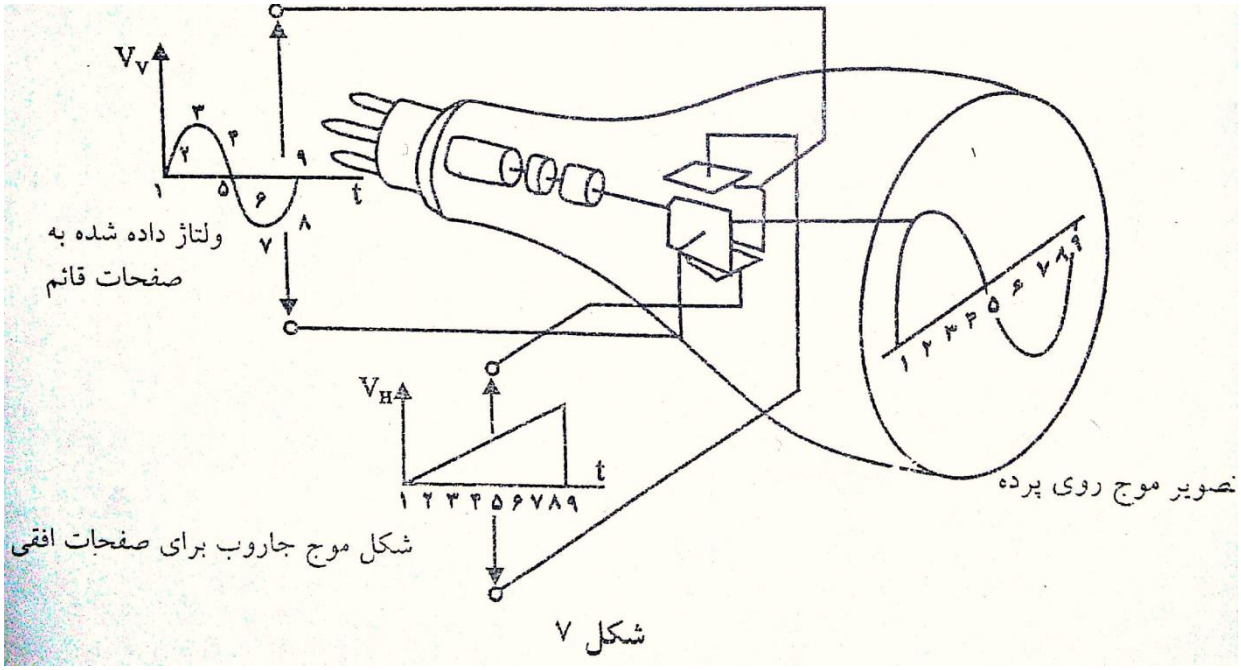



شکل ۶

با اتصال این سیگنال به ورودی افقی، اگر در لحظه $t = 0$ پرتو الکترون در منتهاالیه قسمت چپ صفحه نمایش باشد، افزایش ولتاژ $T_1$ باعث کشیده شدن پرتو در جهت افقی می شود و پس از پایان زمان $t_1$ تمام طول صفحه را طی کرده و از زمان $t_1$ تا $t_2$ ولتاژ مجددا رو به صفر می رود و اشعه به سرعت به مکان اولیه یعنی سمت چپ صفحه باز می گردد. در این زمان مدار دیگری باعث می شود که شعاع الکترون قطع شده و از ایجاد یک مسیر دیگر در زمان برگشت جلوگیری شود. این عمل را خاموشی در برگشت(Retrace Blanking) می نامند.

با کلید $\frac{time}{div}$ (زمان بر قسمت)، می توان زمانی را که طول می کشد تا اشعه فاصله یک قسمت افقی از صفحه مدرج را طی کند، تنظیم کرد. در شکل زیر چگونگی تغییرات زمانی یک سیگنال به کمک موج جاروب را نمایش داده ایم.

برای اینکه نمایش موج ورودی روی صفحه ی اسیلوسکوپ ساکن جلوه کند، لازم است موج راه اندازی که برای همزمانی ایجاد می شود(Triggering Signal) و سیگنال ورودی همزمان باشند. به این منظور می توان از موج ورودی به عنوان سیگنال راه انداز استفاده کرد(با عنوان: Internal Triggering) و یا سیگنال راه انداز را از خارج تامین کرد(با عنوان: External Triggering). در حالت اخیر از پایانه ورودی سیگنال خارجی که بر روی اسیلوسکوپ با علامت(EXT.Trig) مشخص شده است، استفاده می شود.



شکل ۷

۴. **منبع تغذیه**: اسیلوسکوپ دو منبع تغذیه دارد، یکی منبع تغذیه فشار قوی که ولتاژی بیش از ۱۰KV تولید می‌کند و در لامپ اشعه کاتدی به کار می‌رود و دیگری منبع تغذیه فشار ضعیف که ولتاژهای زیر ۳۵۰V را برای تقویت کننده‌های افقی و عمودی مدارهای زمانی تولید می‌کند.

**شرح کنترلها، نشانگرها و رابطها از نمای جلوی دستگاه**

نمای جلوی اسیلوسکوپ در شکل ۸ نمایش داده شده است. شماره‌های کلیدها به شرح ذیل معرفی شده‌اند.

۱. لامپ اشعه کاتدی (C.R.T): که به خانه‌هایی به ابعاد یک سانتی‌متر تقسیم شده است.

۲. POWER، دکمه قطع و وصل منبع تغذیه.

۳. لامپ تغذیه: این لامپ زمانی روشن می‌شود که دکمه قطع و وصل منبع تغذیه در حالت روشن (داخل) باشد.

۴. Cal, ۱$v_{p-p}$، تنظیم پروب به وسیله پایانه کالیبره: سیگنال خروجی این پایانه یک موج مربعی با دامنه‌ای برابر یک ولت اوج به اوج است و برای تنظیم دستگاه به کار می‌رود.

۵. INTENSITY، تنظیم شدت نور: میزان روشنایی اشعه را برای سهولت مشاهدات تنظیم می‌کند، وقتی ساعتگرد پیچانده شود، روشنایی تصویر بیشتر می‌شود.

۶. FOCUS، تنظیم کانونی: جهت دستیابی به واضحترین تصویر نسبت به میزان روشنایی، از این پیچ کنترل استفاده می‌شود.

۷. ASTIG، آستیگمات: به همراه تنظیم کانونی (۶) و تنظیم شدت نور (۵) جهت دستیابی به واضحترین نقطه گرد استفاده می‌شود، پس از تنظیم اولیه نیاز به تنظیم مجدد دارد.

۸. TRACE-ROTA، چرخش محور افقی: توسط این پیچ کجی محور افقی کاملاً در وضعیت افقی (خط مبنا) تصحیح می‌شود، کجی محور افقی ممکن است ناشی از میدان مغناطیسی کره زمین باشد.

۹. اتصال زمین دستگاه.

۱۰. POSITION، کلید انتقال عمودی: در حالت X-Y از این پیچ تغییر مکان عمودی استفاده می‌شود.

۱۱. VARIABLE VOLTS/DIV، تنظیم مرحله به مرحله حساسیت عمودی کانال یک: وقتی پیچ تنظیم دقیق (۱۲) در وضعیت کالیبره قرار گیرد، بهره عمودی را می‌توان در دوازده محدوده کالیبره از یک میلی ولت بر قسمت ($\frac{mv}{div}$) تا پنج ولت بر قسمت ($\frac{v}{DIV}$) تغییر داد. در حالت X-Y برای تنظیم مرحله به مرحله حساسیت عمودی از این پیچ استفاده می‌شود.

۱۲. تنظیم دقیق حساسیت عمودی کانال یک: وقتی تا منتهی الیه موافق حرکت عقربه‌های ساعت پیچانده شود، تضعیف کننده عمودی کالیبره می‌شود.

۱۳. اهرم سه وضعیتی (DC-GND-AC): ویژه سیگنال ورودی کانال یک، که با قرار گرفتن آن در هر یک از سه وضعیت ...

AC: راه بر مؤلفه DC سیگنال ورودی در کانال یک بسته می‌شود.

GND: مسیر سیگنال باز شده و ورودی تقویت کننده عمودی به زمین وصل می‌شود، به این ترتیب خط صفری به دست می‌آید که از آن می‌توان به منزله مبنا در اندازه‌گیری‌های DC استفاده کرد.

DC: امکان عبور هر دو مؤلفه AC و DC از کانال یک فراهم می‌آید.

۱۴. INPUT، محل اتصال سیگنال ورودی کانال یک و ورودی عمودی در حالت X-Y.

۱۵. BAL، پیچ کنترل بالانس: به دلیل استفاده از دستگاه در مناطق و دماهای متفاوت باید پیچ را تنظیم کرد و با چرخاندن آن می‌توان کلید ولت بر قسمت را بدون این که خط Trace به طرف بالا و پایین تغییر مکان یابد، چرخاند. این پتانسیومتر قبلاً تنظیم شده است.

۱۶. POSITION، کلید ویژه بالا و پایین بردن موج کانال دو: در حالت X-Y از این پیچ برای تغییر مکان عمودی استفاده می‌شود.

۱۷. VARIABLE-VOLTS/DIV، تنظیم مرحله به مرحله حساسیت عمودی کانال دو: وقتی پیچ تنظیم دقیق (۱۸) در وضعیت کالیبره قرار گیرد، بهره عمودی را می‌توان در محدوده کالیبره از یک میلی ولت بر قسمت( $\frac{mv}{Div}$ )تا ۵ ولت بر قسمت ($\frac{v}{DIV}$) تغییر داد. در حالت X-Y برای تنظیم مرحله به مرحله حساسیت افقی از این پیچ استفاده می‌شود.

۱۸. تنظیم دقیق حساسیت عمودی کانال دو: وقتی تا منتهی الیه موافق حرکت عقربه‌های ساعت پیچانده شود، تضعیف کننده عمودی کالیبره می‌شود.

۱۹. اهرم سه وضعیتی (DC-GND-AC): دقیقاً مثل اهرم (۱۳) برای کنترل سیگنال ورودی کانال دو عمل می‌کند.

۲۰. INPUT، پایانه ورودی: محل اتصال ورودی کانال دو در وضعیت عادی و ورودی افقی خارجی در حالت X-Y.

۲۱. BAL، پیچ کنترل بالانس: این پیچ مربوط به کانال دو است و مانند پیچ کنترل (۱۵) عمل می‌کند و به تنظیم جریان مستقیم DC کانال دو مربوط می‌شود.

۲۲. VERT.MODE، اهرم نمایش محور عمودی: این اهرم پنج حالتی انواع نمایش روی صفحه را به ترتیب زیر کنترل می‌کند:

الف) $CH_1$: فقط سیگنال ورودی به کانال یک را نشان می‌دهد.

ب) ALT: یا متناوب، سیگنالهای دو کانال بدون توجه به پایه زمانی با هم نمایش داده می‌شوند.

ج) CHOP: یا مقطع، سیگنالهای دو کانال روی صفحه نمایش با بسامد حدود ۲۵۰KH بدون توجه به پایه زمانی نوسان می‌کند.

د) ADD: یا مجموع، موجی با دامنه‌ای برابر مجموع دامنه‌های دو موج را نمایش می‌دهد. وقتی دکمه IN (۲۳) فشار داده شود، موج کانال دو از موج کانال یک کم شده و تفاضل دو موج روی صفحه نشان داده می‌شود.

ه) $CH_2$: فقط سیگنال ورودی به کانال دو را نشان می‌دهد.

۲۳. وارون یا IN: برای وارونه کردن سیگنال کانال دو به داخل فشرده می‌شود.

۲۴. MODE، راه اندازی: اهرم سه وضعیتی که نوع راه اندازی را به ترتیب زیر مشخص می‌کند:

الف) خودکار: راه اندازی پایه زمانی با ظاهر شدن موج راه اندازی صورت می‌گیرد، در این حالت حتی در غیاب موج راه اندازی، سیستم جاروب پایه زمانی عمل می‌کند.

ب) عادی: راه اندازی پایه زمانی به‌طور عادی صورت می‌گیرد و بدون اعمال موج راه اندازی صحیح، هیچ گونه تصویری مشاهده نمی‌شود.

ج) X-Y: سیگنال ورودی کانال یک، انحراف عمودی (محور Y) و سیگنال ورودی کانال دو، انحراف افقی (محور X) را موجب می‌شود، در این حالت وضعیت دکمه هیچ گونه اثری در وضعیت عملکرد دستگاه ندارد.

۲۵. COUPLING، اهرم همزمانی: اهرم سه وضعیتی، نوع همزمانی موج راه اندازی تطبیق را مشخص می‌کند که وقتی روی AC باشد، مؤلفه AC سیگنال ورودی عهده‌دار راه اندازی است و راه بر مؤلفه DC سیگنال ورودی بسته می‌شود، که این وضعیت بیشترین کاربرد را دارد. در دو وضعیت دیگر پالسهای تطبیق عمودی سیگنال مرکب تصویری و پالس تطبیقی افقی سیگنال مرکب تصویری، عهده‌دار راه اندازی پایه زمانی است.

۲۶. SOURCE، منبع: اهرم پنج وضعیتی که منبع راه اندازی پایه زمانی را به ترتیب زیر انتخاب می‌کند.

الف) وضعیت دکمه‌های نمایش: منبع راه اندازی را به شرح زیر مشخص می‌کند.

- سیگنال کانال یک به عنوان منبع راه اندازی به کار می‌رود.

- سیگنال کانال دو به عنوان منبع راه اندازی به کار می‌رود.

- مجموع: که جمع جبری سیکنال دو کانال یک و دو به عنوان منبع راه اندازی به کار می‌رود. اگر دکمه IN فشار داده شود، تفاضل دو سیگنال به عنوان منبع راه اندازی به کار می‌رود.

- CHOP یا مقطع: تا زمانی که علامت مقطع به عنوان منبع راه اندازی به کار می‌رود شکل موج نمایشی بر موج ورودی منطبق نخواهد شد.

ب) $CH_1$: سیگنال کانال یک پایه زمانی را راه می‌اندازد (علی رغم وضعیت دکمه نمایش)

ج) $CH_2$: سیگنال کانال دو پایه زمانی را راه می‌اندازد (علی رغم وضعیت دکمه نمایش)

د) تغذیه: راه اندازی پایه زمانی بر عهده ولتاژ منبع تغذیه است.

ه) خارجی: سیگنالی که به محل اتصال راه اندازی خارجی (۲۹) وصل می‌شود سیستم جاروب پایه زمانی را کنترل می‌کند.

۲۷. SLOP، شیب: علامت (+) نشان دهنده مثبت‌ترین نقطه و علامت (-) نماینده منفی‌ترین نقطه راه اندازی است. وضعیت بیرون یا داخل این دکمه، شیب مثبت یا منفی را تعیین می‌کند، یعنی سیستم جاروب پایه زمانی در شیب مثبت یا منفی موج تطبیق به راه می‌افتد.

۲۸. TRIGGER LEVEL، پیچ کنترل راه انداز سطح: جهت تنظیم ولتاژ راه انداز آستانه، یک نقطه روی شیب شکل موج آغازگر زمان جاروب خواهد بود.

۲۹. EXT.TRIG، راه انداز خارجی: محل راه انداز خارجی. با قرار دادن اهرم منبع (۲۶) در وضعیت خارجی، سیگنال ورودی که به این محل وصل است، راه انداز پایه زمانی را بر عهده می‌گیرد.

۳. POSITION، تغییر مکان: برای حرکت دادن تصویر به چپ و راست صفحه (به‌طور افقی) به کار می‌رود.

۳۱. SWEEP Time/Div، زمان بر قسمت: این کلید برای انتخاب پایه زمانی استفاده می‌شود. وقتی پیچ تنظیم دقیق (پیچ کوچک روی این کلید) در وضعیت کالیبره قرار گیرد، توسط این کلید می‌توان هر یک از پایه‌های کالیبره زمانی از ۰٫۲ میکروثانیه تا ۰٫۵ ثانیه بر قسمت را انتخاب کرد.

۳۲. VARIABLE، هنگام اندازه گیری و محاسبه دقیق این کلید باید در وضعیت Cal قرار گیرد.

۳۳. MAX ۱۰ ×: با استفاده از این دکمه می‌توان تصویر را ده برابر بزرگتر کرد.

**نمای پشت دستگاه**

۳۴. ZINPOT JACK (Z.AXIS)، پایانه محور Z: ورودی برای شدت مدولاسیون پرتو الکترونی صفحه (C.R.T) است. ولتاژ روشن شدت روشنایی را کاهش می‌دهد. سطح ولتاژ TTL شدت مدولاسیون را امکانپذیر می‌سازد.

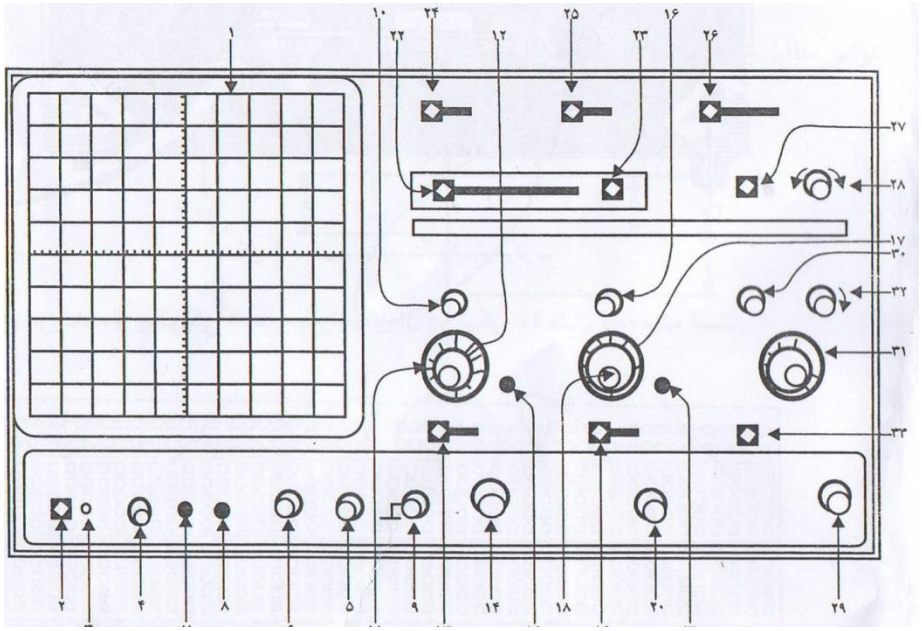
۳۵. CH.OUT PUT JACK، پایانه خروجی کانال یک: پایانه خروجی محور عمودی کانال یک هنگامی که اهرم COUPLING در وضعیت AC باشد عمل می‌کند.

همچنین هنگامی که برای اندازه گیری بسامد از بسامد سنج استفاده می‌شود به علت وجود پارازیت، اندازه‌گیری دقیق نخواهد بود. اما در صورت استفاده از این پایانه حتی اگر وضعیت ولت بر قسمت کانال یک یا پیچ متغیر (VARIABLE) تغییر نماید، در اندازه‌گیری بسامد توسط بسامد سنج هیچ‌گونه تغییری انجام نخواهد شد.

۳۶. POWER CORD RECEPTACLE، کابل برق: این کابل به دستگاه متصل بوده و یکپارچه است.

۳۷. پایه‌های لاستیکی: چهار عدد پایه پلاستیکی برای استقرار دستگاه به‌طور عمودی و جلوگیری از آسیب دیدن آن به کار می‌رود.

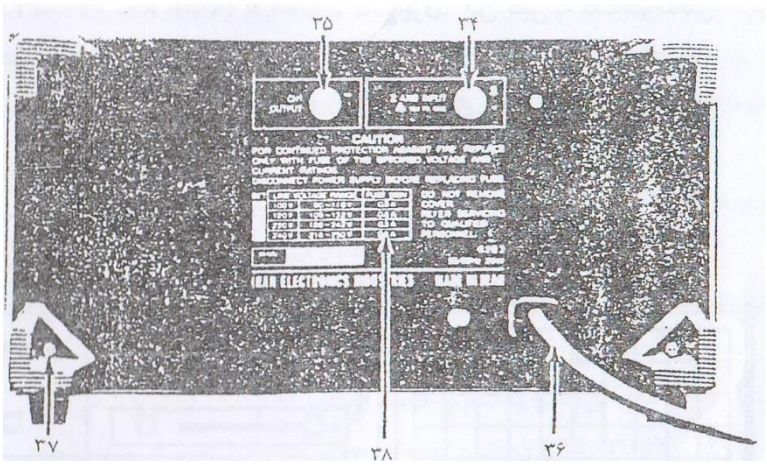
۳۸. صفحه راهنمای ولتاژ ورودی فیوز.



شکل ۸. نمای جلوی دستگاه اسیلوسکوپ

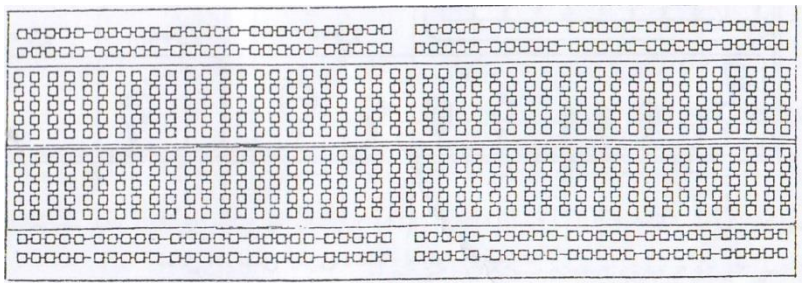
**بردبورد**

بردبورد یا تخته آزمایش وسیله‌ای است برای ساخت سریع مدارهای الکترونیکی در آزمایشگاه. این وسیله با سوراخهای فنرداری که دارد، نیاز به لحیم کاری را برطرف می‌سازد، در عین حال چون ممکن است پایه‌های عناصر مدار (خازن، مقاومت، دیود، ترانزیستور و ...) ضخیم و خارج از تحمل فنر داخل تخته آزمایش باشند، می‌توان آنها را با سیمهای نازکی لحیم کرد و سپس سیمها را درون سوراخهای تخته آزمایش قرار داد.




شکل ۹. نمای پشت دستگاه اسیلوسکوپ

نمای این تخته و چگونگی اتصال سوراخهای آن در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. نمای برد بورد و چگونگی اتصال سوراخهای آن

برای ساخت یک مدار الکترونیکی بر روی تخته آزمایش باید با توجه به اتصالهای مشخص شده در شکل فوق عمل کرد و برای اتصالهای بیشتر نیز می توان از سیم مفتولی استفاده کرد. معمولاً از دو ردیف سوراخهای بالا و پایین تخته برای اعمال ولتاژهای مبنا و منبع تغذیه استفاده می‌شود، به این صورت که قطبهای مثبت و منفی منبع تغذیه را به سوراخهای دو ردیف بالای دستگاه متصل می‌کنیم و به این ترتیب ا هر جای مدار می‌توان به آسانی به پایه‌های مثبت و منفی دست یافت.

# آزمایش ۱

**آشنایی با وسایل و انجام چند آزمایش ساده**

**هدف**

آشنایی با وسایل اندازه گیری و منابع مختلف تغذیه مدار و نحوه استفاده از آنها و بررسی عناصر مورد سنجش.

**وسایل آزمایش**

منبع تغذیه جریان مستقیم، مولتی متر، مولد موج (سیگنال ژنراتور)، اسیلوسکوپ، تخته آزمایش، هویه، قلع، روغن، سیمهای نازک جهت لحیم کاری، سیمهای رابط و عناصر مدار شامل: مقاومت $1K\Omega$: ۱ عدد، خازن $1\mu f$: ۱ عدد، دیود معمولی: ۱ عدد، دیود نورده: ۱ عدد، پتانسیومتر $K\Omega$ ۲: ۱ عدد.

**روش آزمایش**

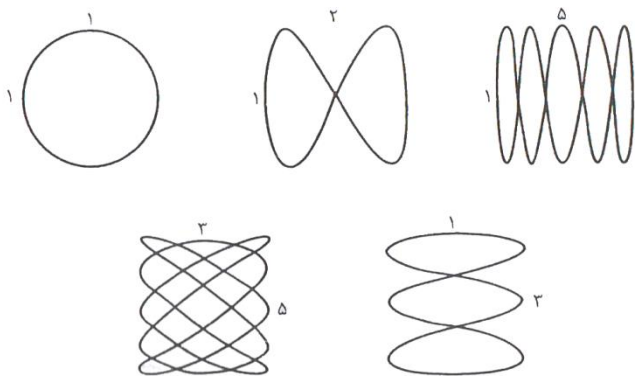
۱. با استفاده از مولد موج و اسیلوسکوپ شکل موجهای سینوسی، مربعی و مثلثی را روی صفحه اسیلوسکوپ نمایش دهید.

۲. ولتاژهای اوج به اوج (p-p)، حداکثر ($V_m$) و مؤثر ($V_{rms}$) را برای هر موج به دست آورید. برای تعیین $V_{pp}$ پایین‌ترین تا بالاترین فاصله شکل موج را از روی درجه‌های صفحه نمایش اسیلوسکوپ اندازه بگیرید و حاصل را در ضریب کلید ولت بر قسمت ضرب کنید. با تقسیم آن بر دو، مقدار $V_m$ را به دست آورید و سپس از رابطه $V_{rms} = \frac{\sqrt{۲}}{۲} V_m$ مقدار مؤثر ولتاژ را به دست آورید.

۳. زمان تناوب و بسامد هر موج را به دست آورید. برای تعیین زمان تناوب فاصله یک طول موج را اندازه‌گیری کنید و سپس آن را در ضریب کلید زمان بر قسمت ضرب کنید و با توجه به آن بسامد را نیز به دست آورید.

۴. ترکیب دو موج سینوسی در حالتهای مختلف و مشاهده اشکال لیساژو:

با استفاده از دو دستگاه مولد موج، دو موج را به کانالهای X و Y اسیلوسکوپ داده و شکل موجهای به دست آمده را به‌طور جداگانه مشاهده کنید. سپس کلید شماره ۲۴ (راه اندازی) اسیلوسکوپ را در وضعیت X-Y قرار دهید و با یکسان سازی دامنه دو سیگنال با هم در بهترین حالت شکلهای زیر را که به منحنی‌های لیساژو معروفند، مشاهده کنید. در این مرحله می‌توانید کلیدها را از وضعیت کالیبره (cal) خارج کنید، زیرا مهم برابر بودن دامنه‌ها در صحنه اسیلوسکوپ است.



شکل ۱-۱

۵. برای تعیین بسامد یک سیگنال مجهول به کمک بسامد سیگنال معلوم به طریق زیر عمل کنید:

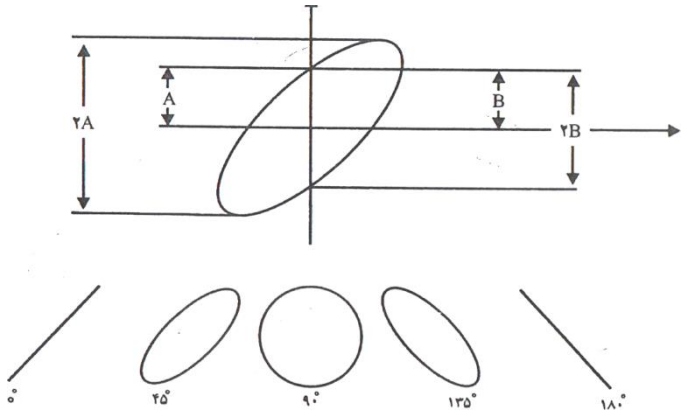
ابتدا سیگنال معلوم را به ورودی Y و سیگنال مجهول را به ورودی X اسیلوسکوپ اتصال دهید و کلید راه اندازی اسیلوسکوپ را در وضعیت X-Y قرار دهید. آنگاه با توجه به شکلهای ۱-۱ و با استفاده از رابطه زیر نسبت بسامدها را به دست آورید.

$$\frac{f_x}{f_y} = \frac{\text{تعداد شکمها در راستای محور } Y}{\text{تعداد شکمها در راستای محور } X}$$

۶. در تعیین اختلاف فاز بین دو موج، در صورتی که بسامد دو سیگنال یکسان باشد، با این فرض که $Y = Y_m \sin(\omega t + \emptyset)$ و $X = X_m \sin \omega t$ باشد چنانچه $X = ۰$ باشد $(\omega T = ۰, ۲\pi, \dots)$ برای $Y$ داریم:

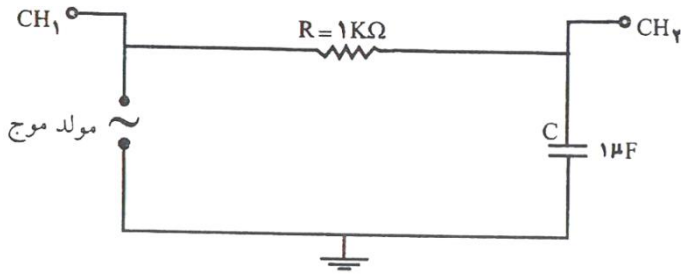
$$Y_{(۰)} = Y_m \sin\emptyset \Rightarrow \sin\emptyset = \frac{Y_{(۰)}}{Y_{(m)}}$$

بنابراین مطابق شکل ۱-۲ اختلاف فاز با رابطه، $\frac{B}{A}$ یا $\sin\emptyset = \frac{۲B}{۲A}$ به دست می‌آید.




شکل ۱-۲

در این بخش مدار شکل ۱-۳ را بر روی تخته آزمایش ببندید و با تشکیل منحنی لیساژو اختلاف فاز دو موج ترکیب شده را به دست آورید و توضیح دهید این اختلاف فاز ناشی از کدام عامل است؟

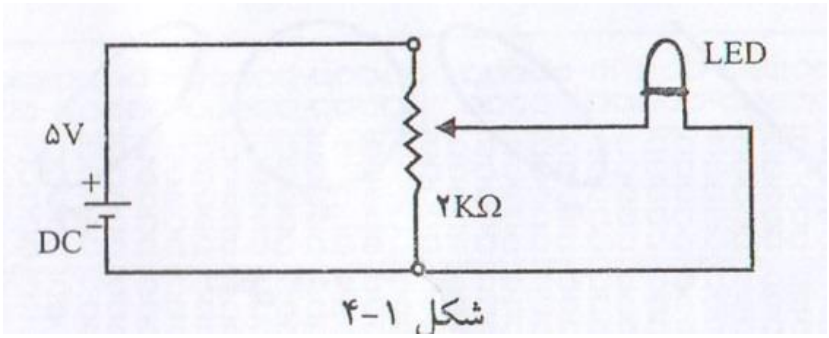



شکل ۱-۳

در صورتی که پایه‌های مقاومت یا خازن یا سیمها ضخیم باشند سیمهای نازکی را که در اختیار دارید به پایه‌های المانها لحیم کنید تا به راحتی در سوراخهای تخته آزمایش قرار گیرند.

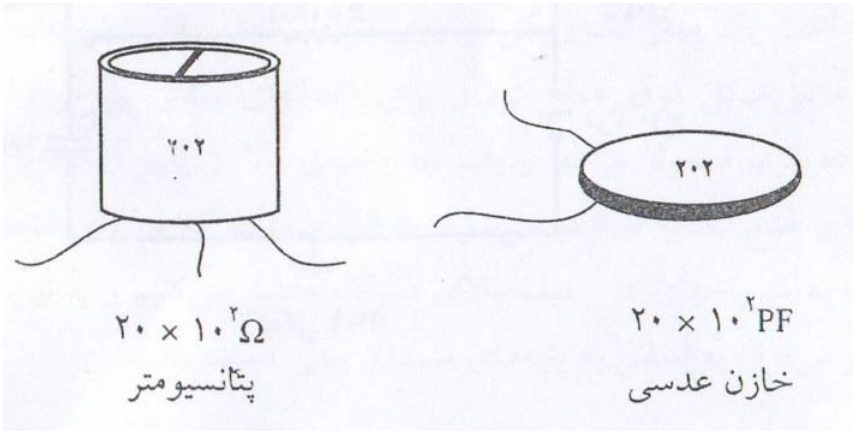
. یک دیود معمولی و یک دیود نورده ($LED$) در اختیار دارید. ابتدا با چند گانه سنج به طریق زیر از سالم بودن آنها مطمئن شوید:

کلید مولتی متر را بر روی علامت تست دیود (⟵|- -) قرار دهید و سیم منفی (مشکی) را در قسمت مشترک ($com$) و سیم مثبت (قرمز) را در قسمت $\Omega$. $V$ دستگاه قرار دهید. هرگاه سیم مشکی را به کاتد و سیم قرمز را به آند دیود اتصال دهید، دستگاه برای هر دیود مقداری را نمایش می‌دهد و در غیر این صورت (۱) را نشان خواهد داد. پس از تست سالم بودن دیودها، مقاومت دو انتها و نیز مقاومت بین هر انتها و سر وسط پتانسیومتری را که در اختیار دارید با مولتی متر اندازه بگیرید و نشان دهید که پتانسیومتر می‌تواند مثل رئوستا عمل کند. اکنون مدار زیر را بر روی تخته آزمایش ببندید:



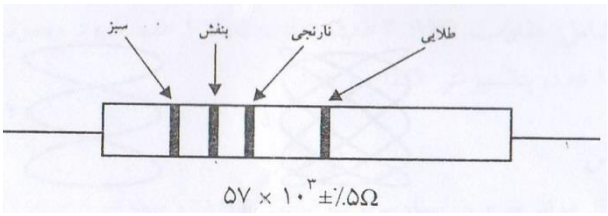

شکل ۱-۴

با جابه‌جا کردن دو سر دیود و یا با تغییر پتانسیومتر توسط پیچ گوشتی ریز نتایج حاصل را یادداشت کنید. مقاومت برخی پتانسیومترها یا ظرفیت برخی خازنها (عدسی) در صورتی که مشابه عناصر زیر باشند عبارت‌اند از:




۸. با توجه به جدول کدهای رنگی مقاومتها، تعیین کنید مقاومتی که دارید چند اهمی است؟

| دقت | رقم سوم | رقم دوم | رقم اول | رنگ |
|---|---|---|---|---|
| | $\times ۱۰^{۰}$ | ۰ | ۰ | سیاه |
| | $\times ۱۰^{۱}$ | ۱ | ۱ | قهوه‌ای |
| | $\times ۱۰^{۲}$ | ۲ | ۲ | قرمز |
| | $\times ۱۰^{۳}$ | ۳ | ۳ | نارنجی |
| | $\times ۱۰^{۴}$ | ۴ | ۴ | زرد |
| | $\times ۱۰^{۵}$ | ۵ | ۵ | سبز |
| | $\times ۱۰^{۶}$ | ۶ | ۶ | آبی |
| | $\times ۱۰^{۷}$ | ۷ | ۷ | بنفش |
| | $\times ۱۰^{۸}$ | ۸ | ۸ | خاکستری |
| | $\times ۱۰^{۹}$ | ۹ | ۹ | سفید |
| ٪۵± | $\times ۱۰^{-۱۰}$ | | | طلایی |
| ٪۱۰± | $\times ۱۰^{-۲}$ | | | نقره‌ای |
| ٪۲۰± | | | | بی‌رنگ |


سبز
بنفش
نارنجی
طلایی
۵۷ × ۱۰^۳ ±٪۵Ω

# آزمایش ۲

**صافیها**

**هدف**

بررسی انواع صافیهای بسامد و کاربرد آنها

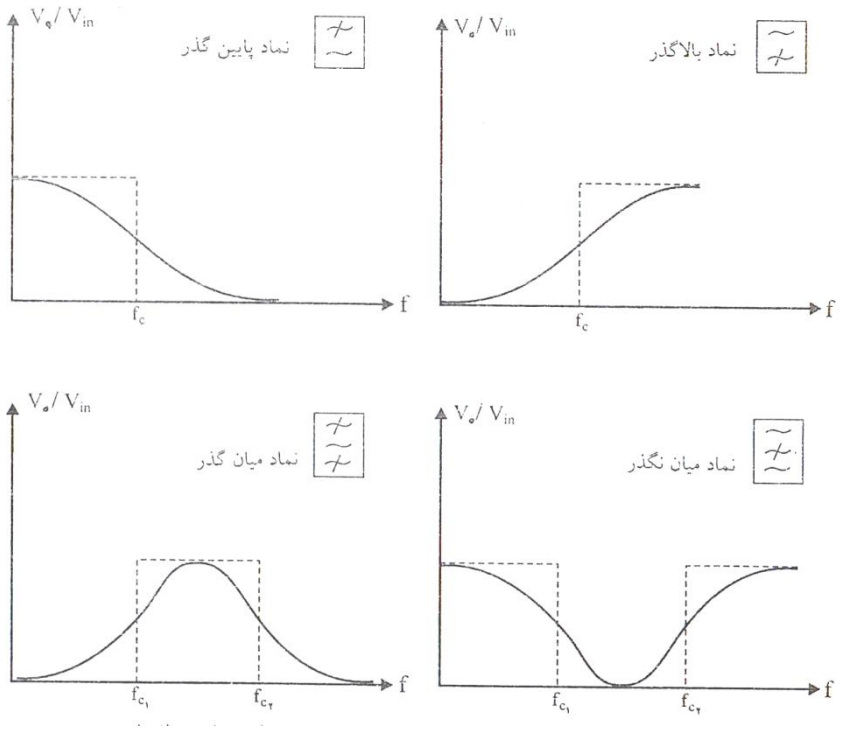
**وسایل آزمایش**

اسیلوسکوپ، مولد موج، مولتی متر: دو عدد، تخته آزمایش، مقاومت ۲۲۰Ω: یک عدد، مقاومت ۱۰۰Ω: دو عدد، مقاومت ۱kΩ: یک عدد سیمهای رابط، القاگر ، خازن یک میکروفارادی: دو عدد.

**مبانی نظری**

در بسیاری از مدارهای الکترونیکی گاهی لازم است که فقط گروه یا قسمتی از بسامدها از مدار منتقل یا توسط آن سد شود. به این منظور از صافی استفاده می‌شود. صافیها شامل شبکه‌ای از عناصری مانند القاگر، خازن و مقاوت هستند که به صورتهای مختلفی در این شبکه قرار می‌گیرند و لذا هر صافی براساس ویژگیهای که دارد نامگذاری می‌شود، به عبارت دیگر اگر سیگنالی با بسامد متغیر به ورودی این نوع شبکه اعمال شود، در خروجی آن فقط بسامدهای معینی خواهیم داشت. بسته به این که شبکه (صافی) بسامدهای پایینتر از بسامد خاص $f_c$ را عبور دهد به آن صافی پایین گذر می‌گویند و اگر بسامدهای بالاتر از $f_c$ را عبور دهد آن را صافی بالاگذر می‌نامند. در صافی میان گذر بسامدهای عبوری بین دو بسامد حدی ($f_{c_1}$ و $f_{c_2}$) قرار دارند و بسامدهای بالاتر و پایینتر از این دو حد توسط صافی سد می‌شوند. در صافی میان نگذر تنها امواج با بسامدهای بالاتر از $f_{c_2}$ و پایینتر از $f_{c_1}$ عبور خواهند کرد و صافی مانع عبور امواج با بسامد بین این دو حد می‌شود.

در شکل ۲-۱ نمودارهای نسبت ولتاژ خروجی به ورودی برحسب بسامد را برای صافیهای مختلف را نشان می‌دهند.




شکل ۲-۱ نمودار نسبت ولتاژ خروجی به ورودی برحسب بسامد برای صافیهای مختلف (نمودارهای ایده‌آل به صورت خط چین رسم شده‌اند).

اساس کار صافیها برمبنای پاسخ‌دهی عناصر تابع بسامد (القاگر و خازن) به سیگنال ورودی قرار دارد. رآکتانس خازن $x_c = \frac{1}{c\omega}$ و رآکتانس القاگر $X_L = L\omega$ به ازای بسامدهای مختلف تغییر می‌کند. با افزایش $\omega$، ($f$) خازن مانند اتصال کوتاه (امپدانس کم) و با کاهش $\omega$، ($f$) مانند اتصال باز (امپدانس زیاد) عمل می‌کند، در حالی که القاگر عکس آن می باشد. واضح است که ولتاژ یا جریان خروجی این عناصر یکبار صفر نمی‌شود، بلکه به‌طور خطی یا منحنی مانند کاهش یا افزایش می یابد. در بسیاری از کاربردها لازم است تغییرات پتانسیل نسبت به بسامد ناگهانی باشد. با رسم تغییرات پتانسیل دو سر القاگر و خازن نسبت به بسامد، دیده می‌شود که پتانسیل مثلاً در مورد القاگر به‌طور خطی با بسامد زیاد می‌شود، لذا اگر بخواهیم یک صافی بالاگذر طراحی کنیم لازم است که از بسامد معینی به بالا در خروجی ولتاژ ظاهر شود و قبل از آن ولتاژی نداشته باشیم. در عمل طراحی چنین صافی‌هایی که نمودار آن نسبت به بسامد تغییرات جهشی داشته باشد، امکان‌پذیر نیست، از این‌رو بسامدی به نام بسامد قطع تعریف می‌کنیم. بسامد قطع ($f_c$) بسامدی است که در آن تغییرات چشمگیر (تقریباً ناگهانی) در نمودار ظاهر می‌شود.

به عبارت دیگر بسامد قطع، $f_c$؛ بسامدی است که در آن توان خروجی نصف توان ورودی و جریان یا ولتاژ خروجی $\frac{۱}{\sqrt{۲}}$ برابر جریان یا ولتاژ ورودی باشد یعنی داشته باشیم:

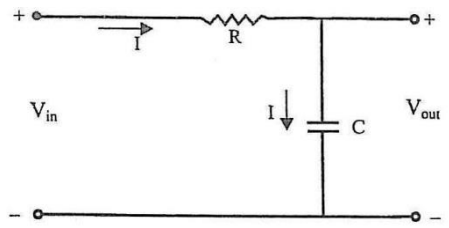
$$if: \quad p_{out} = \frac{۱}{۲} p_{in} \quad \text{یا} \quad V_{out} = \frac{V_{in}}{\sqrt{۲}}, I_{out} = \frac{I_{in}}{\sqrt{۲}} \quad \Rightarrow f = f_.$$

محاسبات ریاضی تعیین بسامد قطع یا پهنای نوار (باند) هر صافی به نوع شبکه و عناصر به کار رفته در آن بستگی دارد. برای مثال دو مدار صافی زیر را در نظر می گیریم و بالا گذر یا پایین گذر بودن آنها و نیز تغییر پهنای باند و چگونگی تعیین بسامد قطع هر یک را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

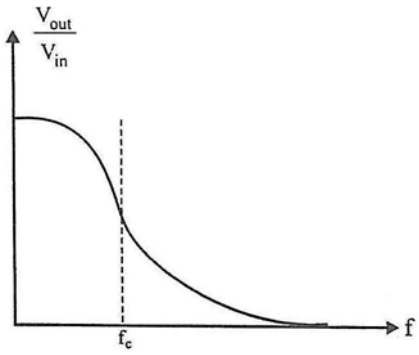
الف) صافی شکل زیر از مداری شامل $R$ و $C$ تشکیل شده است. امپدانس ورودی ($Z_{in}$) از ترکیب $R$ و $C$ و امپدانس خروجی ($Z_{out}$) فقط از $C$ حاصل می‌شود.

وقتی موجی سینوسی با دامنه ثابت $V_{in}$ و بسامد متغیر $f$ به دو سر ورودی این مدار اعمال شود، ولتاژ خروجی ($V_{out}$) یا پاسخ مدار نیز موجی سینوسی بوده که دامنه و فازی متفاوت با ولتاژ ورودی دارد و به‌طور کلی تابعی از بسامد موج ورودی خواهد بود.

با توجه به این که رآکتانس خازن $x_c = \frac{۱}{c\omega}$ است، هنگامی که بسامد موج ورودی خیلی کوچک باشد، $x_c$ خیلی زیاد بوده در نتیجه مدار خازن مانند اتصال باز عمل می کند و ولتاژ ورودی مشابه ولتاژ خروجی خواهد بود و در صورتی که بسامد موج ورودی خیلی زیاد باشد، $x_c$ بسیار کوچک بوده و خازن مانند اتصال کوتاه عمل می‌کند. در این صورت ولتاژ خروجی به سمت صفر میل می کند.

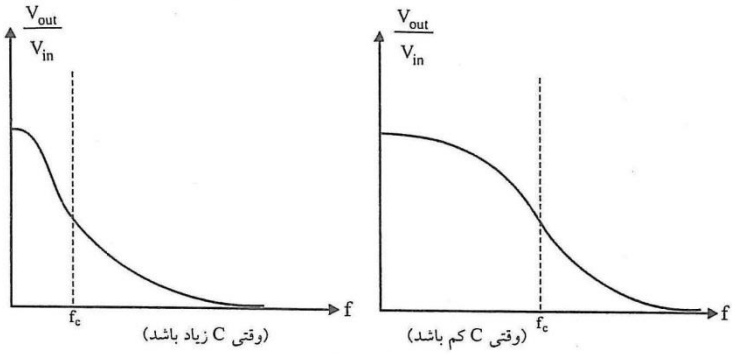



بنابراین اگر تغییرات نسبت ولتاژ خروجی به ولتاژ ورودی $\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)$ را، که تابعی از بسامد بوده و به آن تابع پاسخ بسامدی یا تابع انتقال می گویند، برحسب بسامد رسم کنیم، نمودار نشان دهندهٔ صافی پایین گذر است، که به ازای بسامدهای بالاتر از بسامد معینی (بسامد قطع) در خروجی ولتاژ نداریم:




با توجه به ارتباط بین $f$ و $X_c$ می توان توضیح داد که هرگاه جای خازن و مقاومت را در صافی فوق عوض کنیم، صافی بالاگذری به دست می آید.

همچنین مقدار ظرفیت خازن در پهنای باند صافی مؤثر است به این معنی که چون $X_c \alpha \frac{۱}{C}$ و هم $X_c \alpha \frac{۱}{\omega}$ است، هر چه $C$ بیشتر باشد صافی پایین گذر فوق می تواند در بسامدهای پایینتری شکسته شود یعنی بسامد قطع کمتر خواهد بود. در صورتی که اگر $C$ کمتر باشد، صافی پایین گذر فوق می تواند در بسامدهای بالاتری شکسته شود یعنی بسامد قطع بیشتر خواهد بود. دو نمودار شکل ۲-۴ تأثیر افزایش یا کاهش $C$ در نمودار $\left(\frac{V_{out}}{V_{in}}\right)$ برحسب $f$ را در صافی پایین گذر فوق نشان می دهند.




در عمل برای تعیین بسامد قطع در این مدار، ابتدا تابع پاسخ بسامدی را با توجه به امپدانس ورودی $(Z_{in})$ و امپدانس خروجی $(Z_{out})$ به صورت زیر به دست می آوریم:

$$Z_{in} = \sqrt{R^۲ + X_c^۲} = \sqrt{R^۲ + \left(\frac{۱}{c\omega}\right)^۲}$$

$$Z_{out} = \sqrt{X_c^2} = X_c = \frac{1}{c\omega}$$

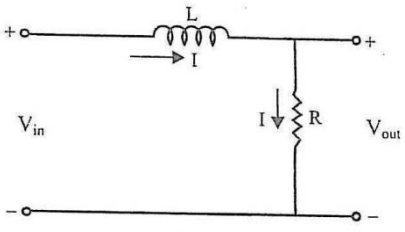
در نتیجه:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{Z_{out}.I}{Z_{in}.I} = \frac{Z_{out}}{Z_{in}} = \frac{1/c\omega}{\sqrt{R^2 + (1/c\omega)^2}}$$

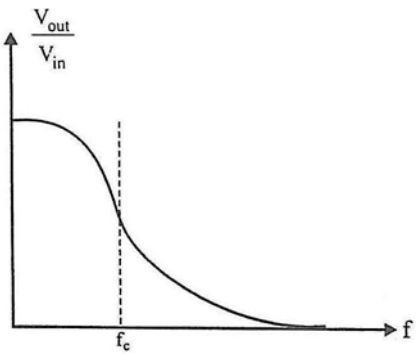
به کمک نسبتهای به دست آمده می توان برای هر بسامدی نسبت $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ را تعیین کرد.

همچنین برای تعیین بسامد قطع می توانیم نسبت فوق را مساوی $\frac{1}{\sqrt{2}}$ قرار دهیم، زیرا همان طور که قبلاً گفته شد، بسامد قطع یا بسامد نصف قدرت که با $f_c$ نشان داده می شود، بسامدی است که صافی پایین گذر بسامدهای بالاتر از آن را به شدت کاهش می دهد و در این بسامد اندازهٔ توان خروجی به نصف ماکزیمم توان ورودی می رسد یا ولتاژ خروجی به $\frac{1}{\sqrt{2}}$ برابر ولتاژ ورودی در بسامد قطع کاهش می یابد.

ب) در صافی شکل ۲-۵ مدار از $R$ و $L$ تشکیل شده است، امپدانس ورودی از ترکیب $R$ و $L$ و امپدانس خروجی فقط از $R$ حاصل می شود.




با توجه به این که رآکتانس القاگر $X_L = L\omega$ است که بسامد موج ورودی خیلی کوچک باشد، $X_L$ نیز خیلی کوچک بوده و القاگر مانند اتصال کوتاه عمل می کند و در نتیجه ولتاژ خروجی مشابه ولتاژ ورودی خواهد بود و در صورتی که بسامد موج ورودی خیلی زیاد باشد، $X_L$ نیز خیلی بزرگ بوده و جریان بسیار کمی از مقاومت می گذرد و ولتاژ خروجی به صفر میل می کند. بنابراین اگر تغییرات تابع پاسخ بسامدی $(\frac{V_{out}}{V_{in}})$ را برحسب بسامد رسم کنیم، نمودار (شکل ۲-۶) نشان دهنده صافی پایین گذری است، که فقط به ازای بسامدهای پایین تر از بسامد معینی (بسامد قطع) در خروجی ولتاژ داریم.



بـا توجـه بـه ارتبـاط بـین $f$ و $X_L$ مـی تـوان توضـیح داد کـه هرگـاه در مـدار شـکل فـوق جـای القـاگر و مقاومـت را عـوض کنـیم صافی بالا گذری به دست می آید.

پرسش: به نظر شـما تغییـر در مقـدار $L$ چـه تـأثیری در پهنـای بانـد صـافی مـی توانـد داشـته باشـد؟ در عمـل بـرای تعیـین بسـامد قطـع در ایـن مـدار، ابتـدا تـابع پاسـخ بسـامدی را بـا توجـه بـه امپـدانس ورودی $(Z_{in})$ و امپـدانس خروجـی $(Z_{out})$، بـه صـورت زیر به دست می آوریم:

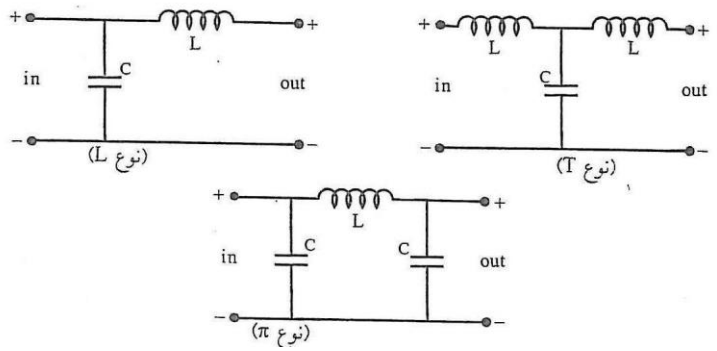
$$Z_{in} = \sqrt{R^2 + (L\omega)^2} = R\sqrt{1 + \left(\frac{L\omega}{R}\right)^2}$$

$$Z_{out} = R$$

در نتیجه:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{Z_{out}.I}{Z_{in}.I} = \frac{1}{\sqrt{1 + (L\omega/R)^2}}$$

که با مساوی قرار دادن نسبت فـوق بـا $\frac{1}{\sqrt{2}}$ مـی تـوانیم بسـامد قطـع $(f_c)$ را بـه دسـت آوریـم. صـافیها را براسـاس شـکل و طـرح بـه انواع $\pi$ , $T$ و $L$ تقسیم می کنند. (شکل ۲ -۷)

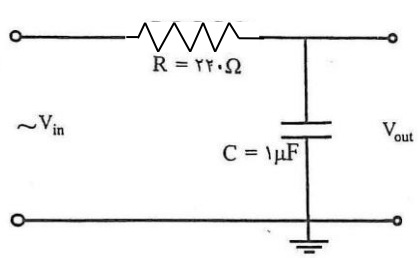



با ترکیب چند صافی ساده می توان صافیهایی بـا کیفیـت بهتـر طراحـی کـرد، بـا توجـه بـه ایـن کـه اسـتفاده از صـافیها در امپـدانس مـدار تغییراتـی بـه وجـود مـی آورد معمـولاً صـافیها را بایـد طـوری طراحـی کـرد کـه عـلاوه بـر کـار خـود، تطبیـق امپـدانس را نیـز انجام دهند.

یکـی از کاربردهـای مهـم صـافیها اسـتفاده از آنهـا در سـاخت منـابع تغذیـهٔ اسـت. در ایـن صـورت صـافی بسـامدهای مربـوط بـه سیگنال متناوب $(AC)$ را حـذف مـی کنـد و امـروزه در سـاختمان صـافیها بیشـتر از عناصـر فعـالی مثـل انـواع $IC$نیـز اسـتفاده مـی شود.

**روش آزمایش**

الف) مداری مطابق شکل ۲-۸ ببندید و به ازای بسامدهای مختلف ورودی که از مولد موج گرفته می شود، ولتاژ خروجی دو سر خازن را به دست آورید.




شکل ۲-۸

بهتر است بسامدهای ورودی را از روی شکل موج ورودی روی صفحهٔ اسیلوسکوپ تعیین کنید و نیز با استفاده از چندگانه سنج ولتاژ خروجی (ولتاژ دو سر خازن) را تعیین و نسبت $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ را برای هر بسامد به دست آورید. ضمن این که در طول آزمایش دامنه ولتاژ ورودی $(V_{in})$ را ثابت نگه می دارید، جدول زیر را کامل کنید.

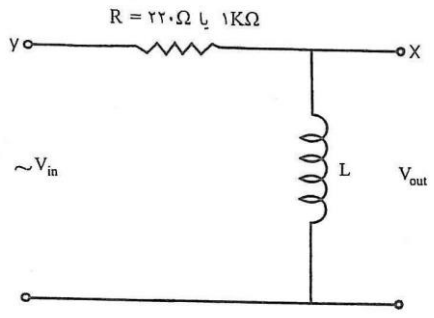
| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $f_{(Hz)}$ | | | | | | | | | | |
| $V_{out_{(mV)}}$ | | | | | | | | | | |

۱. از روی جدول، نمودار $\frac{V_{out}}{V_{in}}$ را برحسب $\omega$ روی کاغذ میلی متری با مقیاس و واحد مناسب رسم کنید.

۲. از روی نمودار، بسامد قطع را به دست آورید و مقدار آن را با آنچه از روی جدول به دست می آید مقایسه کنید.

۳. نوع صافی را با توجه به نموداری که رسم کرده اید مشخص کنید.

ب) به جای خازن آزمایش الف، از یک القاگر استفاده کنید و مدار زیر را ببندید. (شکل ۲-۹)




شکل ۲-۹

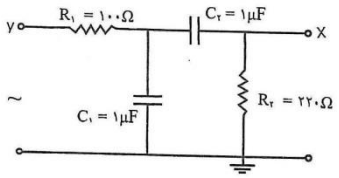
۱.این بار برای این آزمایش جدول آزمایش (الف) را کامل کنید و به پرسشهای ذیل جدول نیز پاسخ دهید.

۲. از آنجا که در بسامد قطع داریم:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{۱}{\sqrt{۲}}$$

و این وقتی است که $R = L\omega$ باشد، بنابراین با توجه به بسامد قطع و معلوم بودن R، مقدار L را به دست آورید.

ج) حال مدار زیر را ببندید و مراحل مذکور در دو آزمایش (الف) و (ب) را تکرار کنید. (شکل ۲-۱۰)




شکل ۲-۱۰

# آزمایش ۳

## دیود

### هدف

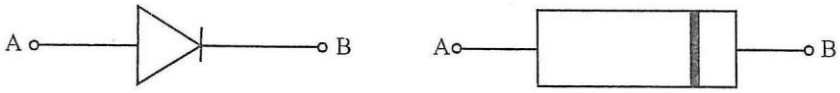
تشخیص قطبهای دیود، رسم منحنی مشخصهٔ ولتاژ – جریان دیود در دو گرایش مستقیم و معکوس، اثر گرما بر منحنی مشخصهٔ دیود، تعیین ولتاژ شکست دیود زنر.

### وسایل آزمایش

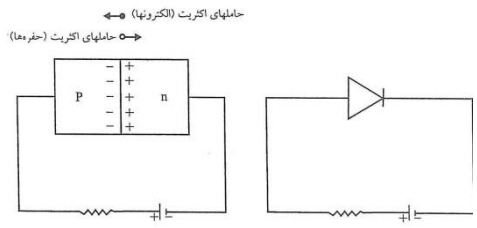
اسیلوسکوپ، تخته آزمایش، مولتی متر: ۳ عدد، مقاومت $۲۲۰\Omega$ و $۱۰۰K\Omega$ هر کدام یک عدد، دیودهای مختلف: ۲ عدد، دیود زنر: یک عدد، هویه، منبع تغذیهٔ $DC$با جریان ثابت، منبع تغذیهٔ متناوب.

### مبانی نظری

یکی از مهمترین و پرکاربردترین قطعات الکتریکی دیود است که کوتاه شده عبارت دی الکترود (دو سر) است. در دیود یک سر را آند و سر دیگر را کاتد می نامیم، کاتد با یک نوار یا خط در یک سمت دیود مشخص شده است.




جریان از آند وارد و از کاتد خارج می شود. دیود که غالباً از جنس سیلیسیوم یا ژرمانیوم است، جریان الکتریکی را می تواند در یک جهت عبور دهد و در جهت دیگر مسدود کند. برخی دیودهای مختلف از نظر ساختمان و کاربرد عبارتاند از: دیود پیوندی، دیود اتصال نقطه ای، دیود زنر، دیود نورده، و دیود خازنی. هر دیود از مجاورت دو نیمه رسانای نوع $N$و $P$ایجاد می شود. (شکل ۳ – ۱)

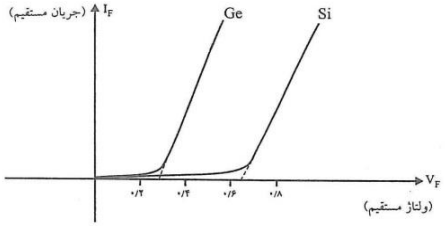



شکل ۳ – ۱

دیود در گرایش مستقیم، جریان را عبور می دهد. در این حالت تعدادی از الکترونها به ناحیهٔ $P$ رفته با حفره ها ترکیب می شوند و تعدادی از حفره ها به ناحیهٔ $N$ می روند و با الکترونها ترکیب می شوند.

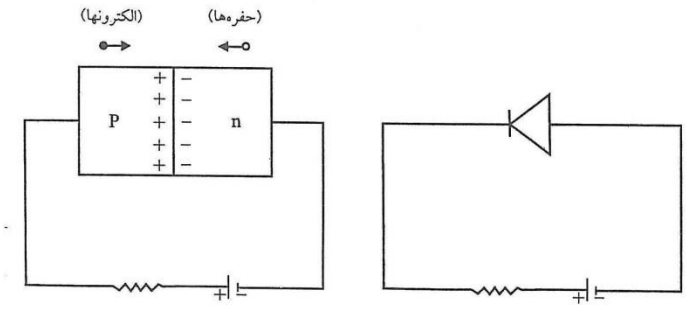
چون در اینجا ولتاژ باتری در جهت عکس پتانسیل سد پیوند است، با افزایش ولتاژ باتری جریان قابل ملاحظه ای ایجاد می شود، زیرا حاملهای اکثریت می توانند با گذشتن از پیوند در دو جهت عبور کنند. در این صورت پیوند $PN$به طور مستقیم ولتاژرسانی یا به اصطلاح بایاس شده است. مقاومت پیوند $PN$ در حالت مستقیم بسیار کم است. هرگاه در این حالت ولتاژ از حد معینی که برای هر دیود مشخص است تجاوز کند، دیود گرم شده و می سوزد.

دیودهای ژرمانیوم معمولاً تا حدود $100^oC$ و دیودهای سیلیسیوم تا $175^oC$ را می توانند در محل پیوند تحمل کنند. از تغییرات جریان عبوری برحسب اختلاف پتانسیل دو سر دیود در این بایاس ، مشخصهٔ دیود در حالت مستقیم به دست می آید. (شکل ۳-۲)



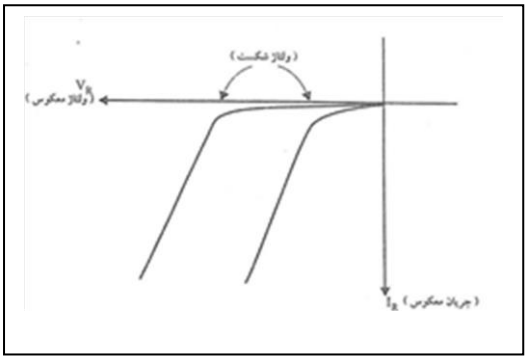

شکل ۳-۲

دیود در بایاس معکوس، جریان را عبور نمی دهد. در این حالت ولتاژ باتری در جهت تقویت پتانسیل سد است و باعث می شود الکترونها و حفره ها از پیوندگاه دور شده و لایه تهی پهن تر شود، در عین حال تعداد کمی حاملهای اقلیت، جریان ضعیفی به نام جریان نشتی یا معکوس ایجاد می کنند که به آن جریان اشباع معکوس نیز می گویند. مقاومت پیوند در این بایاس زیاد است. (شکل ۳-۳)




شکل ۳-۳

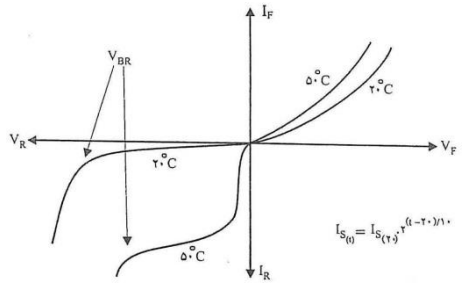
در این شرایط از تغییرات جریان عبوری نسبت به ولتاژ دو سر دیود، مشخصهٔ دیود در حالت معکوس حاصل می شود. در عمل با افزایش ولتاژ معکوس در مقدار معینی به نام ولتاژ شکست، جریان به طور ناگهانی زیاد می شود که با ادامه عمل دیود صدمه می بیند. (شکل ۳-۴)




شکل ۳-۴

**اثر دما بر کار دیود**

افزایش دما بر روی خواص نیمه رساناها تأثیر می گذارد زیرا با افزایش زوجهای حفره – الکترون، رسانایی آنها زیادتر می شود. نمودار مشخصهٔ ولت – آمپر دیود هم افزایش جریان مستقیم و هم افزایش جریان معکوس را در اثر افزایش دما نشان می دهد. در شکل زیر این نمودار را برای یک دیود ژرمانیوم رسم کرده ایم جریان اشباع معکوس که به علت تولید بیشتر زوجهای حفره – الکترون، افزایش می یابد به ازای هر ۱۰ درجه افزایش دما تقریباً دو برابر می شود. (شکل ۳-۵)




شکل ۳-۵

وابستگی جریان اشباع معکوس به دمای $t$برمبنای جریان اشباع معکوس در دمای $۲۰^oC$ به صورت زیر بیان می شود:

$$I_{s(t)} = I_s(۲۰^oC).۲^{(t-۲۰)/۱۰}$$

برای مثال اگر دما از $۲۰^oC$ به $۷۰^oC$ افزایش یابد، جریان معکوس به $۲^۵$ برابر افزایش می یابد یا ۳۲ برابر می شود افزایش دما ولتاژ شکست $(V_{BR})$ دیود ژرمانیوم را کاهش می دهد.

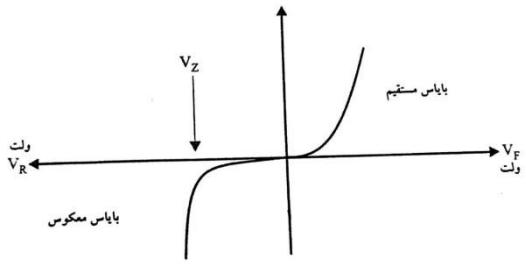
افزایش جریان با دما در گرایش مستقیم آنقدر چشمگیر نیست زیرا جریان در اصل به علت وجود ناخالصی در رساناها ایجاد می شود و غلظت ناخالصی مستقل از دماست.

دیودهای سیلیسیومی جریان نشتی خیلی کمی دارند و به اندازهٔ دیودهای ژرمانیومی نسبت به دما حساس نیستند.

برای تست دیود مقاومت سنج (اهم متر) را روی درجه $R\times 1$ قرار می دهیم و به دو سر دیود متصل می کنیم، اگر از یک طرف مقاومتی را نشان دهد و از طرف دیگر نشان ندهد، دیود سالم است.برای تشخیص جنس دیود، دو سر مقاومت سنج را به دو سری از دیود که اهمی را نشان می دهد اتصال می دهیم، اگر دستگاه حدود $1\Omega$ را نشان دهد دیود از ژرمانیوم و اگر حدود $100\Omega$ را نشان دهد از سیلیسیوم است.

**دیود زنر**

نوع خاصی از دیود است که به عنوان تثبیت کنندهٔ ولتاژ از آن استفاده می شود. در یک دیود معمولی اگر بایاس معکوس افزایش یابد لایه تهی می شکند و دیود برای همیشه خراب می شود، ولی دیود زنر طوری ساخته می شود که در ناحیهٔ شکست کار کند و مانند یک مقاومت جریان را محدود نماید. منحنی مشخصهٔ دیود زنر به صورت شکل زیر است. با افزایش ولتاژ معکوس تا ولتاژ شکست $(V_z)$ جریان معکوس ناچیز و قابل چشم پوشی است. از آن پس جریان معکوس ناگهان افزایش می یابد. بنابراین در ناحیهٔ وسیعی از جریان معکوس مقدار $V$ تقریبا ثابت میماند.این ویژگی دیود زنر کاربرد آن را در منابع تغذیه تثبیت کننده مفید و منحصر به فرد می‌سازد.

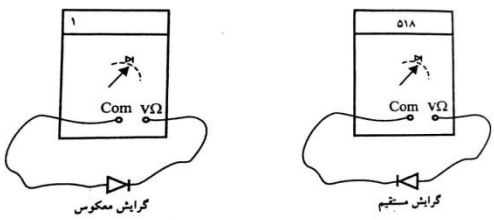



شکل ۳-۶

**روش آزمایش:**

الف)تشخیص قطبهای دیود

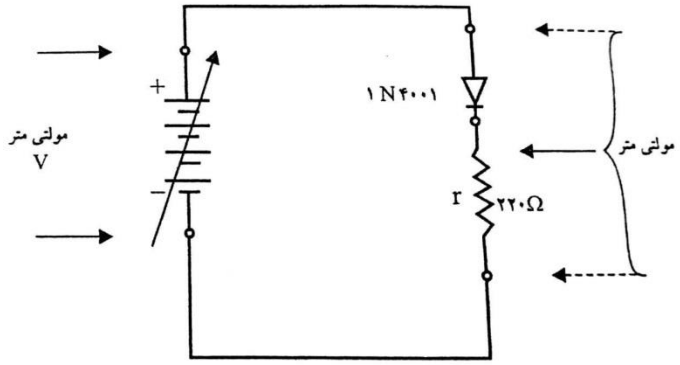
فیش مربوط به سنجش مقاومت بر روی چند گانه سنج نشان دهنده قطب مثبت و فیش مربوط به $Com$نشان دهنده قطب منفی است.مطابق شکلهای ۳-۷ در گرایش مستقیم که قطب منفی به کاتد دیود متصل است از مدار جریان میگذرد و دستگاه مقاومتی را نشان میدهد و در گرایش معکوس که قطب مثبت به کاتد متصل است مقاومت بینهایت (چند گانه سنج عدد ۱ را نشان میدهد) و جریان تقریبا صفر است.به این ترتیب میتوانید قطبهای دو دیودی را که در اختیار دارید تشخیص دهید.




شکل ۳-۷

ب)رسم منحنی مشخصه ولتاژ-جریان دیود در گرایش مستقیم

با استفاده از مدار شکل ۳-۸ با تغییر ولتاژ منبع (منبع جریان مستقیم)$V$ ولتاژ دو سر دیود $V$ را به دقت بخوانید و در هر حالت ولتاژ دو سر مقاومت را نیز انداه بگیرید و با استفاده از آن جریان عبوری از دیود $I_r$ را بدست آورید.




شکل ۳-۸

با تکمیل جدول زیر نمودار های $I$بر حسب $V$را روی کاغذ میلیمتری رسم کنید.(برای دو دیود مختلف)

ج)رسم منحنی مشخصه دیود در گرایش معکوس

این بار با تغییر جهت دیود در مدار بالا آزمایش را تکرار کنید و نتایج را در جدولی مشابه جدول فوق به صورت زیر ثبت کرده و نمودار های مربوطه را روی کاغذ میلیمتری برای هر دیود رسم کنید.در این حالت مقاومت $r$را برای ۱۰۰کیلو اهم ومقادیر ولتاژ را به ولت درنظر بگیرید.

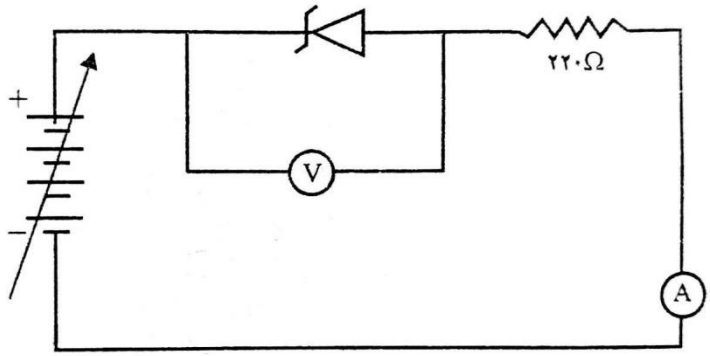
| شماره | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_f$ | ۰ر۲۷ | ۰ر۲۵۷ | ۰ر۳۷ | ۰ر۳۵۷ | ۰ر۴۷ | ۰ر۴۵۷ | ۰ر۵۷ | ۰ر۵۵۷ | ۰ر۶۷ | ۰ر۷۷ |
| $V_r$ | | | | | | | | | | |
| $I_r$ یا $I_f$ | | | | | | | | | | |

د)برسی مشخصه حرارتی دیود

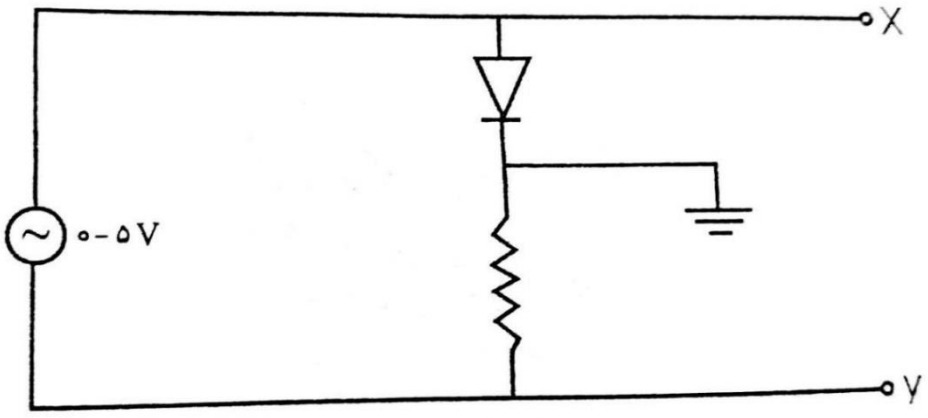
جدول مربوط به گرایش مستقیم را در نظر بگیرید وجریانهای عبوری و ولتاژ های دوسر یک دیود را به ازای چند ولتاژ مختلف یادداشت کنید سپس نوک هویه را به دیود نزدیک و چند دقیقه صبر کنید تا تعادل حرارتی برقرار شود.آنگاه دوباره مقادیر فوق را اندازه گیری و در مورد نتایج حاصله توضیح دهید.

ه)رسم منحنی دیود زنر

مدار شکل ۳-۹ را برای دیود زنر ببندید.با افزایش ولتاژ تغذیه وقتی که جریان معکوس به طور ناگهانی افزایش یافت این ولتاژ را که به ولتاژ شکست زنر معروف است به دست آورید.




و)مـدار شـکل ۳-۱۰ را ببندیـد و نقـاط $Y$و$X$ را بـه ترتیـب بـه ورودی هـای $CH_2$و$CH_1$ اسیلوسـکوپ متصـل کـرده و شـکل حاصـل از ترکیـب دو مـوج را مشـاهده و در گـزارش کـار خـود رسـم کنیـد.اگر دیـود را بـرداریم چـه تغییـری در شـکل روی صـفحه اسیلوسکوپ مشاهده میکنید؟




شکل ۳-۱۰

# آزمایش۴

## یکسوساز ها

### هدف

یکسو کردن جریان متناوب به وسیله دیود نیمه رسانا، صاف کردن موج یکسو شده، بررسی ریپل مدار.

### وسایل آزمایش

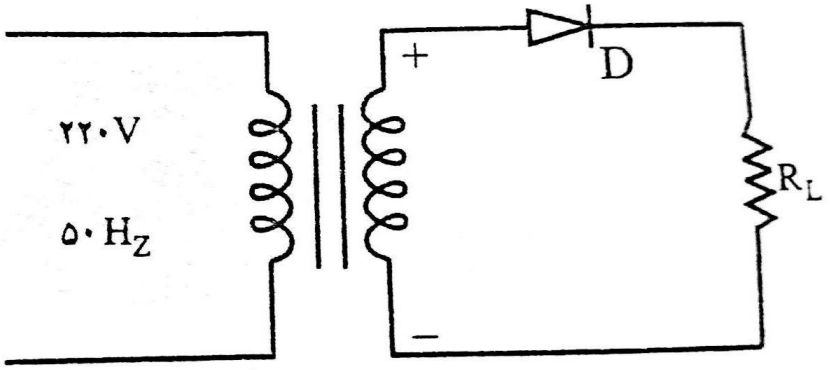
اسیلوسکوپ ،منبع تغذیه ۶ ولت $AC$،ترانس سر وسط ۶ ولت،مولتی متر،تخته آزمایش،دیود ۱N ۴۰۰۱ چهار عدد،مقاومت ۱KΩ،خازن ۱۰۰μ$F$ و سیم های رابط.

### مبانی نظری

در تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم میتوان از مشخصه های غیر خطی دیود استفاده کرد.این عمل را یکسو سازی میگویند.با استفاده از یک عنصر الکتریکی حساس به بسامد در مدار میتوان ضربانی بودن جریان را به حالت غیر ضربانی بودن جریان تبدیل کرد که این عمل را صاف کردن می‌نامند.

در این آزمایش به بررسی یکسو ساز نیم موج و تمام موج و صاف کردن و تعیین ضریب ریپل مدار میپردازیم.دیود های نیمه رسانا معمولا دارای افت ولتاژ کمی در جهت مستقیم هستند ودر جهت معکوس نیز جریان نا چیزی از خود عبور میدهند بنابر این برای تحلیل تقریبی مدار در عمل دیود را ایده آل در نظر میگیریم و از افت ولتاژ در دیود و مقاومت داخلی مبدل صرف نظر میکنیم.

### یکسو ساز نیمه موج




شکل ۴-۱

مطابق شکل ۴-۱ در این یکسو ساز تنها یک دیود در مدار وجود دارد.در یک نیم سیکل که ولتاژ متناوب ورودی در آند دیود منفی است دیود هدایت نمیکند.بنابر این دیود وقتی هدایت میکند که آند آن نسبت به کاتد مثبت باشد.

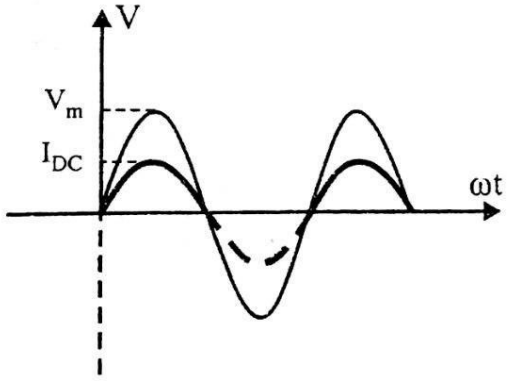
هرگاه ولتاژ ورودی به صورت $V = V_m \sin \omega t$ باشد جریانی که در هر نیم سیکل از $RL$ می‌گذرد عبارت است از:

$$۰ \le t < \frac{T}{۲} \rightarrow i = \frac{V}{R} = \frac{V_m \sin \omega t}{R} = I_m \sin \omega t \quad \text{و} \quad \frac{T}{۲} < t \le T \rightarrow i = ۰$$

مولفه $RL$ جریان بار به صورت متوسط جریان در یک دوره تناوب تعریف میشود:

$$I_{DC} = \frac{۱}{T} \int_{۰}^{T} i, dt \Rightarrow I_{DC} = \frac{۱}{T} \int_{۰}^{\frac{T}{۲}} I_m \sin \omega t.dt$$

$$I_{DC} = \frac{I_m}{T} \left[ -\frac{۱}{\omega} \cos \omega t \right]_{۰}^{\frac{T}{۲}} = \frac{-I_m}{T\omega} (\cos \frac{\omega t}{۲} - ۱) \Rightarrow I_{DC} = \frac{I_m}{\Pi} \text{ or } I_{DC} = ۳۰\% I_m$$

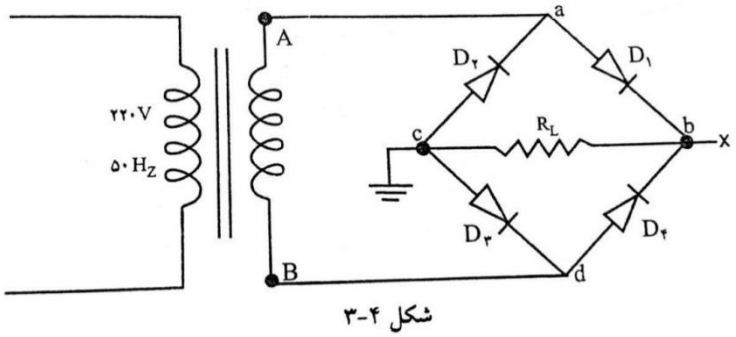



**شکل ۴-۲**

بنابر این در این یکسوساز نیم موج مولفه $DC$ جریان تقریبا ۳۰ درصد مقدار جریان ماکزیمم است.

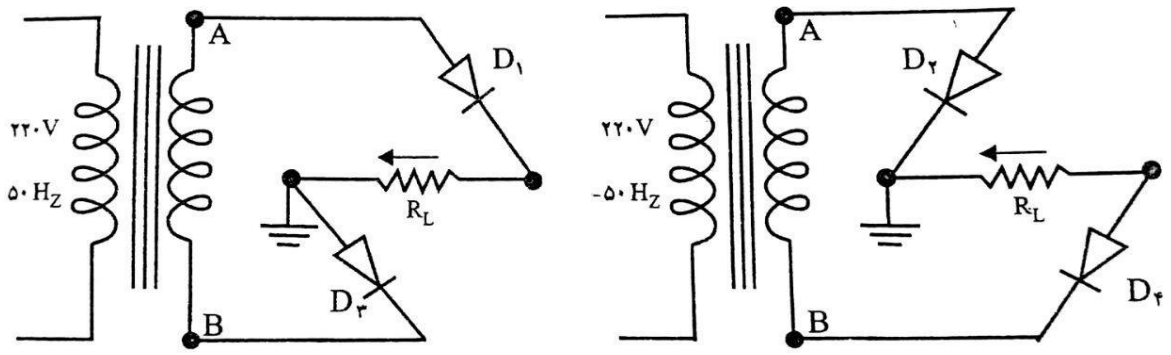
**یکسو ساز تمام موج(پل)**

در این یکسو ساز از چهار دیود استفاده میشود.مطابق شکل ۴-۳ دیود های یکسوساز به ثانویه یک مبدل کاهنده متصل هستند.




**شکل ۴-۳**

وقتی سر بالای ترانس $a$نسبت $b$ به مثبت باشد دیود های $D_1$ و $D_2$هدایت میکنند و جریان از مقاومت بار $RL$ میگذرد.و وقتی$a$نسبت به $b$ منفی باشد دیود های $D_2$ و $D_4$ هدایت میکنند و از $RL$ مجددا جریانی هم جهت جریان قبلی میگذرد.

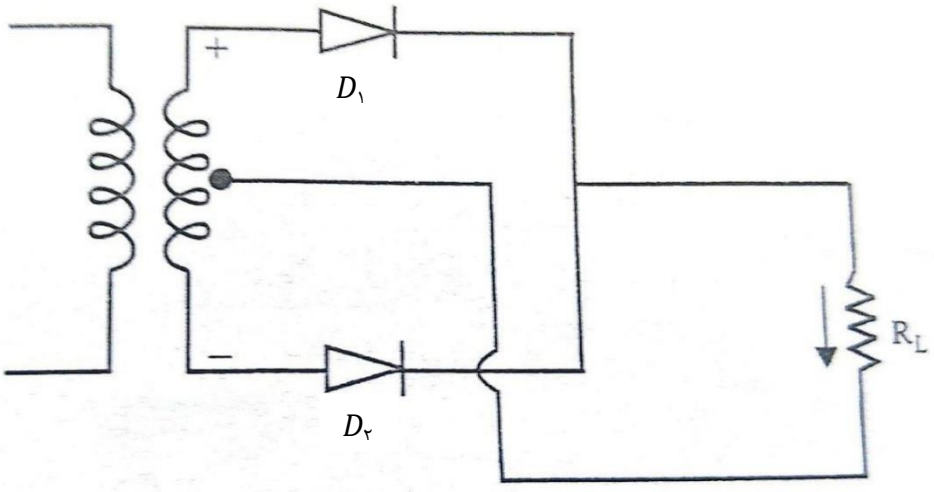



شکل ۴-۴

بنابر این مولفه $DC$ جریان در یکسو سازی تمام موج دو برابر جریان $DC$ در یکسو سازی نیم موج است یعنی:

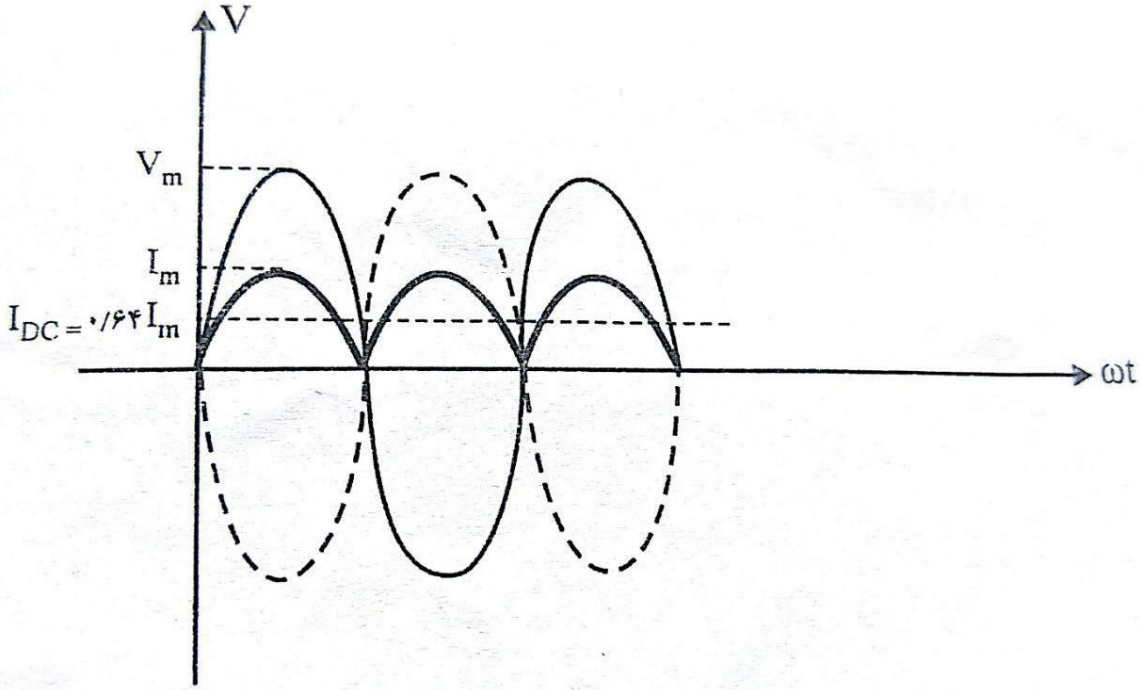
$$I_{DC} = \frac{۲I_m}{\Pi} \text{ or } I_{DC} = \frac{۲}{\Pi}\left[\frac{V_m}{R_L}\right] \approx ٪۶۴\ I_m$$

در مدار یکسو ساز تمام موج (پل) با توجه به این که از چهار دیود استفاده میشود افت ولتاژ هایی که در هر نیم سیکل در دیود به وجود می آید همیشه با مقاومت بار به طور سری قرار میگیرد و باعث تاخیر در یکسوسازی میشود بنابر این بهتر است از یکسوساز تمام موج با مبدل سر وسط استفاده شود.در این نوع یکسوساز تمام موج هر بار فقط یک دیود در مسیر قرار دارد و افت ولتاژی کمتری باعث می شود.




شکل ۴-۵

در نیم سیکل اول که $A$ نسبت به $B$ مثبت است جریان از طریق دیود $D_1$ازمقاومت$RL$ میگذرد و در نیم سیکل بعد وقتی $B$ مثبت است جریان از طریق دیود $D_2$ از مقاومت $RL$ در همان جهت قبلی عبور میکند.شکل موجهای مدار یکسوساز تمام موج به صورت زیر است.




شکل ۴-۶

نتیجه دلخواه در یکسوسازی ایجاد جریان مستقیم است ولی جریان خروجی یک مدار یکسوساز علاوه بر مولفه $DC$ شامل یک مولفه $AC$ نیز هست.برای تشخیص این که یکسوسازی تا چه حد خوب انجام شده است پارامتری به نام ضریب ضربان یا ضریب ریپل مدار به صورت زیر تعریف میشود:

ضریب ضربان نسبت مقدار $rms$ مولفه $AC$ به مقدار مولفه $DC$ است یعنی:

$$r = \frac{V_{AC}}{V_{DC}} = \frac{I_{AC}}{I_{DC}} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

با توجه به این که اتلاف توان در مقاومت بار یعنی همان توان کل و برابر اتلاف توان توسط مولفه های مستقیم و متناوب است:

$$R_L . I^2_{rms} = R_L (I^2_{DC} + I^2_{AC}) \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

از روابط (۱) و (۲) نتیجه میشود:

$$r = \sqrt{\left[\frac{I_{rms}}{I_{DC}}\right]^{۲} - ۱} \quad \text{ضریب ضربان}$$

هر چه ضریب ضربان کمتر باشد مدار جریان متناوب را بهتر به جریان مستقیم تبدیل میکند.باتوجه به این که مقدار موثر جریان از رابطه $I_{rms} = \sqrt{\frac{۱}{T}\int_{۰}^{T} I^{۲}dt}$ به دست می آید برای مدار نیم موج نتیجه می شود:

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{۲}}, I_{DC} = \frac{I_m}{\pi}$$

$$\Rightarrow r = \sqrt{\left[\frac{I_m/\sqrt{۲}}{I_m/\Pi}\right]^{۲} - ۱} = \sqrt{\left[\frac{\Pi}{\sqrt{۲}}\right]^{۲} - ۱} = ۱٫۹۸$$

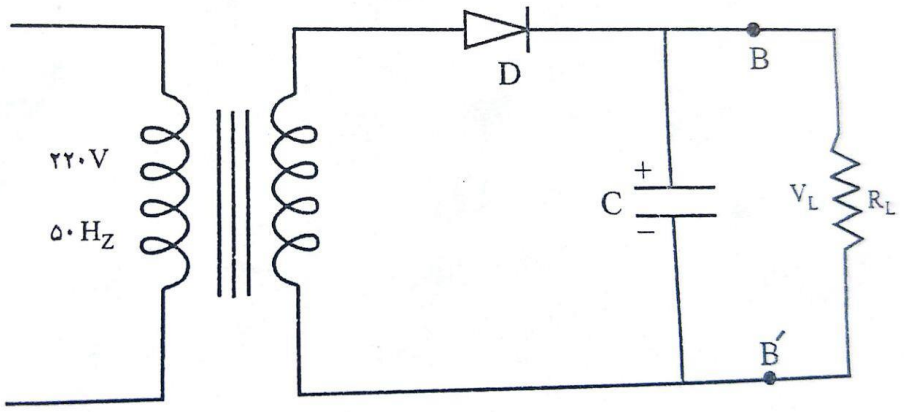
وبرای مدار تمام موج نتیجه می شود:

$$r = \sqrt{\left[\frac{I_m/\sqrt{۲}}{۲I_m/\pi}\right]^{۲} - ۱} = \sqrt{\frac{\pi^{۲}}{۸} - ۱} = ۰٫۴۸$$

دیده می شود که در یکسو ساز تمام موج ضریب توان کمتر است و در نتیجه نسبت به یکسوساز نیم موج جریان متناوب را بهتر به جریان مستقیم تبدیل میکند.

**ایجاد ولتاژ $DC$ به کمک صافی خازنی**

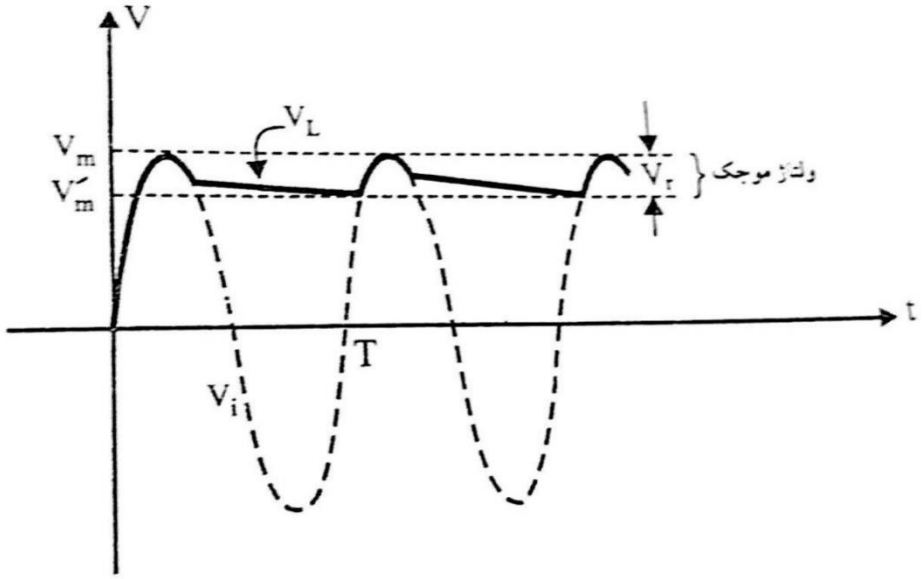
چون مدار های یکسوساز جریان مستقیم و متغیری ایجاد میکنند که هنوز مولفه های سینوسی هر چند با دامنه های کوچکتر در آن وجود دارند یکی از راههای حذف این مولفه ها و یا به عبارت دیگر جلوگیری از تغییرات ولتاژ خروجی استفاده از صافی خازنی به صورت شکل ۴-۷ است.




شکل ۴-۷

در نیم سیکلی که دیود در حال هدایت است انرژی الکتریکی در خازن ذخیره میشود و در نیم سیکل بعد یعنی در زمان قطع دیود خازن این انرژی را به مقاومت بار پس میدهد.

در صورتی که ثابت زمانی مدار $R_L.c >> T$ باشد در ابتدا که خازن شروع به شارژ میکند ولتاژ خروجی $V$ حداکثر است پس از زمان $\frac{T}{۴}$ که ولتاژ ورودی $V$ شروع به کاهش میکند ولتاژ $V$ دوسر خازن هم با تخلیه در مقاومت بار $R$ کاهش می یابد ولی چون ثابت زمانی خازن زیاد است افت ولتاژ خازن کند تر از افت ولتاژ $V$ بوده تا این که دیود در حالت قطع قرار گیرد و در این حالت $V$ در مقاومت $R$ خالی میشود تا این که در نیم سیکل بعد ولتاژ ورودی $V_i$ با $V_c$ برابر میشود و از این لحظه دوباره دیود هادی میشود $V_L = V'_m$ و زیاد میشود تا به $V_m$ برسد.پس از آن دیود قطع و تخلیه خازن در $R_L$ شروع میشود تا به $V_m$ برسد و این کار دوباره تکرار میشود.




شکل ۴-۸

بنابر این ولتاژ $DC$ خروجی بین دو مقدار $V_m$ و $V'_m$ تغییر میکند و متوسط آن کمی از $V_m$ کمتر خواهد بود.

$V_r=V_m-V'_m$ولتاژ موجک نامیده میشود هر چه ثابت زمانی بیشتر یعنی کاهش $V_C$کند تر باشد در نتیجه $V_{DC}$به $V_m$نزدیکتر و ولتاژ موجک کوچکتر میشود.البته برای بهتر شدن کیفیت جریان $DC$از صافیهای مختلفی مثل صافی $\pi$یا L استفاده میشود.

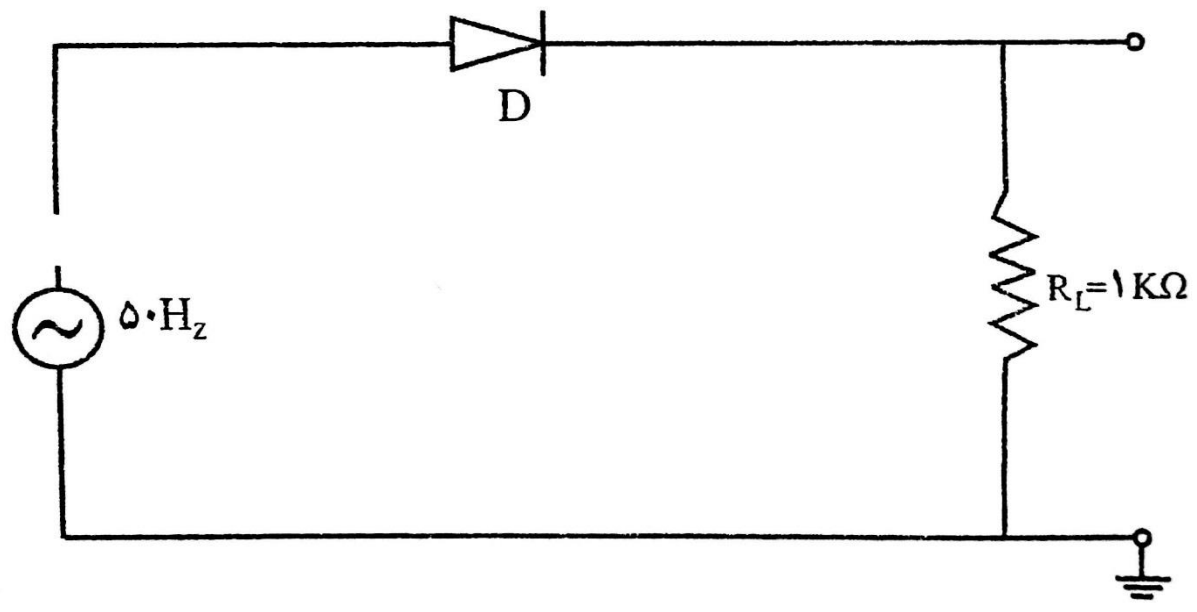
**روش آزمایش**

الف)مدار های شکل ۴-۹ رابببندید و با اتصال دو سر مقاومت $RL$به اسیلوسکوپ شکل موج حاصل را مشاهده ودر گزارش کار خود رسم کنید.$V_{rms}$ را بدست آورده از رابطه $V_i = V_{rms}.\sqrt{2}$ و $I_m = \frac{V_m}{R_L}$ مقادیر $V_m$و $I_m$را محاسبه کنید آنگاه برای نیم موج از رابطه های $I_{DC}=\frac{I_m}{\pi}$ و $I_{rms}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ برای تمام موج از روابط $I_{DC}=2\frac{I_m}{\pi}$ و$I_{rms}=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ مقادیر $I_{DC}$ و $I_{rms}$ را بدست آورید.سپس از عبارت

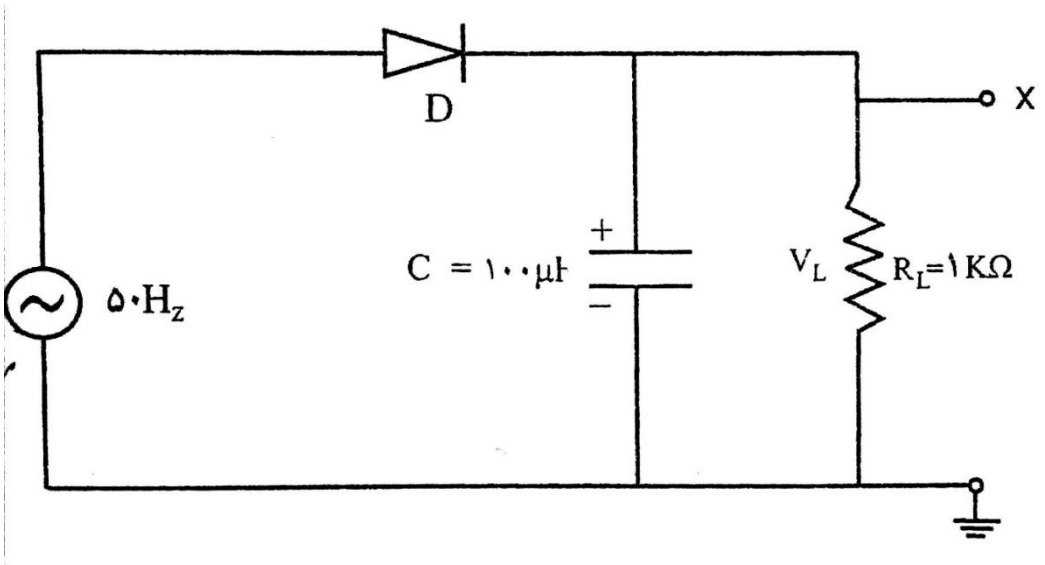
$$r = \sqrt{\left[\frac{I_{rms}}{I_{DC}}\right]^2 - 1}$$

مقدار ضریب ضربان را حساب کنید.در حالت با صافی $V_{DC}$ را اندازه بگیرید و از روابط فوق سایر پارامتر ها را تعیین کنید، آنگاه تمام نتایج را در جدول ثبت کنید.

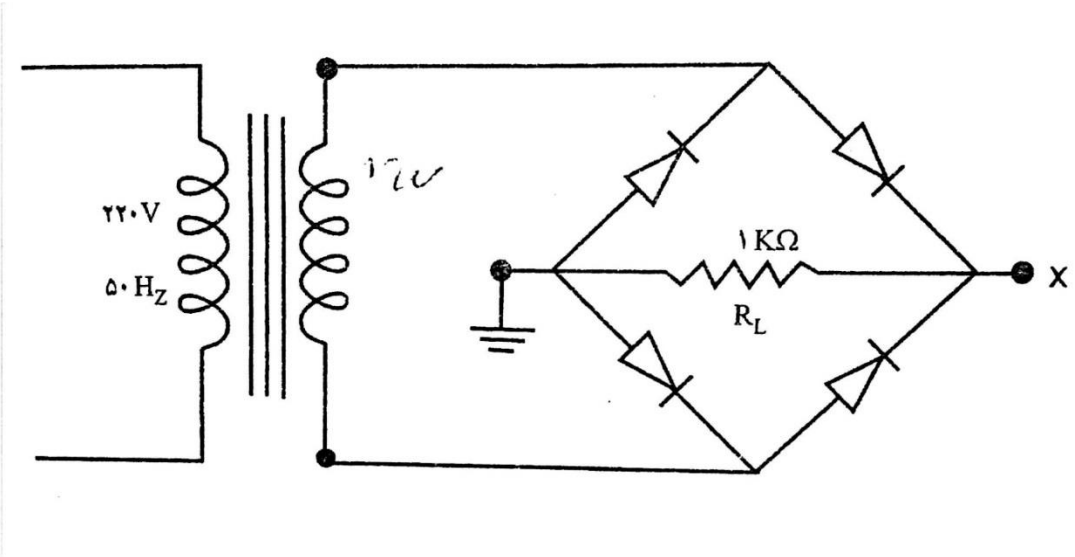
***۱.یکسوساز نیم موج:***



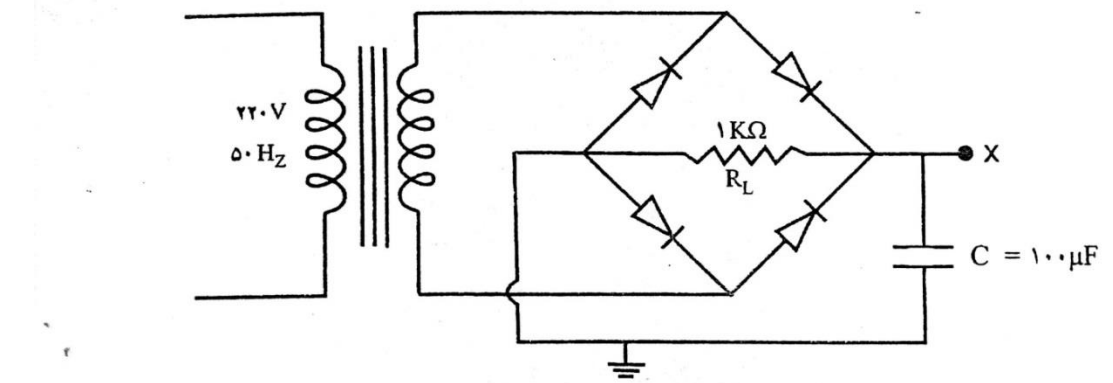
۲.یکسوساز نیم موج با صافی:



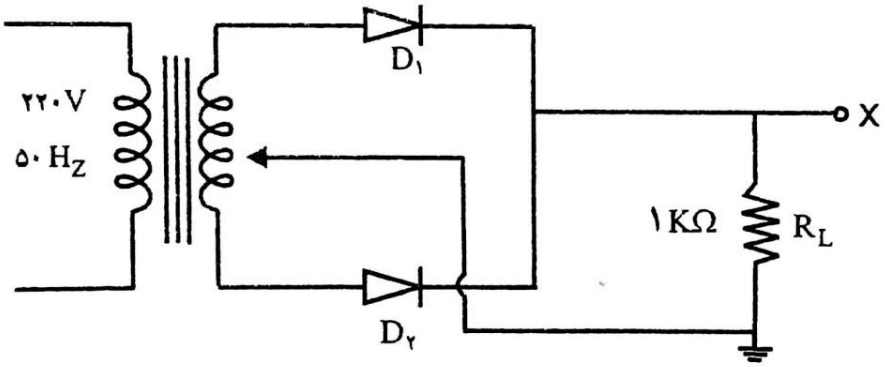

۳.یکسوساز تمام موج(پل):



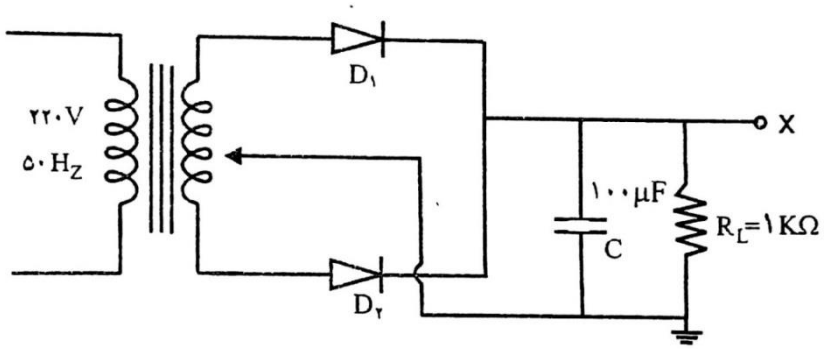

۴.یکسوساز تمام موج پل(با صافی:)




۵.یکسوساز تمام موج با مبدل سر وسط:




۶.یکسوسازتمام موج با مبدل سر وسط و صافی:




| شماره | نوع یکسو ساز | $V_m$ | $I_m$ | $V_{DC}$ | $I_{DC}$ | $I_{rms}$ | ضریب ضربان (r) | شکل موج |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | نیم موج بدون صافی | | | | | | | |
| ۲ | نیم موج با صافی | | | | | | | |
| ۳ | تمام موج پل بدون صافی | | | | | | | |
| ۴ | تمام موج پل با صافی | | | | | | | |
| ۵ | تمام موج با مبدل سروسط بدون صافی | | | | | | | |
| ۶ | تمام موج با مبدل سروسط با صافی | | | | | | | |

ب)در یک مدار یکسوساز نیم موج به جای استفاده از یک دیود از دو دیود استفاده کنید،یکبارآنها را سری و بار دیگر موازی در مدار قرار دهید و تاثیر انها را در شکل موجی خروجی توضیح دهید.

# آزمایش ۵

## برشگرها

### هدف

اشنایی با انواع برشگرها،(مثبت،منفی،دو طرفه،دو طرفه با دیود زنر)

### وسایل آزمایش

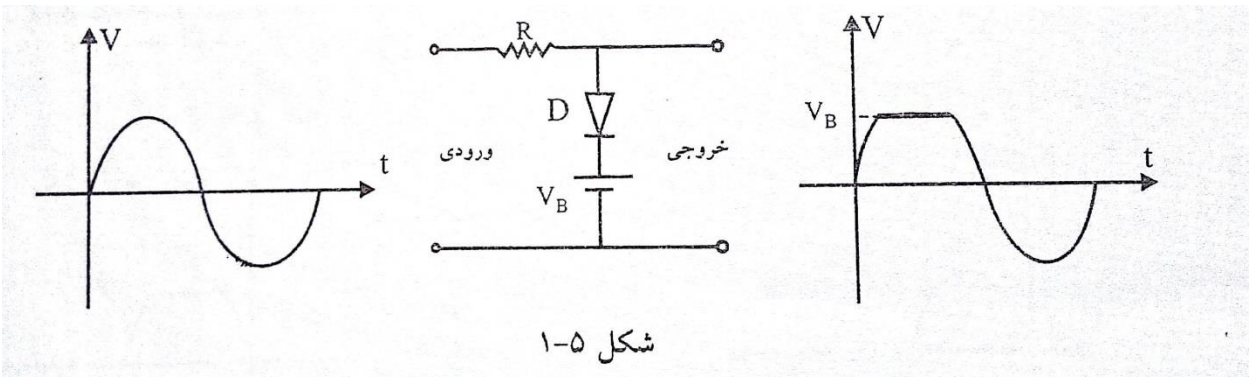
اسیلوسکوپ،منبع تغذیه $DC$ (تا ۱۰ ولت):یک عدد، مبدل ۶ ولت $AC$ :یک عدد، تخته آزمایش،دیود $1N4001$:دو عدد دیود زنر ۹ ولتی: دو عدد ،مقاومت های $10K\Omega$ و $1K\Omega$ هر کدام یک عدد،پتانسیومتر$1K\Omega$ یک عدد ،مقاومت $5,6K\Omega$ و$6K\Omega$دو عدد ، سیم های رابط.

### مبانی نظری

کار مدار های برشگر همان طور که از نامشان پیداست،عبور دادن قسمتی از سیگنال و بریدن قسمت ناخواسته سیگنال است،به عبارتی برشگرها حداکثر پتانسیل مجاز خروجی را کنترل میکنند و اجازه زیاد شدن پتانسیل از سقف موردنظر را نمی‌دهد.این مدارها پایه و اساس مدار های رقمی(دیجیتالی)و مدارهای منطقی اند.به عنوان مثال در مدارهای رقمی که از منطق عددی صفر و یک استفاده میشود،صفر به معنای نبود و یک به معنای بود است.حال چنانچه این مدارها بخواهند این مفهوم را برسانند،از یک پتانسیل $DC$ استفاده می‌شود.اگر مثلا سطح $DC$ کمتر از ۲ ولت باشد آن را صفر منطقی و اگر بیش از ۴ ولت باشد ان را یک منطقی در نظر میگیرند پس بایستی ولتاژ در محدوده ۲ و ۴در گستره موردنظرمحدود شود.که این کار در عمل با مدارهای برش انجام میشود.در مدارهای برش نقش اساسی به عهده دیود است،که بسته به نوع قرارگیری قادر است جریان را در یک جهت هدایت کند و قسمتی از موج ورودی را عبور داده یا حذف کند.

### انواع برشگرها

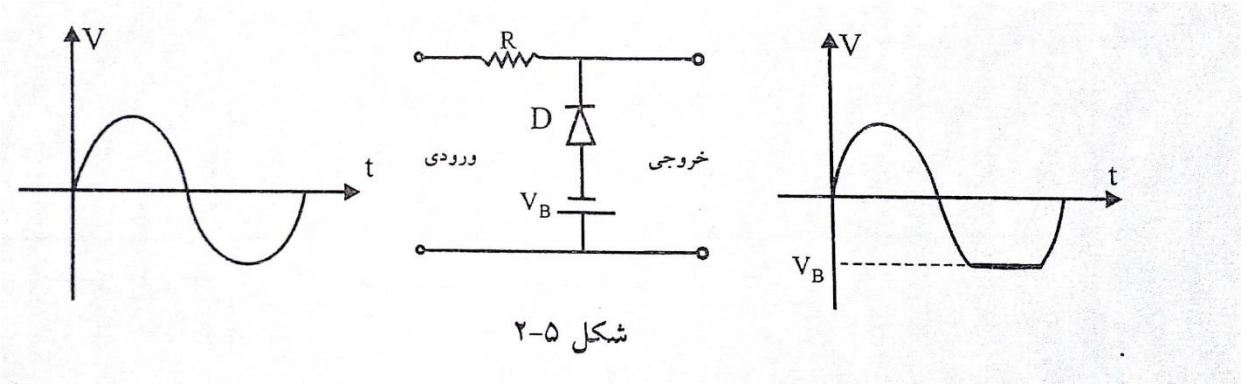
۱.برشگر مثبت:در این مدار قسمت مثبت سیگنال را میتوان محدود کرد و برای سادگی،دیود ایده آل فرض میشود.
شکل۵-۱



شکل ۵-۱

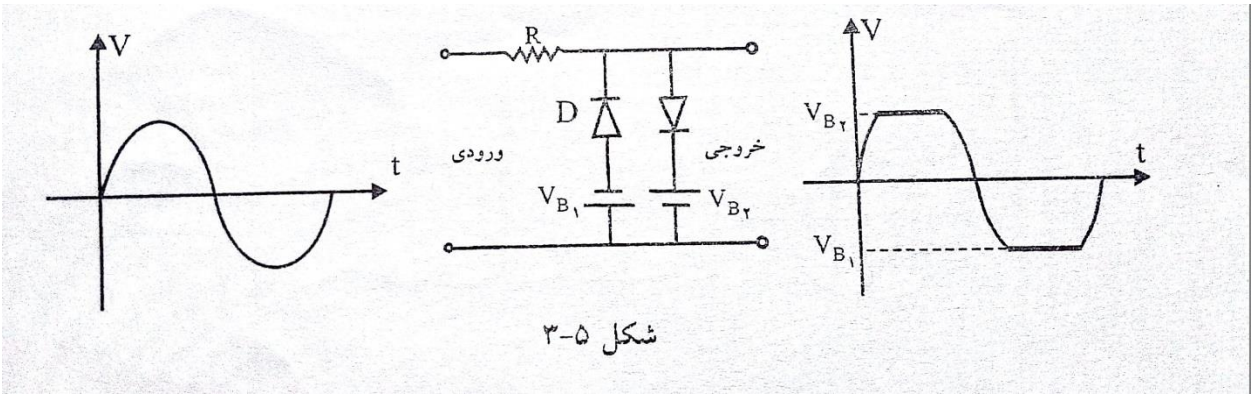
اگر سیگنال ورودی کوچکتر از $V_B$ باشد،دیود در بایاس معکوس و قطع است،لذا ولتاژ خروجی عین ولتاژ ورودی است.اگر ولتاژ ورودی بیشتراز $V_B$ باشد دیود رسانا شده و ولتاژ خروجی در حد ولتاژ باتری ثابت میماند).هدایت دیود به منزله کلید بسته است،زمانی که کلید بسته شود، ولتاژ باتری $V_B$ با خروجی موازی میشود.(در نیم سیکل منفی دیود قطع است و ولتاژ خروجی همان ولتاژ ورودی است.

۲.برشگر منفی: در این مدار قسمت منفی سیگنالها محدود میشود.با توجه به شکل زیر،دیود در نیم سیکل مثبت قطع است.از نظر مقدار و جهت در نیم سیکل منفی،زمانی که ولتاژ منفی از $V_B$ بیشتر شود،ولتاژ اند دیود مثبت تر از کاتد میشود،لذا دیود رسانا میشود،ولتاژ باطری $V_B$ با خروجی موازی میشود.در نتیجه ولتاژ خروجی به اندازه $V_B$ ثابت می ماند تا اینکه ولتاژ منفی از مقدار $V_B$ کمتر شود.به محض کمتر شدن ولتاژ منفی ولتاژ خروجی دوباره عین ولتاژ ورودی میشود. شکل۵-۲



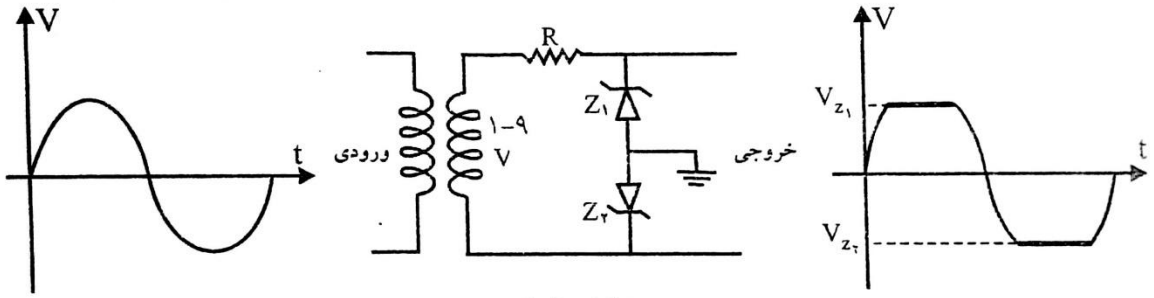
شکل ۵-۲

۳.برشگر دو طرفه:اگر یک مدار برشگر مثبت و یک برشگر منفی را به طور موازی با یکدیگر ببندیم، می توانیم سیگنال را از دو طرف برش دهیم.شکل۵-۳



شکل ۵-۳

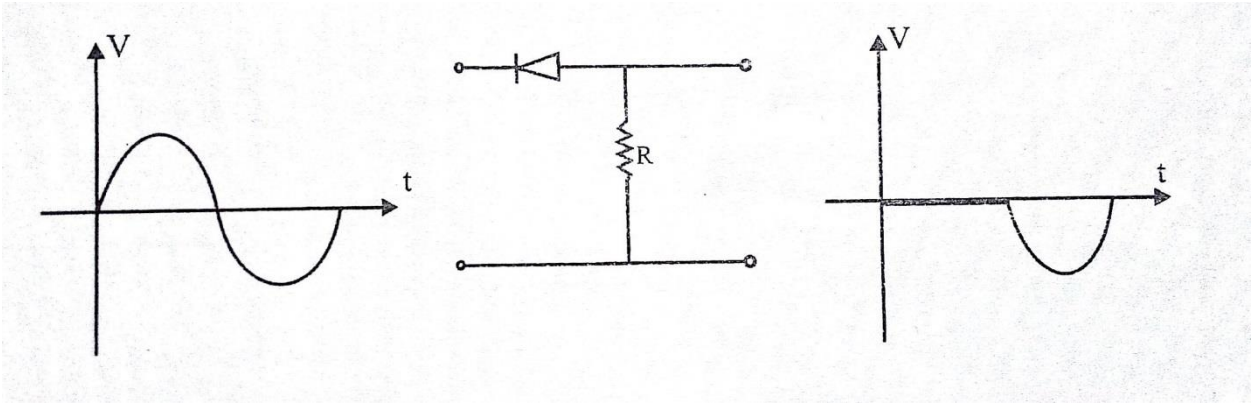
۴ .برشگر دو طرفه با دیود زنر:با توجه به اینکه دیود زنر در بایاس معکوس ولتاژ را محدود میکند،در مدارهای برش به راحتی مورد استفاده قرار میگیرد.در آزمایش(ج)با استفاده از دیود زنر برشگر دو طرفه ای را به صورت زیر بررسی میکنیم.



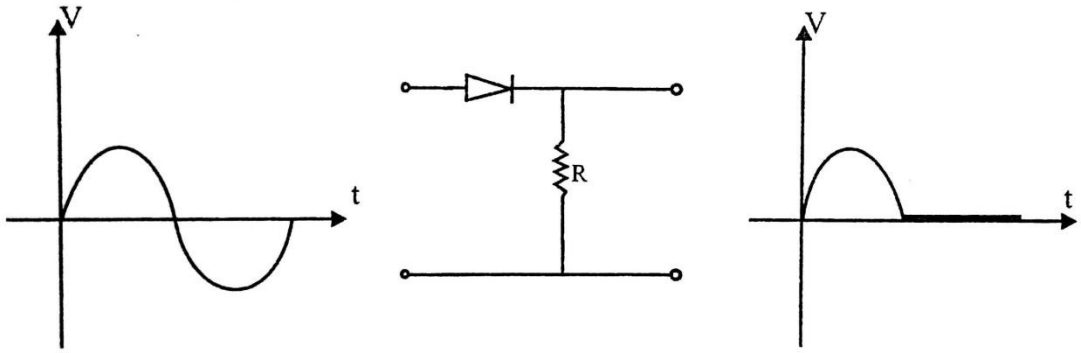

شکل ۵-۴

چنانچه در هر یک از مدارهای برشگر جهت باطری و یا دیود را عوض کنیم،یا خروجی را از مقاومت متوالی شده بگیریم،شکل موج تمامی حالتها با هم متفاوت است در شکل ۵-۵ برخی از این مدارها رسم شده است.

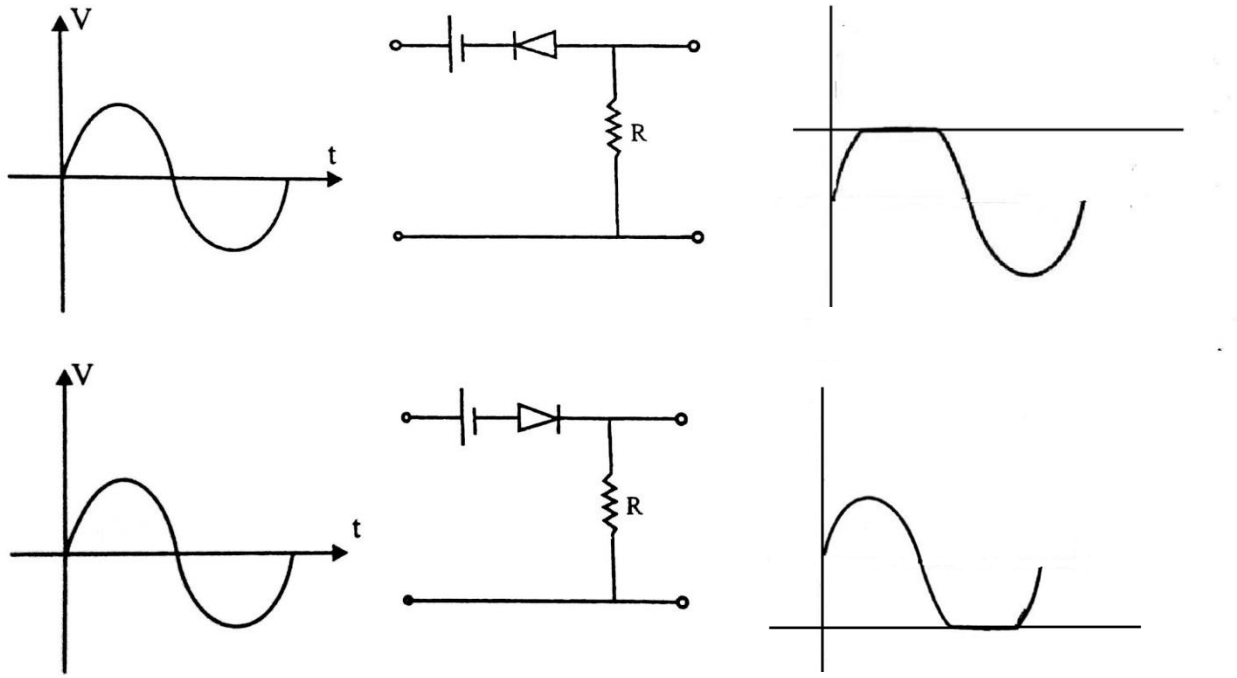
**حذف قسمت های مثبت:**



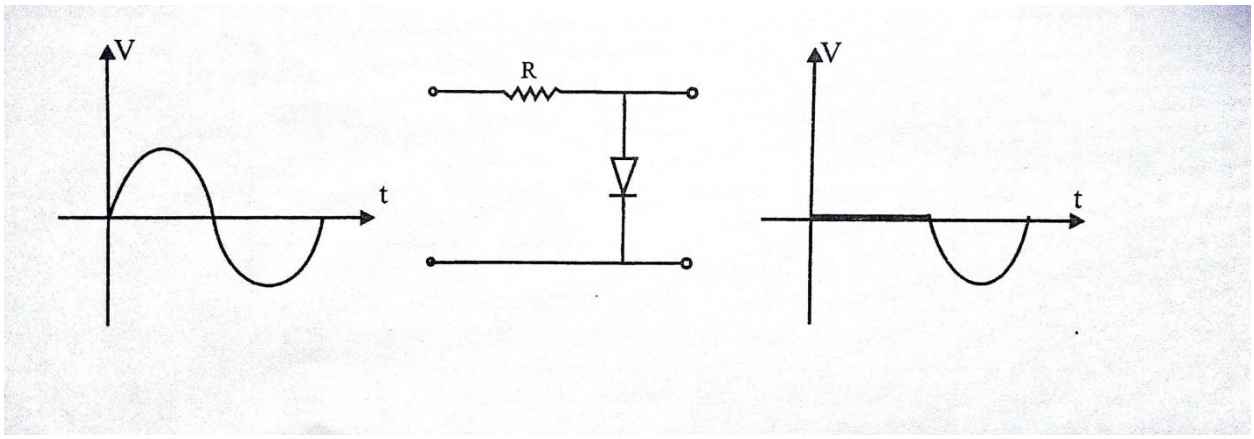

**حذف قسمت های منفی:**

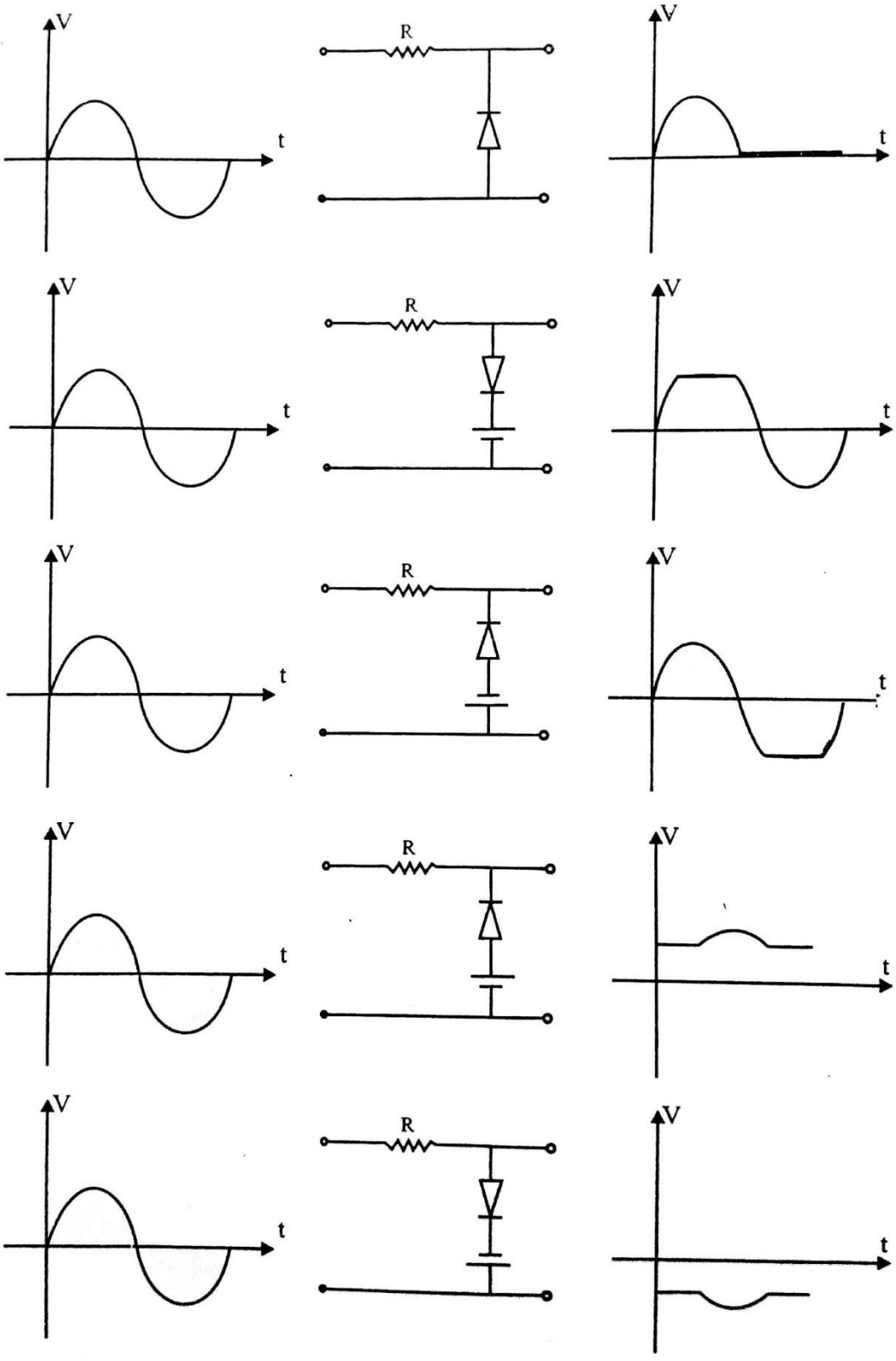


**برشگر با تغذیه متوالی:**




**برشگر با تغذیه موازی:**





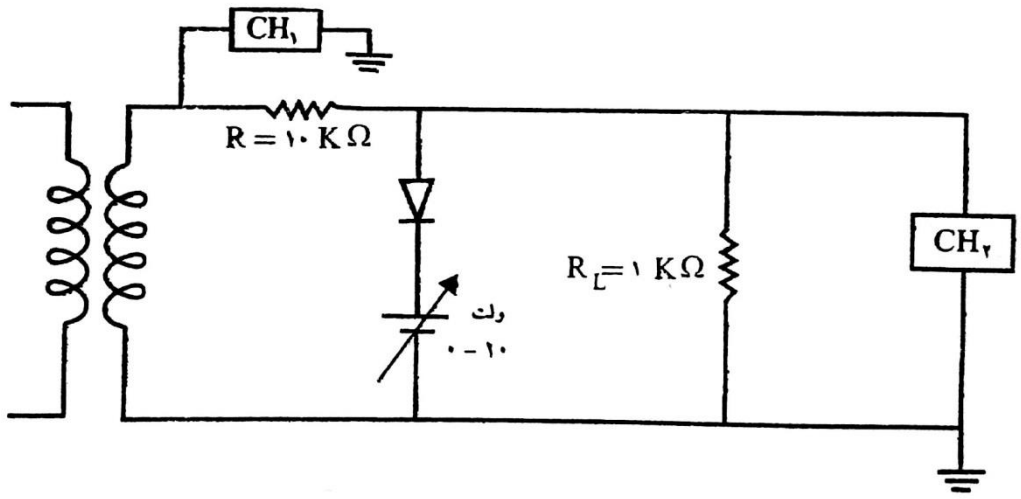

**مهار**

در ایـن مـدار هـا سـطح پتانسـیل ورودی را بـه میـزان دلخـواه شـیفت میـدهیم،این عمـل بـا سـوار نمـودن مـوج ورودی بـر روی یک دامنه $DC$ امکانپذیر اسـت.بـه عبـارت دیگـر بـه ورودی یـک ولتـاژ $DC$ مثبـت یـا منفـی مـی افـزاییم.در نتیجـه خروجـی بـه سمت منفـی یـا مثبـت شـیفت داده میشـود،در حـالی کـه پریـود و شـکل مـوج تغییـر میکنـد.در عمـل از یـک خـازن بـه همـراه دیود و منبع پتانسیل $DC$ که سطح مهار را تعیین میکند،استفاده میشود.

**روش ازمایش**

**الف)بررسی محدود کننده موازی با منبع تغذیه**

1 . مدار شکل ۵-۶ را روی تخته ازمایش ببندید.



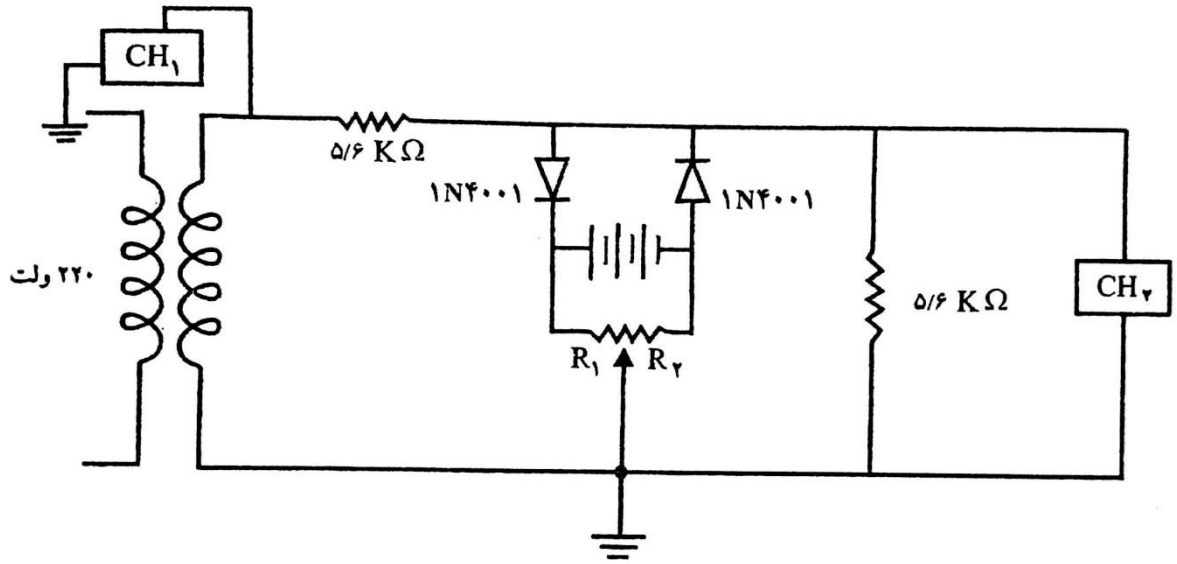

**شکل ۵-۶**

۲.شکل موج ورودی را که به $CH_1$ داده اید، مشاهده و به طور تقریبی رسم کنید همچنین با تغییر ولتاژ $DC$ شکل موجهای خروجی دو سر $RL$ را در کانال $CH_2$ مشاهده و به طور تقریبی رسم کنید.نتیجه بگیرید که نقش باتری افزایش ولتاژ هدایت است و اگر ولتاژ باتری صفر شود،دیود مثل یکسو کننده عمل میکند.

۳.جهت دیود را عوض کنید سپس ولتاژ را تغییر دهید،همچنین با تغییر جهت باتری هنگامی که سیم زمین منبع $DC$وصل نباشد نتایج حاصل از تغییر ولتاژ را بنویسید.

**ب)برش از هر دو نیم سیکل**

۱.مدار شکل ۵-۷ را روی تخته آزمایش ببندید.

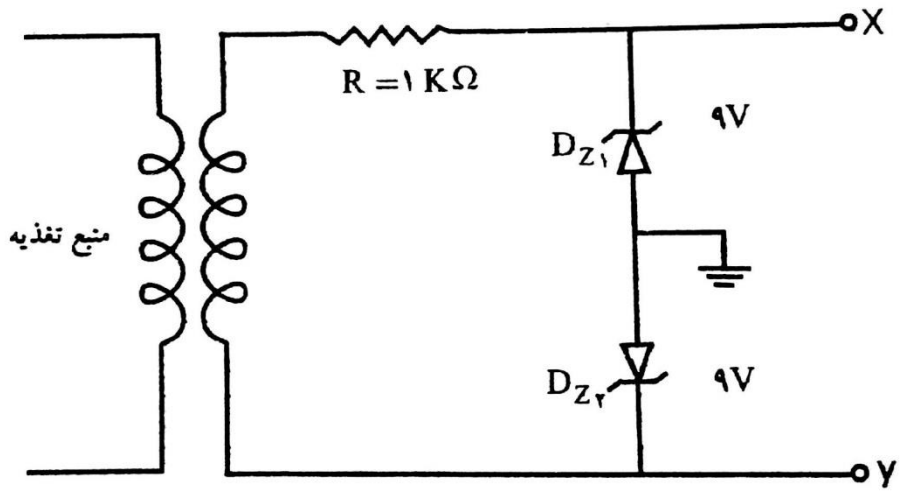



شکل ۵-۷

۲.ابتدا پتانسیو متر را در وسط قرار دهید.با توجه به مشابه بودن دیود ها و این که هر دو دیود به یک اندازه در بایاس معکوس قرار دارند،سطح برش هر دو مشابه خواهد بود.ولی یکی برش منفی و دیگر برش مثبت انجام میدهد.با افزایش ولتاژ منبع $DC$ ،سطح برش افزایش می یابد تا جایی که دیگر برشی انجام نمیشود یعنی ولتاژ $DC$ از پیک ورودی بیشتر میشود.با تغییر پتانسیومتر،یک برش ثابت و دیگری تغییر میکند زیرا جهت ولتاژ $DC$ اعمال شده ثابت است.

**ج)برشگر دو طرفه با استفاده از دو دیود زنر**

مدار شکل ۵-۸ را روی تخته ازمایش ببندید و با افزایش ولتاژ متناوب ورودی،شکل موج را با موج ورودی مقایسه کنید.




شکل ۵-۸

دیده میشود کـه بـا تغییـر ولتـاژ متنـاوب منبـع تغذیـه،تا حـد معینـی در خروجی،مـوج متنـاوب داریـم.بـه ازای ولتـاژ معینـی در خروجی موج سر چـین شـده ایجـاد میشـود کـه در ایـن حالـت ولتـاژ اعمـال شـده بـا ولتـاژ شکسـت دیـود زنـر برابـر اسـت و بـا ازدیاد ولتاژ دامنه موج سرچین شده ثابت می ماند.

# آزمایش ۶

## چند برابر کننده ولتاژ

### هدف

بررسی مدارهای دو برابر کننده ولتاژ وآشنایی با مدار سه برابر کننده ولتاژ

### وسایل آزمایش

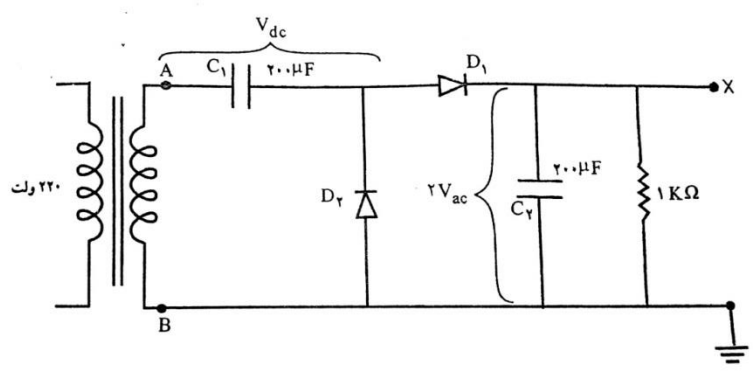
اسیلوسکوپ،مبدل $AC$ ۲۲۰به ۶ ولت:یک عدد،مولتی متر،تخته آزمایش،دیود $N$۴۰۰۲یا $N$ ۴۰۰۷ ۱:سه عدد، خازن $\mu f$۴۷۰سه عدد مقاومت، $K\Omega$ ۱۰ یا $K\Omega$ ۴,۷ یا$K\Omega$۵,۶ یک عدد و سیمهای رابط.

### مبانی نظری

مدارهای چند برابر کننده ولتاژ را میتوان یکسوساز هایی دانست که به صورت متوالی به یکدیگر بسته شده اند.به عبارت دیگر با استفاده از ترکیب متوالی دیودها و خازنهای صافی به صورت زیر می توان دو برابر کننده ولتاژ نیم موج یا تمام موج ساخت.

### الف)دو برابر کننده ولتاژ نیم موج

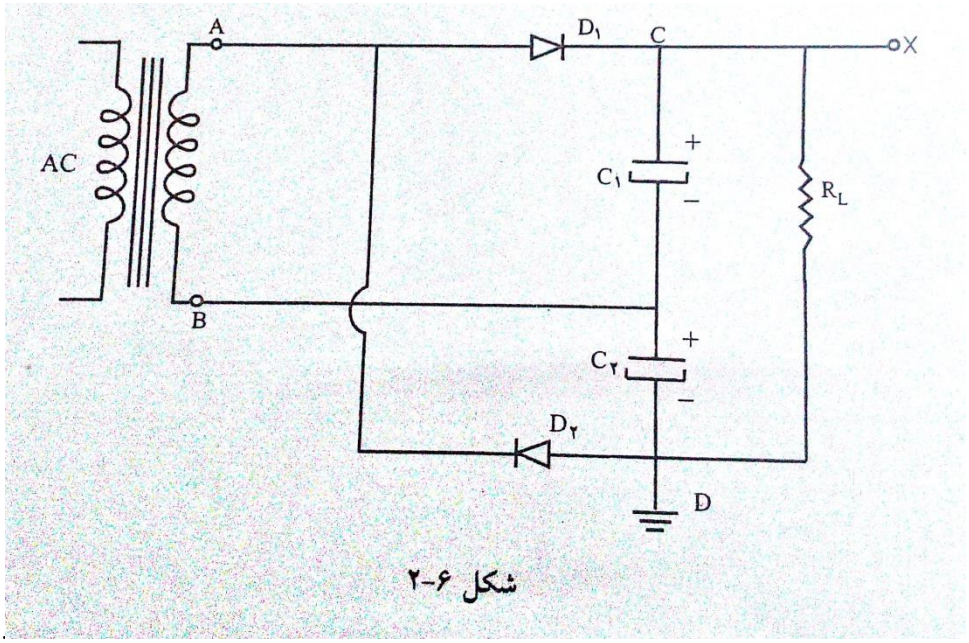
مطابق شکل ۶-۱ در یک نیم سیکل وقتی $A$ مثبت است،دیود $D_1$ هدایت می‌کند و خازن $C_1$ را تا ولتاژ $V_m$ شارژ میکند،در نیم سیکل بعد که دیود $D_2$ هدایت میکند خازن $C_1$ با کمک ولتاژ ورودی خازن $C_2$ را شارژ می کند و پس از چند سیکل خازن $C_2$ به ولتاژ در حدود $2V_m$ می رسد.




شکل ۶-۱

ب)دو برابر کننده ی ولتاژ تمام موج

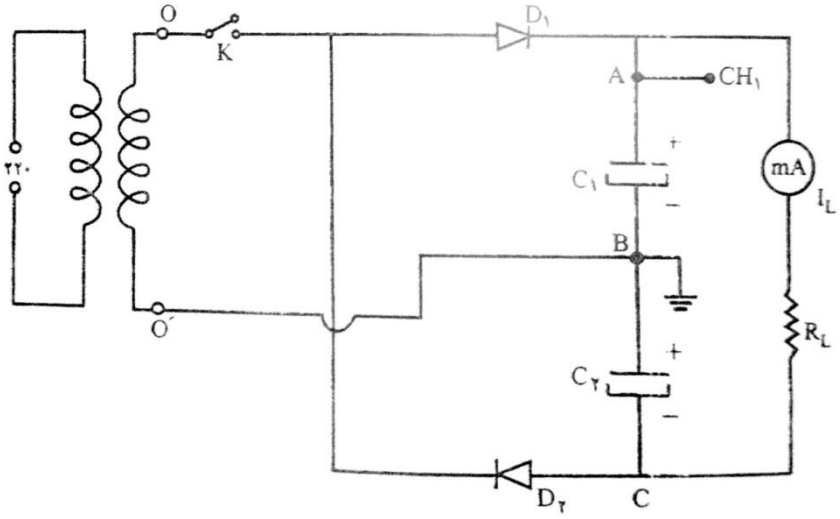
مطابق شکل ۶-۲در یک نیم سیکل وقتی نقطهA مثبت شود دیود$D_1$ هدایت میکند و خازن$C_1$ شارژ میشود.ولتاژDCدو سر این خازن در کاتد$D_1$ مثبت است.در نیم سیکل بعد وقتی نقطهA ودر نتیجه کاتد دیود$D_2$ منفی میشود،$D_2$ هدایت میکند و باعث پر شدن خازن$C_2$ میشود و ولتاژ DCدو سر خازن$C_2$ آند در$D_2$ منفی میشود و کل ولتاژDC خروجی از دو سر$C_1$ و$C_2$ که متوالی جلوه میکنند دریافت میشود ولذا $V_{DC_{(C,D)}} = ۲V_{AC_{(A,B)}}$خواهد بود



شکل ۶-۲

**روش آزمایش**

الف)باتوجه به عناصرداده شده،مدار شکل۶-۳را بر روی تخته آزمایش ببندید.



شکل ۶-۳

۱)پس از اتصال مدار جریان$I_L$ را اندازه بگیرید.

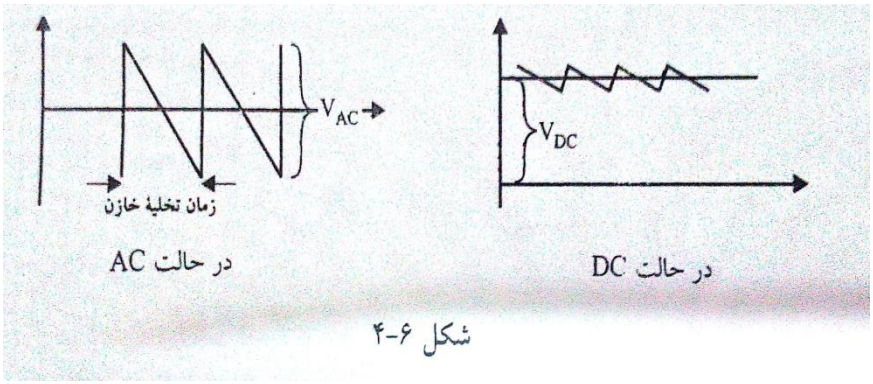
۲)با استفاده از چندگانه سنج(DC-V) ولتاژ دوسر$R_L$ را که همان$V_L$ است تعیین کنید.

۳)ولتاژهای دو سر خازن های$C_1$و$C_2$،($V_{1C}$,$V_{2C}$) راثبت کنید.

۴)ولتاژ بین دو نقطه A و Cرا به وسیله چندگانه سنج (DC-V)اندازه بگیرید وآن را با$V_{AC}$ ($V_{rms}$ ورودی بین دو نقطه O و'O)مقایسه کنید.مقدار$V_{DC}$ بین دو نقطه یA وCرا در دو حالت$R_L$= ۱۰ K Ω و$R_L$= ∞ نیز تعیین کنید.

۵)اسیلوسکوپ را به دو نقطه AوB وصل کنید(Bمتصل به زمین)وبسامد ضربان دو سر خازن$C_1$ را اندازه بگیرید و شکل موج تقریبی را رسم کنید.(شکل۶-۴)

$$r=\frac{Vac}{Vdc}$$



شکل ۶-۴

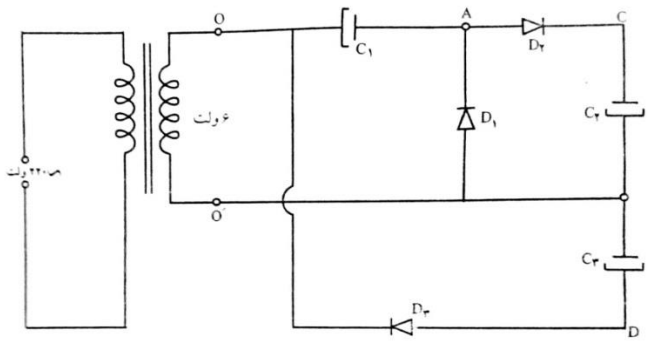
۶)اسیلوسکوپ را به دو نقطه یB وC(به زمین)اتصال داده ومقدار ضربان دو سر خازن$C_2$ را اندازه بگیرید وشکل موج مشاهده شده را رسم کنید.

۷) اسیلوسکوپ را به دو نقطه A وC(به زمین)وصل کنید ومقدار ضربان را به دست آورید وشکل موج مشاهده شده را رسم کنید.

۸)مقاومت۴٫۷ KΩ یا۵٫۶KΩ را با مقاومت۱۰ KΩموازی کنید و جریان مدار$I_L$ وولتاژ بار$V_L$ را اندازه گیری کنید.

ب)مدار سه برابر کننده ی ولتاژ(شکل۶-۵)را ببندید و درستی رابطه ی زیر را تحقیق کنید:

$$V_{DC_{(O,O')}} = \frac{1}{3} V_{DC_{(A,D)}}$$




شکل ۶-۵

# آزمایش۷

**تنظیم کننده ولتاژ**

**هدف**

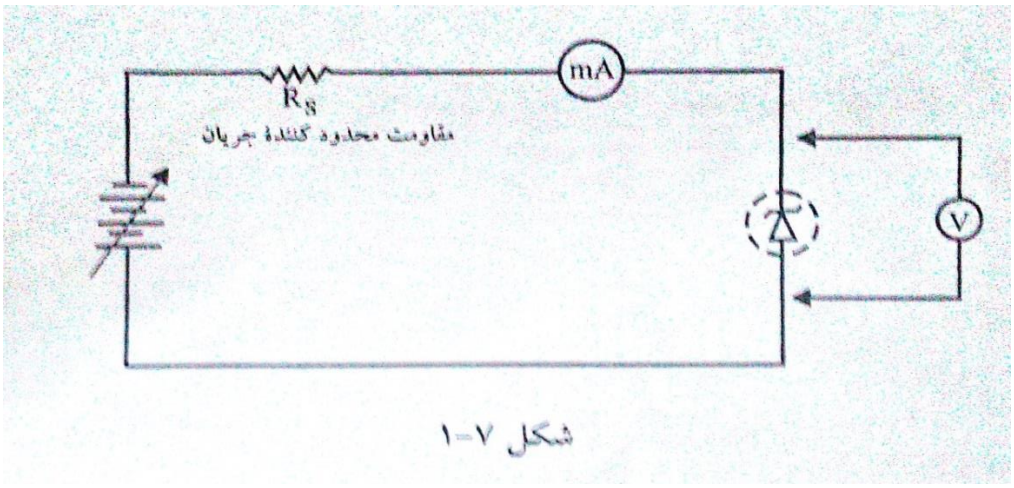
طراحی مدار تنظیم کننده با دیود زنر

**وسایل آزمایش**

مبدل با سروسط:یک عدد،مولتی متر:دوعدد،تختهٔ آزمایش،دیود۱N ۴۰۰۵: دوعدد،خازن۱۰۰۰μF(۱۶V ): یک عدد.مقاومتهای۴۲Ω ، ۱۰۰Ω،۲۲۰Ω،۴۷۰ KΩ،۱ KΩ،۴٫۷ KΩ ، ۱۰ KΩ پتانسیومتر۲٫۲ KΩ:یک عدد ،سیمهای رابط.

**مبانی نظری**

یکی از ساده ترین تنظیم کننده های ولتاژ دیود زنر است،یک دیود زنر،دیود ساده سیلیسیومی است که برای کار در ناحیه ی شکست ساخته شده است.هرگاه در مدار شکل۷-۱ولتاژ تغذیه را از صفر افزایش دهیم،ولتاژدوسر دیود افزایش می یابد.تا قبل از رسیدن به ولتاژ شکست،هیچ جریانی درجهت معکوس از دیود نمی گذرد،چنانچه ولتاژ معکوس دیود به اندازه کافی زیاد شود ناگهان دیود رسانا شده و وارد ناحیه ی شکست میشود

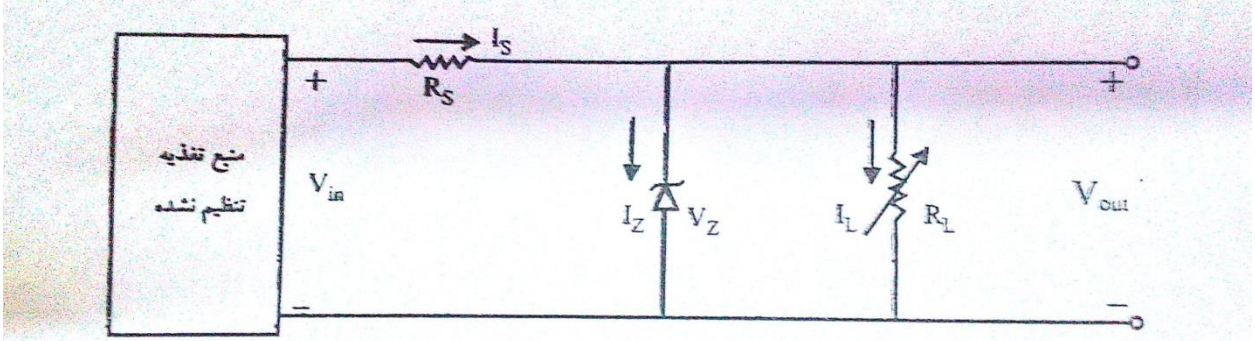


شکل ۷-۱

دیودهای زنر برای محدوده ی وسیعی از ولتاژ که از چند ولت آغاز و تا چند صدولت میرسد،ساخته میشوند و توان آنها میتواند۲۵۰ mw،۵۰۰ mw،۱ w،۱۰ w،۵۰ wوبیشتر باشد.

در یک مدار تنظیم کننده ی زنری مطابق شکل۷-۲ولتاژ خروجی یک منبع تغذیه ی تنظیم نشده به عنوان ولتاژ ورودی ($V_{in}$)به تنظیم کننده ی زنری وارد میشود.تا زمانی که $V_{in}$ از $V_Z$ بزرگتر است،دیود زنر در ناحیه ی شکست کار

میکنـــد.مقاومت محـــدود کننـــده ی متـــوالی$R_s$ از افـــزایش جریـــان زنـــر بـــه بـــیش از حـــداکثر مجـــاز $I_{zm}$ جلـــوگیری میکنـــد




شکل ۷-۲

با تقریب ایـده آل دیـود زنـر ماننـد یـک بـاتری عمـل میکنـد و بنـابراین ولتـاژ دوسـر مقاومـت بـار ثابـت مـی مانـد.مثلا فـرض کنیـد ولتـاژ خروجـی یـک منبـع تغذیـه ی تنظـیم نشـده تغییـر کنـد.تازمانی کـه ولتـاژ از ولتـاژ شکسـت زنـر بیشـتر اسـت،دیود زنـر در ناحیه ی شکست کار میکند و ولتاژ دوسر مقاومت بار ثابت باقی می ماند.

روابط بنیادی

جریانی که از مقاومت محدود کننده ی متوالی$R_s$ میگذرد،عبارت است از:

$$I_s = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_s}$$

این جریان وقتی به گره اتصال دیود زنر ومقاومت بار$R_L$ می رسد،به دو جریان تقسیم میشود وداریم:

$$I_s = I_z + I_L$$

با چشم پوشی از امپدانس ناچیز زنر داریم:$V_{out} \approx V_Z$ وهمچنین $I_L = \frac{V_{OUT}}{R_L}$

بـرای اینکـه یـک تنظـیم کننـده ی زنـری ولتـاژ خروجـی را ثابـت نگـه دارد بایسـتی دیـود زنـر در تمـام شـرایط کـار در ناحیـه ی شکسـت بـاقی بماند.بـه عبـارت دیگـر ولتـاژ منبـع و جریـان در مقاومـت بـار($I_L$)هرچقـدر باشـند،جریان دیـود زنـر نبایـد از حـد معینی پایین تر بیاید.

بدترین حالت وقتی اسـت کـه ولتـاژ منبـع کمینـه وجریـان بـار بیشـینه باشـد،یعنی جریـان زنـر بـه مقـدار کمینـه ای برسـد.بنابراین میتوانیم بیشترین مقدار مجاز مقاومت محدوده کننده $R_{s(max)}$ را از رابطه ی زیر به دست آوریم:

$$R_{s(max)} = \frac{V_{in(min)} - V_{out}}{I_s}$$

کـه در آن $V_{in(min)}$ کمتـرین مقـدار ممکـن بـرای ولتـاژ منبـع و $V_{out}$ ولتـاژ شکسـت زنـر( $V_Z$) و چـون $I_s = I_Z + I_L$ است،بنابراین

$$R_s = \frac{V_{in} - V_Z}{I_z + I_L}$$

که $V_{out} \approx V_Z$ واز طرفی داریم:

$$I_{z(min)}=I_s - I_{L(\max)} \quad (۱)$$
$$I_{z(max)}=I_s - I_{L(\min)} \quad (۲)$$

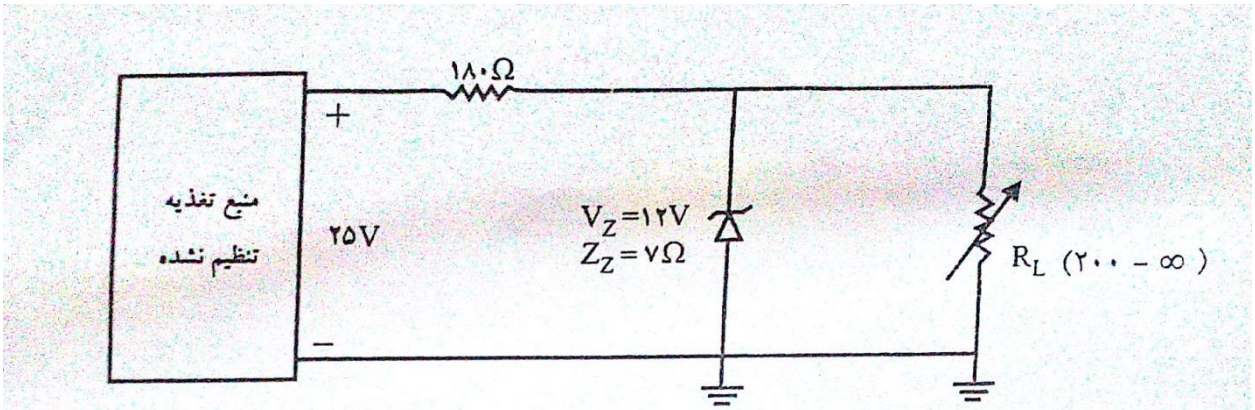
از رابطه (۱)نتیجه میشود،

$$R_s = \frac{V_{in(\min)} - V_Z}{I_{L(max)} + I_{z(min)}}$$

همچنین،

$P_{s(max)} = R_s I_{s(max)}^2$ و $P_{z(max)} = V_z I_{z(max)}$ بوده و در صورتی که $R_L \to \infty$ میل کند $I_{S(max)} = I_{z(max)}$ است.

مثال: درشکل۷-۳جریان عبوری از مقاومت محدود کننده ی متوالی وکمینه وبیشینه ی جریان بار وکمینه وبیشینه ی جریان زنر را به دست آورید.



شکل ۷-۳

حل:

$$I_s=\frac{۲۵-۱۲}{۱۸۰} = ۷۲mA$$

اگر $R_L \to \infty$ درنتیجه

$$I_{L(max)} = \frac{۱۲}{۲۰۰} = ۶۰\ mA$$

$$I_{Z(max)} = ۷۲\text{-}۰ = ۷۲\ mA$$

$$I_{Z(min)} = ۷۲\text{-}۶۰ = ۱۲\ mA$$

بنابراین جریان در مقاومت محدودکننده ی($I_S$)مقداری ثابت و مساوی ۷۲ mA میباشد.

وقتی جریان بار ازصفرتا ۶۰ mA تغییر میکند،جریان زنر از۷۲ mA به۱۲ mA افت میکند تا در نتیجه جریان کل ثابت بماند.این عمل برای تنظیم کننده ی زنری مطلوب است.

همچنین داریم:

$$V_{out} = \mathrm{V}_Z + I_{\mathrm{Z(min)}}\mathrm{Z}_z = ۱۲ + (٪۱۲)(۷) \approx ۱۲,۱\mathrm{V}$$

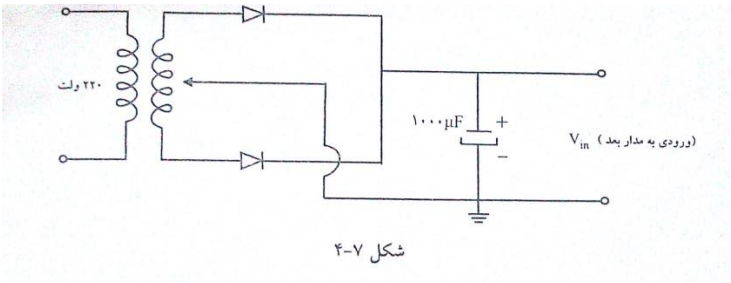
$$V_{out} = \mathrm{V}_Z + I_{\mathrm{Z(max)}}\mathrm{Z}_z = ۱۲ + (\%۷۲)(۷) \approx ۱۲,۵\mathrm{V}$$

مشاهده می کنیم که تغییرات خروجی بسیار کم است.همچنین داریم

$$V_{in(max)} = V_{in} + ٪۱۰V_{in} \quad (۳)$$
$$V_{in(min)} = V_{in} - ٪۱۰V_{in} \quad (۴)$$

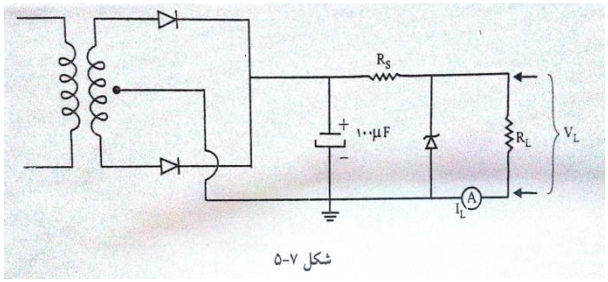
**روش آزمایش**

الف)ابتدا مدار شکل۷-۴را ببندیدو ولتاژ دو سرخازن را با چندگانه سنج DC اندازه بگیرید این ولتاژ همان $\mathrm{V_{in}}$ است



شکل ۷-۴

از دو رابطه(۳)و(۴)مقادیر $\mathrm{v_{in(min)}}$ و $\mathrm{v_{in(max)}}$ را به دست آورید وسپس از عبارت$R_S = \frac{\mathrm{V_{in(min)}} - \mathrm{V_Z}}{\mathrm{I_{L(max)}} + \mathrm{I_{Z(min)}}}$ با قرار دادن $\mathrm{v_{in(min)}}$ مقدار $\mathrm{R_S}$ را به ازای دو حد بالا و پایین برای $(1\mathrm{mA} < \mathrm{I_Z} < 5\mathrm{mA})$ به دست آورید.ضمنا $\mathrm{I_{L(max)}}=۵۰\mathrm{mA}$,$\mathrm{V_Z}=۶\mathrm{V}$ پس از تعیین بیشترین مقدار مجاز $\mathrm{R_S}$ به روش فوق،این مقاومت یا نزدیکترین مقاومت موجود به آن را به صورت شکل۷-۵در مدار بالا قرار دهید



شکل ۷-۵

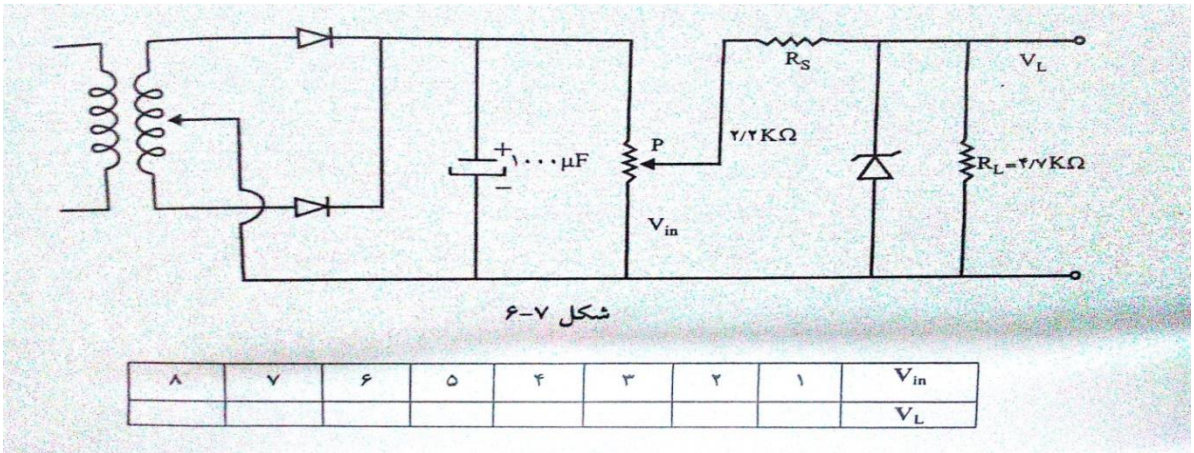
آنگاه مطابق جدول مقاومتهای مختلفی را که در دسترس دارید تک تک به جای $\mathrm{R_L}$ در مدار قرار دهید وولتاژ دو سر مقاومت($\mathrm{V_L}$)وجریان بار($\mathrm{I_L}$)را در هر حالت اندازه بگیرید وباتکمیل جدول اثر تثبیت کنندگی دیود زنر را بر روی ولتاژ خروجی $\mathrm{V_L}$ تحقیق کنید.

| ۱۰KΩ | ۴٫۷KΩ | ۱KΩ | ۴۷۰Ω | ۲۲۰Ω | ۱۰۰Ω | ۰ | $R_L$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | $I_L$ |
| | | | | | | | $V_L$ |

باتوجه به جدول فوق حوزه ی تثبیت ولتاژ بار مدار چقدر است؟

ب)مطالعه اثر تغییرات ولتاژ ورودی در خروجی مدار:

مدار شکل ۷-۶را ببندید وبرای $V_{in}$ از ۱الی۸ولت برای دیودی با ولتاژشکست ۲٫۶ولت مقادیر $V_L$ را به دست آورید و در جدول زیر ثبت کنید.




شکل ۷-۶

| ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | $V_{in}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | $V_L$ |

مشاهده می شود که از ولتاژی بیش از ولتاژ شکست دیود به بعد،خروجی ثابت می ماند و در ولتاژهای کمتر از $V_Z$ چون از دیود جریانی نمیگذرد ولتاژ خروجی افزایش می یابد.

# آزمایش۸

**ترانزیستور**

**هدف**

آشنایی با ترانزیستور وتشخیص نوع وپایه های آن ونیز رسم مشخصه های ترانزیستور در مدار امیتر مشترک.

**وسایل آزمایش**

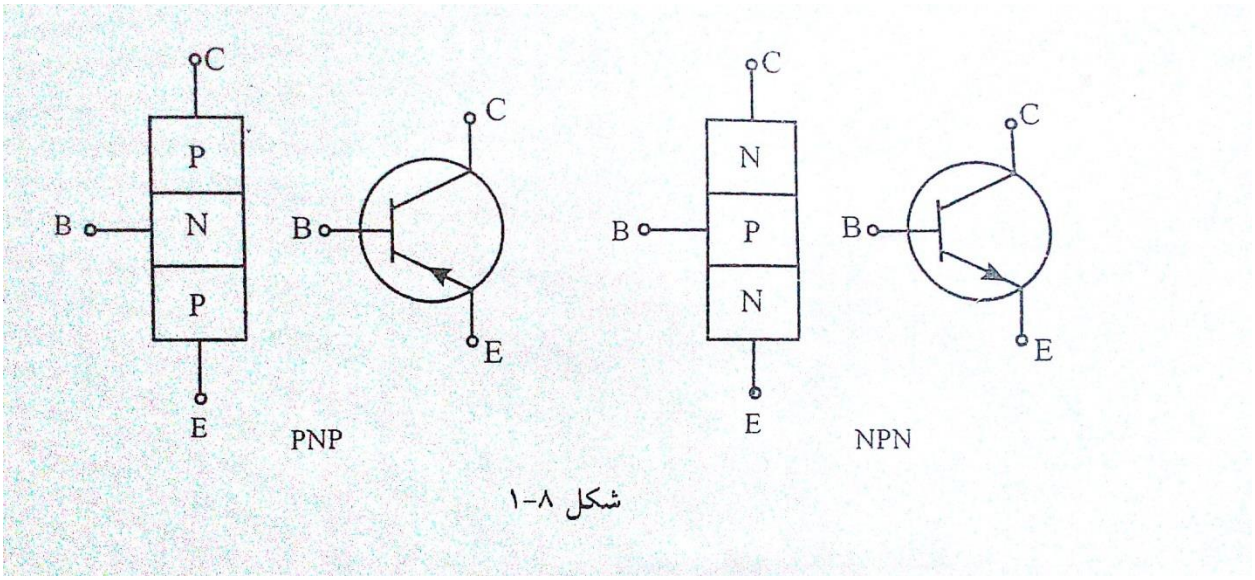
منبع تغذیه:دو دستگاه،چندگانه سنج رقمی:دوعدد،ترانزیستورBC۱۰۷،و سه ترانزیستور دیگر،مقاومتهای ۴۷۰Ω،۱KΩ ،پتانسیومترهای۱MΩ ،۵ KΩ ر۲وسیمهای رابط.

مبانی نظری

یکی از قطعات الکترونیکی که از اهمیت زیادی در سیستمهای رادیو وتلویزیون،مخابرات وکامپیوتر دارد ترانزیستور است.برای مثال از ترانزیستوردر تقویت کننده ها،نوسان سازها،مخلوط کننده هاوآشکارسازها استفاده میشود.

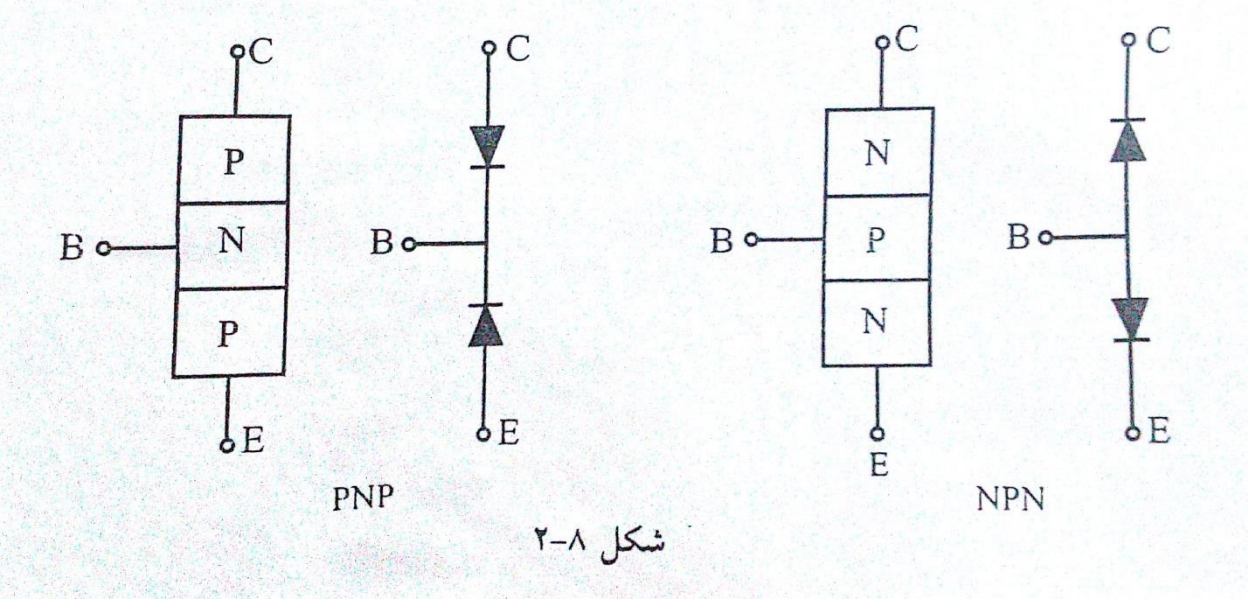
ترانزیستور از سه قطعه نیمه رسانای نوع NوPکه به صورت نمادین به دنبال یکدیگر قرار گرفته اند تشکیل شده است.شکل۸-۱دونوع ترانزیستورPNPیا نوع مثبت وNPNیانوع منفی را نشان می دهند.

باتوجه به اصول کار ترانزیستور که شرح داده میشود،پایه ای که با B مشخص شده است را بیس می نامند.بیس(پایه)نقش کنترل تعداد حاملها(الکترونها وحفره ها)را دارد پایه ای که با C مشخص شده است کلکتور نام دارد که به معنی جمع کننده است وگیرنده ی حاملهاست.پایه ای که با E مشخص شده است امیتر است که به معنی پخش کننده بوده ودهنده ی حاملهاست.



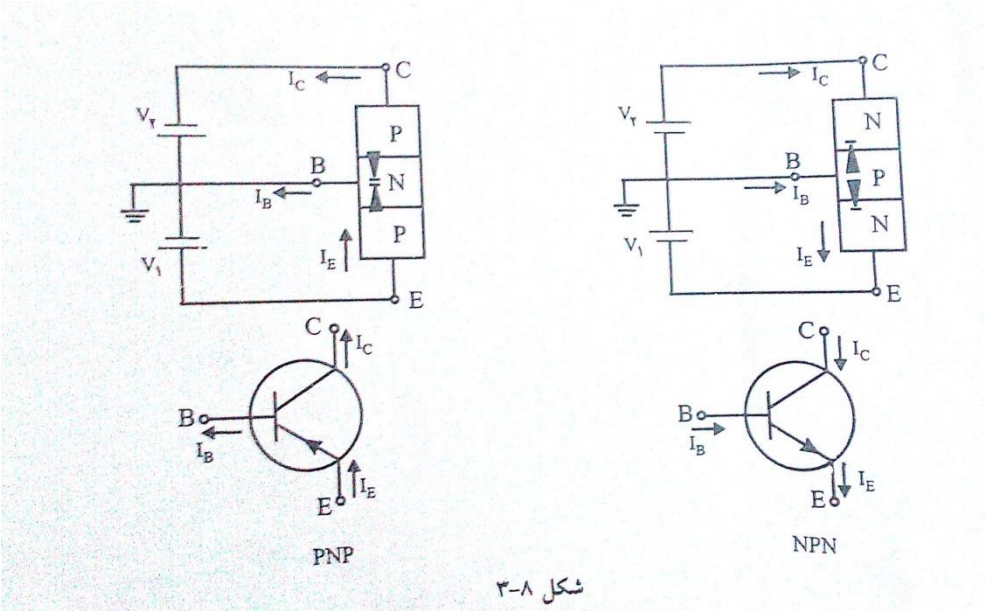
شکل ۸-۱

با توجه به اینکه ترانزیستور از سه نیمه رسانا تشکیل شده است،میتوان آن را مشابه دو دیود متوالی که در جهت عکس هم بسته شده اندفرض کرد که به آن مدل دیودی ترانزیستور میگویند.این معادل سازی در شرایط ایستا کاربرد دارد،لیکن بایستی متذکر شد که در عمل نمی توان با استفاده از دو دیود ترانزیستور ساخت.



شکل ۸-۲

برای کار یک ترانزیستور در ناحیه ی فعال بایستی پیوند بیس-امیتر بطور مستقیم وپیوند بیس-کلکتور بطور معکوس تغذیه شوند.در شکل۸-۳هردونوع ترانزیستور در مدار بیس مشترک نشان داده شده است



شکل ۸-۳

برای مثال اگر ترانزیستوری از نوع NPN را در نظر بگیریم،وقتی پیوند E-B به وسیله ی ولتاژ $V_1$ در گرایش مستقیم قرار بگیرد،رسانا شده وجریانی از بیس وارد امیتر میشود.یا اینکه الکترونها از امیتر وارد بیس میشوند،ولی چون ولتاژ پایه ی کلکتور مثبت است(Cبه قطب مثبت $V_2$ متصل است)وقتی که الکترونها می خواهند وارد بیس شوندبا یک قطب مثبت قوی مواجه میشوند وبخش بزرگی از آنها به سمت کلکتور کشیده میشوند وسپس از کلکتور خارج شده و به قطب مثبت باتری $V_2$ رفته از منفی آن خارج میشوند وبه قطب مثبت $V_1$ میروند.باتوجه به جهت جریان قراردادی مثل این است که جریانی در مدار خارجی یعنی باتری $V_2$،کلکتور،امیتروباتری $V_1$ برقرار شده باشد.بنابراین میتوان گفت عبور جریان در بیس-امیتر،باعث کشیده شدن جریانی از کلکتور به امیتر میشود.با توجه به شکل های فوق واینکه مجموع جریانهای

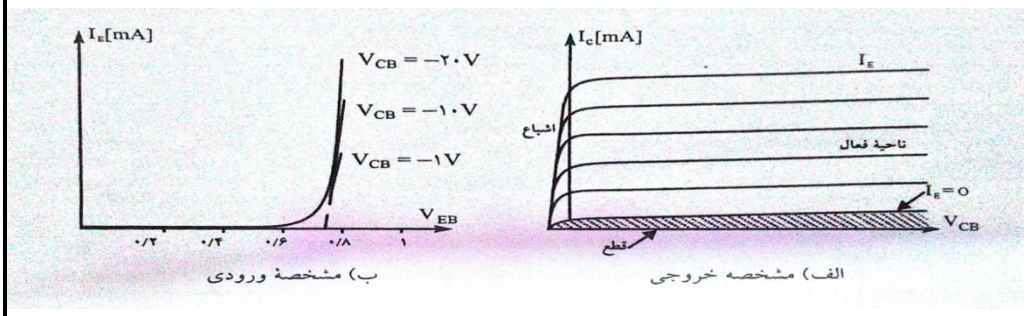
ورودی یک ترانزیستور با کل جریانهای خروجی از آن باید برابر باشد،به این نتیجه میرسیم که برای هر دونوع ترانزیستور جمع جبری جریانهای ورودی وخروجی برابر صفر است.یعنی: $I_E+I_C+I_B=0$

ازطرفی اگر جریانی از بیس تزریق شود و از کالکتور خارج شود،برای جریانی که از کالکتور میگذرد از نقطه نظر ریاضی میتوان نوشت: $-I_C=\alpha I_E$ یا $|\alpha| = \frac{I_C}{I_E}$

که مقدار $\alpha$ معمولا کمتر از واحد است(حدود۰ر۹۸)و یکی از ویژگی های هر ترانزیستور است ومقدار آن به ازای تمام مقادیر $I_E$و $I_C$ ثابت نیست و تنها در ناحیه ی خاصی به نام ناحیه ی کار ترانزیستور تقریبا ثابت است.البته به علت اینکه پیوند کلکتور-بیس بطور معکوس به ولتاژ متصل است،جریان اشباع معکوس که در دیود نیز وجود دارد در اینجا به وجود می آیدوخلاف جهت جریان تزریقی خواهد که آن را با $I_{CBO}$ نشان می دهیم.

بنابراین جریان کلکتور عبارت است از $I_C = -\alpha I_E+I_{CBO}$

در حالت بیس مشترک(شکلهای قبل)منحنی تغییرات برحسب $V_{CB}$ به ازای مقادیر ثابت $I_E$ مشخصه ی خروجی ترانزیستور نامیده میشود.در این حالت همان مقدار جریان که از امیتر وارد شده به اندازه ی $\alpha I_E$ وارد کلکتور میشود.

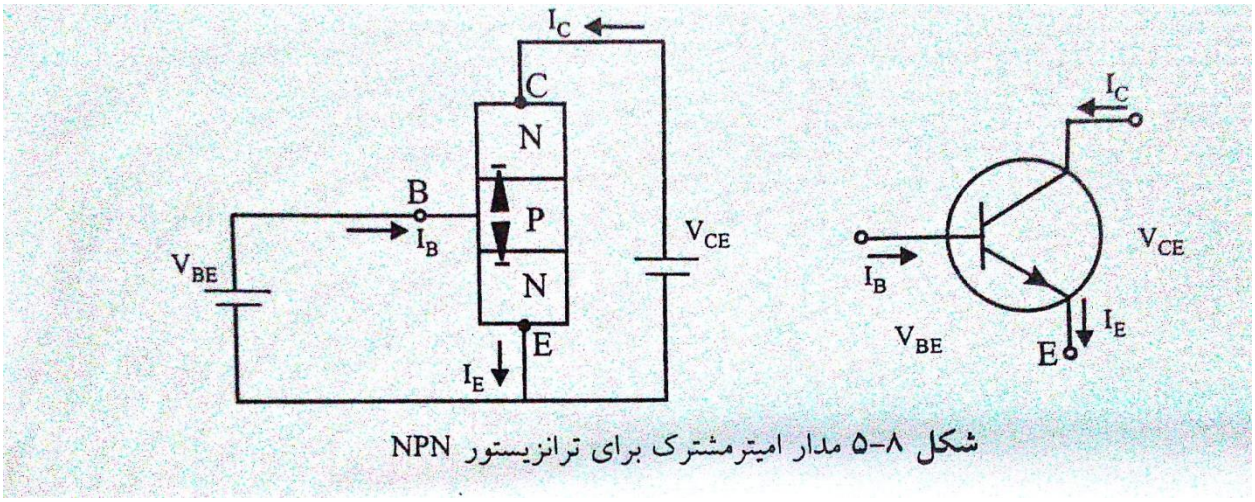



اکنون اگر ترانزیستور را به این ترتیب در نظر بگیریم که از بیس جریانی تزریق شود،جریان بین کلکتور وامیتر برقرار میشود.اگر $-I_C=\alpha I_E$ ترانزیستور را به صورت یک گره در نظر بگیریم،داریم $I_B+I_E+I_C=0$ از دو رابطه اخیر خواهیم داشت:

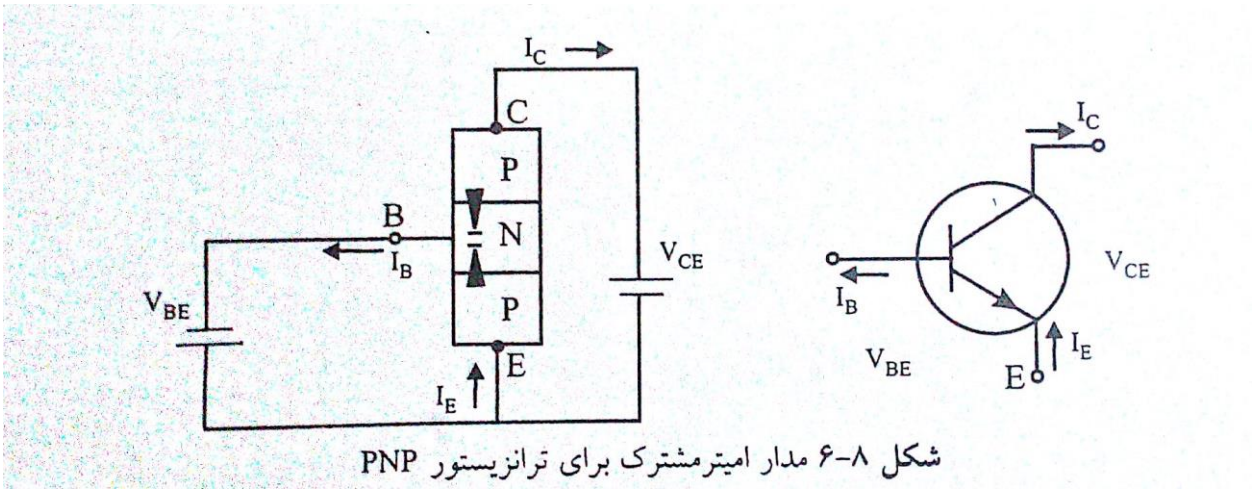
$$I_C=\left(\frac{\alpha}{I-\alpha}\right) I_b \rightarrow \frac{I_c}{I_b} = \frac{\alpha}{I-\alpha}$$

مقدار $\frac{\alpha}{I-\alpha}$ را با$\beta$ نشان میدهیم وآن را ضریب تقویت جریان می‌نامیم که کمیت نسبتا بزرگی است. به عنوان مثال برای $\alpha$=۰/۰۹۸ مقدار $\beta$برابر ۵۰ می شود.

در حالت امیتر مشترک (شکلهای زیر)،منحنی تغییرات $I_C$ نسبت به $V_{EC}$ به ازای مقادیر $I_B$ ،منحنی مشخصه ی خروجی ترانزیستور نامیده میشود.مقدار$\beta$ نیز به ازای مقادیر $I_C$ و $I_B$ فقط در ناحیه ی خاصی به نام ناحیه ی کار ترانزیستور ثابت است.




شکل ۸-۵ مدار امیترمشترک برای ترانزیستور NPN




شکل ۸-۶ مدار امیترمشترک برای ترانزیستور PNP

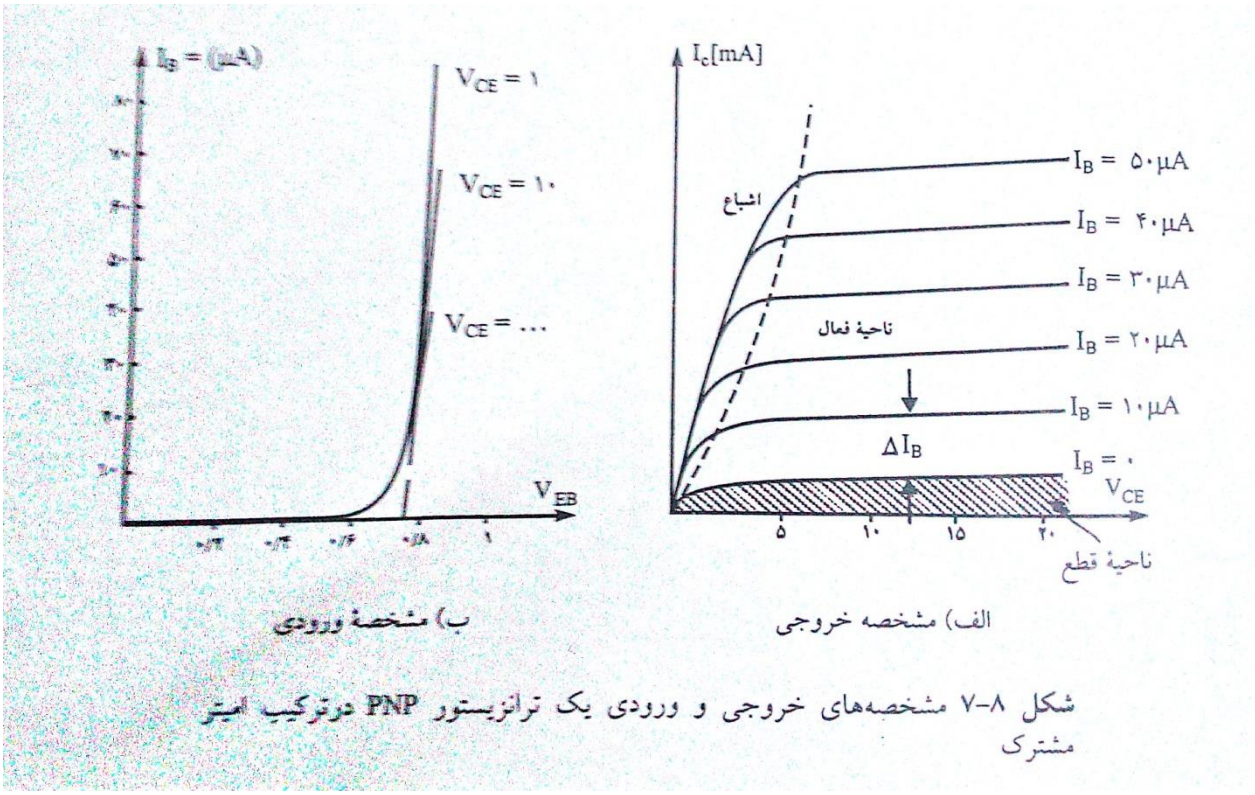
شکل بندی ترانزیستور ها با توجه به موارد استفاده به صورتهای زیر است:

الف)بیس مشترک که در آن بیس سر مشترک ورودی وخروجی است.

ب)امیتر مشترک که امیتر سر مشترک ورودی وخروجی است.

ج)کلکتور مشترک که کلکتور سر مشترک ورودی وخروجی است.

منحنی های ورودی وخروجی ترانزیستورها در حالت امیتر مشترک به صورت شکل۸-۷است:




شکل ۸-۷ مشخصه‌های خروجی و ورودی یک ترانزیستور PNP درترکیب امیتر مشترک

ضرایب α وBدر حالت کلی به صورت زیر تعریف میشوند:

$$\beta = \frac{Ic}{I_B}|V_{CE} = \text{ثابت}$$

یا

$$\beta = \frac{\Delta Ic}{\Delta I_B}|V_{CE} = \text{ثابت}$$

و

$$\alpha = \frac{Ic}{I_E}|V_{BC} = \text{ثابت}$$

یا

$$\alpha = \frac{\Delta Ic}{\Delta I_E}|V_{BE} = \text{ثابت}$$

نواحی مختلف در مشخصه ی خروجی ترانزیستور عبارت اند از:

۱)ناحیه ی قطع:در این ناحیه هر دودیود اتصال در حالت قطع بوده وجریان کلکتور فقط جریان اشباع کلکتور-بیس است($I_{CBO}$)وجریان امیتر کوچک یا مساوی صفر است.

۲)ناحیه ی فعال:در این ناحیه ی اتصال B-E درحالت هدایت بوده واتصالB-C درگرایش معکوس است.درنتیجه جریان کلکتور وابستگی کمی به ولتاژB-C داردوجریان کلکتور تقریبا تابعی خطی از جریان ورودی امیتر است.لذا این ناحیه را ناحیه ی فعال یاناحیه ی خطی مشخصه ی خروجی می گویند.

۳)ناحیه ی اشباع:در این ناحیه هر دو اتصال امیتر-بیس و امیتر-کلکتور درحالت هدایت هستند.در این ناحیه جریان کلکتور به شدت تحت تاثیر ولتاژمستقیمB-C بوده وافزایش کمی درولتاژ مثبت کلکتور-بیس،کاهش زیادی در جریان کلکتور به دنبال دارد.

باتوجه به اینکه $V_{CB}=V_{BE}+V_{CE}$ است،در نتیجه اگر $V_{BE} > V_{CE}$ باشد،اتصال CB در گرایش مستقیم بوده و $I_C$به شدت کاهش می یابد.

تشخیص پایه های ترانزیستور

پایه های ترانزیستور را معمولا با توجه به علائم روی ترانزیستور یا کاتالوگ مربوط به آن تعیین می کنند ولی روش زیر نیز تاحدودی میتواند در تشخیص آنها موثر باشد.

هرگاه مقاومت بین دو پایه درهر جهت(مستقیم یا معکوس)زیاد باشد،در این صورت پایه ی سوم،بیس است. زیرا بین دو پایه یC وE همیشه یکی از دیودها درحالت معکوس قرار دارد ومقاومت سر راه آن زیاد است.

مقاومت،اندازه گیری شده بین پایه هایB وC یاB وE دریک جهت کم و در جهت دیگر زیاد است.زیرا درهر حالت یک دیود سر راه است که از یک جهت مستقیم وازجهت دیگر معکوس تغذیه می شود.

اگر بدنه ی ترانزیستور فلزی باشد،در این صورت کلکتور از داخل به بدنه متصل است.پس در این نوع ترانزیستور پایه ی C مقاومتش با بدنه صفر است.در برخی ترانزیستورها نزدیک به پایه ی امیتر زائده ای قرار دارد.

**در دیودهای ژرمانیوم** مقاومت سنج را روی درجه ی زیاد قرار داده ودو سر آن را به دو پایه ی E وC اتصال می دهیم،در جهتی که دستگاه مقدار کمتری نشان میدهد،در ترانزیستورPNP قطب مثبت،پایه یC و در ترانزیستورNPN قطب مثبت،پایه یE است.

**در دیودهای سیلیسیومی**

**الف)** مقاومت سنج را روی R×۱۰k قرار داده و با توجه به نمایش دیودی ترانزیستورها مقاومت معکوس بین B و C ویکبار بین B و E را اندازه میگیریم که در حالت دوم مقاومت کمتر است،زیرا ولتاژ معکوس دیود B-E در حدود ۶ولت وارد ناحیهء شکست می شود ولی ولتاژ معکوس B-C ولتاژ خیلی بیشتری را تحمل می کند.

**ب)**با مقاومت سنج رقمی مقاومت دیود B-E در جهت مستقیم بیشتر از مقاومت B-C است.

**تشخیص نوع ترانزیستور**

برای تشخیص نوع ترانزیستور،هرگاه سیم منفی مقاومت را به bو سیم مثبت آن را به یکی از پایه های دیگر ( CیاE) اتصال دهیم ، اگر مقاومت نشان داده شده زیاد باشد ،ترانزیستور PNP است.

روش نامگذاری ترانزیستور ها

استاندارد آمریکایی: با ۲N شروع میشود و پس از آن سه یا چهار رقم می آید ، مثلاً ۲N۳۰۵۵ ، ۲N۸۲۲

استاندارد ژاپنی : با ۲S شروع می شود و پس از آن یک حرف می آید که نوع و بسامد ترانزیستور را مشخص می کند مثلاً در ترانزیستور PNP حرف A بعد از ۲S مشخص کنندهٔ بسامد بالا و حرف B مشخص کنندهٔ بسامد پایین است. در ترانزیستور NPN حرف C بعد از ۲S مشخص کنندهٔ بسامد بالا و حرف D مشخص کنندهٔ بسامد پایین است.پس از این حرف یک عدد سه رقمی یا چهار رقمی می آید : ۲SA۱۰۱۵ ، ۲SB۵۵۷ ، ۲SC۱۰۵۳، ۲SA۱۰۱۵، ۲SD۲۲۶

معمولاً در این ترانزیستور ها پیشوند ۲S را روی ترانزیستور نمیدهند و بقیه حرف و اعداد نوشته می شوند ، مثلاً منظور از D۲۶۶ همان ۲SD۲۶۶ است.

استاندارد اروپایی: قبلاً با دو حرف OC یا OD شروع میشد و سه رقم پیش از آن می آمد مثل OC۱۳۹ یا OD۶۰۳ ، امروزه با دو حرف و سه رقم برای مصارف عمومی زیاد و یا با سه حرف و دو رقم برای مصارف حرفه ای زیاد استفاده می شود. به هر حال در استاندارد اروپایی جدید ، حرف اول مشخص کنندهٔ جنس و حرف دوم مشخص کنندهٔ نوع نیمه رسانا است.

| مثال | حروف دوم | | حرف اول | |
|---|---|---|---|---|
| BA۱۴۸ | دیود معمولی | A | ژرمانیوم | A |
| BB۱۰۵ | دیود خازنی | B | سیلیسیوم | B |
| AC۱۲۸ | ترانزیستور کم قدرت، بسامد پایین | C | گالیوم، آرسینید | C |
| AD۱۴۹ | ترانزیستور قدرت، بسامد پایین | D | ایندیم، آنتیموان | D |
| AEY۱۸ | دیود تونلی | E | عنصر حساس به نور | R |
| BF۱۹۹ | ترانزیستور کم قدرت، بسامد بالا | F | | |
| BLX۱۳ | ترانزیستور قدرت، بسامد بالا | L | | |
| BPX۳۹ | نیمه رسانای حساس به نور | P | | |
| CQY۱۱ | نیمه رسانای تولیدکننده نور | Q | | |
| ASY۲۶ | ترانزیستور کلیدی معمولی | S | | |
| BUY۷۱ | ترانزیستور کلیدی قدرت | U | | |
| BXY۲۹ | دیود چند برابرکننده بسامد | X | | |
| BY۱۷۹ | دیود یکسوسازی قدرت | Y | | |
| BZX۷۹ | دیود زنر | Z | | |

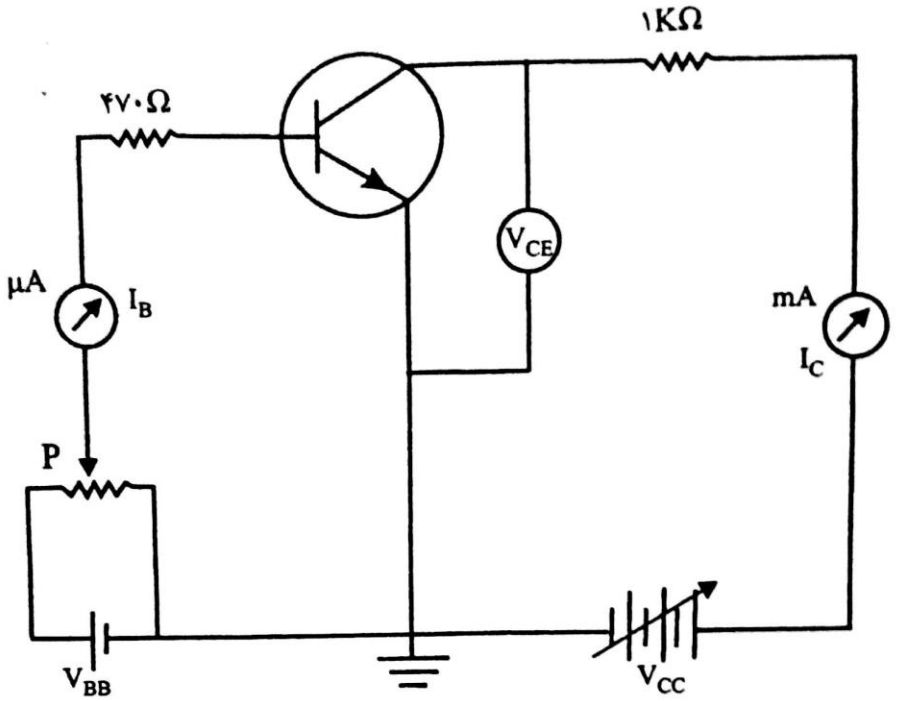
**روش آزمایش**

الف) نوع و پایه های چهار ترانزیستوری را که در اختیار دارید تعیین و سپس جدول زیر را کامل کنید.

| ترانزیستور | | | | |
|---|---|---|---|---|
| نوع ترانزیستور | | | | |

ب) تعیین مشخصهٔ ترانزیستور در مدار امیتر مشترک

مداری مطابق شکل ۸-۸ ببندید با چرخش پتانسیومتر P برای $I_B$ جریانهای مختلفی حاصل می شود.آنگاه با تغییر $V_{CC}$ولتاژ های مختلف$V_{CE}$ را اندازه بگیرید . با استفاده از دو میلی آمپر متر جریانهای $I_B$ و $I_C$ را اندازه بگیرید و به کمک ولتاز سنج $V_{CE}$تعیین کنید و پس از کامل کردن جدول مربوطه ، مشخصهٔ خروجی ترانزیستور را رو ی کاغذ میلی متری رسم کنید.




شکل ۸-۸

| $I_B = ۰\mu A$ | | $I_B = ۵\mu A$ | | $I_B = ۱۰\mu A$ | | $I_B = ۱۵\mu A$ | | $I_B = ۲۰\mu A$ | | $I_B = ۲۵\mu A$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $V_{CE}$ | $I_C$ | $V_{CE}$ | $I_C$ | $V_{CE}$ | $I_C$ | $V_{CE}$ | $I_C$ | $V_{CE}$ | $I_C$ | $V_{CE}$ | $I_C$ |
| ۱۰ | | ۱۰ | | ۱۰ | | ۱۰ | | ۱۰ | | ۱۰ | |
| ۸ | | ۸ | | ۸ | | ۸ | | ۸ | | ۸ | |
| ۶ | | ۶ | | ۶ | | ۶ | | ۶ | | ۶ | |
| ۴ | | ۴ | | ۴ | | ۴ | | ۴ | | ۴ | |
| ۲ | | ۲ | | ۲ | | ۲ | | ۲ | | ۲ | |
| ۱٫۵ | | ۱٫۵ | | ۱٫۵ | | ۱٫۵ | | ۱٫۵ | | ۱٫۵ | |
| ۱ | | ۱ | | ۱ | | ۱ | | ۱ | | ۱ | |
| ۰٫۵ | | ۰٫۵ | | ۰٫۵ | | ۰٫۵ | | ۰٫۵ | | ۰٫۵ | |
| ۰ | | ۰ | | ۰ | | ۰ | | ۰ | | ۰ | |

از روی نمودار مشخصهٔ خروجی ، $\beta$را به دست آورید و از روی $\beta$ مقدار $\alpha$را تعیین کنید.

برای رسم مشخصهٔ ورودی ترانزیستور امیتر مشترک مدار قبل، با تغییر $V_{BB}$و ایجاد همان جریانهای$I_B$، به ازای ۶و۲و۰=$V_{CE}$ولت ، مقادیر $V_{BE}$را اندازه بگیرید و منحنی مشخصهٔ $I_B$ را برحسب $V_{BE}$برای $V_{CE}$ های مختلف رسم کنید.

| $V_{CE}$ =٠ | | $V_{CE}$ = ٢ | | $V_{CE}$ =٦ | |
|---|---|---|---|---|---|
| $I_B$ | $V_{BE}$ | $I_B$ | $V_{BE}$ | $I_B$ | $V_{BE}$ |
| ٠ | | ٠ | | ٠ | |
| ٥μA | | ٥μA | | ٥ μA | |
| ١٠μA | | ١٠μA | | ١٠ μA | |
| ١٥μA | | ١٥μA | | ١٥ μA | |
| ٢٠μA | | ٢٠μA | | ٢٠ μA | |
| ٢٥μA | | ٢٥μA | | ٢٥ μA | |

# آزمایش ۹

**تغذیه DC**

**هدف**

طراحی یک مدار خود تغذیه(تغذیهٔ سرخود)

**وسایل آزمایش**

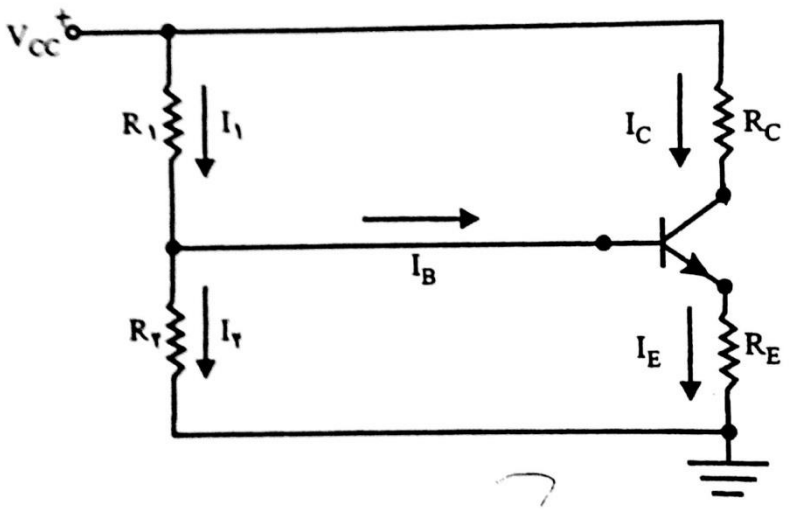
منبع تغذیهٔ جریان مستقیم، چندگانه سنج : دو عدد ، کاغذ میلی متری ، مقاومت های ۱KΩ،۲۲۰Ω ، ۸٫۲KΩ ، ۴۷KΩ ، پتانسیومتر ۱MΩ ، ترانزیستور BC۱۰۷ و سیمهای رابط.

مبانی نظری

در استفاده از یک ترانزیستور به عنوان یک تقویت کننده ابتدا باید یک نقطهٔ کار برای آن مشخص کنیم ، بنابراین باید ولتاژ ها و جریان های DC لازم را برای ترانزیستور فراهم کرد. به این عمل تغذیهٔ DC ترانزیستور یا به اصطلاح بایاسینگ ترانزیسیتور گفته می شود .

در بررسی کیفیت مدارهای تغذیهٔ ترانزیستور عمده ترین پارامتری که در نظر گرفته می شود پایداری نقطهٔ کار در قبال تغییرات فیزیکی محیط و عوامل دیگر است که از مهمترین این عوامل می توان اثر حرارت در تغییر $\beta$ را در نقطهٔ کار ترانزیستور نام برد. با توجه به عناصر متفاوت و متغیر دایمی ترانزیستور ، تغییرات زیادی در $I_{CBO}$ و $I_{BE}$ترانزیستور ها وجود دارد، بنابراین ترانزیستورها را به روشهای مختلفی می توان تغذیهٔ نمود. از جمله این روشها ، روش تغذیهٔ ثابت ، تغذیهٔ کلکتور به بیس و یا روش تغذیهٔ سرخود است ، که هر روش دارای معایب و مزایای مخصوص به خود است . در اینجا بهترین روش یعنی روش تغذیهٔ سر خود را مورد بررسی قرار میدهیم و مزایا و معایب دو روش دیگر را در انتهای این آزمایش در مورد ترانزیستور NPN شرح خواهیم داد.

در یک روش تغذیهٔ سرخود ، مطابق شکل ۹-۱ ولتاژ منبع تغذیه $V_{CC}$ به وسیله دو مقاومت $R_1$ و $R_2$ تقسیم و سر مشترک $R_1$ و $R_2$ به بیس ترانزیستور متصل می شود. در نتیجه ولتاژ بیس تقریباً ثابت و برابر افت دو سر مقاومت $R_2$ است.ضمناً مقاومت $R_E$ امیتر و قطب منفی باتری مشترکاً به زمین مدار وصل می شوند. در این مدار جریانی که از مقاومت $R_1$ می گذرد به دو قسمت تقسیم شده و به بیس و مقاومت $R_2$ وارد می شود.




شکل ۹-۱

در طراحی مقادیر $R_1$ و $R_2$ معمولاً طوری عمل می شود که جریان بیس نسبت به جریان عبوری از مقاومت $R_2$ کوچک و تقریباً قابل چشم پوشی باشد ، تا بتوان ولتاژ بیس را همواره ثابت در نظر گرفته و آن را از تقسیم ولتاژ منبع بین دو مقاومت $R_1$ و $R_2$ به شکل زیر به دست آورد:

$$(I_B \to 0 \Rightarrow I_2 \approx I_1) \qquad V_B = R_2 I_2 \text{ یا } R_2 I_1$$

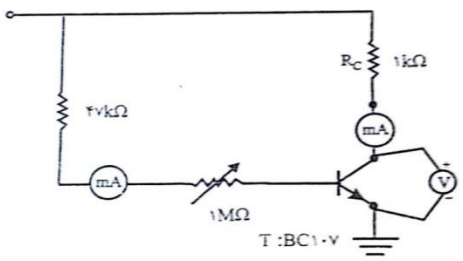
$$V_{CC} = (R_1 + R_2)I_1 \Rightarrow V_B = \frac{V_{CC} \times R_2}{R_1 + R_2}$$

معمولاًدر محاسبات ، مقدار جریان $I_1$ را نزدیک به ۱۰ برابر جریان بیس در نظر میگیرند.

فرض دیگری که در طراحی مدار تغذیهٔ سرخود صورت میگیرد این است که معمولاً $R_E$ را بین $\frac{1}{10}$ تا $\frac{1}{15}$ مقدار $R_C$ در نظر میگیرند. این مدار اگر چه نسبت به دو مدار تغذیهٔ ثابت و یا تغذیهٔ کلکتور به بیس ، کمی پیچیده تر است و در آن عناصر بیشتری به کار میرود ولی از نظر پایداری حرارتی بسیار خوب عمل می کند و بر دو نوع فوق ارجحیت دارد. علت پایداری این است که اگر فرض کنیم جریان $I_C$ به علت گرم شدن ترانزیستور خارج می شود و از مقاومت $R_E$ میگذرد ، افت ولتاژ در این مقاومت زیادتر شده و چون مقدار $V_B$ یعنی ولتاژ بیس ثابت است ($V_B = V_{BE} + R_E I_E$) ،در نتیجه ولتاژ $V_{BE}$ ترانزیستور کم شده باعث کاهش $I_B$ و سرانجام کاهش $I_C$ می شود . از نظر ضریب تقویت، در مدار تغذیهٔ سر خود به خاطره وجود مقاومت $R_E$ در مدار امیتر ترانزیستور ، ضریب تقویت کاهش میابد که این خود عیب بزرگی محسوب می شود . برای بر طرف کردن این عیب اغلب از یک خازن به موازات $R_E$ استفاده می شود که به آن خازن بای پاس میگویند و به این وسیله مقاومت $R_E$ عملاً در شرایط $AC$ اتصال کوتاه شده و باعث می شود افت زیادی در ضریب تقویت مدار ایجاد نشود.

**روش آزمایش**

الف)ابتدا مدار شکل ۲-۹ را بر روی تخته آزمایش ببندید. سپس جریان بیس را توسط پتانسیومتر طوری تنظیم کنید که ولتاژ $V_{CE}$ دارای مقادیر جدول زیر شود. با توجه به مقادیر جدول، $\beta$ را برای ترانزیستوری که در اختیار دارید اندازه گیری کنید.




شکل ۹-۲

| $V_{CE}$ | ۴V | ۵V | ۶V | ۷V | ۸V | ۹V |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $I_B$ | | | | | | |
| $I_C$ | | | | | | |
| $\beta$ | | | | | | |
| $\beta$ متوسط | | | | | | |

ب)حال منحنی تغییرات $I_C$ بر حسب $V_{CE}$را رسم کنید ودر همین دستگاه مختصات خط بار ترانزیستور را بکشید.

مقادیر $\beta$ ،$I_C$و $V_{CE}$را در نقطه کار مشخصی (که مثلاً در وسط خط بار قرار دارد) تعیین کنید و با استفاده از محاسبات زیر مقادیر $R_C$،$R_E$ ، $R_1$ و $R_2$ را به دست آورید ، آنگاه مدار زیر را طراحی کنید :

*محاسبات:* فرض کنید $\beta$=۱۰۰ و $V_{CC}$=۱۲V و برای یک نقطه کار $I_C$=۶mA، $V_{CE}$=۶Vباشد. برای طراحی یک مدار تغذیهٔ سرخود عناصر را به روش زیر محاسبه میکنیم :

$$R_C = 5R_E$$

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E \quad , I_E \sim I_C$$

اینک با قرار دادن مقادیر فرض شده برای نقطهٔ کار ، نتیجه می شود :

$$R_C = ۸۳۳\Omega \text{ ، } R_E = ۱۶۶٫۶\Omega$$

با انتخاب نزدیکترین مقادیر استاندارد برای مقاومتها یعنی

$$R_C = ۸۲۰\ \Omega \text{ ، } R_E = ۱۸۰\Omega$$

خواهیم داشت:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{۶}{۱۰۰} = ۶۰\mu A$$

$$I_{R_1} = ۱۰ I_B = ۶۰۰\mu A \approx I_{R_2}$$

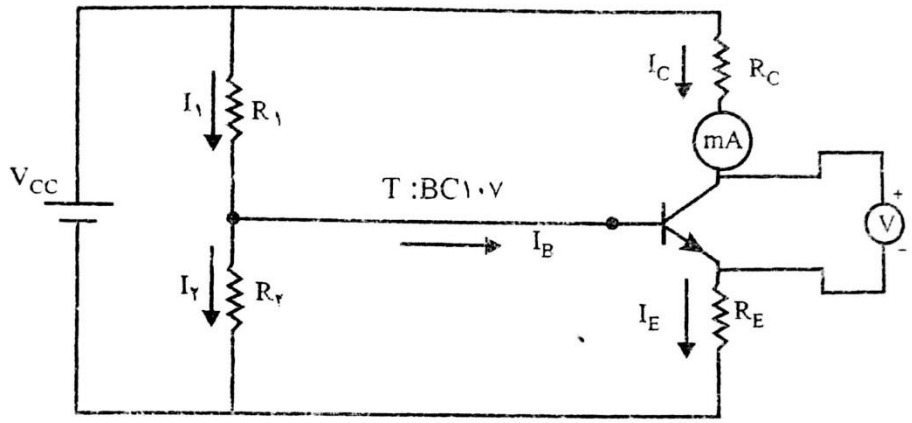
$$V_E = R_E I_E = ۱۸۰ \times ۶ \times ۱۰^{-۳} = ۱٫۰۸V$$

$$V_B = V_E V_{BE} = ۱٫۰۸ + ۰٫۷ = ۱٫۷۸V$$

$$V_B = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2} \quad , \quad R_1 = ۱۷\,k\Omega$$

$$R_1 + R_2 = \frac{V_{CC}}{I_{R_1}} \quad , \quad R_2 = ۳\,k\Omega$$

آنگاه پس از طراحی مدار شکل ۹-۳ ، با استفاده از چندگانه سنج ، کمیتهای $V_{CC}, V_{CE}, V_{BE}, V_{R_1}, V_{R_2}, V_{R_E}, V_{R_C}$را بدست آورید وجدول مربوطه را کامل کنید.



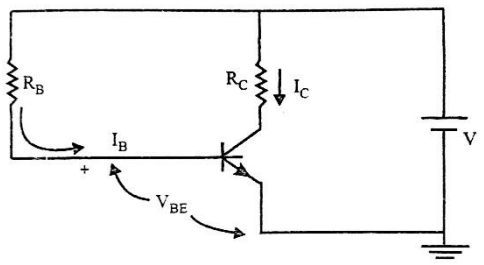

شکل ۹-۳

| | $V_{CC}$ | $V_{CE}$ | $V_{BE}$ | $V_{R_C}$ | $V_{R_E}$ | $V_{R_1}$ | $V_{R_2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| عملی: با استفاده از چندگانه‌سنج | | | | | | | |
| نظری: از طریق محاسبه | | | | | | | |

ج) نوک هویه را به بدنهٔ‌ترانزیستور نزدیک کنید و به مدت ۱۰ ثانیه در فاصله یک میلی متری آن نگهدارید و ضمن دقت در نحوه تغییرات نقطهٔ کار ($I_C, V_{CE}$) مقدار دقیق آنرا در ثانیه دهم یادداشت کنید و اثر حرارت را در این مورد شرح دهید.

۱.مدار تغذیهٔ ثابت برای ترانزیستور NPN

با توجه به این که در این مدار جریان بیس همواره مقدار ثابتی است این نوع تغذیه کردن را تغذیهٔ ثابت می گویند . این نوع تغذیه از نظر سادگی و ضریب تقویت بسیار خوب است ولی از نظر پایداری حرارتی نقطهٔ کار دچار اشکال است. به عبارت دیگر با گرم شدن ترانزیستور جریان $I_C$ کمی افزایش میابد و در نتیجه باعث گرم شدن بیشتر ترانزیستور می شود.



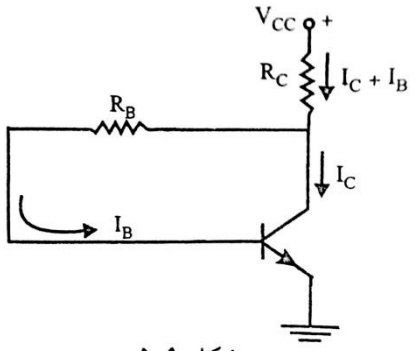

شکل ۹-۴

این سیکل ادامه می یابد و باعث می شود که ترانزیسور بسوزد یا به کلی از نقطهٔ کار طراحی شده خارج شود. بنابراین از این نوع تغذیه در مواردی می توان استفاده کرد که جریانها بسیار ناچیز باشند.(شکل۹-۴)

۲.مدار تغذیهٔ کلکتور به بیس برای ترانزیستور NPN

این مدار از نظر سادگی خوب است. از نظر پایداری حرارتی نیز بهتر از مدار تغذیهٔ ثابت عمل میکند،ولی اشکال عمده آن کم بودن ضریب تقویت آن است. برای آن که بفهمیم مدار چگونه از نظر حرارتی پایدار است چنین فرض میکنیم که اگر ترانزیستور گرم شود بر اثر آن $I_C$ افزایش میابد و چون این جریان از مقاومت $R_C$ می گذرد. افت ولتاژ روی این مقاومت زیاد می شود و طبق رابطه $V_{CE}=V_{CC}-R_CI_C$ مقدار $V_{CE}$ کاهش می یابد و این خود باعث کاهش جریان بیس می‌شود زیرا:

$$I_B=\frac{V_{CE}-V_{BE}}{R_B}$$




شکل ۹-۵

کاهش $I_B$ باعث کاهش $I_C$ $(I_C=\beta I_B)$ و کاهش $I_C$ باعث خنک شدن ترانزیستور می گردد. پس نقطهٔ کار مدار چندان تغییری نمی کند و در مقدار طراحی شده متعادل می شود.

# آزمایش ۱۰

**بررسی مدارهای تقویت کننده (C.C),(C.B), (C.E)**

**هدف**

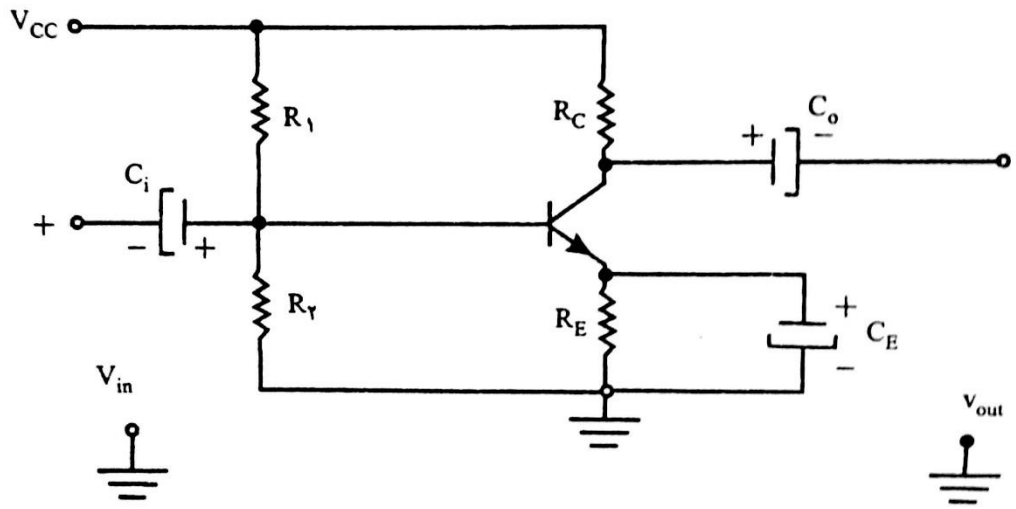
بررسی مشخصه های تقویت کننده ها (ضرایب تقویت ولتاژ و جریان و مقاومتهای ورودی و خروجی )

**وسایل آزمایش**

اسیلوسکوپ، مولد موج ، منبع تغذیهٔ جریان مستقیم ، مولتی متر : ۲ عدد ، ترانزیستور BC۱۰۷ ، خازن ۱۰۰μF : یک عدد ، خازن ۱۰μF : یک عدد، مقاومتهای ۱ KΩ ، ۵٫۶ KΩ ، ۱۸ KΩ، ۱۰۰ KΩ، ۱۵۰ KΩو سیمهای رابط.

مبانی نظری

یک مدار تقویت کنندهٔ امیتر مشترک تغذیهٔ سرخود را در نظر میگیریم.(شکل ۱۰-۱)




شکل ۱۰-۱

در این مدار، $R_1$ , $R_2$ برای تغذیه بیس ترانزیستور به کار می روند و باعث می شوند در غیاب موج متناوب ورودی، یک جریان اولیه $I_B$ در بیس ترانزیستور جاری شود.

$R_C$: در مدار کلکتور برای تنظیم جریان آن قرار داده می شود.

$R_E$ , $C_E$ : مقاومت $R_E$ جهت پایداری حرارتی در مدار امیتر قرار می گیرد که چون وجود آن ضریب تقویت را کاهش می دهد از خازن $C_E$برای جبران افت ضریب تقویت استفاده می شود.

$C_1$, $C_2$ : خازنهای اتصال (کوپلاژ)اند که باعث می شوند تقویت کننده از نظر $DC$ از طبقات قبل و بعد مجزا باشد. به عبارتی چنانچه قبل یا بعد از تقویت کننده، تقویت کننده های دیگری باشند. که به طریقی تغذیه $DC$ شده باشند، این

خازنها از تأثیر ولتاژ $DC$ طبقات قبلی و بعدی روی تقویت کننده میانی جلوگیری می کنندو نمی گذارند در شرایط تغذیه ترانزیستور تغییری حاصل شود.

$V_{out}$ ، $V_{in}$ : $V_{in}$ سیگنالی (ولتاژ متناوبی) است که از طریق خازن $C_i$ به ترانزیستور اعمال می شود و $V_{out}$موج خروجی است که پس از عبور از خازن $C.$ از کلکتور ترانزیستور گرفته می شود.

چگونه موج ورودی $V_{in}$ باعث به وجود آمدن موج قوی $V_{out}$می شود؟

موج ورودی $V_{in}$در نیم موج مثبت باعث افزایش جریان بیس و در نیم موج منفی باعث کاهش جریان بیس می شود. تغییرات $I_B$ باعث تغییر در $I_C$ و $V_{CE}$می شود.بنابراین در شرایط $AC$ موج خروجی بین کلکتور و زمین قرار می گیرد. یک موج کوچک $V_{in}$در جریان $I_B$ تغییرات ضعیفی ایجاد می کند و باعث بروز تغییرات قوی در جریان کلکتور می شود که به نوبه خود در ولتاژ خروجی$V_{out}$ نوسانهای زیادی به وجود می آورد.

نقش خازن $C_E$و مقاومت $R_E$با وجود موج $V_{in}$

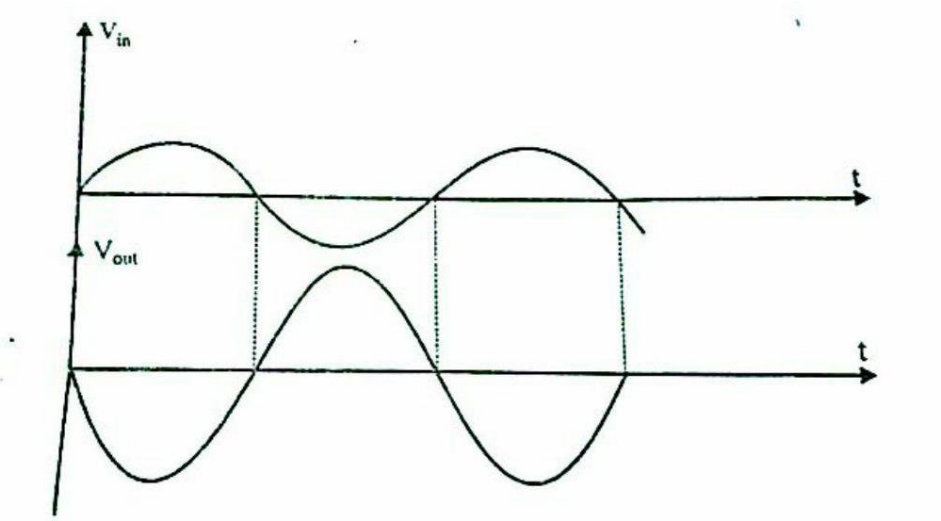
درغیاب موج ورودی $V_{in}$جریانهای که از بیس، کلکتور و امیتر می گذرند $DC$ بوده و خازن $C_E$اثری در مدار ندارد و تنها باعث پایداری حرارتی مقاومت $R_E$ترانزیستور می شود. با ورود موج $V_{in}$در جریانهای بیس، کلکتور و امیتر یک موج $AC$ ایجاد می شود که در این صورت خازن $C_E$از خود جریان عبور میدهد. هرچه امپدانس خازن در مقابل عبور جریان نسبت به $R_E$کمتر باشد(بسامد موج بیشتر باشد) جریان بیشتری از آن می گذرد و لذا جریان عبوری از $R_E$کمتر می شود و نیز مقاومت معادل این اتصال موازی کمتر شده و در نتیجه ضریب تقویت ترانزیستور افزایش می یابد. در عمل ظرفیت $C_E$را طوری انتخاب می کنند که مقاومت ظاهری آن نسبت به $R_E$بسیار ناچیز باشد تا ضمن کم شدن مقاومت مجموعه، ضریب تقویت ترانزیستور افزایش یابد، در این صورت جریان متناوبی که در امیتر وجود دارد تقریبا به تمامی از $C_E$می گذرد و از $R_E$عبور نخواهد کرد . خازن $C_E$را در این حالت خازن بای پاس می گویند.

بنابراین مقاومت $R_E$از نظر $DC$ پایداری حرارتی ترانزیستور را تضمین می کند و نیز باعث کم شدن ضریب تقویت ترانزیستور می شود.خازن $C_E$در شرایط $AC$ اثر مقاومت $R_E$را بسیار کم می کند (تقریبا آن را اتصال کوتاه می کند) و ضریب تقویت را بالا می برد.

**بین ورودی و خروجی $^\circ$ ۱۸۰ اختلاف فاز وجود دارد**

وقتی موج ورودی $V_{in}$ نیم موج مثبت خود را شروع می کند، باعث افزایش جریان بیس و در نتیجه افزایش $I_C$ می شود و با توجه به رابطه $V_{CC}=R_CI_C +V_{CE}$ و ثابت بودن $V_{CC}$ ، $V_{CE}$کاهش می یابد و بنابراین ولتاژ خروجی $V_{out}$ در این زمان در نیم موج منفی خواهد بود.

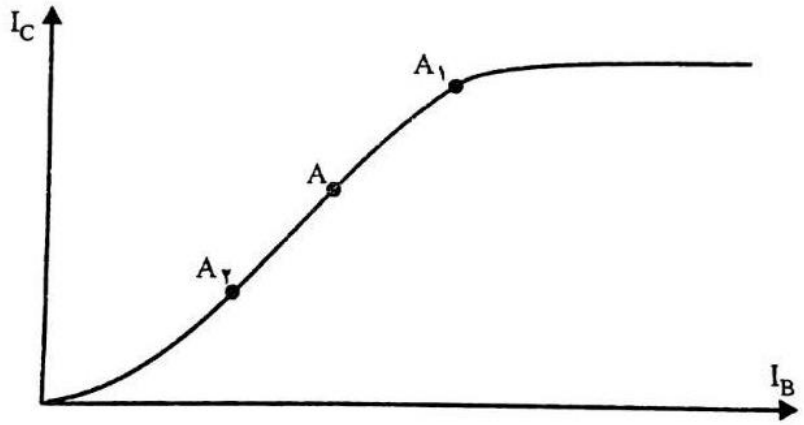
برعکس با شروع نیم موج منفی موج ورودی $V_{in}$، جریان بیس کاهش می یابد و در نتیجه کلکتور نیز کم می شود و با توجه به رابطه فوق $V_{CE}$ زیاد می شود و موج خروجی در نیم موج مثبت خواهد بود. بنابراین موج خروجی گرچه با دامنه بزرگتر ولی درست عکس موج ورودی بوده و با آن $^\circ$ ۱۸۰ اختلاف دارد.




شکل ۱۰-۲

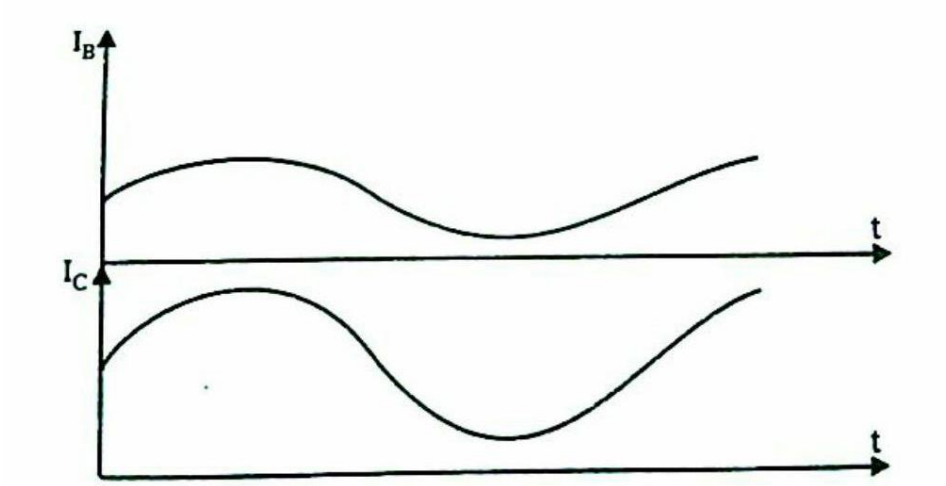
اثر موج ورودی ($V_{in}$) بر روی $I_C$ و $I_B$

اگـر تقویـت کننـده ای را درنظـر بگیـریم کـه ابتـدا از طریـق مقاومتهـای $R_۱$ و $R_۲$ تغذیـه شـده باشـد، جریـانی DC در بـیس و کلکتور وجوددارد. بـا رسـم نمـودار $I_C$ بـر حسـب $I_B$ فـرض مـی کنـیم وقتـی مـوج ورودی بـه حـداکثر خـود مـی رسـد نقطـه A بـه نقطه $A_۱$ در روی منحنی می رود و سپس پایین می آید و به نقطه A باز می گردد.




شکل ۱۰-۳

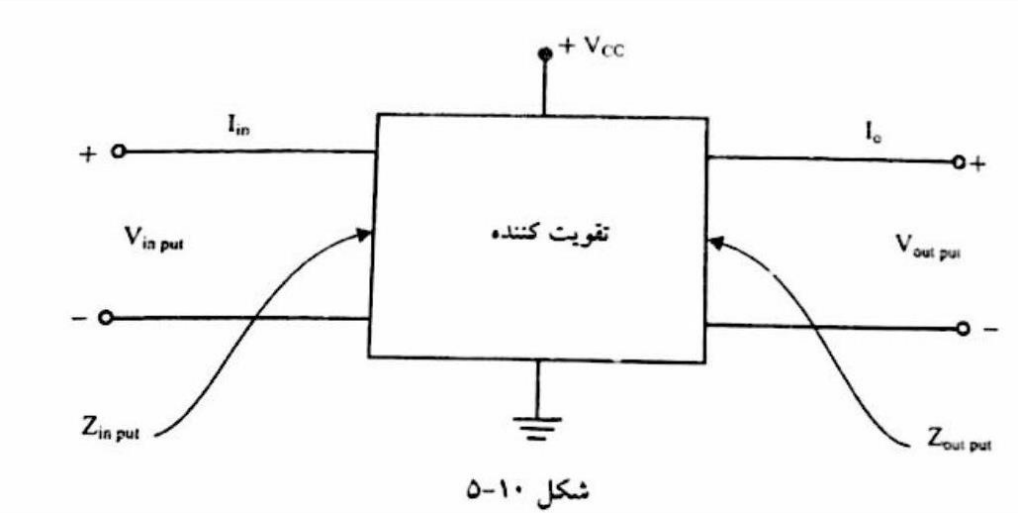
و در نیم موج منفی کـه جریانهـای $I_C$ , $I_B$ کـم مـی شـوند. نقطـه A روی منحنـی رو بـه پـایین مـی آیـد تـا بـه $A_۲$ برسـد و سـپس به Aبرگشت کند. در نتیجه تغییرات جریانهای $I_C$ , $I_B$ به صورت زیر خواهد بود.




شکل ۱۰-۴

مشخصه های یک تقویت کننده

مطابق نمودار شکل ۱۰ــ ۵، در حالت کلی یک تقویت کننده را می توان متشکل از دو سر ورودی و دو سر خروجی و دو سر برای ورودی تغذیه در نظر گرفت.




شکل ۱۰-۵

تقویت کننده موج ضعیف متناوب ورودی $V_{in}$ را از هر وسیله ای که بتواند آنرا تولید کند (مثل آنتن رادیو یا تلویزیون یا میکروفو ن یا هد ضبط) می گیرد و پس از تقویت آن را به یک مصرف کننده می دهد. مصرف کننده یا بار ، وسیله ای است که از موج تقویت شده استفاده می کند مثل بلندگو یا تقویت کننده دیگر و غیره.

مشخصه های یک تقویت کننده به صورت زیر تعریف می شوند:

ضریب تقویت ولتاژ (گین ولتاژ ): $A_V=\frac{V_{out}}{V_{in}}$

ضریب تقویت جریان (گین جریان): $A_I=\frac{I_{out}}{I_{in}}$

امپدانس ورودی: $Z_{in}=\frac{V_{in}}{I_{in}}$

امپدانس خروجی : $Z_{out}=\frac{V_{out}}{I_{out}}$

چون پارامترهای فوق در شرایط متناوب مورد نظر هستند بنابراین در این روابط مقادیر موثر آنها قرار داده می شود.

اندازه گیری مشخصه های تقویت کننده در عمل به صورت زیر انجام می گیرند:

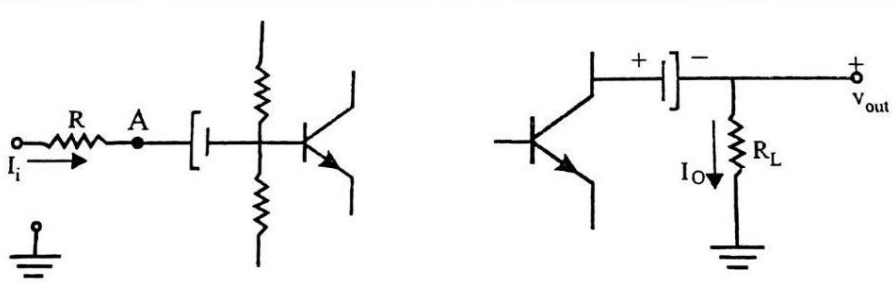
۱. برای بدست آوردن ضریب تقویت ولتاژ ($A_V$) هنگامی که هردو سیگنال خروجی و ورودی بدون دگردیسی [۱] (اعوجاج ) هستند ، دامنه اوج به اوج سیگنال خروجی را به دامنه اوج به اوج سیگنال ورودی تقسیم می کنیم:

$$A_V=\frac{V_o(P-P)}{V_{in}(P-P)}$$

۲. برای تعیین ضریب تقویت جریان مدار تقویت کننده ($A_I$) یک مقاومت بار $R_L$ مطابق شکل زیر در خروجی قرار داده و ولتاژ خروجی $V_{out}$ را بر آن تقسیم می کنیم تا جریان خروجی بدست آید و نیز یک مقاومت مناسب R، ۲۰۰ تا ۵۰۰ ، اهمی در ورودی قرار می دهیم و افت ولتاژ دو سر آن را بر این مقاومت تقسیم می کنیم تا جریان ورودی بدست آید.حال با دردست داشتن $I_{Out}$، $I_{in}$ خواهیم داشت:

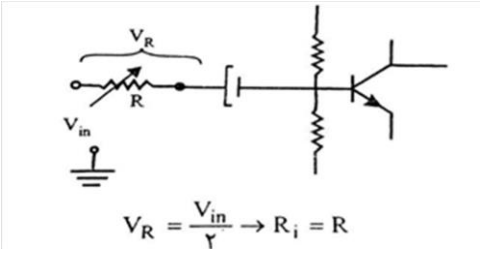
$$A_I=\frac{I_{out}}{I_{in}}=\frac{V_{out}/R_L}{V_R/R}$$

چون دامنه ولتاژ ورودی کم است معمولا افت ولتاژ دوسر مقاومت R را نسبت به زمین تعیین و از ولتاژ ورودی کم و حاصل را بر R تقسیم می کنند تا جریان ورودی $I_{in}$ بدست آید.



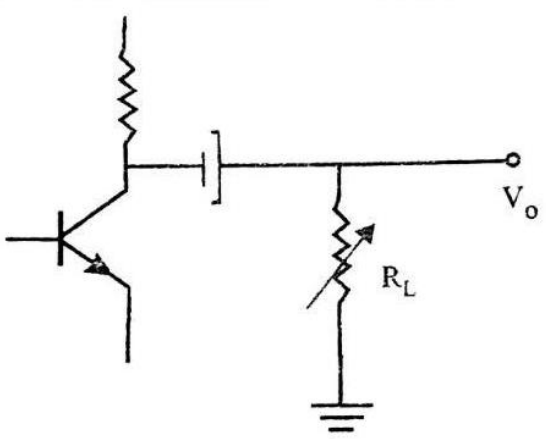

$$I_i=\frac{V_R}{R} \quad \text{یا} \quad \frac{V_i-V_R}{R} \quad \text{و} \quad I_o=\frac{V_{out}}{R_L} \Rightarrow A_I=\frac{I_o}{I_i}$$

۳.مقاومت ورودی ($R_i$) : ساده ترین روش برای تعیین مقاومت ورودی، قرار دادن یک پتانسیومتر در ورودی مدار است. پتانسیومتر را آنقدر تغییر می دهیم تا افت ولتاژ دوسر آن نصف ورودی شود. در این صورت مقاومتی که پتانسیومتر نشان می دهد مقاومت ورودی تقویت کننده است.




شکل ۱۰-۷

**۴**. مقاومت خروجی ($R_O$): ابتدا مقدار ولتاژ خروجی بدون بار را اندازه گیری می کنیم سپس یک پتانسیومتر در خروجی بعنوان $R_L$ قرار داده و آنقدر آنرا تغییر می دهیم تا ولتاژ خروجی به نصف مقدار اولیه اش برسد، در این حالت مقاومت پتانسیومتر همان مقاومت خروجی $R_O$ است.




$$V_L = \frac{V_{out}}{۲} \rightarrow R_O = R_L$$

شکل ۱۰-۸

در جدول زیر خواص تقویت کننده های (C.E) ، (C.B) ،(C.C) با یکدیگر مقایسه شده اند.

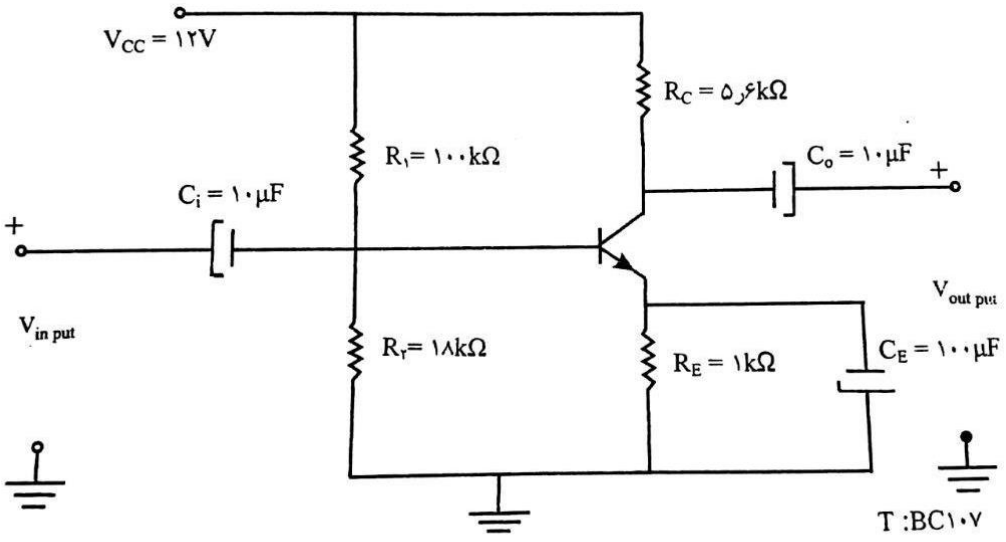
| نوع تقویت کننده ها | $A_V$ | $A_I$ | $R_I$ | $R_O$ | اختلاف فاز بین ورودی خروجی | کاربرد |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C.E | زیاد | زیاد | متوسط | زیاد | ۱۸۰ ° | تقویت کننده های معمولی در توان و بسامد کم و متوسط |
| C.B | زیاد | کم(<۱) | کم | خیلی زیاد | ۰ | تقویت کننده ولتاژ در بسامد زیاد |
| C.C | کم(<۱) | زیاد | خیلی زیاد | کم | ۰ | تقویت کننده جریان و تطبیق امپدانس یا بار |

**روش آزمایش :**

در تمامی انواع مدارهای تقویت کننده می توان هریک از سه نوع تغذیه گفته شده را مورد استفاده قرار داد.

در این آزمایش که هدف آن بررسی مشخصه (ضرایب تقویت ولتاژ و جریان و مقاومت های ورودی و خروجی) در سه نوع تقویت کننده (C.E ) ، (C.B)، (C.C) است از تغذیه سرخود استفاده شده است.

الف)بررسی تقویت کننده امیتر مشترک : مدار شکل ۱۰ ـ ۹ را ببندید:




شکل ۱۰-۹

۱.قبل از اعمال سیگنال ورودی ولتاژ و جریان نقطه کار را به دقت اندازه گیری کنید.

۲. سیگنال سینوسی کم دامنه با بسامد $KH_Z$ ۱ از مولد موج بگیرید و به مدار اعمال کنید و توسط اسیلوسکوپ هم زمان سیگنال ورودی و خروجی را مشاهده کنید.سپس دامنه ورودی را در حداکثر مقداری که در خروجی دگردیسی حاصل نشود تنظیم و مقدار آنرا یادداشت کنید. در این حالت سیگنالهای ورودی و خروجی را زیر هم رسم کنید.

۳: مشخصه های ($A_V$)، ($A_I$)،($R_I$)،($R_O$) را یک بار با وجود خازن بای پاس امیتر ، $C_E$ و یک بار بدون آن اندازه گیری کرده و جدول مربوطه را کامل کنید.

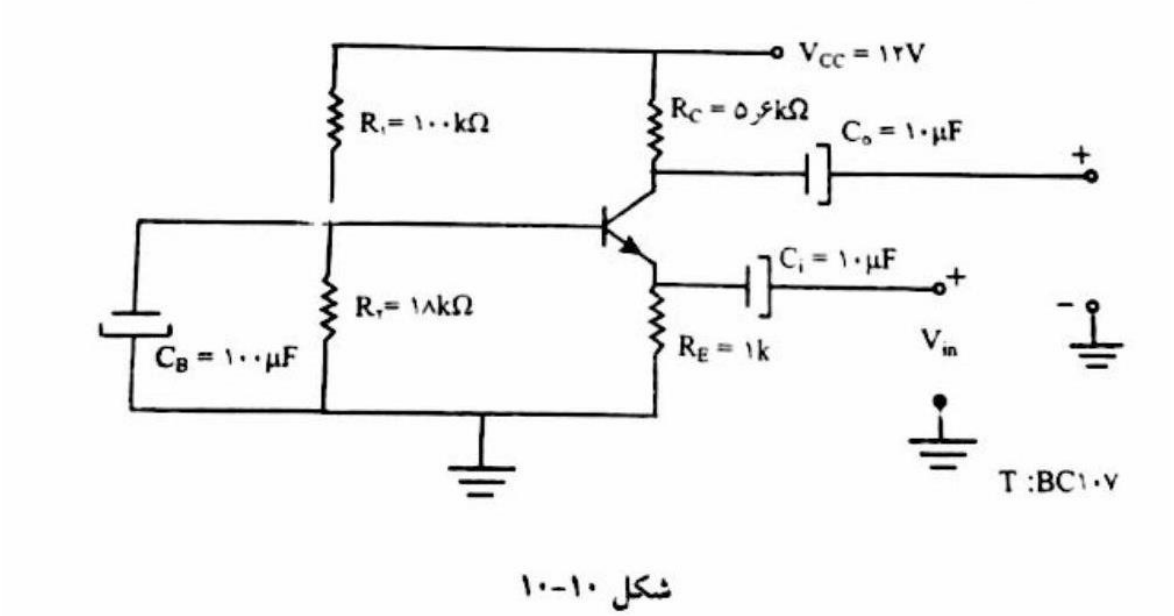
| مشخصه | $A_V$ | $A_I$ | $R_I$ | $R_O$ |
|---|---|---|---|---|
| با خازن $C_E$ | | | | |
| بدون خازن$C_E$ | | | | |

۴. با قرار دادن اسیلوسکوپ در وضعیت X-Y اختلاف فاز دو سیگنال ورودی و خروجی را اندازه گیری و یادداشت کنید.

ب)بررسی تقویت کننده بیس مشترک : معمولا در این مدار از یک خازن $C_B$به موازات $R_۲$ استفاده می شود تا با ورود موج متناوب ، امپدانسی که خازن $C_B$ نشان می دهد نسبت به $R_۲$ خیلی کم شده و در حقیقت خازن $C_B$ مقاومت $R_۲$ را بای پاس کند و ضریب تقویت را بالا ببرد.

خازن $C_B$ را خازن دکوپلینگ می گویند.

مدار شکل ۱۰ ـ ۱۰ را ببندید.



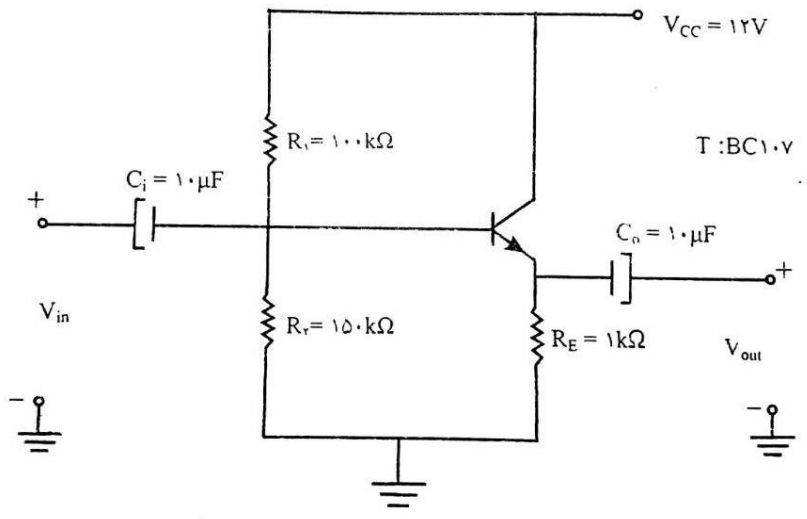

شکل ۱۰-۱۰

۱.قسمت های (۱) و (۲) آزمایش (الف) را در مورد این مدار نیز انجام دهید.

۲. مشخصه های تقویت کننده را با وجود خازن و بدون آن بدست آوریدو جدول زیر را کامل کنید.

| مشخصه | $A_V$ | $A_I$ | $R_I$ | $R_O$ |
|---|---|---|---|---|
| با خازن $C_E$ | | | | |
| بدون خازن$C_E$ | | | | |

ج)نتیجه کلی بررسی تقویت کننده کلکتور مشترک :




شکل۱۰-۱۱

مدار شکل ۱۰ ـ ۱۱ را روی تخته آزمایش ببندید.

۱.قسمت های (۱)و (۲) آزمایش (الف) را مورد این مدار نیز انجام دهید.

۲. مشخصه های تقویت کننده را تعیین و جدول زیر را کامل کنید.

| $A_V$ | $A_I$ | $R_I$ | $R_O$ |
|---|---|---|---|
| | | | |

د) نتیجه کلی : پس از انجام سه آزمایش فوق هرسه مدار تقویت کننده را از نظر ضرایب تقویت ولتاژ و جریان و نیز مقاومت های ورودی و خروجی با یکدیگر مقایسه و نتایج را در یک جدول کامل ارائه دهید.