۱–۱۰ دیود Diode

۱–۱–۱۰ ساختمان اتمی نیمه‌هادی‌ها

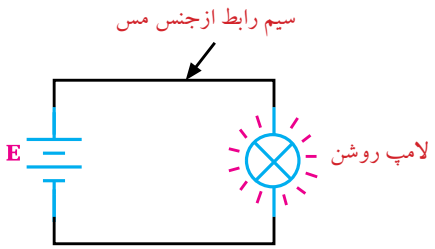
اجسام موجود در طبیعت از نظر هدایت الکتریکی به سه دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند.

الف– هادی‌ها

ب– عایق‌ها

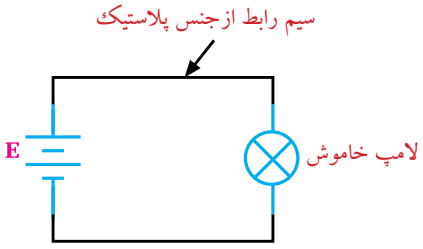
ج– نیمه‌هادی‌ها

هادی‌ها اجسامی هستند که جریان برق را به راحتی از خود عبور می‌دهند. مس، آلومینیوم، سایر فلزات و بعضی از اسیدها جزء هادی‌ها هستند. در شکل ۱–۱۰ سیم رابط از جنس مس است و جریان برق را به راحتی از خود عبور می‌دهد و لامپ را روشن می کند.



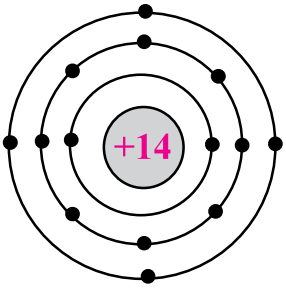
شکل ۱–۱۰ سیم مسی هادی

عایق‌ها اجسامی هستند که جریان برق را به سادگی از خود عبور نمی‌دهند. مواردی مانند شیشه، انواع پلاستیک‌ها و هوا عایق هستند . در شکل ۲–۱۰ سیم رابط از جنس پلاستیک است و جریان برق را از خود عبور نمی‌دهد، در نتیجه لامپ روشن نمی‌شود.

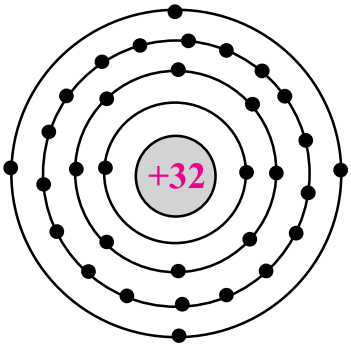


شکل ۲–۱۰ سیم پلاستیکی (مانند طناب) عایق است

بین عایق‌ها و هادی‌ها اجسامی وجود دارند که نه مانند یک هادی به سادگی جریان برق را از خود عبور می‌دهند و نه مانند یک عایق جریان برق را از خود عبور نمی‌دهند. به این اجسام نیمه‌هادی می گویند. مهم‌ترین نیمه‌هادی‌هایی که در صنعت الکترونیک مورد استفاده قرار می گیرند **سیلیسیوم** (سیلیسیوم را سیلیکون نیز می‌نامند) و **ژرمانیوم** است. تمامی نیمه‌هادی‌ها در آخرین لایه‌ی اتم خود، چهار الکترون دارند. در شکل (۳–۱۰) ساختمان اتمی سیلیسیوم و ژرمانیوم نشان داده شده است.



الف – سیلیسیوم

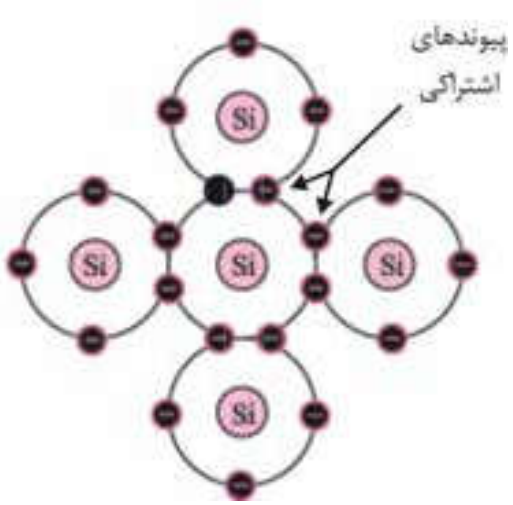


ب – ژرمانیوم

شکل ۳–۱۰ ساختمان اتمی نیمه‌هادی‌های سیلیسیوم و ژرمانیوم

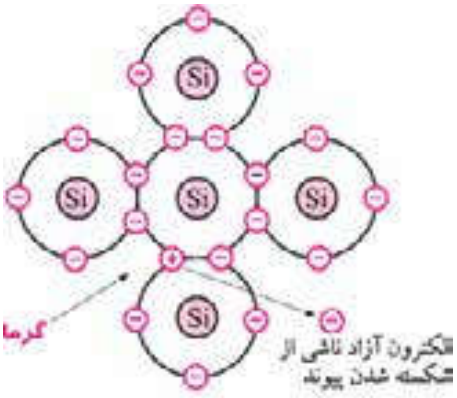
وقتی اتم‌های ژرمانیوم و یا سیلیسیوم در کنار یکدیگر قرار می گیرند و به صورت مولکول در می‌آیند، با یکدیگر پیوند اشتراکی (کووالانسی) تشکیل می‌دهند. یعنی الکترون‌های لایه‌ی آخر خود را به اشتراک می گذارند. بنابراین در حالت عادی می‌توان مولکول سیلیسیوم یا ژرمانیوم را به صورت

یک جسم هشت ظرفیتی در نظر گرفت. در شکل ۴-۱۰ پیوند اشتراکی اتم‌های سیلیسیوم نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰ پیوند اشتراکی اتم‌های سیلیسیوم

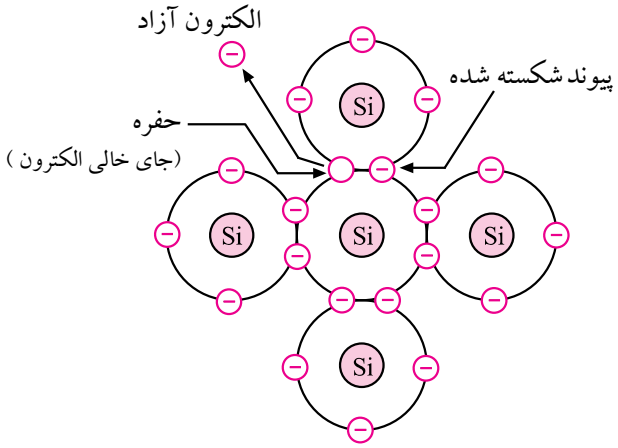
پیوندهای تشکیل شده (پیوندهای اشتراکی) در سیلیسیوم یا ژرمانیوم در دمای صفر درجه‌ی کلوین (تقریباً ۲۷۳- درجه‌ی سانتی‌گراد یا سلسیوس) کاملا محکم هستند. زیرا هیچ گونه انرژی خارجی وجود ندارد که قادر باشد این پیوندها را بشکند. ولی در دمای اتاق (۲۷ درجه‌ی سانتی‌گراد یا ۳۰۰ درجه‌ی کلوین) تعدادی از پیوندها می‌شکنند. به ازای شکست هر پیوند یک الکترون آزاد می‌شود. شکل ۵-۱۰ یک پیوند شکسته شده را نشان می‌دهد که یک الکترون آزاد را به وجود آورده است.



شکل ۵-۱۰ الکترون آزاد

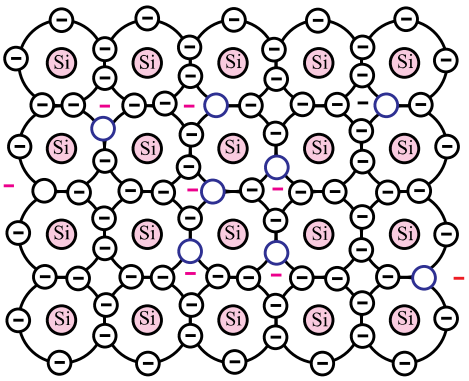
الکترون آزاد به الکترونی گفته می‌شود که به هیچ اتمی وابسته نباشد.

وقتی یک پیوند شکسته می‌شود، یک الکترون آزاد می‌شود. جای خالی الکترون را حفره می‌گویند. شکل ۶-۱۰.



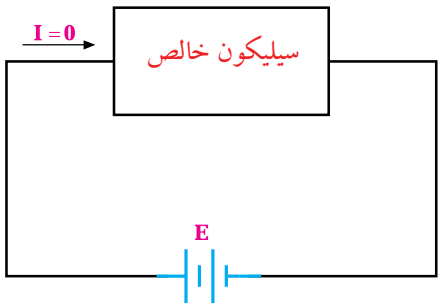
شکل ۶-۱۰ جای خالی الکترون را حفره می‌نامند.

هر قدر انرژی خارجی بیشتری مانند حرارت به اتم داده شود، پیوندهای بیشتری شکسته می‌شوند و الکترون‌های زیادتری را آزاد می‌کنند ، شکل ۷-۱۰.



شکل ۷-۱۰ در اثر حرارت پیوندهای بیشتری می‌شکنند.

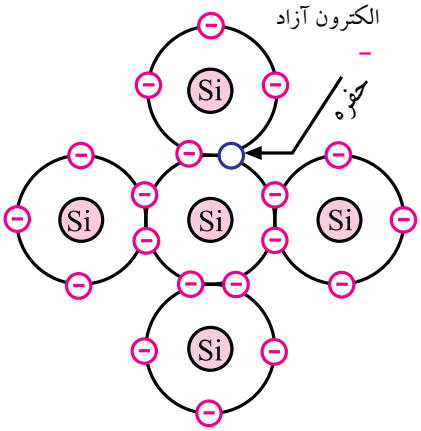
عبور جریان برق از یک جسم به تعداد الکترون‌های آزاد آن جسم بستگی دارد. بنابراین سیلیسیوم یا ژرمانیوم خالص در صفر درجه‌ی کلوین که هیچ الکترون آزادی ندارند، عایق محسوب می‌شوند، شکل ۸-۱۰.



شکل ۸-۱۰ رفتار یک قطعه سیلیسیوم خالص
در دمای صفر درجه‌ی کلوین

یک قطعه سیلیکون خالص در دمای صفر درجه‌ی کلوین هیچ الکترون آزادی ندارد و جریان برق را هدایت نمی‌کند.

ولی در دمای اتاق (۳۰۰ درجه‌ی کلوین)، تعدادی از پیوندهای آن می شکنند و در اثر شکستن پیوندها، تعدادی الکترون آزاد به وجود می‌آید و هدایت سیلیسیوم را بالا می‌برند. بنابراین سیلیسیوم یا ژرمانیوم خالص در دمای اتاق عایق مطلق نیستند و اگر در یک مدار الکتریکی با منبع تغذیه سری شوند، جریان کمی از خود عبور می‌دهند، شکل ۹-۱۰. بنابراین اندازه‌ی هدایت الکتریکی یک قطعه نیمه‌هادی خالص متناسب با درجه حرارت تغییر می‌کند.



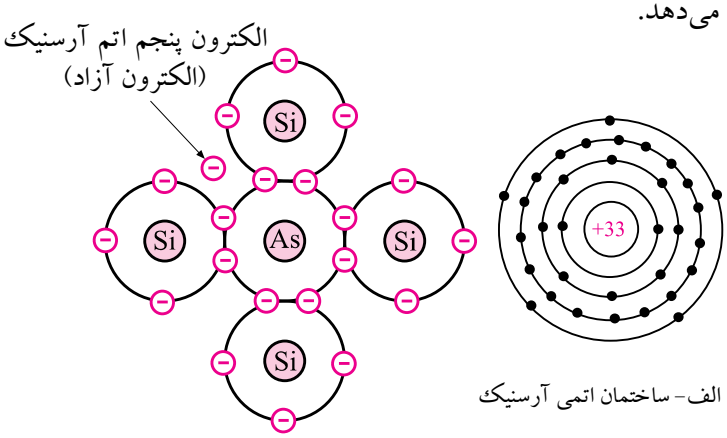
شکل ۹-۱۰ حفره بار الکتریکی مثبت دارد.

لازم به یادآوری است که حفره (جای خالی الکترون) را می‌توان به عنوان یک بار مثبت در نظر گرفت زیرا قادر است الکترون را جذب کند. در عمل وقتی تعدادی پیوند می‌شکنند الکترون‌های آزاد دائماً با حفره‌ها ترکیب می‌شوند.

۲-۱-۱۰ نیمه‌هادی‌های نوع N و P

الف- نیمه‌هادی نوع N

اگر به یک قطعه نیمه‌هادی خالص سیلیسیوم، یک اتم پنج ظرفیتی مانند آرسنیک به عنوان ناخالصی اضافه کنیم، چهار الکترون مدار خارجی اتم آرسنیک با چهار الکترون مجاور اتم‌های سیلیسیوم پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهند و الکترون پنجم آرسنیک به هیچ یک از اتم‌ها وابسته نیست. در حقیقت اتم پنجم به عنوان الکترون آزاد محسوب می‌شود. شکل ۱۰-۱۰ اتم آرسنیک را در بین اتم‌های سیلیسیوم نشان می‌دهد.



الف- ساختمان اتمی آرسنیک

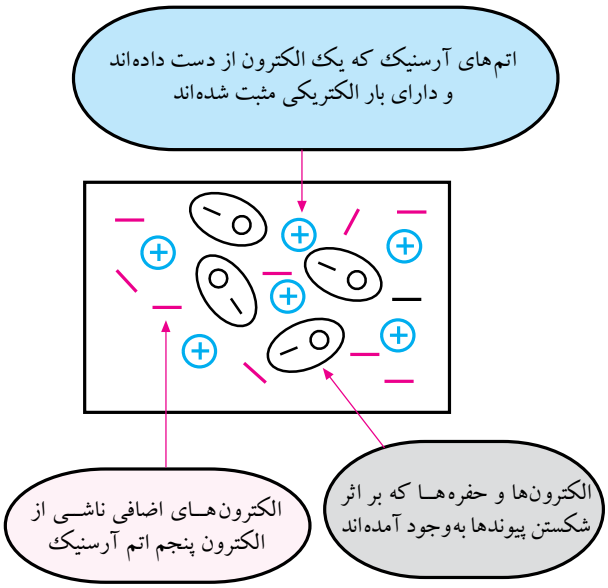
ب- سیلیسیوم ناخالص شده

شکل ۱۰-۱۰ نیمه‌هادی نوع N

یک قطعه سیلیسیوم ناخالص الکترون اضافه دارد. چون بار الکتریکی الکترون منفی است پس هر قطعه سیلیسیوم ناخالص دارای بار الکتریکی منفی است. به نیمه‌هادی‌هایی که ناخالصی پنج ظرفیتی به آن‌ها اضافه شده باشد، نیمه‌هادی

نوع N (Negative– منفی) می گویند.

از طرف دیگر چون اتم آرسنیک یک الکترون از دست داده است لذا دارای بار الکتریکی مثبت است. بنابراین یک قطعه نیمه‌هادی نوع N را می‌توان به صورت شکل ۱۱–۱۰ نشان داد.



شکل ۱۱–۱۰ نیمه‌هادی نوع N

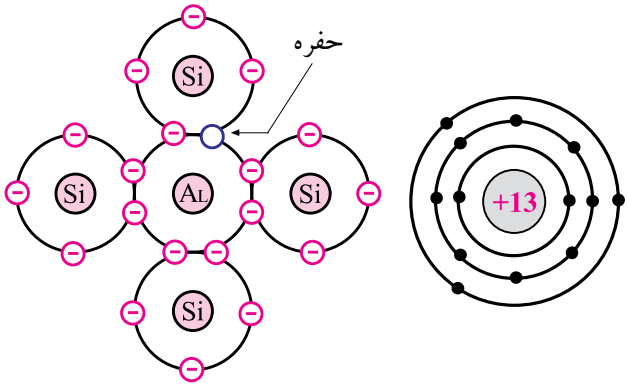
بیشتر بدانید:

میزان ناخالصی موجود در کریستال نوع N، تقریباً تعداد یک اتم آرسنیک در مقابل 10^7 اتم سیلیسیوم است.

ب– نیمه‌هادی نوع P

به یک قطعه نیمه‌هادی خالص سیلیسیوم یا ژرمانیوم، یک اتم سه ظرفیتی مانند آلومینیوم به عنوان ناخالصی اضافه می‌کنیم. در این حالت سه الکترون مدار خارجی اتم آلومینیوم با سه الکترون مجاور اتم‌های سیلیکون پیوند اشتراکی تشکیل می‌دهند. در محل پیوند چهارم بین اتم‌های آلومینیوم و سیلیسیوم یک حفره (جای خالی الکترون) به وجود می‌آید.

شکل ۱۲–۱۰ اتم آلومینیوم را در بین اتم‌های سیلیسیوم نشان می‌دهد.

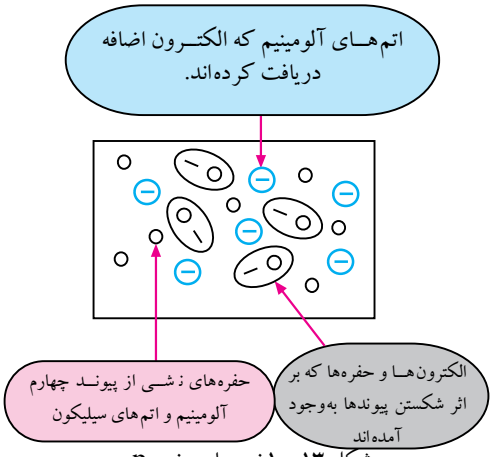


الف– ساختمان اتمی آلومینیوم ب– سیلیسیوم ناخالص شده

شکل ۱۲–۱۰ نیمه‌هادی نوع P

چون این قطعه سیلیسیوم ناخالص شده، یک الکترون کم دارد پس بار الکتریکی آن مثبت است. به نیمه‌هادی‌هایی که ناخالصی سه ظرفیتی به آن‌ها اضافه شده باشد، نیمه‌هادی نوع P (Positive– مثبت) می گویند.

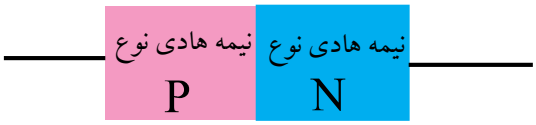
همان‌طور که در شکل ۱۲–۱۰ مشاهده می‌شود در محل پیوند چهارم اتم آلومینیوم با اتم سیلیسیوم یک حفره به وجود آمده است. در این شرایط الکترون‌های ناشی از شکسته شدن پیوندهای دیگر، این حفره را پر می کنند، لذا بار الکتریکی اتم آلومینیوم منفی می‌شود. یک قطعه نیمه‌هادی نوع p را می‌توان به صورت شکل ۱۳–۱۰ نشان داد.



شکل ۱۳–۱۰ نیمه‌هادی نوع p

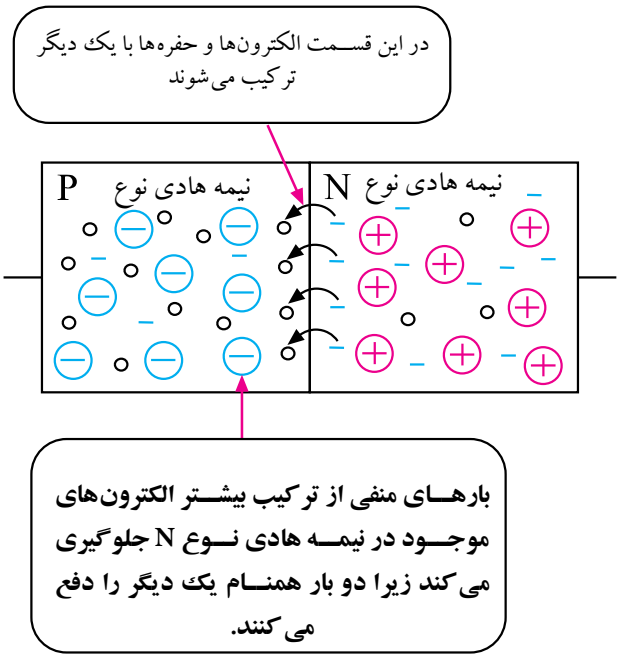
۳-۱-۱۰ اتصال PN (دیود)

اگـر یک قطعه نیمه‌هادی نـوع P و یک قطعه نیمه‌هادی نـوع N را به یکدیگر پیوند دهیم، یـک اتصال PN (دیود) بـه وجود می‌آید. شـکل ۱۴-۱۰ پیوند PN یا دیود را نشـان می‌دهد.

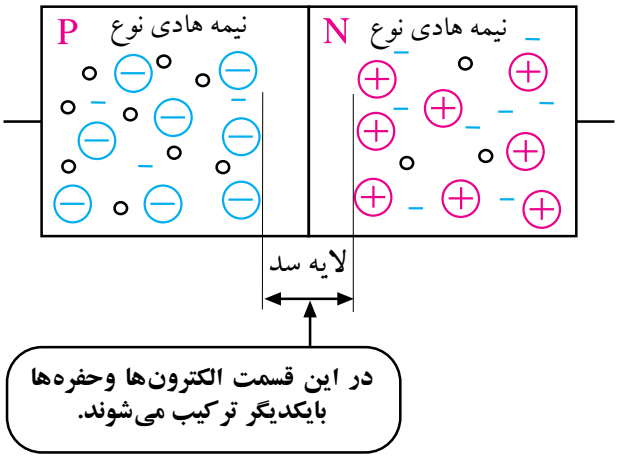


شکل ۱۴-۱۰ اتصال PN یا دیود

منظور از چسباندن دو کریستال به یکدیگر اتصال مکانیکی آن‌ها نیست. برای اتصال کریستال‌ها به یکدیگر معمولا درجه حرارت پیوند را آنقدر بالا می‌برند تا کریستال‌ها ذوب شوند. پس از ذوب شدن، کریسـتال‌ها در محل پیوند، با هم آمیخته می شـوند و از نظر مولکولی حالت واحـد و یکنواختی را به وجـود می‌آورنـد. نیمه‌هادی نـوع N الکترون‌هـای اضافی و نیمه‌هادی نـوع P حفره‌های اضافـی دارد. هنگام پیوند دو نیمه‌هـادی P و N به یکدیگـر در مرز اتصـال الکترون‌های موجـود در نیمه‌هـادی نـوع N بـا حفره‌هـای موجـود در نیمه‌هادی نوع P ترکیب می‌شـوند و یک لایه‌ی بسیار نازک خالی شده از الکترون و حفره به وجود می‌آورند. به این لایه، « **لایه‌ی سد**» می‌گویند، شکل‌های ۱۵-۱۰ و ۱۶-۱۰.



شکل ۱۵-۱۰ ترکیب الکترون‌ها و حفره‌ها در مرز پیوند PN



شکل ۱۶-۱۰ نمایش لایه‌ی سد

به خاطـر بارهـای مثبت و منفی بـه وجود آمـده در اثر ناخالصی‌هـای عناصر پنج و سـه ظرفیتی، در دو طرف لایه‌ی سـد، یک اختلاف پتانسـیل (ولتاژ) حـدود ۰/۶ ولت ظاهر می شود.

به اتصال PN دیود می‌گویند.

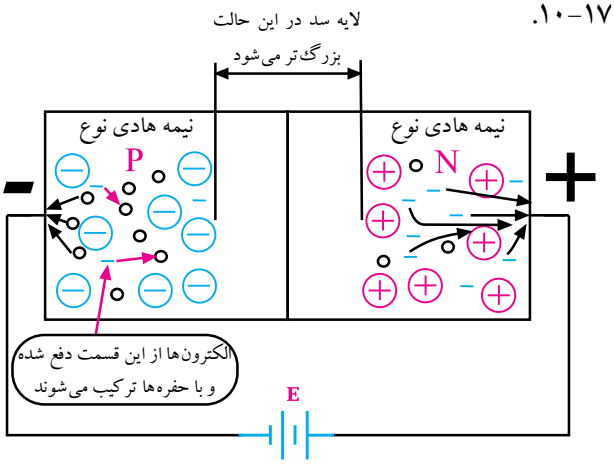
خواص اتصال PN

اگر نیمه‌هادی نوع N را به قطب مثبت باتری و نیمه‌هادی

نـوع P را به قطـب منفی باتـری وصل کنیـم، الکترون‌های موجـود در نیمه‌هادی نوع N به سـمت قطـب مثبت حرکت می‌کنند و حفره‌های موجود در نیمه‌هادی نوع P جذب قطب منفی می شوند.

باید توجه داشته باشیم که حفره‌ها حرکت نمی‌کنند زیرا جای خالی الکترون‌ها هسـتند. هنگامی که قطب منفی باتـری الکترون‌ها را می‌رانـد و آن را بـا حفره‌ها ترکیب می‌کنـد چنین به نظر می‌رسـد که حفره‌ها به سـمت قطب منفی در حرکت هستند.

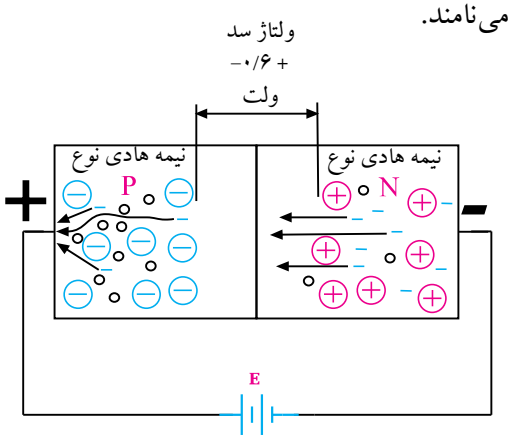
بنابراین در این حالت ، در مدار یا در اتصال PN الکترون‌ها حرکت نمی‌کنند و در مدار جریان برقرار نمی‌شـود، شـکل ۱۰-۱۷.



شکل ۱۰-۱۷ اتصال کریستال PN به باتری در حالت مخالف

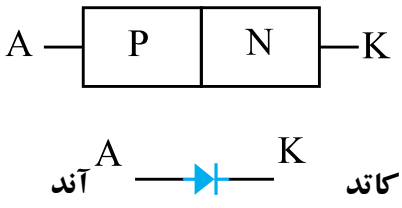
هر قـدر ولتاژ منبع بزرگ‌تر باشـد ضخامت لایه‌ی سـد افزایش می‌یابد. این نوع اتصال را **اتصال مخالف** (معکوس) کریستال PN می‌نامند.

در شکل ۱۰-۱۸ نیمه‌هادی نوع P را به قطب مثبت باتری و نیمه‌هـادی نوع N را به قطب منفی اتصال داده‌ایم. می‌دانیم دو بـار هم‌نام یکدیگـر را دفع و دو بار غیـر هم‌نام یکدیگر را جـذب می‌کننـد. بنابرایـن در این مدار قطـب منفی منبع، الکترون‌هـای موجـود در نیمه‌هادی نـوع N را دفع و قطب مثبت باتری الکترون‌ها را که دارای بار الکتریکی منفی هستند جذب می‌کند. اگر ولتاژ باتری بیشـتر از ۰/۶ ولت باشد، این ولتاژ بر ولتاژ سـد غلبه می‌کند و آن را می‌شـکند. با شکستن لایه‌ی سـد الکترون‌های رانده شـده از قطب منفی باتری در درون نیمه‌هـادی نوع N، از سـد عبور می‌کند و جذب قطب مثبت باتـری می‌شـوند، بدین‌ترتیب جریان در مـدار برقرار می‌شود. این نوع اتصال را **اتصال موافق** (مستقیم) کریستال PN می‌نامند.



شکل ۱۰-۱۸ کریستال PN در حالت موافق

اتصال PN را **دیود** می‌نامند و آن را با علامت قراردادی (نماد فنی) شکل ۱۰-۱۹ نشان می‌دهند.



شکل ۱۰-۱۹ علامت قراردادی دیود

در یک دیود پایه‌ی اتصال داده شـده به نیمه‌هادی نوع P را آند و پایه‌ی اتصال داده شـده به نیمه‌هادی نوع N را کاتد نام‌گذاری می‌کنند. در شکل ۱۰-۲۰ نمونه‌هایی از دیود نشان

داده شده است.

شکل ۲۰-۱۰ نمونه‌هایی از انواع دیودها

نکته‌ی مهم:

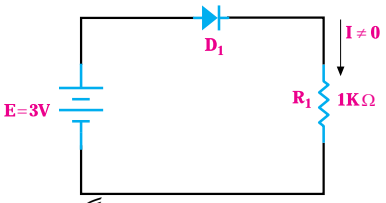
یک دیود هنگامی هدایت می‌کند که دو شرط زیر برقرار باشد.

الف- ولتاژ آند تقریبا ۰/۶ ولت بیشتر از ولتاژ کاتد باشد.

ب- مقدار جریان در مدار به اندازه‌ی کافی باشد.

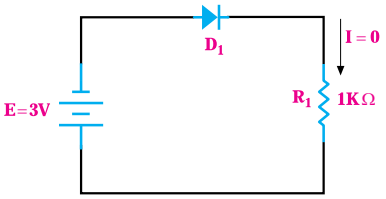
اتصال دیود یا هر قطعه‌ی الکترونیکی دیگر را به ولتاژ DC بایاس می‌گویند.

همان‌طورکه گفته شد در مورد دیود دو نوع بایاس موافق و بایاس مخالف داریم. در شکل ۲۱-۱۰ این دو نوع بایاس نشان داده شده است. بایاس موافق را مستقیم و بایاس مخالف را معکوس نیز می‌گویند. در بایاس معکوس جریان دیود تقریبا صفر است. در بایاس مستقیم با توجه به ولتاژ منبع و مقدار مقاومت، جریان در مدار برقرار می‌شود.



دیود در بایاس موافق قرارگرفته است
لذا درمدار جریان برقرار است.

الف- بایاس موافق



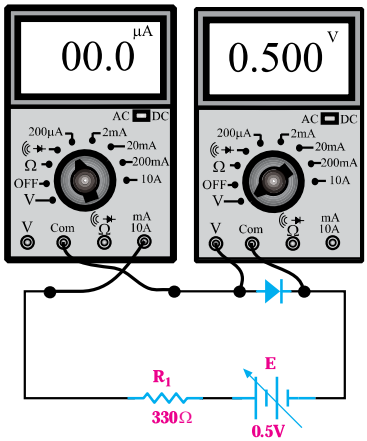
دیود در بایاس مخالف قرارگرفته است
لذا درمدار جریان صفر است.

ب- بایاس مخالف

شکل ۲۱-۱۰ بایاسینگ دیود

۴-۱-۱۰ منحنی مشخصه‌ی دیود

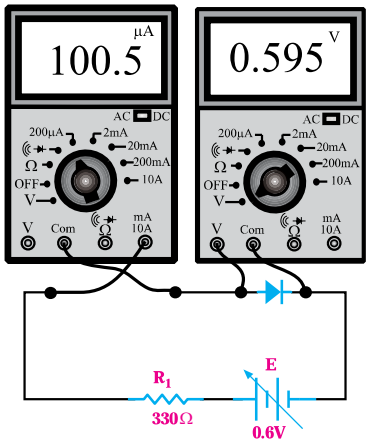
اگر یک دیود از جنس سیلیسیوم را مانند شکل ۲۲-۱۰ در بایاس مستقیم قرار دهیم و ولتاژ منبع تغذیه را روی صفر تا ۰/۵ ولت تنظیم کنیم، جریانی از مدار عبور نمی‌کند و میلی‌آمپر متر صفر را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲-۱۰

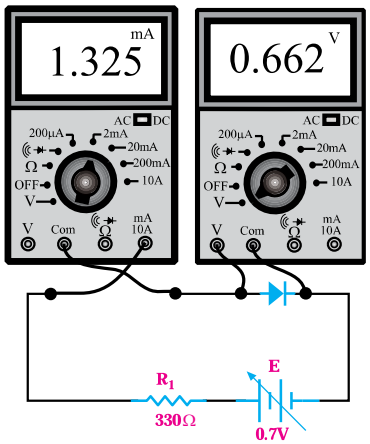
حال اگر ولتاژ منبع تغذیه را به آرامی زیاد کنیم، مادامی که ولت‌متر کمتر از ۰/۵ ولت را نشان می‌دهد، میلی‌آمپر متر

هم‌چنـان جریان صفر را نشـان خواهـد داد. چنان‌چه ولتاژ را کمی از نیم ولت بیشتر کنیم، میلی‌آمپر متر جریان خیلی کمی را نشان می‌دهد، شکل ۱۰-۲۳.



شکل ۱۰-۲۳

اگر به افزایش ولتاژ ادامه دهیم مثلا حدود ۰/۱ ولت به آن بیفزاییم، ناگهان میلی‌آمپر متر جریان زیادی را نشان می‌دهد، شکل ۱۰-۲۴.

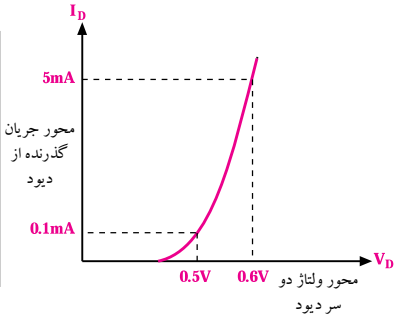


شکل ۱۰-۲۴

در صورتی که مراحل بالا را برای ولتاژهای مختلف تکرار کنیم و برای هر مقدار از ولتاژ دو سر دیود، (مثلا ۰/۱، ۰/۲ و ..... ولت) جریان گذرنده از دیود را همانند شکل ۱۰-۲۵-ب در جدول یادداشـت کنیم، می توانیم منحنی مشخصه‌ی دیود را در محورهای مختصات رسـم کنیم، شـکل ۱۰-۲۵الف. به منحنی شـکل ۱۰-۲۵ الف منحنی مشـخصه‌ی « ولت- آمپر» دیـود می گویند. این منحنی را معمولا کارخانه‌ی سـازنده‌ی دیود در اختیار مصرف کنندگان قرار می دهد.

V_D(V)	I_D(mA)
0	0
0.2	0
0.5	0
0.55	0.1
0.6	5
0.65	15

ب- جـدول مقادیر جریان و ولتاژ دو سر ریود

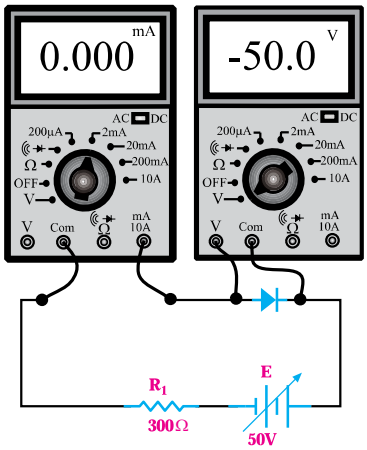


الف- منحنی مشخصه دیود

شکل ۱۰-۲۵

از منحنی مشـخصه‌ی ولت- آمپر دیـود می‌توانیم مقدار جریـان عبوری از دیـود را برای ولتاژهای مختلف به دسـت آوریـم. هم‌چنین می توانیـم در برابر عبور مقدار مشـخصی جریان از دیود، افت ولتاژ دو سر آن را تعیین کنیم.

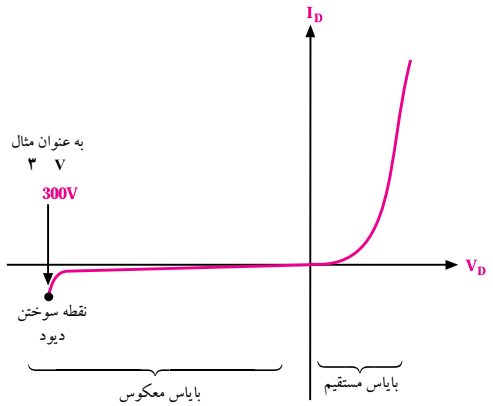
اگر مدار شـکل (۱۰-۲۶) را ببندیم و ولتاژ منبع تغذیه را زیاد کنیم، حتی به ۵۰ ولت برسـانیم، میلی‌آمپر متر عبور هیچ جریانی را نشـان نمی‌دهد. حال اگـر ولتاژ را خیلی زیاد کنیم دیود ناگهان هادی می‌شود و می‌سوزد.



شکل ۱۰-۲۶ مدار ترسیم منحنی مشخصه‌ی دیود در بایاس معکوس

در حالت معکوس جریان بسیار کمی از دیود عبور می کند که بسیار ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن است.

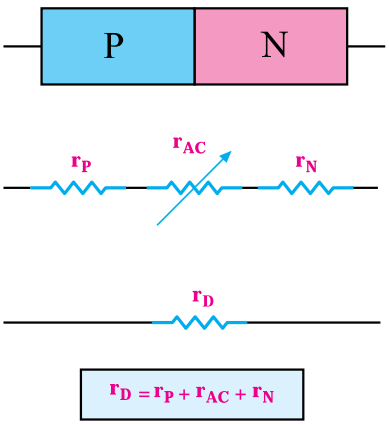
شکل ۱۰-۲۷ منحنی مشخصه‌ی ولت- آمپر دیود را هنگامی که دیود در بایاس مستقیم و در بایاس معکوس، قرار دارد نشان می دهد.



شکل ۱۰-۲۷ منحنی‌مشخصه‌ی دیود در بایاس موافق ومخالف

مدار معادل دیود

برای یک دیود معمولی می‌توان یک مدار معادل رسم کرد. با توجه به شکل ۱۰-۲۸ نیمه‌هادی نوع P دارای مقاومت اهمی r_p، نیمه‌هادی نوع N دارای مقاومت اهمی r_N، لایه‌ی سد نیز دارای یک مقاومت اهمی است که آن را با r_{AC} نشان می‌دهند، مجموعه‌ی این مقاومت‌ها را r_D می‌نامند.



شکل ۱۰-۲۸ مقاومت معادل دیود

در دیود علاوه بر مقاومت‌ها، ولتاژ لایه‌ی سد نیز وجود دارد. از طرفی چون دیود فقط در یک جهت جریان را از خود عبور می‌دهد لذا می‌توان مدار معادل شکل ۱۰-۲۹ را در مورد دیود به کار برد.

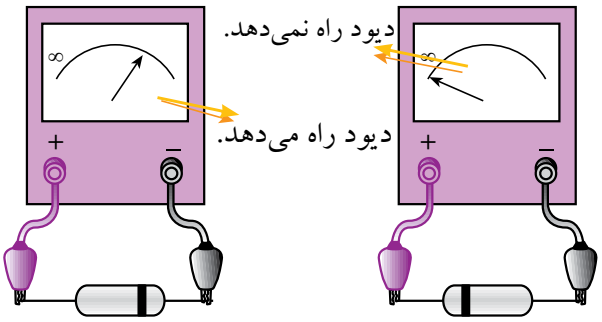
ولتاژ سد برای دیود ژرمانیوم تقریباً ۰/۲ ولت است
ولتاژ سد برای دیود سیلیکون تقریباً ۰/۶ ولت است.

شکل ۱۰-۲۹ مدار معادل دیود

۱۰-۲ تشخیص پایه‌های دیود و سالم بودن آن به وسیله‌ی اهم‌متر

۱۰-۲-۱ استفاده از اهم‌متر عقربه‌ای

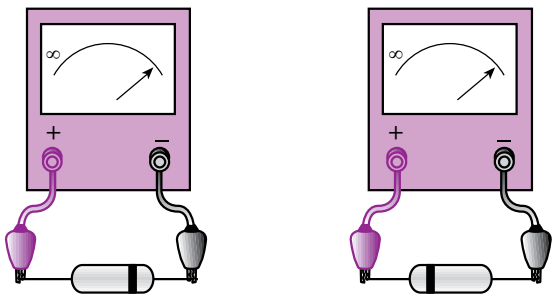
برای تشخیص پایه‌های دیود، اهم‌متر عقربه‌ای را به دو سر دیود وصل کنید و اهم آن را اندازه‌بگیرید. سپس اتصال دیود را بر عکس کنید و دوباره اهم آن را اندازه بگیرید. در یک حالت، اهم‌متر مقاومت کم و در حالت دیگر اهم‌متر مقاومت زیاد را نشان می‌دهد. در حالتی که مقدار مقاومت کم است، دیود از طریق باتری داخلی اهم‌متر، در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد. در حالتی که اهم‌متر، مقاومت زیادی را نشان می‌دهد، دیود از طریق باتری داخلی اهم‌متر در بایاس معکوس قرار دارد. در این شرایط اصطلاحا می گویند « **دیود از یک طرف راه می‌دهد و از طرف دیگر راه نمی‌دهد.**» در شکل ۱۰-۳۰ این دو حالت نشان داده شده است.



شکل ۳۰-۱۰ تشخیص پایه‌های دیود

در حالتی کـه اهم‌متـر مقاومت کمی را نشـان می‌دهد، ترمینال مثبـت اهم‌متر به آند دیود و ترمینـال منفی اهم‌متر به کاتد دیـود اتصال دارد. به این ترتیـب می‌توانیم آند و کاتد دیود را تعیین کنیم. توجه داشـته باشـید، مقدار مقاومتی که اهم‌متر نشـان می‌دهد به حـوزه‌ی کار (رنج) کلید سـلکتور اهم‌متر بسـتگی دارد. در مولتی‌مترهای عقربه‌ای ممکن است قطب‌های خروجی اهم‌متر معکوس باشد، یعنی پایانه‌ی مثبت اهم‌متر به قطب منفـی باتری داخلی و پایانه‌ی منفی اهم‌متر به قطب مثبت باتری داخلی اهم‌متر وصل باشـد. در این صورت قطب‌های دیود برعکس می شود.

اگر دیود معیوب، مثلا قطع شده باشد، در این صورت اگر اهم‌متر را به پایه‌های دیود اتصال دهیم، در هر دو حالت اهم‌متر مقاومت ∞ (بی‌نهایت) را نشان می‌دهد. چنان‌چه دیود معیوب اتصال کوتاه شده باشـد، در هر دو حالت اتصال ترمینال‌های اهم‌متر به دیود، اهم‌متر مقاومت صفر را نشـان می‌دهد. شکل ۳۱-۱۰ این دوحالت را نشان می‌دهد.



شکل ۳۱-۱۰ دیود معیوب شده و اتصال کوتاه است.

۲-۲-۱۰ استفاده از مولتی‌متر دیجیتالی برای آزمایش دیود

اغلب مولتی‌مترهای دیجیتالـی دارای وضعیت آزمایش دیود هسـتند. هر گاه کلید سـلکتور مولتی‌متر دیجیتالی را در وضعیت تسـت دیود قرار دهیم و دیود به وسـیله‌ی مولتی‌متر در بایـاس موافق قرار گیرد، مولتی‌متـر دیجیتالی ولتاژ بایاس موافق دیود را نشان می‌دهد. مقدار ولتاژ موافق برای دیودهای سیلیسـیومی در حدود ۰/۷ ولت و بـرای دیودهایی از جنس ژرمانیوم حدود ۰/۲ ولت اسـت. شـکل ۳۲-۱۰ این حالت را نشان می‌دهد.

شکل ۳۲-۱۰ دیود در بایاس موافق

اگـر دیود به صورت بایاس مخالف به مولتی‌متر دیجیتالی وصل شود، معمولا مولتی‌متر ولتاژ بایاس مخالف اعمال شده به وسـیله‌ی باتری دستگاه را که در دو سر دیود افت می‌کند، نشـان می‌دهد. این ولتاژ ممکن است در دستگاه‌های مختلف از ۱/۵ تا ۳ ولت باشد.

شکل ۳۳-۱۰ این حالت را نشان می‌دهد.

شکل ۳۳-۱۰ دیود در بایاس مخالف

در برخـی از مولتـی مترها وقتی دیـود در حالت مخالف قرار می گیرد روی صفحه‌ی نمایش عدد ۱ یا شـرایط دیگری ظاهر می شود. شرایط نمایش صفحه را در کاتالوگ دستگاه می‌نویسند.

در حالتی که دیود در بایاس موافق قرار دارد، سـیم منفی (سیم مشـترک یا COM) به کاتد دیود و سیم مثبت به آند دیود وصل است. اگر دیود ناسـالم مثلاً قطع باشد، در هر دو حالت، روی صفحه‌ی نمایـش مولتی‌متر، ولتاژ باتری داخلی نشـان داده می شـود. در شـکل ۳۴-۱۰ این دو حالت دیده می‌شود.

دیود قطع

شکل ۳۴-۱۰ تست دیود معیوب (قطع)

اگـر دیود اتصـال کوتاه باشـد، در هـر دو حالت روی صفحه‌ی نمایش دستگاه، ولتاژ صفر نشان داده می‌شود. شکل ۳۵-۱۰ این حالت را نشان می‌دهد.

دیود اتصال کوتاه

شکل ۳۵-۱۰ تست دیود معیوب (اتصال کوتاه)

۳-۱۰ آزمایش شماره (۱)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

۳-۱-۱۰ هدف‌های آزمایش

بررسی وضعیت دیود در بایاس مستقیم و معکوس و چگونگی آزمایش آن

۳-۲-۱۰ تجهیزات و قطعات مورد نیاز آزمایش

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	مولتی‌متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر عقربه‌ای	یک دستگاه
۳	دیود ۱N۴۰۰۱ یا مشابه	یک عدد
۴	دیود ژرمانیوم	یک عدد
۵	مقاومت ۱KΩ	یک عدد
۶	منبع تغذیه ۰- ۱۵V	یک دستگاه
۷	سیم‌رابط یک سرگیره سوسماری	دو رشته
۸	سیم‌رابط دو سرگیره سوسماری	دو رشته
۹	بردبرد	یک عدد
۱۰	ابزار عمومی کارگاه الکترونیک	یک سری

۳-۳-۱۰ مراحل اجرای آزمایش

■ کلید سلکتور اهم‌متر عقربه‌ای را روی R×۱۰ قرار دهید.

■ قطب مثبت اهم‌متر را به یک سر دیود و قطب منفی آن را به سر دیگر دیود وصل کنید و مقدار مقاومت دیود را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

مقاومت دیود R = ... Ω

■ قطب‌های اهم‌متر را عوض کنید و سپس مقاومت دیود را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

مقاومت دیود R = ... Ω

■ با توجه به قطب‌های اهم‌متر آند و کاتد دیود را تشخیص دهید و در کنار پایه‌های دیود بنویسید.

■ مقدار مقاومت دیود در گرایش مستقیم و معکوس را اندازه بگیرید و جدول ۱-۱۰ را کامل کنید.

جدول ۱-۱۰

ردیف	شماره فنی دیود	شکل ظاهری دیود	اهم در گرایش مستقیم	اهم در گرایش معکوس	وضعیت دیود
۱	۱N۴۰۰۴				
۲					
۳					

■ در جدول ۱-۱۰ وضعیت دیود را از نظر سالم و ناسالم بودن، بررسی کنید.

■ مراحل آزمایش را برای دو نمونه‌ی دیگر دیود تکرار کنید و جدول را کامل کنید.

■ مراحل آزمایش را با اهم‌متر دیجیتالی انجام دهید و آند و کاتد دیود را مشخص کنید.

■ با اندازه‌گیری ولتاژ دیود در گرایش مستقیم و معکوس و تعیین وضعیت دیود از نظر سالم یا ناسالم بودن توسط اهم‌متر دیجیتالی، جدول ۲-۱۰ را کامل کنید.

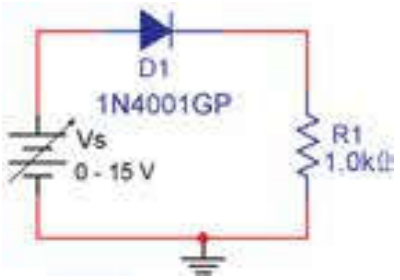
■ ردیف ۱ جدول ۲-۱۰ به عنوان نمونه تکمیل شده است.

جدول ۲-۱۰

ردیف	شماره فنی دیود	شکل ظاهری دیود	ولتاژ دو سر دیود در گرایش مستقیم	ولتاژ دو سر دیود در گرایش معکوس	وضعیت دیود
۱	1 N۴۰۰۷		۰/۶۵۵	۲/۶	سالم
۲					
۳					

■ مدار شکل ۳۶-۱۰ را روی بردبرد ببندید.

دیود را 1N۴۰۰۱ انتخاب کنید.



شکل ۳۶-۱۰

■ ولتاژ منبع تغذیه‌ی V_S را آن قدر تغییر دهید تا ولتاژ دو سر بار برابر با ۵ ولت شود.

■ به وسیله‌ی ولت‌متر ولتاژ دو سر دیود را اندازه بگیرید و آن را یادداشت کنید.

V_D = ... ولت

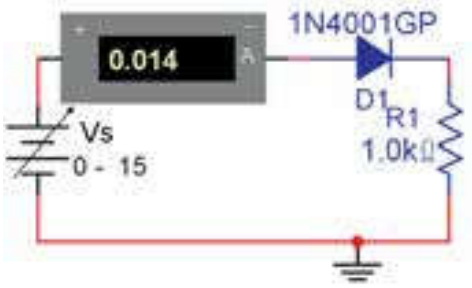
با توجه به رابطه‌ی $I_D = \frac{V_{RL}}{R_L}$ جریان عبوری از دیود را محاسبه کنید.

$$I_D = \frac{V_{RL}}{R_L} = \frac{.....}{.....} = ...$$

■ با استفاده از رابطه‌ی $R_D = \frac{V_D}{I_D}$ مقاومت دیود را در گرایش مستقیم محاسبه و یادداشت کنید.

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = \frac{.....}{.....} = ...$$

■ آمپر متر را مطابق شکل ۳۷-۱۰ با مدار سری کنید. ولتاژ منبع را آن‌قدر تغییر دهید تا ولتاژ دو سر بار برابر با ۵ ولت شود و جریان عبوری از دیود را اندازه بگیرید.

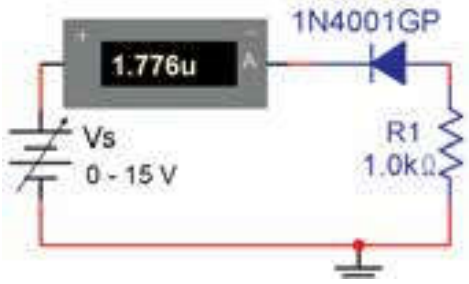


شکل ۳۷-۱۰

I_D = ... mA

■ جریان اندازه‌گیری شده توسط آمپرمتر و جریان محاسبه شده از رابطه‌ی $\frac{V_{RL}}{R_L}$ را با هم مقایسه کنید.

■ جهت دیود را مطابق شکل ۳۸-۱۰ عوض کنید.



شکل ۳۸-۱۰

■ ولتاژ منبع ولتاژ V_S را مطابق جدول ۳-۱۰ تغییر دهید و با اندازه‌گیری ولتاژ دو سر دیود و اندازه‌گیری جریان عبوری از دیود جدول ۳-۱۰ را کامل کنید.

جدول ۳-۱۰

ردیف	V_S (ولت)	ولتاژ V_D	I_D
۱	۲		
۲	۴		
۳	۸		
۴	۱۲		
۵	۱۵		

سوال ۱: آیا از دیود در بایاس مخالف جریانی عبور می‌کند؟

سوال ۲: آیا ولتاژ دو سر دیود در بایاس مخالف با ولتاژ منبع (V_S) برابر است؟

۴-۳-۱۰ نتایج آزمایش: نتایج حاصل از این آزمایش را به طور خلاصه در ۴ سطر بنویسید.

آزمون پایانی فصل (۱۰)

۱- ساختمان نیمه‌هادی‌های نوع N و p را شرح دهید.

۲- در یک قطعه سیلیکون خالص، حفره چگونه به وجود می‌آید؟ شرح دهید.

۳- توضیح دهید که در اتصال PN چگونه در یک جهت جریان بـه راحتی عبور می‌کند و در جهت دیگر جریان عبور نمی‌کند.

۴- تعداد حفره‌های نیمه‌هادی نـوع P ..... نیمه‌هادی نوع N است.

الف) بیشتر از　　ب) کمتر از

ج) مساوی　　د) دو برابر

۵- در بایاس مسـتقیم افت ولتاژ دو سر دیود ایده‌آل چند ولت است؟

الف) ۰/۲　　ب) ۰/۷

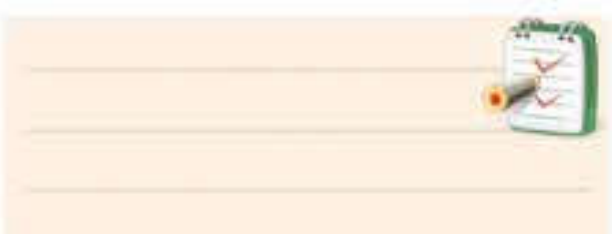
ج) صفر　　د) بی‌نهایت

۶- برای هدایت دیود چه شـرایطی لازم اسـت؟ توضیح دهید .

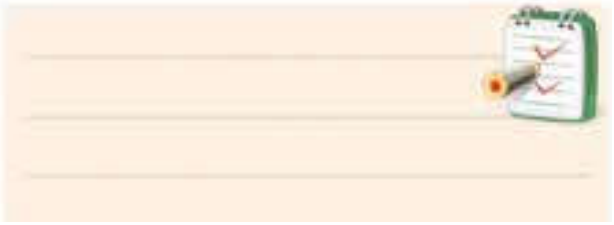
۷- بایاس دیود را توضیح دهید.

۸- چگونگی تشکیل لایه‌ی سد در اتصال PN را توضیح دهید.

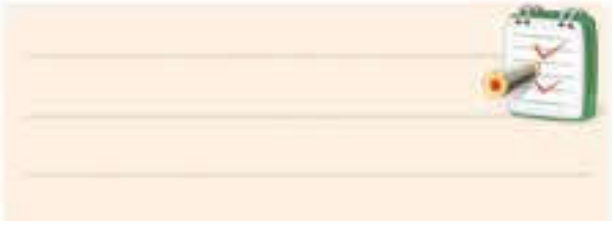
۹- مقدار پتانسـیل سـد برای نیمه‌هادی نوع سیلیسیومی و ژرمانیومی چند میلی‌ولت است؟



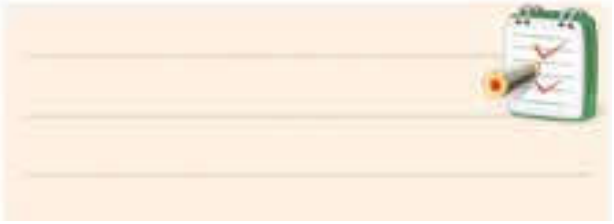
۱۰- مدار معادل دیود معمولی را رسم کنید.



۱۱- منحنی مشـــخصه‌ی ولت- آمپردیـــود معمولی را در بایاس موافق(مستقیم) و بایاس مخالف (معکوس) رسم کنید.



۱۲- ساختمان اتمی ژرمانیوم و سیلیسیوم را شرح دهید.



فصل یازدهم

تجزیه و تحلیل مدارهای دیودی

هدف کلی : تحلیل نظری و عملی یکسوسازها

هدف های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می رود که:

۱- مدار یکسوساز نیم‌موج را رسم کند و طرز کار مدار را شرح دهد.

۲- مقدار متوسط ولتاژ خروجی یکسوکننده‌ی نیم‌موج را محاسبه کند.

۳- مقدار یکسوساز تمام موج با استفاده از ترانسفورماتور سر وسط را رسم کند و طرز کار مدار را شرح دهد.

۴- مدار یکسوساز تمام موج پل را رسم کند و طرز کار مدار را شرح دهد.

۵- نقش صافی‌ها در یکسوکننده‌ها را شرح دهد.

۶- نحوه‌ی استفاده از منبع تغذیه‌ی متقارن را توضیح دهد.

۷- نحوه‌ی عملکرد مدارهای کلیپر (clipper) و کلمپر (clamper) را شرح دهد.

۸- طرز کار مدارهای چند برابر کننده‌ی ولتاژ را شرح دهد.

۹- طرز کار کلید ۱۱۰/۲۲۰ را توضیح دهد.

۱۰- نحوه‌ی عملکرد مدار آشکارساز پیک تو پیک را شرح دهد.

۱۱- شکل موج ولتاژ خروجی یکسوکننده‌ی نیم‌موج را بدون صافی خازنی و با صافی خازنی مشاهده کند و مقدار آن را اندازه بگیرد.

۱۲- شکل موج ولتاژ خروجی یکسوکننده‌ی تمام موج با ترانسفورماتور سر وسط را بدون صافی خازنی و با صافی خازنی، مشاهده کند و مقدار آن را اندازه بگیرد.

۱۳- شکل موج ولتاژ خروجی یکسو کننده‌ی تمام موج پل، بدون صافی خازنی و با صافی خازنی را مشاهده کند و مقدار آن را اندازه بگیرد.

۱۴- ولتاژ خروجی یک مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژ را اندازه‌گیری کند.

۱۵- شکل موج ولتاژ خروجی مدارهای کلیپر و کلمپر را مشاهده کند و مقدار آن را اندازه بگیرد.

۱۶- کلیه ی هدف‌های رفتاری در حیطه‌ی عاطفی که در فصل اول به آن اشاره شده است را در این فصل نیز اجرا کند.

توانایی شماره‌ی ۱۱	ساعت آموزش		
	نظری	عملی	جمع
	۸	۱۸	۲۶

پیش آزمون فصل (۱۱)

۱- مقدار متوسط یک موج سینوسی که یکسو شده نیم‌موج است کدام است؟

الف) $\frac{Vm}{\pi}$ ب) $\frac{۲Vm}{\pi}$

ج) $۲Vm$ د) $\frac{Vm}{۲}$

۲- ولتاژ معکوس دو سر هر دیود در یکسوساز تمام موج، برابر ..... است.

۳- شرط هدایت یک دیود کدام است؟

الف) ولتاژ آند به اندازه‌ی ۰/۶ ولت از کاتد بیشتر باشد.

ب) جریان در مدار به اندازه‌ی کافی وجود داشته باشد.

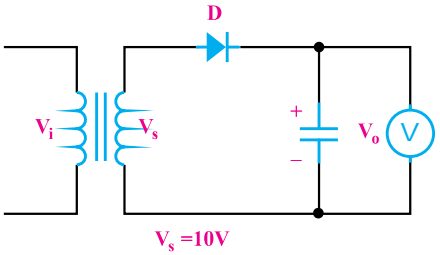
ج) فقط کافی است ولتاژ آند نسبت به کاتد به اندازه‌ی ۰/۶ مثبت‌تر باشد.

د) موارد الف و ب

۴- هر قدر ظرفیت خازن را زیادتر کنیم، ولتاژ خروجی یکسو کننده‌ها ثابت‌تر می‌شود.

صحیح ❐ غلط ❐

۵- در شکل زیر V_o چند ولت است؟



الف) ۱۰ ب) ۹/۴

ج) ۱۴/۱ د) ۱۳/۵

۶- نحوه‌ی عملکرد یکسوساز تمام موج را شرح دهید.

۷- نحوه‌ی عملکرد یکسوساز نیم موج را با رسم شکل شرح دهید.

۸- در یکسوساز پل ، جریان هر دیود برابر است با ..... است.

الف) I_L ب) $\frac{I_L}{۲}$

۹- انتخاب دقیق ظرفیت خازن در صافی‌ها، بستگی به مقدار ولتاژ ضربان یا ضربان قابل قبول دارد.

صحیح ❐ غلط ❐

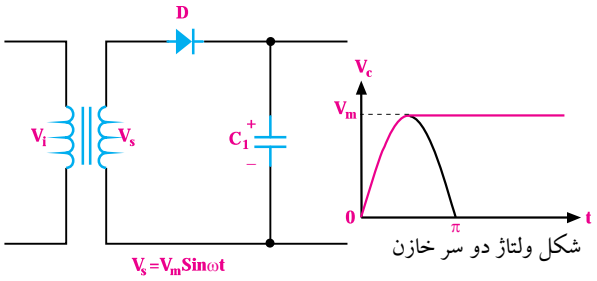
۱۰- خرابی‌های ترانس تغذیه را شرح دهید.

۱۱- یکی از مزیت‌های استفاده از ترانسفورماتور در مدار تغذیه‌ی دستگاه‌های الکترونیکی، ایزوله شدن مدار از برق شهر است.

صحیح ❐ غلط ❐

۱۲- با کلید ..... می‌توانیم دستگاه‌های الکترونیکی را در کشور ایران و سایر کشورها استفاده کنیم.

۱۳- در مدار شکل زیر، خازن به اندازه‌ی ..... شارژ می‌شود.



شکل ولتاژ دو سر خازن

۱۴- مقدار ولتاژ خروجی مدار دوبرابر کننده‌ی ولتاژی که ولتاژ ورودی آن $V_S=V_m Sin\omega t$ می‌باشد، چند ولت است؟

الف) V_m ب) $۲V_m$ ج) $\frac{V_m}{۲}$ د) $۴V_m$

۱–۱۱ یکسوسازها یا رکتی فایرها (Rectifiers)

۱–۱–۱۱ یکسوساز نیم‌موج

یک دیود هنگامی هدایت می‌کند که دو شرط زیر در آن برقرار باشد:

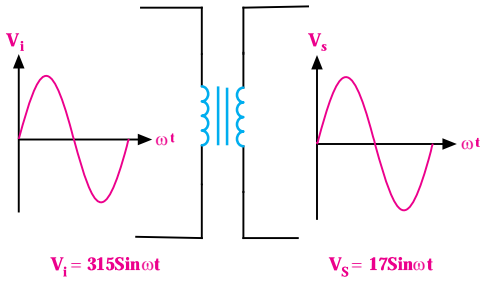
الف: ولتاژ آند تقریبا ۰/۷ ولت مثبت‌تر از ولتاژ کاتد باشد.

ب: جریان عبوری از مدار به اندازه‌ی کافی باشد.

در شکل ۱–۱۱ در صورتی که جریان مورد نیاز دیودها تامین شود، هر دو دیود هدایت می‌کنند. زیرا در هر دو دیود ولتاژ آند تقریبا ۰/۷ ولت مثبت‌تر از کاتد است.

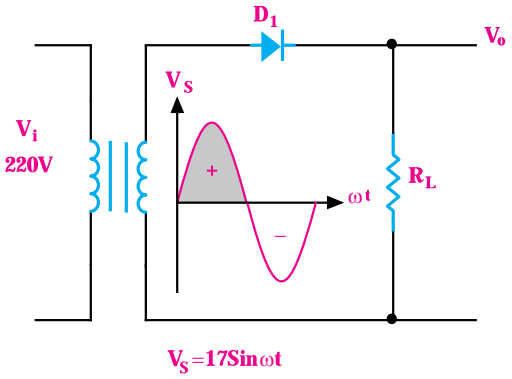
شکل ۱–۱۱ ولتاژ مورد نیاز برای هدایت دیود

یک ترانسفورماتور قادر است ولتاژ موجود مثلا ولتاژ برق شهر یعنی ۲۲۰ ولت را به ولتاژ مورد نیاز مثلا ۱۲ ولت تبدیل کند. اگر به مدار اولیه‌ی ترانسفورماتور یک شکل موج سینوسی بدهیم، در مدار ثانویه‌ی آن نیز شکل موج سینوسی دریافت می‌کنیم، شکل ۲–۱۱.



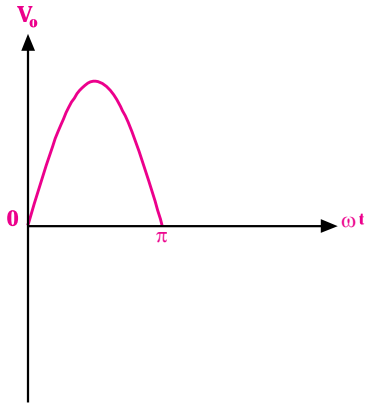
شکل ۲–۱۱ ترانسفورماتور

در مدار شکل ۳–۱۱، در نیم سیکل مثبت برای دیود شرایط هدایت وجود دارد. لذا در نیم سیکل مثبت دیود هدایت می‌کند. در هنگام هدایت دیود، افت ولتاژی معادل ۰/۷ ولت در دو سر آن به وجود می‌آید.



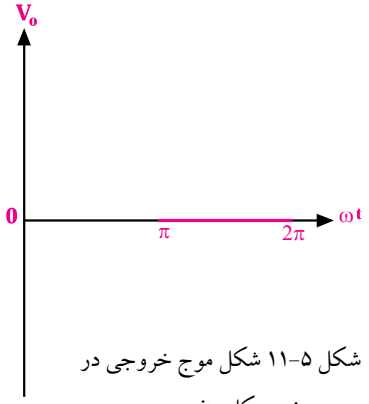
شکل ۳–۱۱ هدایت دیود در نیم‌سیکل مثبت

در تحلیل مدارهای ساده‌ی دیودی مانند یکسوسازها، اغلب از افت ولتاژ ۰/۷ ولت در دو سر دیود صرف نظر می‌کنند و هنگام هدایت دیود آن را اتصال کوتاه و مشابه یک کلید بسته در نظر می‌گیرند. شکل ۴–۱۱، شکل موج ولتاژ خروجی مدار یکسوساز را در شرایطی که دیود هادی می‌شود نشان می‌دهد.



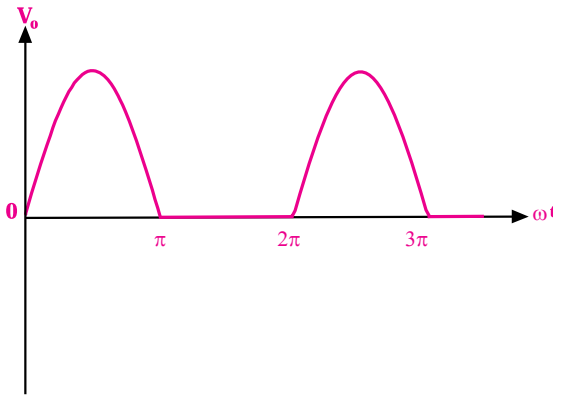
شکل ۴–۱۱ شکل موج خروجی در نیم سیکل مثبت

در نیم‌سیکل منفی، دیود در بایاس معکوس قرار می‌گیرد، لذا هدایت نمی‌کند و جریان در مدار صفر است. بنابراین $V_O=R.i=R\times 0=0\ V$ می‌شود. در شکل ۵–۱۱ شکل موج ولتاژ خروجی یکسوساز در نیم‌سیکل منفی (از π تا ۲π) نشان داده شده است.



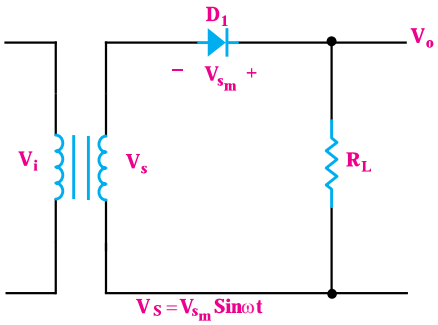
شکل ۵-۱۱ شکل موج خروجی در نیم‌سیکل منفی

شکل موج ولتاژ خروجی این مدار مانند شکل ۶-۱۱ است.



شکل ۶-۱۱ شکل موج خروجی برای مدار شکل ۳-۱۱

حداکثر ولتاژی که در بایاس مستقیم (V_F) می‌تواند دو سر دیود افت کند، حدود یک ولت است. در بایاس معکوس میزان افت ولتاژ دو سر دیود برابر با ماکزیمم ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور می‌شود. هنگام انتخاب دیود باید به این نکته یعنی حداکثر ولتاژ مخالف دیود توجه کنیم، شکل ۷-۱۱.

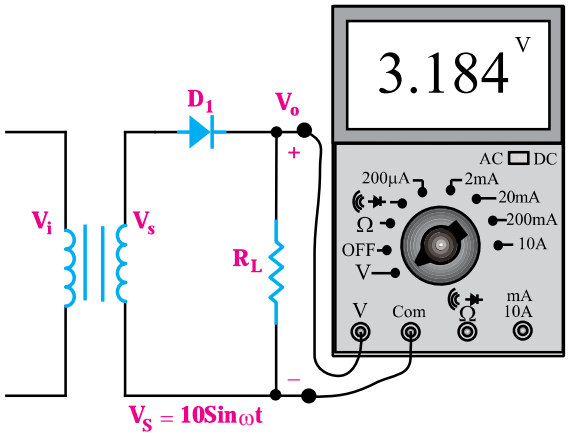


V_{s_m} ماکزیمم ولتاژ ثانویه

شکل ۷-۱۱

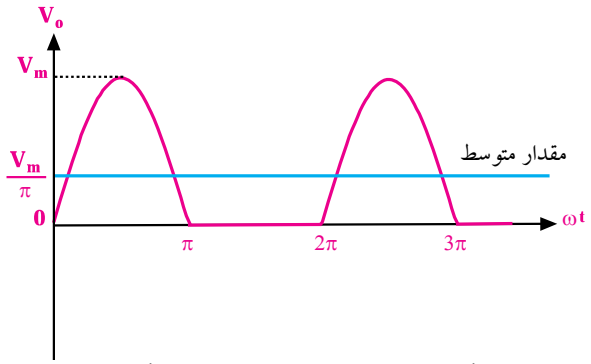
به مدار شکل ۷-۱۱ یکسوکننده‌ی نیم‌موج می گویند.

اگر یک ولت‌متر DC را به خروجی مدار شکل ۷-۱۱ ببندیم، ولت‌متر DC مقدار متوسط ولتاژ را نشان می‌دهد، شکل ۸-۱۱. در این اندازه‌گیری از افت ولتاژ دو سر دیود در جهت موافق صرف‌نظر شده است.



شکل ۸-۱۱ اندازه‌گیری مقدار متوسط ولتاژ

مقدار متوسط یک موج سینوسی که به صورت نیم‌موج یکسو شده است برابر $V_{ave} = V_{DC} = \frac{Vm}{\pi}$ است، شکل ۹-۱۱.



شکل ۹-۱۱ تعیین مقدار متوسط از روی شکل موج

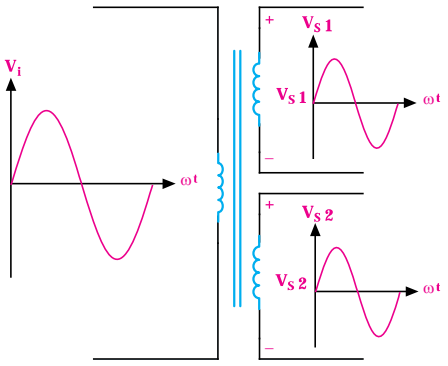
۲-۱-۱۱ یکسوساز تمام موج

یکسوساز تمام موج با استفاده از ترانسفورماتور سر وسط

اگر یک ترانسفورماتور دارای دو سیم‌پیچ ثانویه باشد، در خروجی آن دو ولتاژ جدا از هم داریم. این دو ولتاژ می‌توانند

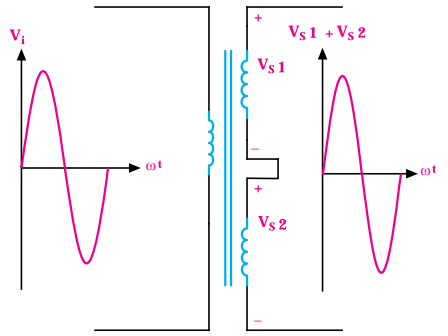
با یکدیگر برابر یا نابرابر باشند که به تعداد دورهای سیم‌پیچ ثانویه بستگی دارد.

فرض کنید یک ترانسفورماتور دو سیم‌پیچ ثانویه با تعداد دور مساوی و جدا از هم دارد، در این صورت دو شکل موج سینوسی جدا از هم با دامنه‌های برابر در خروجی‌های ترانسفورماتور به وجود می‌آید. در شکل ۱۰-۱۱ این شکل موج‌ها نشان داده شده‌اند. علامت‌های «+» و «−» روی نماد فنی سیم‌پیچ‌های ثانویه مربوط به قطب ولتاژهای لحظه‌ای در نیم‌سیکل مثبت است. توجه داشته باشید که در نیم سیکل منفی علامت‌ها عوض می‌شوند.



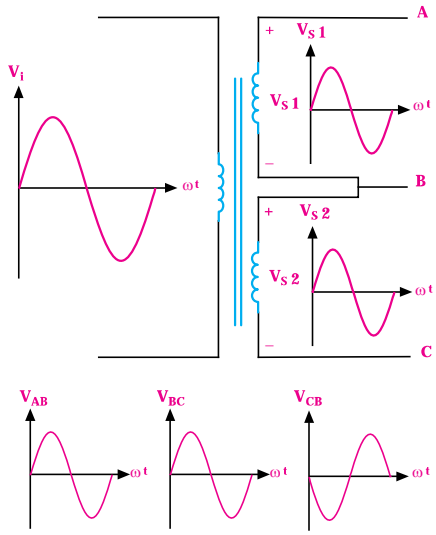
شکل ۱۰-۱۱ ترانسفورماتور با دو سیم‌پیچ ثانویه‌ی جدا از هم

اگر انتهای یک سیم‌پیچ ثانویه را به ابتدای سیم‌پیچ دیگر وصل کنیم، دو سیم‌پیچ با یکدیگر سری می‌شوند و ولتاژ خروجی دو برابر ولتاژ یکی از سیم‌پیچ‌ها خواهد شد، شکل ۱۱-۱۱.



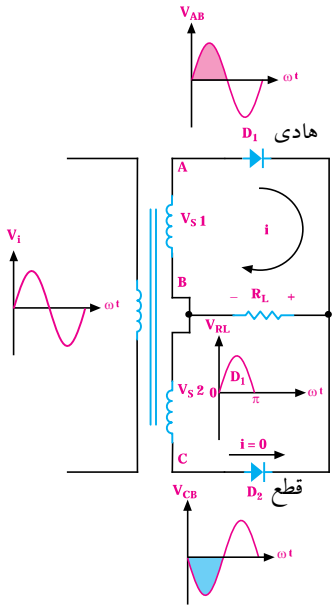
شکل ۱۱-۱۱ اتصال سری دو سیم‌پیچ ثانویه در ترانسفورماتور

اگر محل اتصال دو سیم‌پیچ را به عنوان سر مشترک بین دو سیم‌پیچ انتخاب کنیم، شکل موج ولتاژ در نقاط A، B و C به صورت شکل ۱۲-۱۱ در می‌آید.



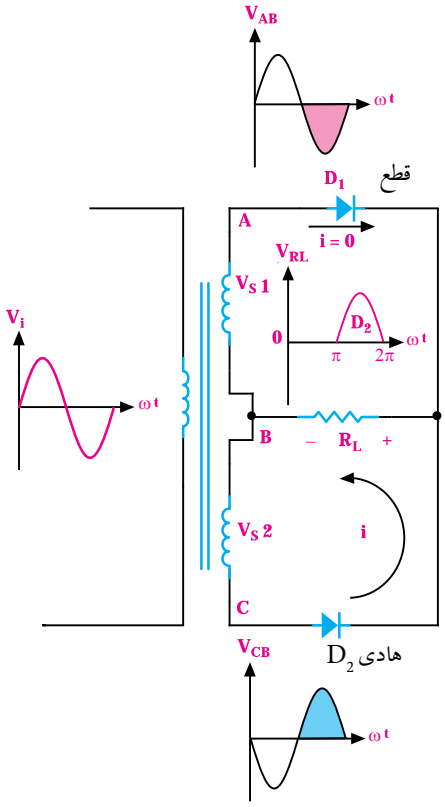
شکل ۱۲-۱۱ نمایش ترانسفورماتور با ثانویه‌ی سه سر

اگر مدار شکل ۱۳-۱۱ را ببندیم، در نیم‌سیکل مثبت دیود D_1 هادی می‌شود و دیود D_2 در بایاس معکوس قرار می‌گیرد. بنابراین شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در نیم سیکل مثبت تقریباً مشابه شکل موج ولتاژ دو سر ثانویه‌ی ترانسفورماتور است.



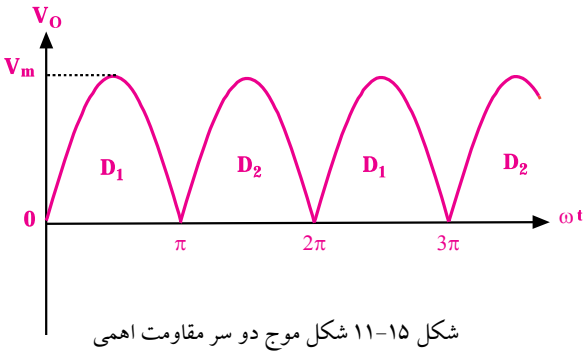
شکل ۱۳-۱۱ در نیم‌سیکل مثبت دیود D_1 هادی و دیود D_2 قطع است.

در نیم‌سیکل منفی، دیود D_1 قطع و دیود D_2 هادی است، لذا شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در نیم‌سیکل منفی، تقریباً مشابه شکل موج ولتاژ دو سر ثانویه‌ی ترانسفورماتور (V_{S2}) می‌شود. در شکل ۱۴-۱۱ شکل موج ولتاژ دو سر مقاومت یا V_O در فاصله‌ی π تا 2π (نیم‌سیکل منفی) نشان داده شده است.



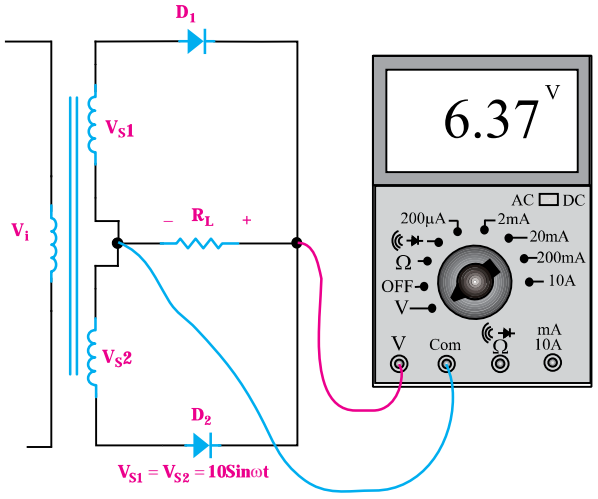
شکل ۱۴-۱۱ در نیم‌سیکل منفی دیود D_1 قطع و دیود D_2 هادی است.

شکل ولتاژ دو سر مقاومت اهمی در یک سیکل کامل به صورت شکل ۱۵-۱۱ در می‌آید.



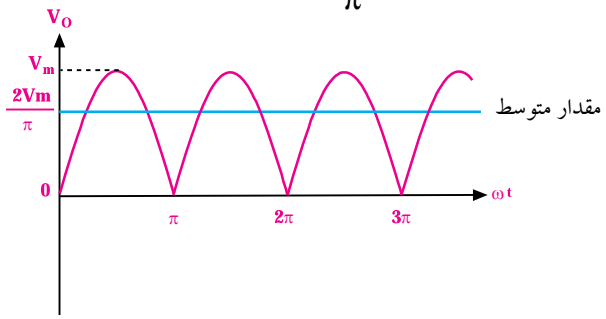
شکل ۱۵-۱۱ شکل موج دو سر مقاومت اهمی

اگر یک ولت‌متر DC را به دو سر بار (مقاومت اهمی) وصل کنیم، ولت‌متر DC مقدار متوسط شکل موج سینوسی یکسو شده را نشان می‌دهد، شکل ۱۶-۱۱.



شکل ۱۶-۱۱ اندازه‌گیری ولتاژ DC در یکسوساز تمام موج

مقدار متوسط شکل موج سینوسی یکسو شده به صورت تمام موج و برابر با $\frac{2Vm}{\pi}$ است، شکل ۱۷-۱۱.



شکل ۱۷-۱۱ تعیین مقدار متوسط در یکسو ساز تمام موج

به یکسوساز شکل ۱۶-۱۱ یکسوساز تمام موج می‌گویند.

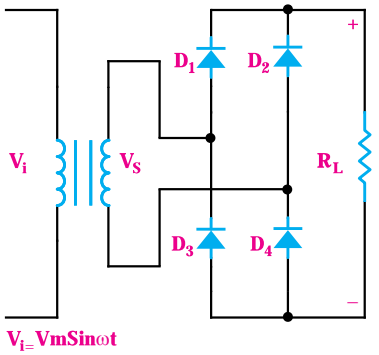
موارد زیر را به خاطر داشته باشید:

الف: در یکسوساز تمام موج با ترانسفورماتور سر وسط، جریان گذرنده از هر دو دیود برابر $I_D = \frac{1}{2} I_L$ است.

ب: ولتاژ معکوس دو سر هر دیود در یکسوساز تمام موج برابر $2V_m$ است.

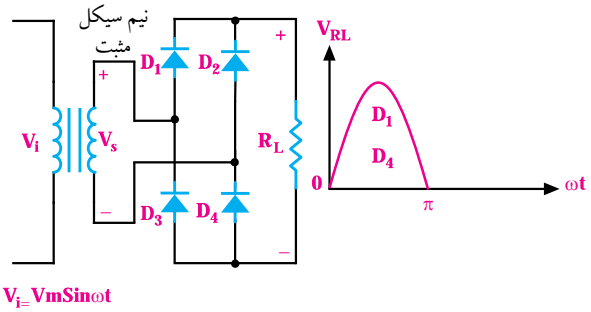
۳-۱-۱۱ یکسوساز پل گرتز یک فازه(پل دیود)

یکسـو کننده‌ی پل گرتز یک فازه مطابق شکل ۱۸-۱۱ از چهار دیود تشکیل می‌شود.



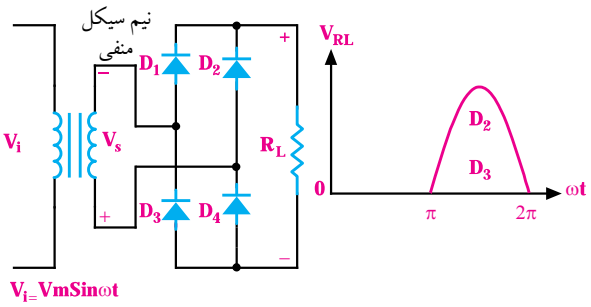
شکل ۱۸-۱۱ یکسوساز تمام موج (پل گرتز یک فازه)

در نیم‌سـیکل مثبت دیودهای D_1 و D_4 هدایت می کنند و دیودهـای D_2 و D_3 در حالت قطع هسـتند. زیرا هر دو در بایاس معکوس قرار می گیرند. شـکل موج ولتاژ خروجی در نیم‌سیکل مثبت، در شکل ۱۹-۱۱ نشان داده شده است.



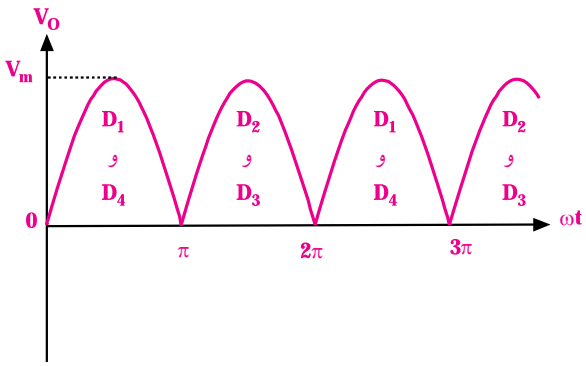
شکل ۱۹-۱۱ هدایت دیودهای D_1 و D_4 در یکسوساز پل

در نیم‌سیکل منفی، دیودهای D_2 و D_3 هدایت می کنند و دیودهای D_1 و D_4 در بایاس معکوس قرار می گیرند. شـکل موج ولتاژ خروجی در نیم‌سـیکل منفی را در شـکل ۲۰-۱۱ ملاحظه می کنید.



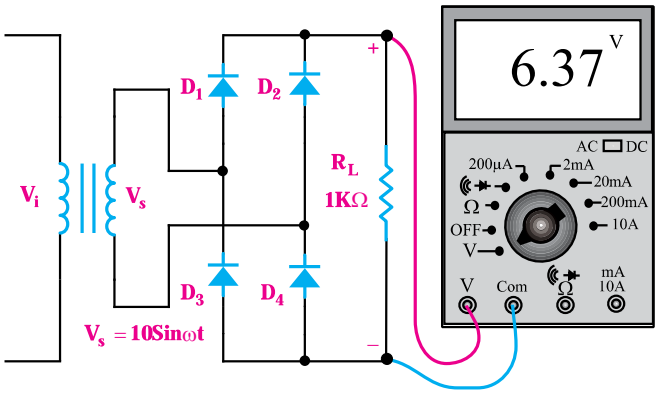
شکل ۲۰-۱۱ هدایت دیودهای D_2 و D_3 در یکسوساز پل

در شکل ۲۱-۱۱ شکل موج ولتاژ خروجی یکسوکننده‌ی پل گرتز یک فازه نشان داده شده است.



شکل ۲۱-۱۱ شکل موج خروجی یکسوساز پل

مـقـدار مـتـوسـط ولـتـاژ یـکـسـو شـده بـرابـر با $V_{DC} = V_{ave} = \frac{2Vm}{\pi}$ است. در شکل ۲۲-۱۱ اگر از افت ولتاژ دو سر دیودها صرف نظر کنیم، ولت‌متر مقدار متوسط ولتاژ یعنی $V_{ave} = \frac{2Vm}{\pi} = \frac{2\times10}{\pi} = 6/37\,V$ را نشان می‌دهد.



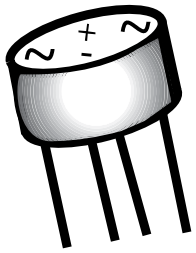
شکل ۲۲-۱۱ اندازه‌گیری مقدار متوسط ولتاژ خروجی یکسوساز پل به وسیله‌ی ولت‌متر

نکات مهم

در یکسوساز پل، جریان هر دیود برابر با نصف جریان مصرف کننده (بار) یعنی $I_D = \frac{1}{2} I_L$ است.

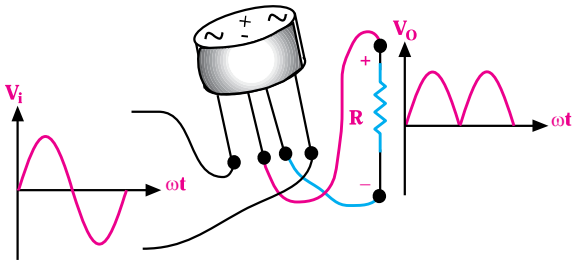
حداکثر ولتاژ معکوسی که در دو سر هر دیود در یکسوساز پل افت می‌کند، برابر با V_m است.

معمولا چهار عدد دیودی را که به صورت پل بسته می‌شوند، به صورت یک قطعه‌ی یکپارچه می‌سازند. در شکل ۱۱-۳۳ یک نمونه از این نوع پل دیودها نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۲۳ یک نمونه پل دیود

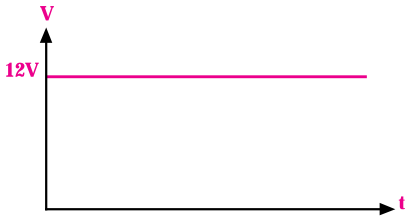
این قطعه دارای چهار پایه است. دو پایه‌ی آن را با علامت «~» مشخص می‌کنند که ولتاژ متناوب به این دو پایه داده می‌شود و دو پایه‌ی دیگر پل، خروجی یکسو شده است که آن را با علامت «+» (قطب مثبت) و علامت «-» (قطب منفی) مشخص می‌کنند. از این دو پایه‌ی ولتاژ، خروجی یکسو شده دریافت می‌شود، شکل ۱۱-۲۴.



شکل ۱۱-۲۴ چگونگی اتصال پل دیود

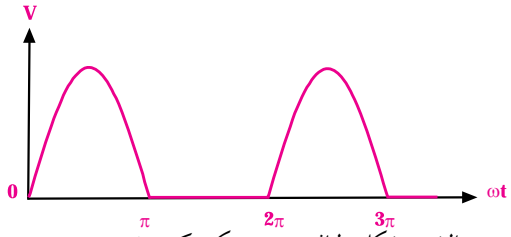
۱۱-۱-۴ صافی‌ها

مدارهای الکترونیکی معمولاً نیاز به ولتاژ نسبتاً ثابتی مانند شکل موج ۱۱-۲۵ دارند.

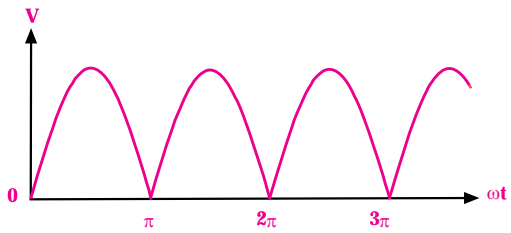


شکل ۱۱-۲۵ ولتاژ ثابت

همانطور که مشاهده شد، شکل موج ولتاژ خروجی یکسوسازهای نیم‌موج و تمام موج یک‌فازه دارای ضربان‌هایی است. مقدار ولتاژ آن در نقاط $\omega t=\pi$ و $\omega t=2\pi$ و ..... به صفر می‌رسد. شکل ۱۱-۲۶.



الف ــ شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده نیم‌موج

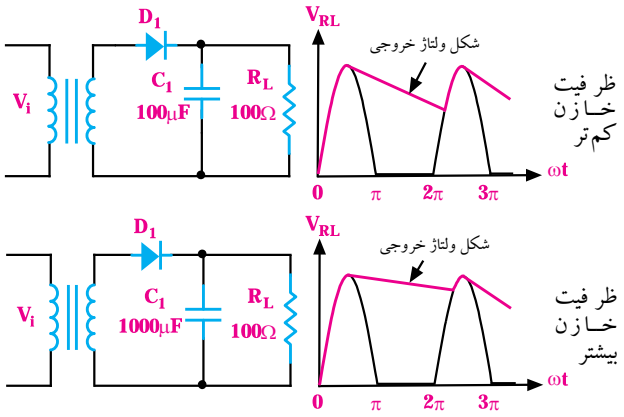


ب ــ شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده تمام موج

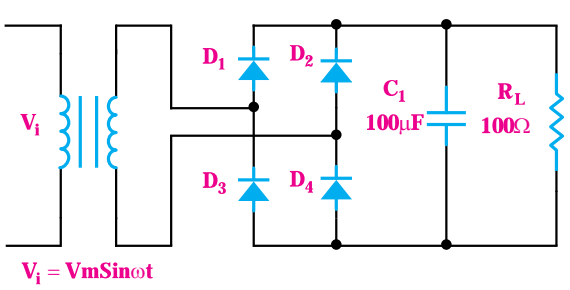
شکل ۱۱-۲۶ شکل موج ولتاژ خروجی یکسوسازهای نیم‌موج و تمام موج

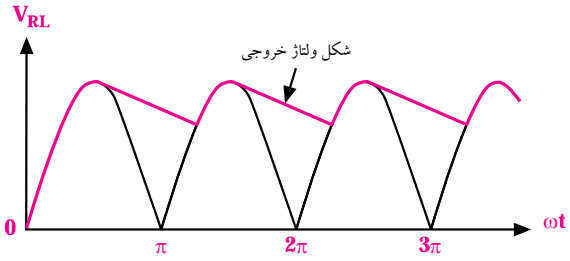
برای تبدیل ولتاژ ضربان‌دار دریافتی از خروجی یک‌سوسازها به ولتاژ ثابت، از یک خازن که با بار موازی می‌شود استفاده می کنند. این مدار برای توان‌های کم به کار می‌رود ، شکل ۱۱-۲۷.

هر قدر ظرفیت خازن بیشتر باشد شکل ولتاژ خروجی صاف‌تر (ثابت‌تر) می‌شود. در شکل‌های ۲۸-۱۱- الف و ب، این خازن به وضوح برای یکسوساز تمام موج پل نشان داده شده است.

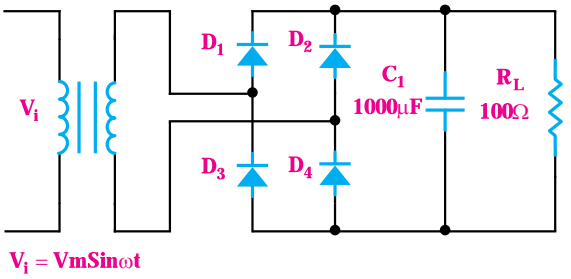


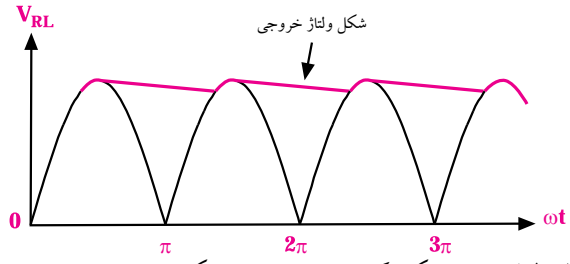
شکل ۲۷-۱۱ ظرفیت خازن بیشتر، شکل موج صاف‌تر





الف ــ شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده با خازن ۱۰۰ میکروفاراد

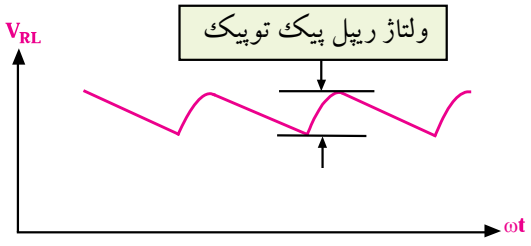




ب ــ شکل ولتاژ خروجی یکسوکننده با خازن ۱۰۰۰ میکروفاراد

شکل ۲۸-۱۱ هر قدر ظرفیت خازن بیشتر باشد شکل موج ولتاژ خروجی صاف‌تر می‌شود.

انتخاب مقدار دقیق ظرفیت خازن بستگی به مقدار ولتاژ ضربان (ریپل ripple) یا ضربان قابل قبول در مدارهای الکترونیکی دارد. لازم به یادآوری است که برای کم کردن دامنه‌ی ولتاژ ریپل، از مدارهای دیگر الکترونیکی به نام رگولاتورها استفاده می کنند.



شکل ۲۹-۱۱ مقدار پیک‌توپیک ضربان یا ریپل (ripple)

نکته‌ی خیلی مهم:

گرچه هر قدر ظرفیت خازن را زیاد کنیم، ولتاژ خروجی یکسوسازها صاف‌تر (ثابت‌تر) می‌شود ولی جریان لحظه‌ای دیود نیز به شدت افزایش می‌یابد و گاهی ممکن است دیود را بسوزاند.

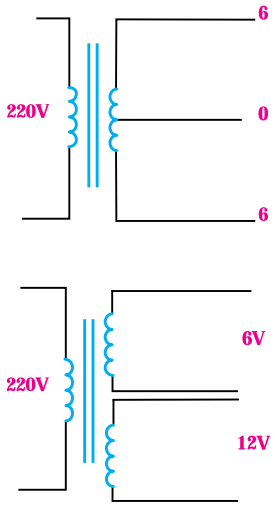
۲-۱۱ ترانسفورماتور تغذیه

۱-۲-۱۱ مشخصات ترانسفورماتور تغذیه

همان‌طور که قبلا گفته شد، ترانسفورماتور تغذیه یا ترانسفورماتور قدرت به ترانسی گفته می‌شود که ولتاژ اولیه‌ی آن ولتاژ برق شهر باشد. تقریبا همه‌ی دستگاه‌های الکترونیکی احتیاج به ولتاژ DC دارند. مقدار ولتاژ DC با توجه به نوع کار و مدار دستگاه متفاوت است ولی اغلب آن‌ها به ولتاژ کم نیاز دارند. ترانس تغذیه که عموما کاهنده است ، برق شهر را به ولتاژی کم‌تر تبدیل می‌کند. در ثانویه‌ی این ترانس‌ها برحسب نیاز، ممکن است چند سر با ولتاژهای مختلف وجود داشته باشد. شکل ۳۰-۱۱ ساختمان یک نوع ترانسفورماتور تغذیه را نشان می‌دهد.

شکل ۳۰-۱۱ ساختمان یک نوع ترانسفورماتور

در شکل ۳۱-۱۱ نماد فنی دو نوع ترانسفورماتور با ولتاژ ثانویه متفاوت را مشاهده می‌کنید.



شکل ۳۱-۱۱ نماد فنی دو نوع ترانسفورماتور

یکی از مزیت‌های استفاده از ترانسفورماتور در مدار تغذیه‌ی دستگاه‌های الکترونیکی ، ایزوله شدن مدار از برق شهر است.

می‌دانیم فاز برق شهر نسبت به زمین دارای اختلاف پتانسیل الکتریکی است و در صورت تماس بدن با سیم فاز خطر برق گرفتگی وجود دارد. بنابراین استفاده از ترانس خطر برق گرفتگی را کاهش می‌دهد. چون سیم‌پیچ ثانویه با سیم‌پیچ اولیه در شرایط کار عادی هیچ‌گونه تماس الکتریکی ندارد.

۲-۲-۱۱ خرابی‌های ترانس تغذیه

ترانسفورماتور تغذیه مانند هر قطعه‌ی دیگری معیوب می‌شود. خرابی‌های ترانس تغذیه ممکن است یکی از موارد زیر باشد :

الف- قطع شدن سیم‌پیچ اولیه یا ثانویه

ب- نیم‌سوز شدن (اتصال کوتاه ناقص در سیم‌پیچ‌ها)

ج- اتصال کوتاه کامل

د- اتصال سیم‌پیچ به بدنه (هسته)

۳-۱۱ آزمایش شماره‌ی (۱)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

۱-۳-۱۱ هدف آزمایش:

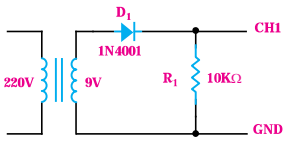
مشاهده و اندازه‌گیری شکل موج ولتاژ خروجی یکسوساز نیم‌موج یک فازه بدون صافی خازنی و با صافی خازنی.

۲-۳-۱۱ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

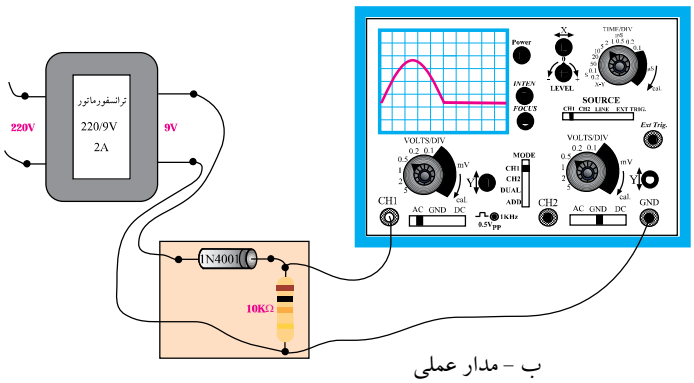
ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ یک یا دو کاناله	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر	یک دستگاه
۳	ترانسفورماتور ۲۲۰/۹ V	یک عدد
۴	مقاومت ۱۰KΩ	یک عدد
۵	خازن ۴۷۰μF/۳۵ V	یک عدد
۶	دیود ۱N۴۰۰۱	یک عدد
۷	سیم رابط دو سرگیره سوسماری	شش رشته
۸	سیم رابط یک سرگیره سوسماری	شش رشته

۳-۳-۱۱ مراحل اجرای آزمایش:

- مدار شکل ۳۲-۱۱ را روی بردبرد ببندید.



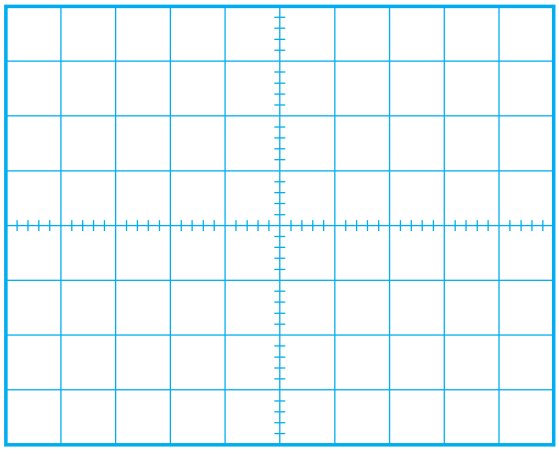
الف - شماتیک مدار



ب - مدار عملی

شکل ۳۲-۱۱ مدار عملی یکسوساز نیم‌موج

- اسیلوسکوپ را روشن کنید و تنظیم‌های زیر را روی آن انجام دهید.
- با ولوم‌های INTEN و FOCUS اشعه را نازک و با نور کافی تنظیم کنید.
- کلید سلکتور MODE را در حالت CH1 بگذارید.
- کلید سلکتور SOURCE را در حالت Line بگذارید.
- کلید سلکتور Volts/Div کانال CH1 را روی ۵ ولت بگذارید.
- کلید سلکتور Time/Div را روی ۲ms بگذارید.
- کلید AC- GND- DC را در حالت GND بگذارید.
- به کمک ولوم V/Position خط اشعه را در وسط صفحه تنظیم کنید.
- ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط کامل به برق ۲۲۰ ولت وصل کنید.
- کلید AC- GND- DC اسیلوسکوپ را به حالت DC تغییر دهید.
- شکل موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را در نمودار شکل ۳۳-۱۱ با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۳۳-۱۱

■ دامنه‌ی سیگنال نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

دامنه سیگنال = ... V

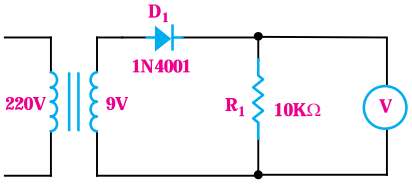
مقدار متوسط = دامنه سیگنال / π = Vm / π = ... / ۳/۱۴ = ... V

■ اولیه‌ی ترانسفورماتور را از برق شهر جدا کنید.

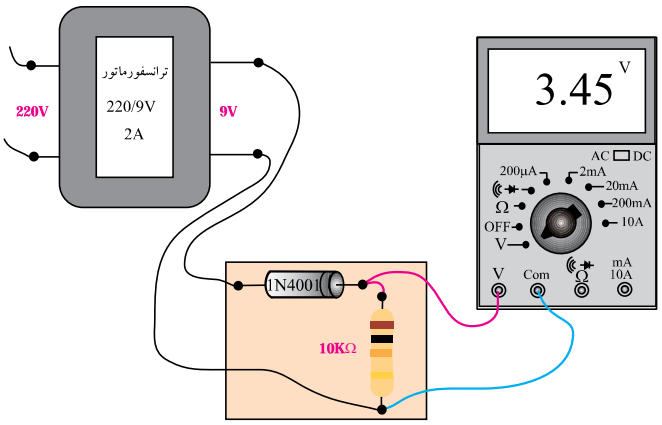
■ اسیلوسکوپ را از مدار جدا کنید (خاموش کنید).

■ تنظیم‌های انجام شده روی اسیلوسکوپ را تغییر ندهید.

■ یک ولت‌متر DC به دو سر مقاومت ببندید و رنج ولت‌متر را روی ۲۰ ولت بگذارید ، شکل ۳۴-۱۱.



الف- نقشه فنی مدار



ب - مدار عملی

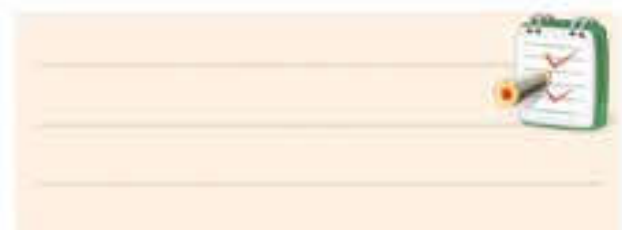
شکل ۳۴-۱۱ اندازه‌گیری ولتاژ DC با ولت‌متر

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط به برق شهر وصل کنید.

■ ولتاژی را که ولت‌متر DC نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید. ولت‌متر DC، مقدار متوسط ولتاژ را نشان می‌دهد.

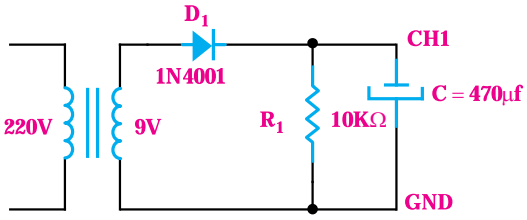
V ..... =ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد.

سوال ۱: آیا مقداری را که ولت‌متر نشان می‌دهد با مقداری که از طریق محاسبه (مقدار متوسط) به دست‌آورده‌اید برابر است؟ توضیح دهید.

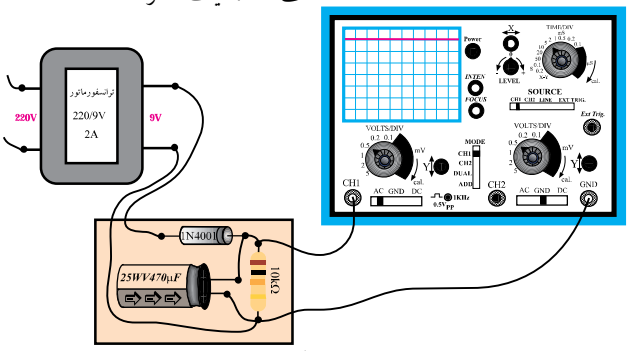


در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های قبلی مراجعه کنید و به مرور دوباره‌ی مطالب بپردازید.

■ مدار شکل ۳۵-۱۱ را ببندید.



الف - شماتیک مدار

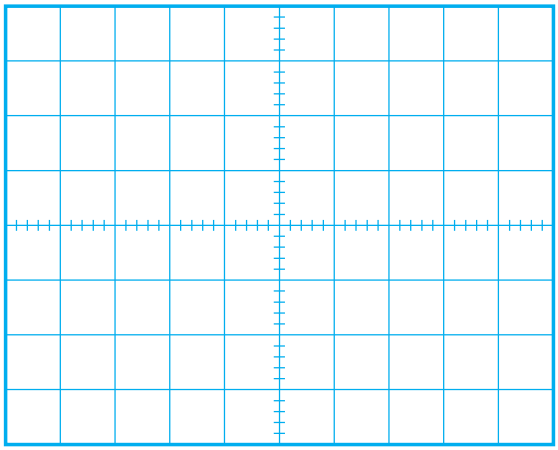


ب - مدار عملی

شکل ۳۵-۱۱ یکسوساز نیم‌موج با صافی خازنی

■ ورودی ترانسفورماتور را به ولتاژ برق شهر وصل کنید.

■ موج نشـان داده شـده روی صفحه‌ی حسـاس را در نمودار شکل ۱۱-۳۶ با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۱۱-۳۶

سوال ۲: خازن ۴۷۰ میکروفاراد چه نقشی در شکل موج ولتاژ خروجی دارد؟ با توجه به شکل ۱۱-۳۶ توضیح دهید.

۱۱-۴-۳ نتایج آزمایش:

آن‌چه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

۱۱-۴ آزمایش شماره‌ی (۲)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

۱۱-۴-۱ هدف آزمایش :

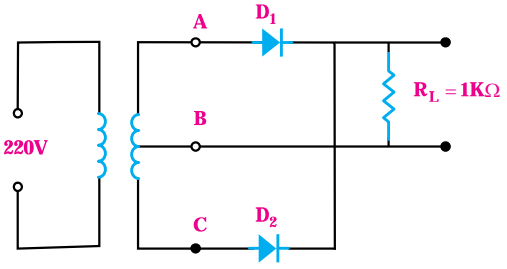
بررسـی عملی یکسوسـاز تمام موج با ترانسفورماتور سر وسط

۱۱-۴-۲ تجهیزات ، ابزار ، قطعات و مواد مورد نیاز :

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ یک یا دو کاناله	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر دیجیتالی	یک دستگاه
۳	ترانسفورماتور ۹ V × ۲۲۰/۲	یک عدد
۴	دیود ۱N۴۰۰۱	دو عدد
۵	مقاومت ۱KΩ	یک عدد
۶	سیم رابط	به مقدار کافی

۱۱-۴-۳ مراحل اجرای آزمایش :

■ مداری مطابق شکل ۱۱-۳۷ روی بردبرد ببندید.

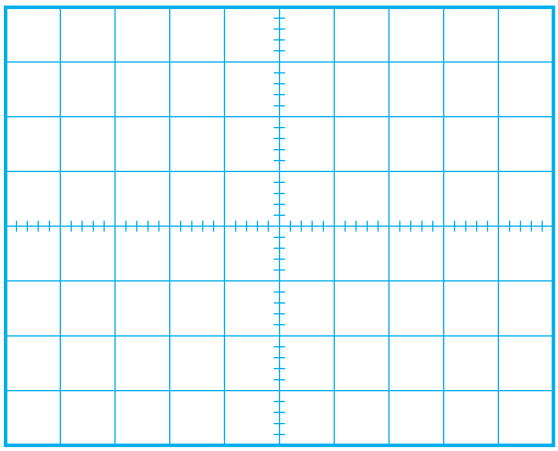


شکل ۱۱-۳۷ مدار یکسوساز تمام‌موج با ترانس سروسط

■ ورودی ترانسفورماتور را به برق شهر وصل کنید.

■ اسیلوسکوپ را به نقاط AB وصل کنید.

■ شکل موج خروجی را برای یک پریود روی نمودار شکل ۱۱-۳۸ با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۳۸-۱۱ شکل موج خروجی

■ دامنه‌ی موج را اندازه بگیرید.

$$V_{m_{AB}} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ V$$

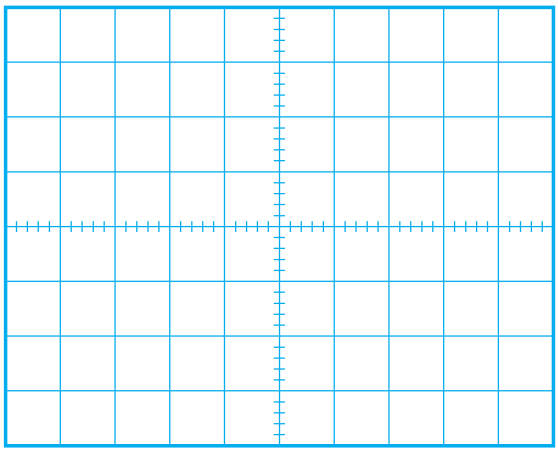
■ اسیلوسکوپ را بین نقاط CB وصل کنید.

■ شکل موج بین نقاط B و C را در نمودار شکل ۳۸-۱۱ با رنگ دیگری رسم کنید.

■ دامنه‌ی موج بین نقاط B و C را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{m_{CB}} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ V$$

■ اسیلوسکوپ را به دو سر بار وصل کنید و شکل موج دو سر بار را برای یک سیکل کامل روی نمودار شکل ۳۹-۱۱ با مقیاس مناسب رسم کنید.



شکل ۳۹-۱۱ شکل موج دو سر بار

■ مقدار ماکزیمم ولتاژ شکل موج دو سر بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{m_{R_L}} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ V$$

■ پریود موج دو سر بار را اندازه بگیرید سپس فرکانس آن را اندازه بگیرید.

$$T = \ldots\ldots\ldots$$

$$f = \frac{1}{T} = \ldots\ldots\ldots$$

■ به وسیله‌ی ولت‌متر DC مقدار متوسط (میانگین) ولتاژ دو سر بار را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

$$V_{R_L}(DC) = \ldots\ldots\ldots\ldots\ V$$

■ با استفاده از فرمول $V_{R_L} = \frac{2Vm}{\pi}$ میانگین ولتاژ دو سر بار را محاسبه کنید.

$$V_{R_L} = \frac{2\times\ldots\ldots\ldots}{3/14} = \ldots\ldots\ldots\ldots V$$

سوال ۳: مقدار میانگین ولتاژ دو سر بار را که از فرمول محاسبه نموده‌اید با مقدار اندازه‌گیری شده مقایسه کنید و در صورت اختلاف در مورد آن توضیح دهید.

۴-۴-۱۱ نتایج آزمایش:

آن‌چه را که در این آزمایش فراگرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

۵-۱۱ آزمایش شماره (۳)

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

۱-۵-۱۱ هدف آزمایش:

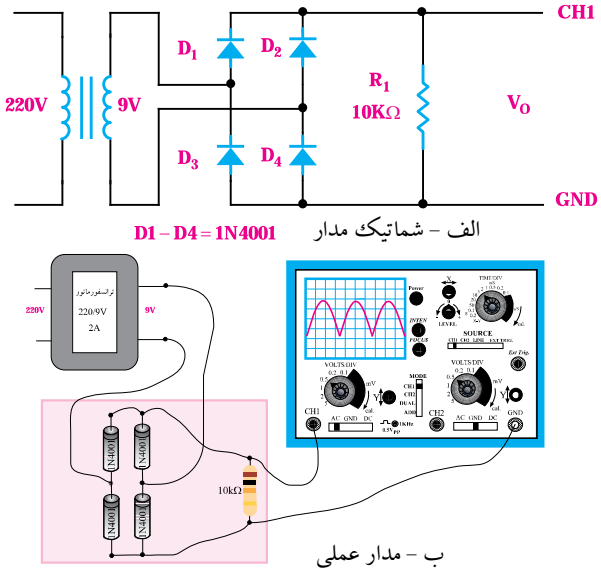
مشاهده و اندازه‌گیری شکل موج ولتاژ خروجی یکسوساز تمام موج بدون خازن صافی و با صافی خازنی

۲-۵-۱۱ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ یک یا دو کاناله	یک دستگاه
۲	مولتی‌متر دیجیتالی	یک دستگاه
۳	ترانسفورماتور ۲۲۰/۹ V	یک عدد
۴	مقاومت ۱۰KΩ	یک عدد
۵	خازن ۴۷۰μF/۳۵ V	یک عدد
۶	دیود ۱N۴۰۰۱	چهار عدد
۷	سیم رابط دو سرگیره سوسماری	شش رشته
۸	سیم رابط یک سرگیره سوسماری	شش رشته

۳-۵-۱۱ مراحل اجرای آزمایش:

■ مدار شکل ۴۰-۱۱ را روی برد برد ببندید.

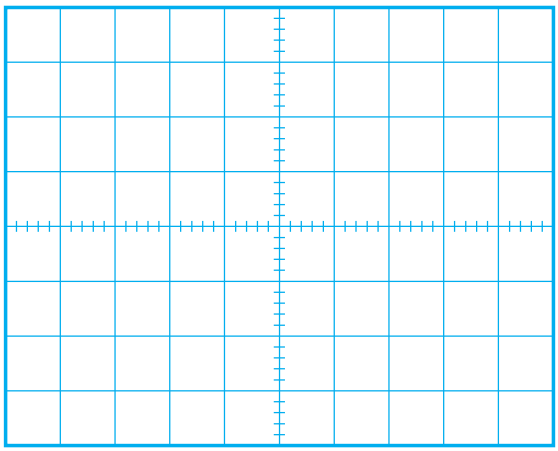


شکل ۴۰-۱۱ مدار عملی یکسوساز پل

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط کامل به برق ۲۲۰ ولت وصل کنید.

■ اسیلوسکوپ را مانند آزمایش شماره ۱ تنظیم کنید .

■ شکل موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس اسیلوسکوپ را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۴۱-۱۱ رسم کنید.



شکل ۴۱-۱۱

■ دامنه‌ی سیگنال نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را اندازه بگیرید و یادداشت کنید

دامنه‌ی سیگنال = ... V

مقدار متوسط = $\frac{\text{دامنه‌ی سیگنال} \times ۲}{\pi} = \frac{۲Vm}{\pi} = \frac{۲ \times .....}{۳/۱۴} = ...V$

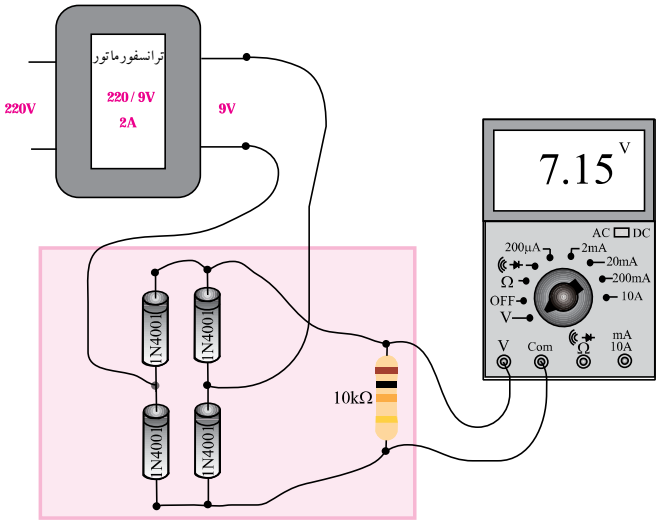
■ اولیه‌ی ترانسفورماتور را از برق شهر جدا کنید.

■ اسیلوسکوپ را از مدار جدا کنید (خاموش نکنید).

■ تنظیم‌های انجام شده روی اسیلوسکوپ را تغییر ندهید.

■ یک ولت‌متر DC به دو سر مقاومت ۱۰ KΩ ببندید و رنج آن را روی ۲۰ ولت DC قرار دهید، شکل ۴۲-۱۱.

الف – شماتیک مدار



ب – مدار عملی

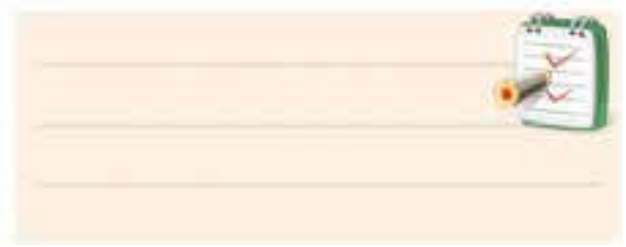
شکل ۴۲-۱۱ اندازه‌گیری ولتاژ خروجی با ولت‌متر DC

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط به برق شهر وصل کنید.

■ ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.

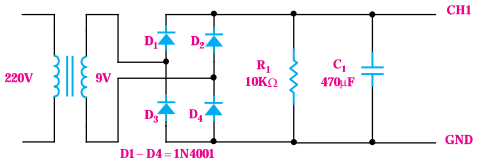
V = ... V

سوال ۴: آیا مقداری که ولت‌متر DC نشان می‌دهد با مقداری که از طریق محاسبه به دست آورده‌اید برابر است؟ توضیح دهید.

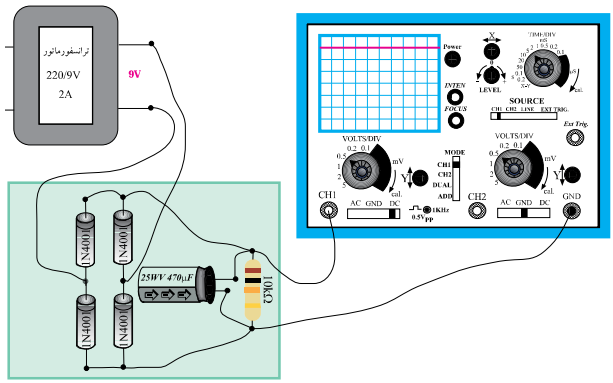


در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های قبلی مراجعه کنید و به مرور دوباره‌ی مطالب بپردازید.

■ مدار شکل ۴۳-۱۱ را ببندید.



الف – شماتیک مدار

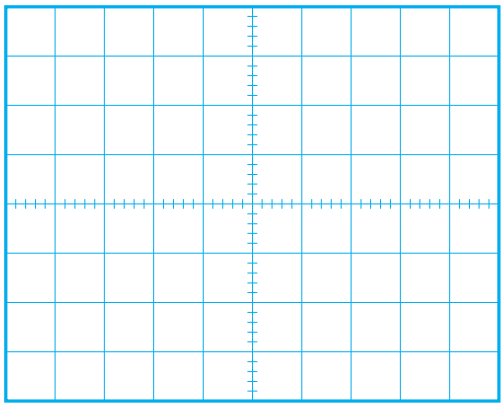


ب – مدار عملی

شکل ۴۳-۱۱ مدار عملی یکسوساز تمام موج با صافی خازنی

■ ورودی ترانسفورماتور را با احتیاط کامل به برق شهر وصل کنید.

■ شکل موج نشان داده شده روی صفحه‌ی حساس را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۴۴-۱۱ رسم کنید.



شکل ۴۴-۱۱

سوال ۵: چرا با موازی کردن خازن به دو سر بار، شکل موج ولتاژ خروجی به صورت یک خط درآمده است؟ توضیح دهید.

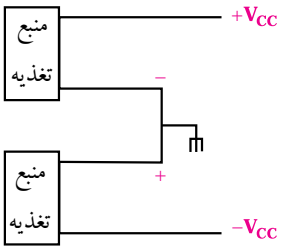
در صورتی که نتوانستید به سوال فوق پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های قبلی مراجعه کنید و به مرور دوباره‌ی مطالب بپردازید.

۴-۵-۱۱ نتایج آزمایش:

آن‌چه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

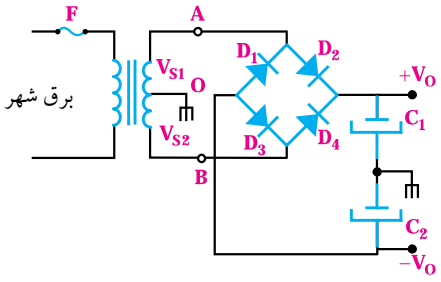
۶-۱۱ منبع تغذیه‌ی متقارن

گاهی در مدارهای الکترونیکی نیاز به ولتاژهای قرینه است. بلوک دیاگرام یک منبع تغذیه‌ی متقارن را در شکل ۴۵-۱۱ نشان داده‌ایم.



شکل ۴۵-۱۱ بلوک دیاگرام منبع تغذیه‌ی متقارن

در شکل ۴۶-۱۱ مدار یک منبع تغذیه‌ی متقارن رسم شده است.



شکل ۴۶-۱۱ مدار منبع تغذیه‌ی متقارن

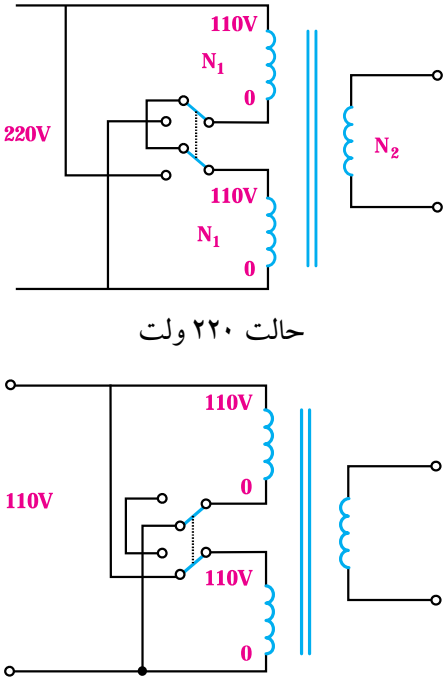
V_{S1} و V_{S2} دو سیگنال سینوسی است که ۱۸۰ درجه با هم اختلاف فاز دارند و دامنه‌ی آن‌ها برابر است. در لحظاتی که A نسبت به O مثبت است، B نسبت به O منفی است و دیودهای D_2 و D_3 هادی و دیودهای D_1 و D_4 قطع هستند. خازن‌های C_1 و C_2 تا دامنه‌ی ماکزیمم ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور شارژ می شوند. زمانی که A نسبت به O منفی است، B نسبت به O مثبت است و دیودهای D_1 و D_4 هادی و D_2 و D_3 قطع هستند. ولتاژ دو سر خازن C_1 برابر با ولتاژ دو سر خازن C_2 است.

۱۱-۷ کلید ۲۲۰/۱۱۰

بعضی از دستگاه‌های الکترونیکی دارای کلید ۲۲۰/۱۱۰ هستند. با این کلید می‌توانیم دستگاه‌ها را در کشور ایران و سایر کشورهایی که ولتاژ برق آن‌ها ۱۱۰ ولت است، مورد استفاده قرار دهیم.

۱۱-۷-۱ عملکرد کلید در منابع تغذیه با ترانسفورماتور

اساس کار و عملکرد این کلید در دستگاه‌هایی که دارای ترانسفورماتور هستند بسیار ساده است. با استفاده از یک کلید دو پل دو راهه (تبدیل دو پل) مانند شکل ۴۷-۱۱ می‌توانیم دو نیمه‌ی سیم‌پیچ را در حالت ۲۲۰ ولت با هم سری و در حالت ۱۱۰ ولت با هم موازی کنیم.



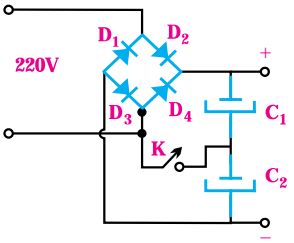
شکل ۴۷-۱۱

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در حالت ۲۲۰ ولت، دو سیم‌پیچ اولیه با هم سری می‌شوند و تمام تعداد دور اولیه (N_1+N_1) در مدار قرار می‌گیرد.

در حالت ۱۱۰ ولت دو نیمه‌ی سیم‌پیچ در اولیه با هم موازی می‌شوند و تعداد دور اولیه را به نصف حالت قبل می‌رساند. در این حالت ولتاژ خروجی ثابت می‌ماند و دستگاه به طور طبیعی کار می‌کند.

۱۱-۷-۲ کلید ۲۲۰/۱۱۰ در منابع تغذیه بدون ترانسفورماتور

در منابع تغذیه‌ی سوئیچینگ معمولا از ترانسفورماتور استفاده نمی‌شود و برق شهر را مستقیما توسط یکسوساز پل یکسو می‌کنند. در این نوع منابع تغذیه برای داشتن امکان کار در دو حالت ۲۲۰ V و ۱۱۰ V مدار شکل ۴۸-۱۱ را به کار می‌برند.



شکل ۴۸-۱۱

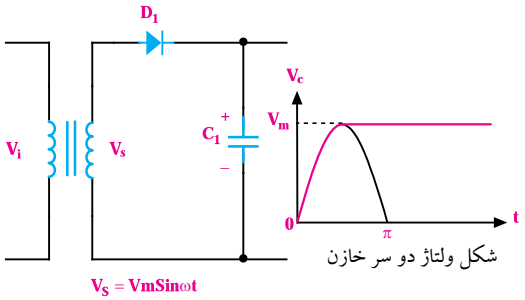
در خروجی مدار دو خازن سری C_1 و C_2 قرار دارد و یک کلید ساده‌ی تک پل ، محل اتصال دو خازن را به یکی از سیم‌های برق ورودی قطع و وصل می کند. در حالت ورودی ۲۲۰ ولت کلید K باز است و دو خازن C_1 و C_2 به عنوان صافی با هم سری می‌شوند. در این حالت هر یک از خازن‌ها تقریبا به اندازه‌ی ۱۵۵ ولت شارژ می‌شوند و ولتاژ DC خروجی به V_m=۳۱۰V می‌رسد.

در حالت ۱۱۰ ولت ، کلید K وصل می‌شود و مدار را به یک دو برابر کننده‌ی ولتاژ تبدیل می کند. در این شرایط هر یک از خازن‌های C_1 و C_2 به اندازه‌ی $110\sqrt{2} = 155\,V$ شارژ می‌شوند ولتاژ خروجی به همان مقدار ۳۱۰ v می‌رسانند.

۸-۱۱ چند برابر کننده‌های ولتاژ

به کمک ترانسفورماتور، دیودها و خازن‌ها، می توان مقدار ولتاژ را دو یا چند برابر کرد. توجه داشته باشید که افزایش ولتاژ به کمک مدارهای چند برابر کننده فقط برای جریان‌های بسیار کم قابل استفاده است.

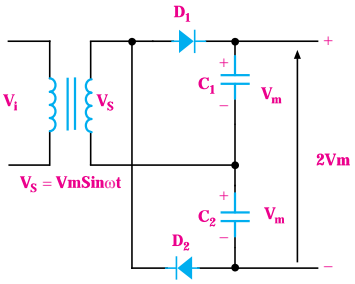
در شکل ۴۹-۱۱ در نیم سیکل مثبت، وقتی دیود D_1 هادی شد(ولت $V_S \geq 0/7$)، خازن شروع به شارژ شدن می کند و تقریبا تا پیک ولتاژ (V_m) شارژ می‌شود. هنگامی که ولتاژ ثانویه از V_m کم‌تر می‌شود، دیود در بایاس مخالف قرار می گیرد و قطع می‌شود ، زیرا ولتاژ کاتد دیود برابر با V_m است. با توجه به شرایط موجود، خازن نمی تواند تخلیه شود، لذا ولتاژ دو سر آن برابر با V_m باقی می‌ماند.



شکل ولتاژ دو سر خازن

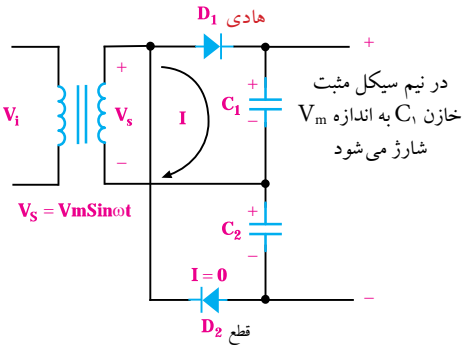
شکل ۴۹-۱۱ ولتاژ دو سر خازن به اندازه‌ی تقریبا V_m شارژ می‌شود

در شکل ۵۰-۱۱ یک مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ با استفاده از یک ترانسفورماتور، دو عدد دیود و دو عدد خازن نشان داده شده است.



شکل ۵۰-۱۱ یک نمونه مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

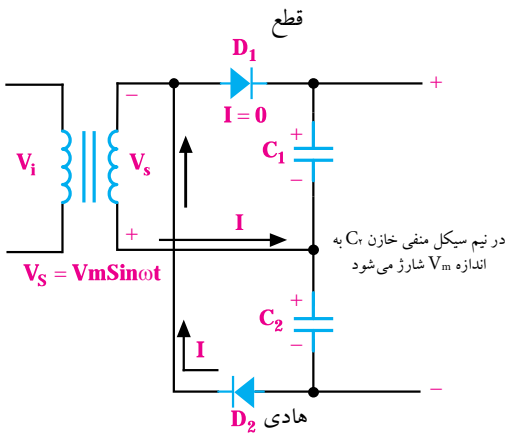
طرز کار این مدار به این صورت است که در نیم سیکل مثبت دیود D_1 در بایاس موافق و دیود D_2 در بایاس مخالف قرار می‌گیرند. لذا دیود D_1 هادی شده و خازن C_1 تا مقدار تقریبا V_m شارژ می‌شود ، شکل ۵۱-۱۱.



شکل ۵۱-۱۱ مسیر شارژ خازن C_1 در نیم سیکل مثبت

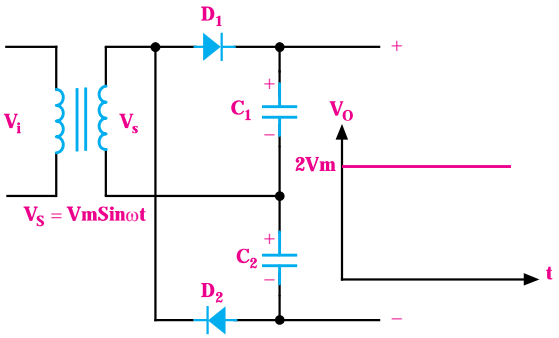
در نیم‌سیکل منفی دیود D_2 در بایاس موافق و دیود D_1 در بایاس مخالف قرار می گیرد. لذا دیود D_2 هادی می‌شود و

خازن C_2 را تقریبا تا مقدار V_m (ولتاژ پیک) شارژ می‌کند، شکل ۱۱-۵۲.



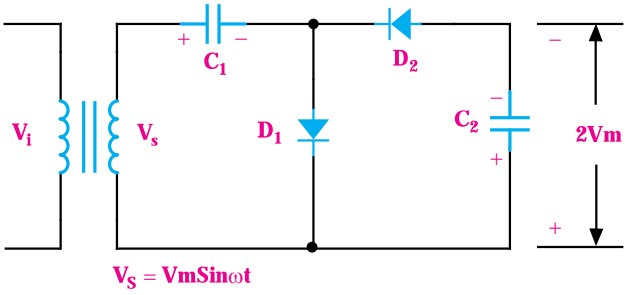
شکل ۱۱-۵۲ مسیر شارژ خازن در نیم سیکل منفی

با توجه به شکل ۱۱-۵۳ ولتاژ خروجی V_O برابر با $2V_m$ یعنی $V_{C1}+V_{C2}=2V_m$ می‌شود.



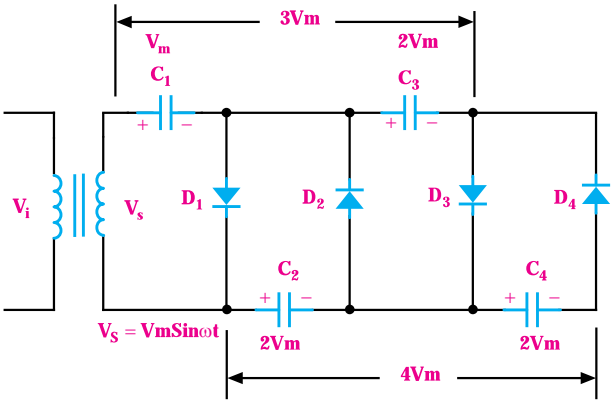
شکل ۱۱-۵۳ شکل موج ولتاژ خروجی در یک دوبرابر کننده‌ی ولتاژ

به کمک مدار شکل ۱۱-۵۴ نیز می‌توان ولتاژ را دو برابر کرد.



شکل ۱۱-۵۴ یک مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

به کمک مدار شکل ۱۱-۵۵ می‌توان مقدار ولتاژ را به سه، چهار یا چند برابر ولتاژ ماکزیمم ثانویه‌ی ترانسفورماتور افزایش داد. هم‌چنین با اضافه کردن تعداد دیودها و خازن‌ها امکان ولتاژ به مقدار بیشتر نیز وجود دارد.



شکل ۱۱-۵۵ مدار چهار برابر کننده‌ی ولتاژ

۱۱-۹ آزمایش شماره‌ی (۴)

زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

۱۱-۹-۱ هدف آزمایش :

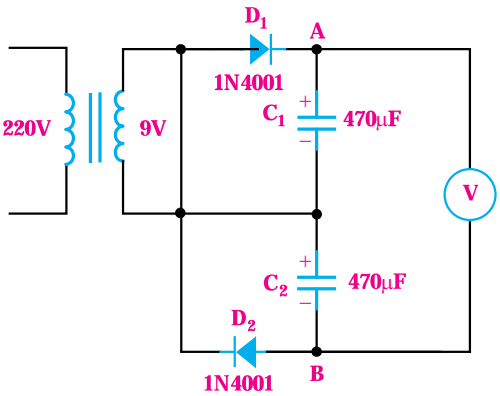
بررسی عملی یک نمونه مدار دو برابر کننده ولتاژ

۱۱-۹-۲ تجهیزات ، ابزار ، قطعات و مواد مورد نیاز :

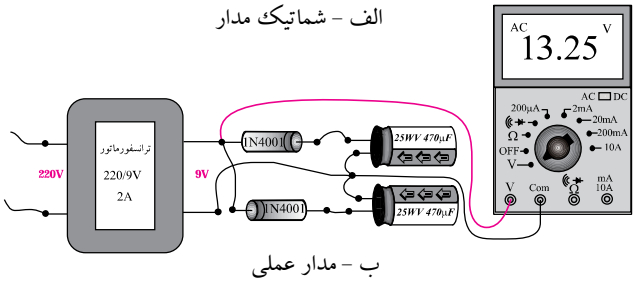
ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	مولتی‌متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	ترانسفورماتور ۲۲۰/۹ V	یک عدد
۳	دیود ۱N۴۰۰۱	دو عدد
۴	خازن ۴۷۰μF/۳۵ V	دو عدد
۵	سیم رابط دو سرگیره سوسماری	شش رشته
۶	سیم رابط یک سرگیره سوسماری	شش رشته

۱۱-۹-۳ مراحل اجرای آزمایش :

■ مدار شکل ۱۱-۵۶ را روی بردبرد ببندید.



الف – شماتیک مدار



ب – مدار عملی

شکل ۵۶–۱۱ یک نمونه مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

■ رنج ولت‌متر DC را روی ۳۰ ولت قرار دهید

■ با احتیاط کامل ورودی ترانسفورماتور را به برق ۲۲۰ ولت وصل کنید.

■ ولت متر را به دو سر خازن C۱ وصل کنید ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد بخوانید و یادداشت کنید.

V_{C_1} ولتاژ دو سر خازن C_1 = ... V

■ ولت‌متر را از دو سر خازن C_1 جدا کنید و به دو سر خازن C_2 وصل کنید و ولتاژی را که ولت‌متر نشان می‌دهد یادداشت کنید.

V_{C_2} ولتاژ دو سر خازن C_2 = ... V

■ ولت‌متر را از دو سر خازن C_2 جدا کنید و ولتاژ بین نقاط A و B را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

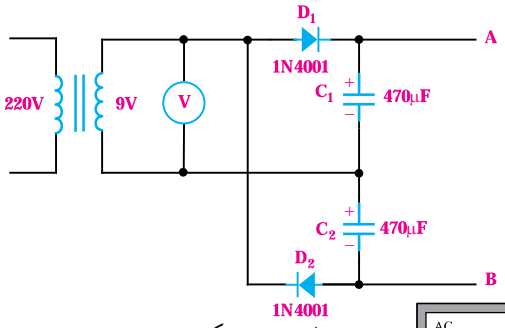
V_{AB} ولتاژ خروجی دو برابرکننده ولتاژ = ... V

■ ولت‌متر را از نقاط A و B جدا کنید.

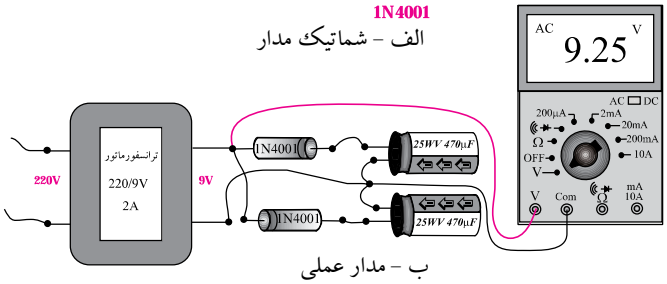
■ حوزه‌ی کار ولت‌متر را روی حالت AC روی ۲۰ V قرار دهید و ولتاژ ثانویه‌ی ترانسفورماتور را اندازه بگیرید، شکل ۵۷–۱۱ و یادداشت کنید.

V_S ولتاژی را که ولت متر AC نشان می دهد. = ... V

$V_m = \sqrt{2}V_{eff} = ۱/۴۱ \times ..... = ... V$



الف – شماتیک مدار



ب – مدار عملی

شکل ۵۷–۱۱ اندازه‌گیری ولتاژ AC در مدار دو برابر کننده‌ی ولتاژ

سوال ۶: آیا ولتاژ دو سر هر خازن به اندازه‌ی V_m است یا کم‌تر؟ توضیح دهید.

سوال ۷: آیا V_{AB}، دقیقا برابر با $(V_{C_1}+V_{C_2})$ است؟ چرا؟ توضیح دهید.

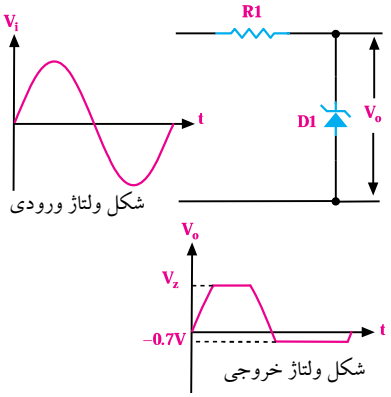
در صورتی که نتوانستید به سوال‌های (۱) و (۲) پاسخ دهید یا نسبت به پاسخ خود تردید داشتید به قسمت‌های قبلی مراجعه و مطالب را دوباره مرور کنید.

۴-۹-۱۱ نتایج آزمایش:

آن‌چه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

۱۰-۱۱ مدار کلیپر قیچی کننده (Clipper)

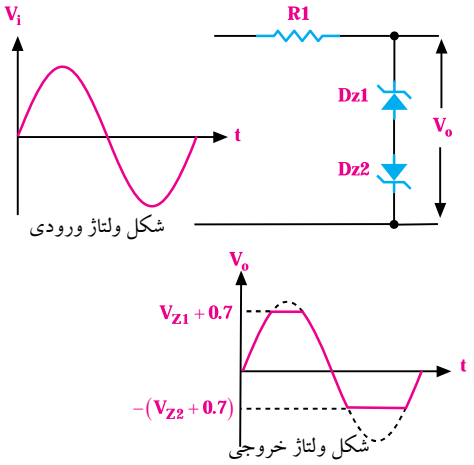
با استفاده از دیود زنر می‌توان مداری را طراحی کرد که دامنه‌ی سیگنال‌های ورودی را محدود کند. شکل ۵۸-۱۱ یک مدار محدودکننده‌ی ساده را نشان می‌دهد.



شکل ۵۸-۱۱ یک نمونه مدار محدود کننده‌ی دامنه و شکل موج خروجی آن

با توجه به شکل ۵۸-۱۱ در نیم‌سیکل مثبت، مادامی که دامنه‌ی سیگنال ورودی به V_z نرسیده است دیود زنر قطع است و ولتاژهای ورودی و خروجی با یکدیگر برابرند ($V_o=V_i$). به مجرد این که دامنه‌ی ولتاژ ورودی کمی بیش‌تر از V_z می‌شود، دیود زنر به منطقه‌ی هدایت می‌رود و ولتاژ دو سر آن ثابت باقی می‌ماند. در ادامه‌ی نیم سیکل به محض این که ولتاژ ورودی کم‌تر از V_z شود، دیود به ناحیه‌ی قطع می‌رود و $V_o=V_i$ می‌شود. در نیم سیکل منفی اگر دامنه‌ی ولتاژ به ۰/۷ ولت برسد، دیود هادی می‌شود و ولتاژ دو سر آن که در حقیقت همان ولتاژ خروجی در نیم سیکل منفی است روی ۰/۷ ولت ثابت باقی می‌ماند.

اگر بخواهیم دامنه‌ی سیگنال ورودی را در هر دو نیم سیکل مثبت و منفی روی دامنه‌ی دلخواه محدود کنیم، می‌توانیم مدار شکل ۵۹-۱۱ را به کار ببریم.

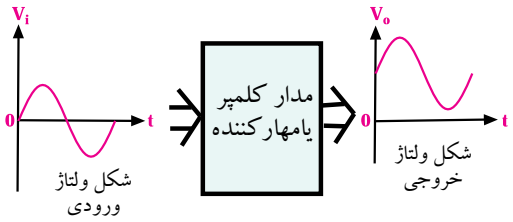


شکل ۵۹-۱۱ محدود کننده‌ی دامنه به کمک دو دیود زنر

در مدار شکل ۵۹-۱۱ در نیم سیکل مثبت دامنه‌ی ورودی در حد $(V_{z1}+۰/۷)$ و در نیم سیکل منفی در حد $-(V_{z۲}+۰/۷)$ محدود می‌شود.

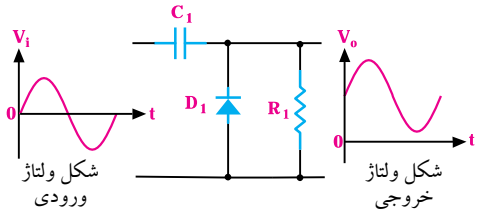
۱۱-۱۱ مدار کلمپر یا مهار کننده (clamper)

در مدار کلمپر یا مهار کننده، به سیگنال ورودی مولفه‌ی ولتاژ DC اضافه می‌شود. به عبارت دیگر، به کمک مدار کلمپر می‌توان سیگنال را در جهت عمودی جابه‌جا کرد. در شکل ۶۰-۱۱ عملکرد مدار کلمپر نشان داده شده است.

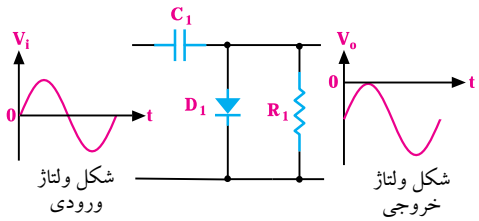


شکل ۶۰-۱۱ عملکرد مدار کلمپ

به کمک خازن و دیود می‌توان یک مدار کلمپ ساخت. در شکل‌های ۶۱-۱۱ و ۶۲-۱۱ دو نمونه مدار کلمپ ساده نشان داده شده است.



شکل ۶۱-۱۱ یک نمونه مدار کلمپ که سیگنال را در جهت عمودی (مثبت) جابجا می‌کند.

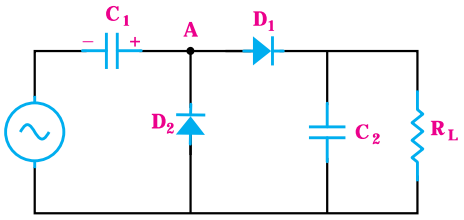


شکل ۶۲-۱۱ یک نمونه مدار کلمپ که سیگنال را در جهت عمودی (منفی) جابجا می‌کند.

۱۲-۱۱ آشکار ساز نوک به نوک

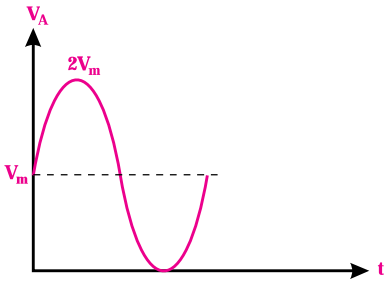
peak to peak detector

چنان‌چه یک مدار مهارکننده‌ی DC و یک آشکار ساز پیک (یکسوساز پیک) را پشت سر هم ببندیم، یک مدار **آشکار ساز پیک تو پیک** شکل می‌گیرد. به مدار آشکار ساز پیک تو پیک، **آشکارساز نوک به نوک** نیز می‌گویند. مدار این آشکارساز در شکل ۶۳-۱۱ رسم شده است.



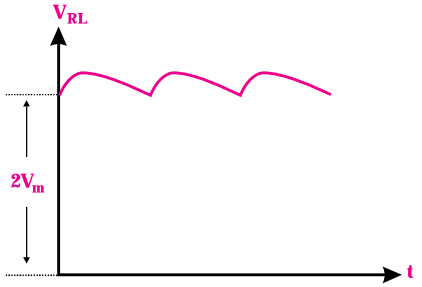
شکل ۶۳-۱۱ آشکارساز پیک تو پیک

دیود D_1 و خازن C_1 به عنوان مهارکننده‌ی مثبت عمل می‌کنند. یعنی ولتاژ سینوسی را در جهت مثبت به اندازه‌ی V_m جابه‌جا می‌نمایند. شکل موج ولتاژ نقطه‌ی A در نهایت به صورت شکل ۶۴-۱۱ در می‌آید.



شکل ۶۴-۱۱ شکل موج نقطه A در شکل ۶۳-۱۱

دیود D_2 و خازن C_2 به عنوان آشکار ساز پیک عمل می‌کنند. به طور معمول ثابت زمانی $R_L.C$ باید خیلی بزرگتر از پریود سیگنال ورودی باشد تا مدار بتواند عمل کند. شکل موج دو سر بار را در شکل ۶۵-۱۱ نشان داده‌ایم.



شکل ۶۵-۱۱

به مداری که عمل فوق را انجام می‌دهد، آشکار ساز پیک تو پیک می‌نامند.

۱۱-۱۳ آزمایش شماره‌ی (۵)

زمان اجرا : ۵ ساعت آموزشی

۱-۱۳-۱۱ هدف آزمایش:

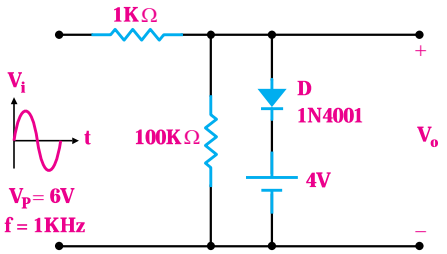
اندازه‌گیری و مشاهده‌ی ولتاژ خروجی مدار کلیپر و مدار کلمپر

۲-۱۳-۱۱ تجهیزات ، ابزار ، قطعات و مواد مورد نیاز :

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	اسیلوسکوپ دو کاناله	یک دستگاه
۲	سیگنال ژنراتورصوتی	یک دستگاه
۳	منبع تغذیه DC	یک دستگاه
۴	بردبرد	یک قطعه
۵	دیود زنر ۲/۷V یا نوع دیگر	دو عدد
۶	دیود ۱N۴۰۰۱ یا معادل آن	یک عدد
۷	خازن ۲۵V ، ۴۷۰μf	یک عدد
۸	مقاومت $\frac{۱}{۲}$W و ۱KΩ	یک عدد
۹	مقاومت $\frac{۱}{۲}$W و ۱۰۰KΩ	یک عدد

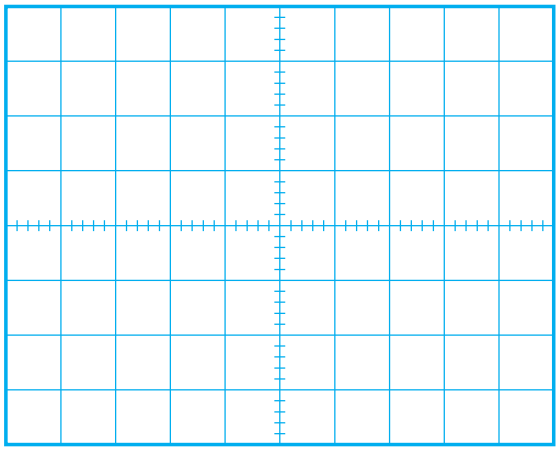
۳-۱۳-۱۱ مراحل آزمایش :

■ مدار شکل ۶۶-۱۱ را روی بردبرد ببندید. سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی آن متصل کنید.



شکل ۶۶-۱۱

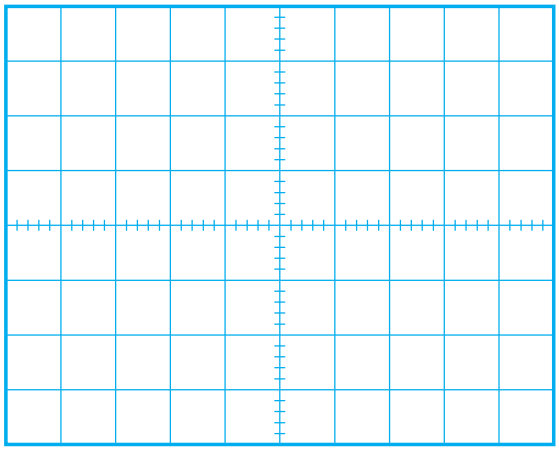
■ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی را در نمودار شکل ۶۷-۱۱ رسم کنید.



شکل ۶۷-۱۱

■ در شکل ۶۷-۱۱ جهت دیود را معکوس کنید.

■ شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی را به وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده کنید و با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۶۸-۱۱ رسم نمایید.

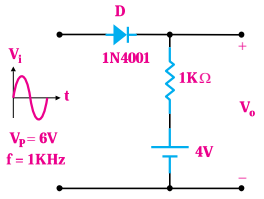


شکل ۶۸-۱۱

■ ولتاژ برش را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

V_C = ... V

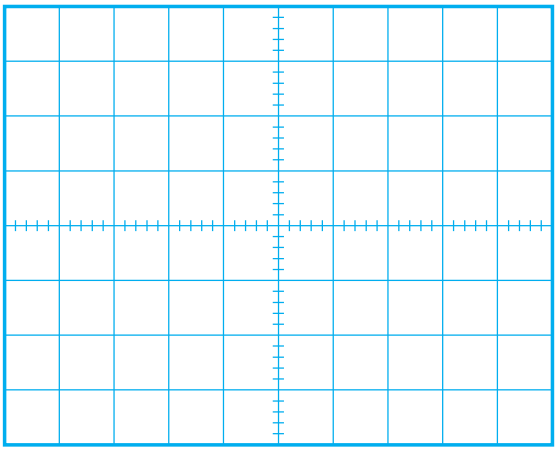
■ مدار شکل ۶۹-۱۱ را روی بردبرد ببندید.



شکل ۱۱-۶۹

■ سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی را به وسیله‌ی اسیلوسکوپ مشاهده کنید و آن را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۷۰ رسم نمایید.

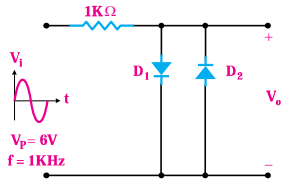


شکل ۱۱-۷۰

■ ولتاژ برش را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

V_C = ... V

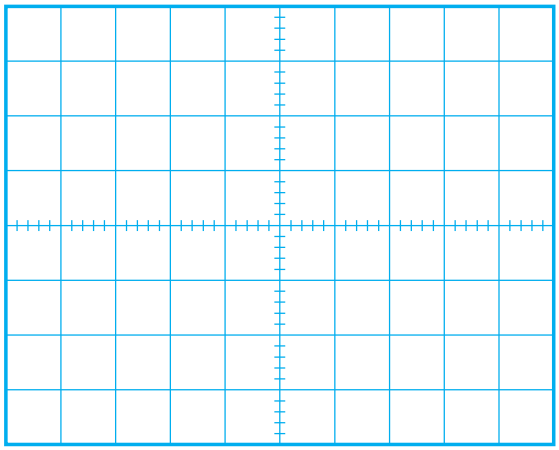
■ مدار شکل ۱۱-۷۱ را روی بردبرد ببندید.



شکل ۱۱-۷۱

■ سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ، شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده کنید و آن را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۷۲ رسم نمایید.

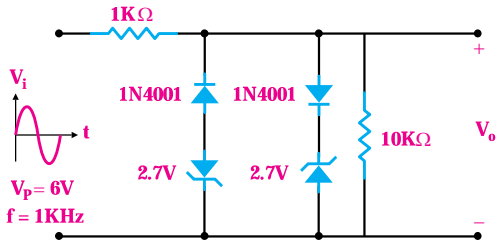


شکل ۱۱-۷۲

■ ولتاژ پیک تو پیک خروجی Vo_{P-P} را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

Vo_{P-P} = ... V

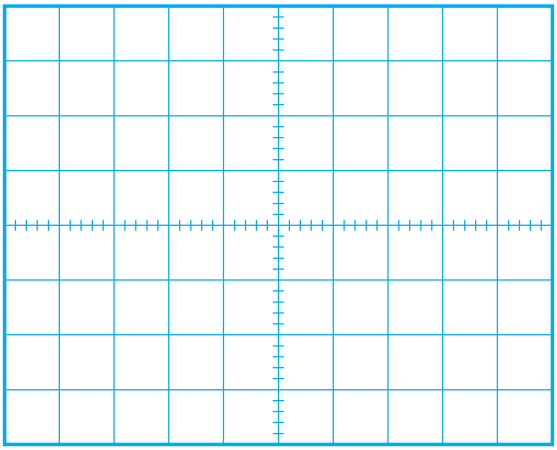
■ مدار شکل ۱۱-۷۳ را روی بردبرد ببندید.



شکل ۱۱-۷۳

■ سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ شکل موج‌های ورودی و خروجی را مشاهده کنید و آن را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۷۴ رسم نمایید.

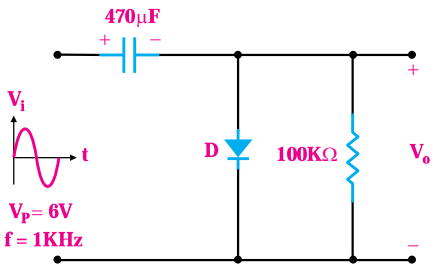


شکل ۱۱-۷۴

■ ولتاژ پیک تو پیک خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

Vo_{P-P} = ... V

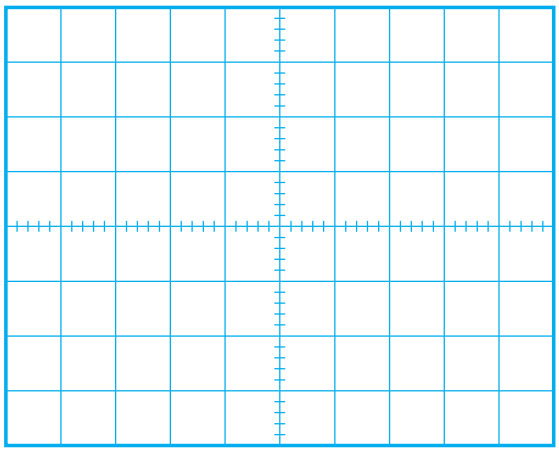
■ مدار شکل ۱۱-۷۵ را روی بردبرد ببندید.



شکل ۱۱-۷۵

■ سیگنال ژنراتور صوتی را به ورودی مدار متصل کنید.

■ به وسیله‌ی اسیلوسکوپ، شکل موج ولتاژهای ورودی و خروجی را مشاهده کنید و آن را با مقیاس مناسب در نمودار شکل ۱۱-۷۶ رسم کنید.



شکل ۱۱-۷۶

■ ولتاژ DC‌ی خروجی را اندازه بگیرید و یادداشت کنید.

V_{odc} = ... V

۱۱-۱۳-۴ نتایج آزمایش:

آن‌چه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.

آزمون پایانی فصل (۱۱)

۱- طرز کار مدار یکسوساز نیم موج را شرح دهید.

۲- مقدار متوسط ولتاژ خروجی مدار یکسوساز نیم‌موج را محاسبه کنید.

۳- مقدار متوسط یک موج سینوسی یکسوشده به صورت تمام موج برابر با ..... است.

الف) $\frac{Vm}{\pi}$ ب) $\frac{Vm}{۲\pi}$

ج) $\frac{Vm}{}$ د) $\frac{۴Vm}{\pi}$

۴- نقش خازن صافی در یکسو کننده کدام است؟

الف) تبدیل ولتاژ ضربان‌دار خروجی به ولتاژ ثابت

ب) تبدیل ولتاژ ضربان‌دار ورودی به ولتاژ ثابت

ج) تبدیل جریان ضربان‌دار خروجی به جریان ثابت

د) حذف فرکانس‌های زیاد و کم

۵- ترانسفورماتور تغذیه عموما ..... است.

الف)کاهنده ب) افزاینده

۶- یک مزیت استفاده از ترانسفورماتور در قسمت تغذیه‌ی دستگاه‌ها، ایزوله کردن مدار از برق شهر است.

صحیح ❒ غلط ❒

۷- خرابی‌های ترانس تغذیه کدامند؟

الف) اتصال کوتاه کامل

ب) قطع شدن سیم‌پیچ اولیه یا ثانویه

ج) نیم سوز شدن و اتصال سیم به بدنه و هسته

د) همه‌ی موارد

۸- عملکرد کلید ۲۲۰/۱۱۰ را در منابع تغذیه با ترانسفورماتور شرح دهید.

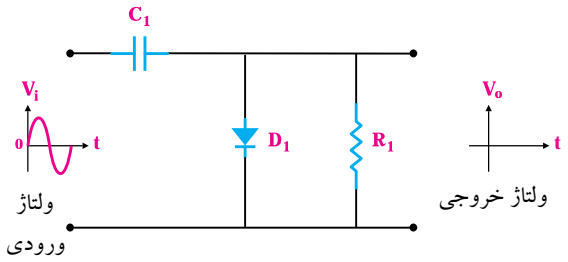
۹- مدار یک آشکار ساز پیک تو پیک را رسم کنید و راجع به نحوه‌ی عملکرد آن توضیح دهید.

۱۰- یک نمونه مدار کلیپر را رسم کنید و عملکرد آن را توضیح دهید.

۱۱- افزایش ولتاژ به کمک مدارهای چند برابر کننده‌ی ولتاژ فقط برای جریان‌های بسیار کم امکان‌پذیر است.

صحیح ❐ غلط ❐

۱۲- شکل موج خروجی مدار شکل ۷۷-۱۱ را رسم کنید.



شکل ۷۷-۱۱

فصل دوازدهم

کار با دیودهای خاص

هدف کلی : آشنایی با دیودهای خاص و ترانزیستور و مدار عملی تثبیت کننده‌ی ولتاژ با دیود زنر

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود که:

۱- ساختمان دیود زنر را شرح دهد.

۲- منحنی مشخصه‌ی «ولت-آمپر» دیود زنر رادر بایاس موافق وبایاس مخالف رسم کند.

۳- طرز کار دیود زنر راشرح دهد.

۴- مدار ساده‌ی یک تنظیم کننده‌ی ولتاژ به کمک دیود زنر را رسم کند.

۵- خصوصیات دیود اتصال نقطه‌ای را شرح دهد.

۶- عملکرد دیود خازنی را توضیح دهد.

۷- علامت قرار دادی دیود خازنی را رسم کند.

۸- خصوصیات دیود شاتکی را توضیح دهد.

۹- نحوه‌ی عملکرد دیود نور دهنده(LED) راتوضیح دهد.

۱۰- اساس کار زوج نوری یاایتوکوپلر را با رسم مدارتوضیح دهد.

۱۱- منحنی مشخصه‌ی دیود تونلی را رسم کند.

۱۲- خاصیت مقاومت منفی راشرح دهد.

۱۳-مدارهای کاربردی دیود تونلی راتشریح کند.

۱۴- چگونگی کار دیود وریستور را شرح دهد.

۱۵- چند روش مختلف نام‌گذاری دیودها را به اختصار توضیح دهد.

۱۶- مشخصات یک نوع دیود را از برگه‌ی (دادها) استخراج کند.

۱۷- یک مدار تنظیم کننده‌ی ولتاژ را با استفاده از یک دیود زنر به طور عملی مورد آزمایش قرار دهد.

۱۸- ساختمان یک ترانزیستور معمولی را شرح دهد.

۱۹- نحوه‌ی تشخیص پایه‌های یک ترانزیستور رابه کمک یک مولتی متر دیجیتالی به طورعملی اجرا کند.

۲۰-اهداف رفتاری درحیطه‌ی عاطفی را که در فصل اول بخش اول کتاب به آنها اشاره شده است، در این بخش نیز اجرا کند.

توانایی شماره ۱۲ و بخشی از ۱۳	ساعت آموزش		
	نظری	عملی	جمع
	۶	۶	۱۲

پیش آزمون فصل (۱۲)

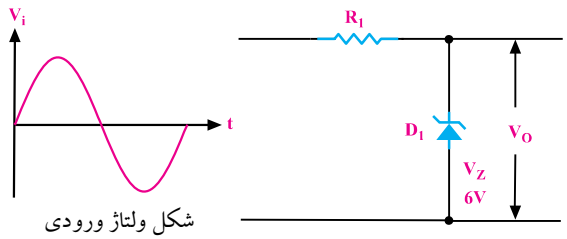
۱- دیـود زنردر بایـاس موافق مانند یک دیـود معمولی یکسو کننده عمل می کند.

صحیح ❐ غلط ❐

۲- توان مجاز یک دیود زنر، ۵ وات و ولتاژ شکست آن ۵ ولت است، ماکزیمم جریان مجاز دیود زنرچند آمپر است؟

الف) ۲۵ ب) ۱۰ ج)۱ د)۰/۱

۳- ولتاژ خروجی مدار شکل زیر را رسم کنید.



شکل ولتاژ ورودی

۴-کـدام دیـود بـرای یکسوسـازی ولتـاژ متنـاوب در فرکانس‌های خیلی زیاد به کار می‌رود؟

الف) یکسوکننده‌ی معمولی

ب) اتصال نقطه‌ای

ج) خازنی

د) زنر

۵- دیود ..... یک اتصال PN است که در حالت معکوس به کار می رود.

۶-شکل زیر، علامت قرار دادی کدام دیود است؟

الف) خازنی ب) شاتکی

ج) LED د) تونلی

۷- کدام جمله در مورد دیود اپتوکوپلرصحیح است؟

الـف) وقتی ولتاژ ورودی را تغییر دهیم، میزان نور LED وجریان خروجی تغییر می کند.

ب) مزیـت اصلی این دیود درایزوله کردن مدار خروجی از مدار ورودی است.

ج) زوج نوری یک جفت دیـود نوردهنده و دیود نوری است.

د)همه‌ی موارد

۸- در دیود..... افزا یش ولتاژ مسـتقیم باعث کاهش جریان دیود می شود.

۹-دیود

دیود .....

و ازجنس..... است.

الف) زنر - سیلیکون

ب)واراکتور - ژرمانیوم

ج) یکسوکننده‌ی قدرت- سیلیکون

د)معمولی- ژرمانیوم

۱۰-رابطه‌ی بین جریان پایه ها در ترانزیستورکدام است؟

الف) $I_E=I_C+I_B$ ب) $I_C=I_E+I_B$

ج) $I_B=I_C+I_B$ د) بستگی به نوع ترانزیستور دارد

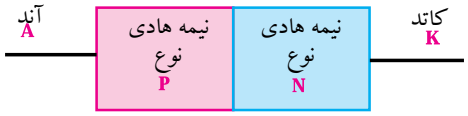
۱۱-اتصـال کلکتوربـه بیس نسـبت به امیتـر - بیس در ولتاژموافق، مقاومت کم‌تری دارد.

صحیح ❐ غلط ❐

۱-۱۲ دیود زنر

۱-۱-۱۲ ساختمان دیود زنر

دیـود زنر یک اتصال PN اسـت کـه در بایـاس موافق مانند یک دیود معمولی یکسـوکننده عمل می کند. در بایاس مخالف تحـت ولتاژ خاصی که آن را ولتاژ زنر می‌نامند دیود ناگهان هادی می‌شود وجریان را از خود عبور می‌دهد. در این حالت ولتاژ دو سـر آن تقریبا ثابت می‌ماند. در شـکل ۱-۱۲ ساختمان داخلی دیود زنر را مشاهده می کنید.

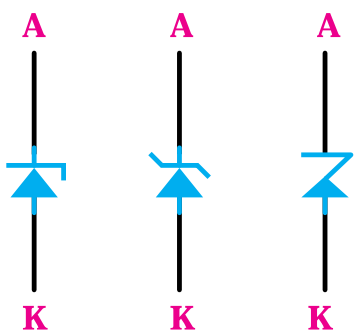


شکل ۱-۱۲ ساختمان داخلی دیود زنر

در شکل ۲-۱۲ یک نمونه دیود زنر را مشاهده می کنید.

شکل ۲-۱۲ یک نمونه دیو زنر

زنر(Zener) نام دانشـمندی اسـت که اولین بار در سال ۱۹۳۴ ایـن پدیـده‌ی جالب را اختـراع کرد . بـا تغییر میزان ناخالصی در نیمه‌هادی‌های نـوع P و N می توان ولتاژ هادی شـدن دیـود زنـر را در بایاس معکـوس تعیین کـرد. جنس نیمه‌هادی به‌کار برده شـده در دیود زنر سیلیکون است. دیود زنر را با علامت قراردادی شکل ۳-۱۲ نشان می دهد.

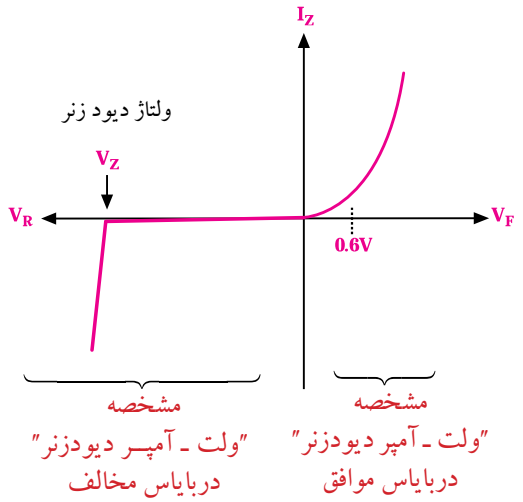


شکل ۳-۱۲علامت‌های قراردادی دیود زنر

۲-۱-۱۲ منحنی مشخصه‌ی «ولت–آمپر» دیود زنر

دیـود زنـر در بایـاس موافق ماننـد یک دیـود معمولی یکسـوکننده عمـل می کنـد، بنابرایـن منحنی مشـخصه‌ی «ولـت – آمپـر» دیود زنـر در بایاس موافق ماننـد یک دیود معمولی است.

در بایاس مخالف، دیود زنر در ولتا ژ معینی هادی می‌شود کـه آن را **ولتاژ زنر** می‌نامند. پس از هادی شـدن دیود زنر، ولتاژ دو سـر آن ثابت باقی می‌ماند. بنابراین منحنی مشـخصه ولت– آمپر دیود زنر مانند شکل ۴-۱۲ است.



شکل ۴-۱۲- منحنی مشخصه‌ی ((ولت – آمپر)) دیود زنر

۱۲-۵

دکتر کلارنس ملوین زنر:
دکترای فیزیک،استاد دانشگاه .
متولد ۱۹۰۵، مخترع خاصیت
زنر و شکست دیود زنراست.
اودر سن ۸۷ سالگی در سال
۱۹۹۳ دیده از جهان فروبست.

۳-۱-۱۲ولتاژ و توان دیود زنر

معمولاً ولتاژ شکست دیودهای زنر را با استاندارد E۲۴ می‌سازند. هم‌چنین هر دیود زنر دارای توان معینی است. در جدول ۱-۱۲ رایج‌ترین توان‌های دیود زنر (۰/۵W، ۱/۳W و ۵W)، با توجه به ولتاژهای متناسب با این توان‌های مشخص شده‌اند. یادآور می‌شود دیودهایی با توان ۱W و ۲W و ۱۰W نیز ساخته می‌شوند.

جدول ۱-۱۲

ولتاژ زنر	توان زنر								
	۰/۵W			۱/۳W				۵W	
	۱۵ V	۶/۲ V	۲/۷V	۶۲ V	۲۷ V	۱۱ V	۴/۷V	۱۰۰ V	۵/۱ V
	۱۶ V	۶/۸ V	۳/۰۷ V	۶۸ V	۳۰ V	۱۲ V	۵/۱ V	۲۰۰ V	۵/۶ V
	۱۸ V	۷/۵ V	۳/۳ V	۷۵ V	۳۳ V	۱۳ V	۵/۶ V		۶/۲ V
	۲۰ V	۸/۲ V	۳/۶ V	۱۰۰ V	۳۶ V	۱۵ V	۶/۲ V		۶/۸ V
	۲۴ V	۹/۱ V	۳/۹ V	۲۰۰ V	۳۹ V	۱۶ V	۳/۹ V		۱۰ V
	۲۷ V	۱۰ V	۴/۳ V		۴۳ V	۱۸ V	۴/۳ V		۱۱ V
	۳۰ V	۱۱ V	۴/۷ V		۴۷ V	۲۰ V	۴/۷ V		۱۲ V
		۱۲ V	۵/۱ V		۵۱ V	۲۲ V	۵/۱ V		۱۵ V
		۱۳ V	۵/۶ V		۵۶ V	۲۴ V	۵/۶ V		۲۰ V

در مدارهای الکتریکی دیودهای زنر ۰/۵ وات بیشترین کاربرد را دارند. امروزه دیودهای زنز با توان‌های زیاد مثلاً بالای یک وات، کاربرد کمتری دارند. به جای دیودهای زنر توان بالا، قطعات ترکیبی الکترونیکی دیگری ساخته شده‌اند که عملکرد بسیار بهتری از دیودهای زنر دارند. در یک دیود زنر رابطه‌ی زیر همیشه برقرار است.

$$P_Z = V_Z.I_Z \quad \text{و} \quad I_Z = \frac{P_Z}{V_Z}$$

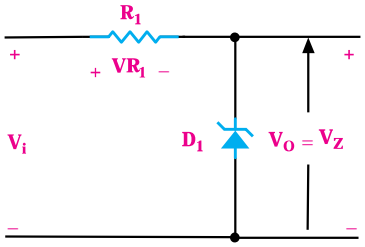
بنابراین با توجه به این توان دیود زنر و ولتاژ زنر، ماکزیمم جریان مجاز دیود زنر قابل محاسبه است. در مدار الکترونیکی باید به این مسئله توجه کرد.

$$P_Z = ۵W$$
$$V_Z = ۶/۲V$$
$$I_Z = \frac{P_Z}{V_Z} = \frac{۵W}{۶/۲} = ۰/۸۰۶ A \Rightarrow ۸۰۶ mA$$

ماکزیمم جریان مجاز دیود زنر برابر ۸۰۶ میلی آمپر است.

۲-۱۲ تنظیم کننده‌ی ولتاژ با استفاده از دیود زنر

وقتی دیود زنردر بایاس معکوس به کار می‌رود و ولتاژ بایاس معکوس آن از ولتاژ زنر بیشتر می‌شود، دیود زنر هدایت می کند و ولتاژ دو سر آن تقریباً ثابت باقی می‌ماند. از این خاصیت دیود زنر برای تنظیم ولتاژ و ثابت نگه داشتن ولتاژ استفاده می‌شود.شکل ۶-۱۲ یک نمونه تنظیم کننده‌ی ولتاژ ساده را به کمک دیود زنر نشان می‌دهد.



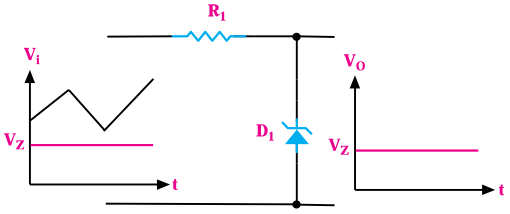
شکل ۶-۱۲- یک تنظیم کننده‌ی ولتاژ نسبتا ساده

در مدارشکل ۶-۱۲، رابطه‌ی زیر همواره برقرار است.

$$V_i = V_R + V_Z$$

در رابطه‌ی بالا مقدار V_z تقریبا ثابت است. حال اگر V_i افزایش یابد V_R نیز زیاد می شودواگر V_i کم شود V_R نیز کم می‌شود. بنابراین تغییرات ولتاژ ورودی به V_R منتقل می‌شود، شکل ۷-۱۲.

$$V_i\uparrow = V_R\uparrow + V_Z$$
$$V_i\downarrow = V_R\downarrow + V_Z$$



شکل ولتاژ خروجی　　شکل ولتاژ ورودی

شکل ۷-۱۲-تغییرات ولتاژ ورودی به مقدار خیلی کم به خروجی منتقل می شود.

مقـدار R یعنی مقاومت سـری شـده با دیود زنـر را باید طوری محاسـبه کنیم که در بدترین حالت که ماکزیمم ولتاژ ورودی وجـود دارد. جریان دیـود زنر از مقدار $I_Z = \frac{P_Z}{V_Z}$ بیشتر نشود.

مدار تنظیم کننده‌ی ولتاژ را رگولاتور Regulator نیز می‌نامند.

۳-۱۲ آزمایش شماره‌ی (۱) تنظیم کننده‌ی ولتاژ

مدت زمان اجرا: ۴ ساعت آموزشی

۱-۳-۱۲ هدف آزمایش:

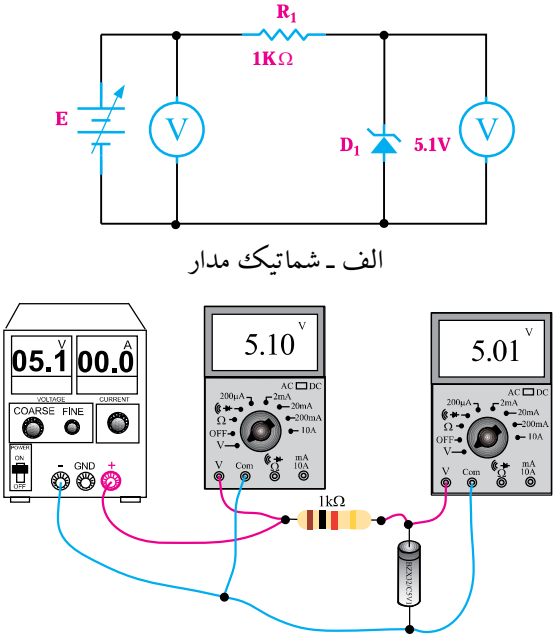
بررسـی وآزمایش مدار تنظیم کننده‌ی ولتاژ (رگولاتور) ساده با استفاده از دیود زنر

۲-۳-۱۲تجهیزات، ابزار،قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد/ مقدار
۱	مولتی‌متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	منبع تغذیه ۰-۱۵ V/۱ A	یک دستگاه
۳	مقاومت ۱KΩ	یک عدد
۴	دیود زنر ۵/۱ V	یک عدد
۵	سیم رابط دو سرگیره سوسماری	چهار رشته
۶	سیم رابط یک سرگیره سوسماری	چهار رشته

۳-۳-۱۲ مراحل اجرای آزمایش :

- منبع تغذیه را روشن کنید.
- ولتاژخروجی راروی ۵ ولت تنظیم کنید
- مدار شکل ۸-۱۲ را ببندید.



الف ـ شماتیک مدار

ب ـ مدار علمی

شکل ۸-۱۲ مدار آزمایش

- رنج ولت‌مترها را روی AUTO یا ۲۰V قرار دهید.
- ولتاژ خروجی را (به ازای V_i=۵V)بخوانید ودر جدول ۲-۱۲ یادداشت کنید.

جدول ۲-۱۲

ولتاژ خروجی Vo(V)	ولتاژ ورودی V_i(V)
	۵
	۷
	۹
	۱۱
	۱۳
	۱۵

■ ولتاژ ورودی را کمی افزایش دهید تا ولت متر(V_i) مقدار۶ ولت را نشان دهد.در این حالت ولتاژ V_o را با استفاده از ولت‌متر اندازه بگیرید ودر جدول ۲-۱۲ مقابل V_i=۶V یادداشت کنید.

■ ولتاژ ورودی را مطابق جدول ۲-۱۲ افزایش دهید وولتاژ های خروجی را در هر مرحله اندازه بگیرید ودر جدول ۲-۱۲ بنویسید تا جدول تکمیل شود.

■ با بررسی جدول ۲-۱۲ در می‌یابیم که در برابر تغییرات زیاد ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی تغییر محسوسی نکرده‌است، لذا می‌توان گفت که ولتاژخروجی تقریبا ثابت باقی مانده است.

نکته‌ی مهم

معمولابه خروجی رگولاتوری که فقط از یک دیود زنرتشکیل شده باشد بار متغیر وصل نمی‌کنند. با توجه به مقدار مقاومت ثابت (R_1) سری شده ، دیود زنر را طوری محاسبه می‌کنند که شرایط زیر برقرار باشد.

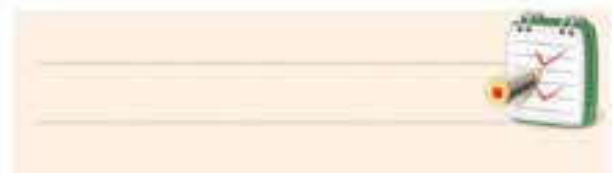
■ ولتاژ ورودی بیشتر از ولتاژ دیود زنر شود تا دیود هدایت کند و ولتاژ خروجی را ثابت نگه دارد.

■ توان تلف شده دردیود زنراز مقدار توان مجاز بیشتر نشود.

■ از رگولاتورهای زنری معمولا در جریان‌های مصرفی کمتر از ۱۰۰mA استفاده می شود.

۴-۳-۱۲ نتایج آزمایش:

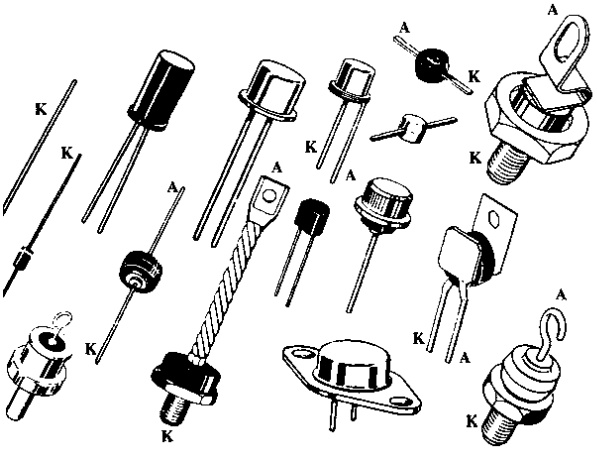
آنچه را که در این آزمایش فرا گرفته‌اید به اختصار شرح دهید.



۴-۱۲ انواع دیودها

به کمک نیمه هادی‌های نوع P و N انواع دیود را با کاربردهای ویژه نیز می‌سازند. در ادامه‌ی بحث تعدادی از انواع این دیودها را به اختصار مورد بررسی قرار می‌دهیم. تاکنون دیود معمولی ودیود زنر را بررسی کردیم.

۱-۴-۱۲دیود یکسوساز معمولی: این دیود را در مباحث قبلی مورد بررسی قرار دادیم و یادآورمی‌شود که دیودهای یکسوساز معمولی برای جریان‌های متوسط(I_F) حدود ۵۰mA تا۱۰۰۰۰A ساخته می‌شوند ودر محدوده فرکانس ۵۰ یا ۶۰ هرتز کار می‌کنند. برای یکسوسازی در فرکانس‌های بالا باید از دیودهای سریع استفاده کنیم. دیودهای سریع گران قیمت هستند و در بازار به سادگی یافت نمی‌شوند. در شکل۹-۱۲ نمونه‌هایی از دیودهای یکسوکننده‌ی معمولی نشان داده شده‌اند.



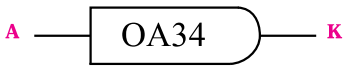
شکل ۹-۱۲ نمونه‌هایی ازدیودهای معمولی یکسوساز

۲-۴-۱۲ دیود اتصال نقطه ای

این دیود برای یکسوسازی ولتاژ متناوب در فرکانس‌های خیلی زیاد ساخته می‌شود، جنس این دیود ممکن است ژرمانیوم یا سیلیسیوم باشد. دیود اتصال نقطه‌ای برای آشکار سازی امواج دریافت شده در رادیو وتلویزیون به کار می‌رود.

شـکل ظاهری این دیود باسـایر دیودها تفاوت چندانی ندارد ولـی برخی از آنها دارای بدنه‌ی شیشـه‌ای هسـتند. ماکزیمم جریان مجاز و توان دیود اتصال نقطه ای بسیار کم است.

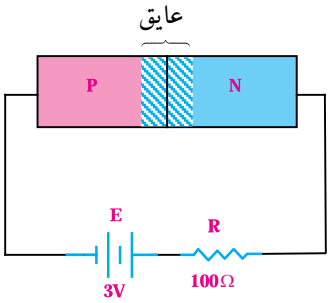
در شکل ۱۰-۱۲ یک نمونه دیود اتصال نقطه‌ای را مشاهده می کنید.



شکل ۱۰-۱۲یک دیود اتصال نقطه‌ای

۱۲-۴-۳ دیود خازنی

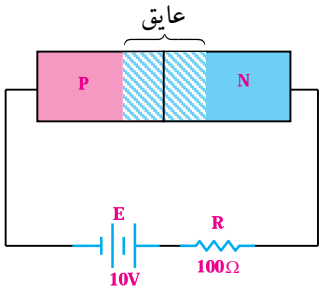
وقتـی یک اتصـال PN(دیود) در بایـاس معکوس قرار می گیرد، لایه‌ی سـد یعنی لایه‌ای که هیـچ بار الکتریکی و یا الکتـرون در آن وجود ندارد، مـی تواند به عنوان خازن عمل کند، شکل ۱۱-۱۲.



شکل ۱۱-۱۲ اتصال PN در بایاس معکوس

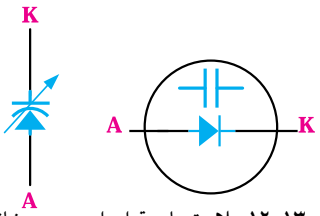
با افزایش ولتاژ معکوس، عرض لایه‌ی سد، بیشتر می‌شود، شکل ۱۲-۱۲.

بنابراین با تغییر ولتا ژ، دیود را می‌توان به عنوان یک خازن متغیر در نظر گرفت. در این حالت هادی نوع P و N به عنوان دو جوشـن خازن و لایه‌ی سـد به عنوان دی‌الکتریک خازن عمل می کنند.



شکل ۱۲-۱۲ لایه‌ی سد به عنوان خازن متغیر

چنان‌چه دیود را با این شرایط به کار ببریم، دیود خازنی یا واراکتور و یا واری‌کپ شکل می گیرد. با تغییر ولتاژ معکوس دوسر این نوع دیود، ظرفیت خازنی آن تغییر می کند. ظرفیت دیودهای خازنی در محدوده‌ی پیکوفاراد(PF)است و آن را با نماد شکل ۱۳-۱۲ نمایش می‌دهند.



شکل ۱۳-۱۲ علامت‌های قراردادی دیود خازنی

۱۲-۴-۴ دیود شاتکی

دیودهای معمولی اتصال PN نمی‌توانند خیلی سـریع قطع و وصل شـوند. برای بالا بردن سـرعت قطع و وصل در یک دیود، مثـلا چند میلیارد بـار در ثانیه ، از دیود های شـاتکی اسـتفاده می کنند.دیودهای شاتکی از نیمه هادی و فلز تشکیل می‌شود و زمان تاخیر این نوع دیودها بسیار کم است. علا مت قرار دادی این دیود در شکل ۱۴-۱۲ نشان داده شده است.

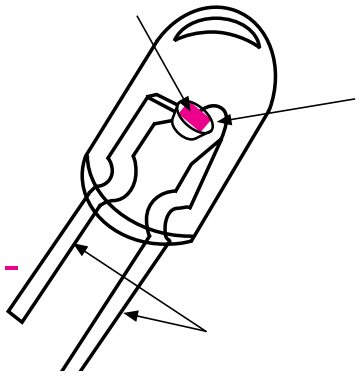
شکل ۱۴-۱۲ علامت قراردادی دیود شاتکی

۵-۴-۱۲ دیود نور دهنده(LED)

LED ها، دیودهای مخصوصی هستند که اگر در بایاس موافق(مستقیم) قرار گیرند، از خود نور ساطع می کنند. در شکل ۱۵-۱۲یک نمونه دیود LED نشان دادهشده است.

شکل ۱۵-۱۲ یک نمونه LED

ساختمان داخلی یک LED، از یک اتصال ویک انعکاس دهندهی نور تشکیل شده است. در شکل ۱۶-۱۲ ساختمان داخلی یک LED را مشاهده می کنید.



شکل ۱۶-۱۲ ساختمان داخلی یک LED

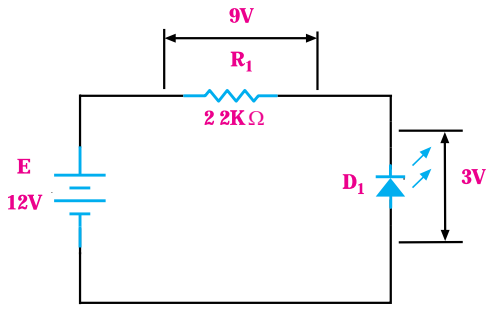
نور ساطع شده از LEDها به رنگ قرمز، زرد، سبزو آبی است. شکل فیزیکی قسمت نوردهندهی این دیودها را به صورت نیم کروی، مربعی و مثلثی میسازند. از دیودهای LED به عنوان لامپ سیگنال در مدارها ودستگاههای الکترونیکی استفاده می شود. در شکل ۱۷-۱۲ نمونههایی از انواع LED نشان داده شدهاند.

شکل ۱۷-۱۲- نمونههایی از انواع LED

دیود نور دهنده را باعلامت قرار دادی شکل ۱۸-۱۲ نشان میدهند.

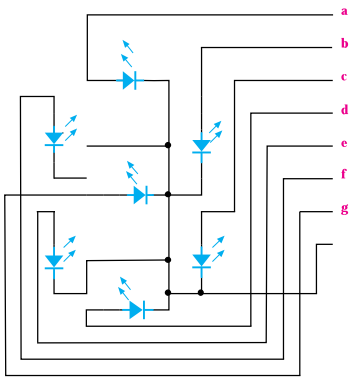
شکل ۱۸-۱۲ علامت قراردادی دیود نور دهنده

هنگام عبور جریان از LED، ولتاژی معادل ۱/۷ تا۳/۳ ولت در دوسر LED افت می کند. مقدار دقیق افت ولتاژ بستگی به مقدار جریانی دارد که از دیود عبورمی کند، شکل ۱۹-۱۲.



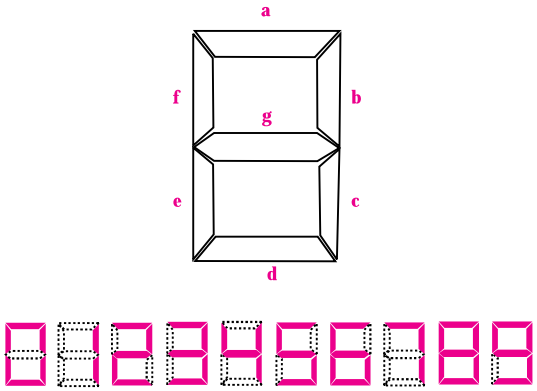
شکل ۱۹-۱۲ نمایش افت ولتاژ در دوسر LED

یکـی دیگر از مـوارد کاربـرد دیود نوردهنـده، نمایش اعـداد از صفـر تا نه اسـت. بـرای ایـن منظور یـک قطعه الکترونیکی متشـکل از هفت عدد دیود نـور دهنده رامطابق شکل ۲۰-۱۲ می‌سـازند. با خاموش وروشـن کردن قطعات مختلف به سـادگی می‌توان اعداد صفر تا نه را روی نمایشگر به وجـود آورد. به این قطعه الکترونیکی **سون- سگمنت** یا هفت قطعه‌ای می گویند.



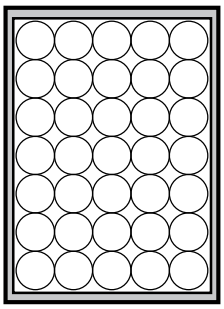
شکل ۲۰-۱۲ ساختمان داخلی سون- سگمنت(کاتد مشترک)

درشکل ۲۱-۱۲ شکل ظاهری یک قطعه سون- سگمنت نشان داده شـده است.در شکل ۲۱-۱۲ اگرفقط دیودهای b و c روشن شـوند عدد۱ واگر قطعات a,b,g,e و d روشن شوند عدد۲ نمایش داده می‌شود.سـون- سـگمنت ها را به صورت آند مشترک وکاتد مشترک می‌سازند.



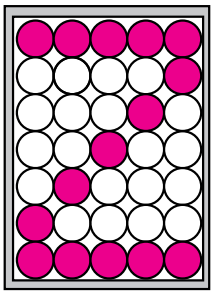
شکل ۲۱-۱۲ شکل ظاهری سون- سگمنت

قطعه‌ی دیگری نیز شـامل ۳۵ عدد دیود نور دهنده ساخته شـده اسـت که به صفحه‌ی نمایش ماتریسی معروف است. با این نمایشـگر ماتریسـی می‌توان اعداد و حروف الفبا را نشان داد. در شکل ۲۲-۱۲ این نمایشگر را مشاهده می کنید.



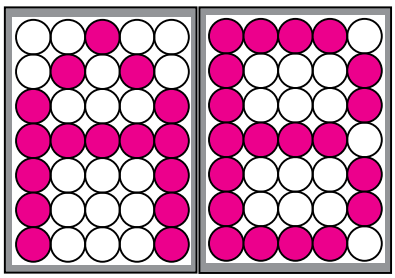
شکل ۲۲-۱۲

در شکل ۲۳-۱۲ چگونگی نمایش Z نشان داده شده است.



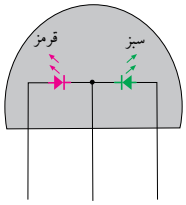
شکل ۲۳-۱۲ نمایش حرف Z

بـا قرار دادن چند عـدد صفحه‌ی نمایش ماتریسـی کنار یکدیگر می‌توان متنی را نشـان داد.در شکل ۲۴-۱۲ حروف AB به کمک صفحه نمایش ماتریسی نشان داده شده اند.



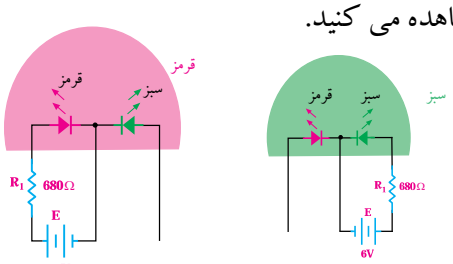
شکل ۲۴-۱۲ صفحه نمایش ماتریسی

به تازگی LEDهای دو رنگ نیز به بازار عرضه شده اند. این نوع LEDها، در حقیقت، دوعدد LED مجزا معمولاً به رنگ سبز و قرمز است که مانند شکل ۲۵ -۱۲ در داخل یک قطعه معمولی جاسازی شده‌اند. این دیودها دارای سه پایه هستند که یکی از پایه‌های مشترک بوده ودو پایه‌ی دیگر، هر کدام مربوط به یکی از دیودهاست.



شکل ۲۵- ۱۲ LED دورنگ

در شکل ۲۶-۱۲ نحوه‌ی روشن شدن LED به رنگ قرمز وسبز را مشاهده می کنید.



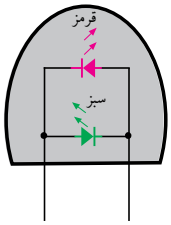
شکل ۲۶-۱۲ نحوه‌ی روشن شدن LED به رنگ قرمز وسبز

اگر هر دو دیود را همزمان روشن کنیم از ترکیب نور سبز وقرمز، نورنارنجی به وجود می‌آید.

تمرین کلاسی ۱: مداری رسم کنید که توسط آن بتوانید نور نارنجی تولید کنید.

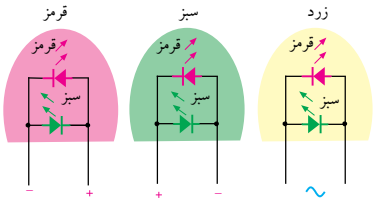
راهنمایی: از شکل ۲۶-۱۲ کمک بگیرید.

نوع دیگری از LED ها وجود دارند که دو پایه هستند و سه رنگ مختلف تولید می کنند.شکل ۲۷-۱۲ ساختمان داخلی این دیود را نشان می‌دهد.



شکل ۲۷-۱۲ ساختمان داخلی LED دوپایه‌ی سه رنگ

در شکل ۲۸-۱۲ نحوه‌ی تولید نور به رنگ های قرمز، سبزونارنجی را مشاهده می کنید.



شکل ۲۸-۱۲ نحوه‌ی روشن شدن LEDبه رنگ های قرمز، سبز و زرد

به تازگی دیودهای دیگری به نام ULtraBright LED ساخته شده‌اند که میزان نور دهی آن‌ها فوق العاده زیاد و ده‌ها برابر یک LED معمولی است. این دیودها فعلاً به رنگ‌های آبی، سبز، قرمز و سفید در بازار یافت می‌شوند. در شکل ۲۹-۱۲ یک نمونه از این دیودها نشان داده شده است.

شکل ۲۹-۱۲ یک نمونه LEDبا نور فوق العاده زیاد

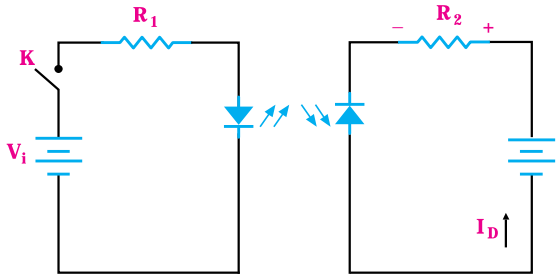
از این دیودها اگر جریان ۲۰mA بگذرد، نور بسیار زیادی از خود تولید می‌کنند. در جدول ۳-۱۲ افت ولتاژ دو سر دیودها به ازای عبور جریان ۲۰ mA آورده شده است.

جدول ۳-۲۱

شرایط	I_F=۲۰mA	
رنگ نور منتشر شده	ولتاژ DC موافق V_f برحسب ولت	
	نامی	حداکثر
آبی	۳/۵	۴
سبز	۳/۵	۴
قرمز	۲	۲/۵

۶-۴-۱۲ زوج نوری یا اپتوکوپلر (optocoupler)

یک جفت دیود نورانی (LED) ودیود نوری است که در یک محفظه قرار می‌گیرند. در شکل ۳۰-۱۲ اساس کار زوج نوری نشان داده شده است.



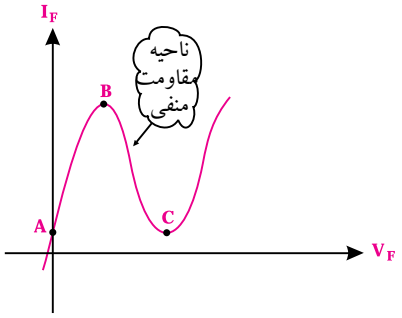
درشکل ۳۰-۱۲، اساس کار زوج نوری نشان داده شده است.

در سمتی دیود نور دهنده ودر مقابل آن دیود نوری(فتودیود) قرار دارد. باوصل کردن کلید K ، از دیود نوردهنده‌ی جریان عبور می کند و روشن می‌شود. نور دیود نوردهنده روی فتودیود اثر می‌گذارد و جریان معکوس عبوری از آن، افت ولتاژی را در دوسر R_2 ایجاد می‌کند.

بنابراین با تغییر ولتاژ ورودی (V_i) میزان نور LED تغییر می‌کند و جریان I_D را تغییر می‌دهد.باتغییر جریان I_D ولتاژ دو سر R_2 تغییر می‌کند. به این ترتیب، بدون این که ارتباط مستقیمی با ولتاژ ورودی داشته باشیم، یک ولتاژ متغیر که دقیقا از تغییرات ورودی تبعیت می‌کند، در اختیارکاربر قرار می‌گیرد. بنابراین مزیت اصلی زوج نوری در ایزوله شدن مدار خروجی از مدار ورودی است، زیرا تنها ارتباط بین دو مدار، مقدارنوری است که از دیود نور دهنده‌ی ورودی به دیود نوری خروجی می‌تابد. این جداسازی بین دو مدار باعث می‌شود که بتوانیم ارتباط بین دو مداری که ولتاژهای آن‌ها با هم متفاوت است را برقرار کنیم. مثلا با یک ولتاژ کم (۶ ولت) ولتاژ زیاد(۲۲۰ولت) را کنترل کنیم.

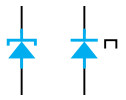
۷-۴-۱۲ دیود تونلی

با افزایش میزان ناخالصی، نوع دیگری دیود ساخته می‌شود که ولتاژ شکست آن صفر است. این نوع دیود را **دیود تونلی** (Tunnel Diode) گویند. دیود تونلی دارای خاصیت مقاومت منفی (Resistance negative) است. به این معنی که در منطقه‌ی خاصی از منحنی چنان‌چه ولتاژ مستقیم را در حالت موافق زیاد کنیم، جریان دیود کم می‌شود. شکل ۳۱-۱۲ منحنی مشخصه‌ی دیود را نشان می‌دهد.



شکل ۳۱-۱۲ منحنی مشخصه دیود تونلی

نماد فنی دیود تونلی را در شکل ۳۲- ۱۲ مشاهده می کنید.



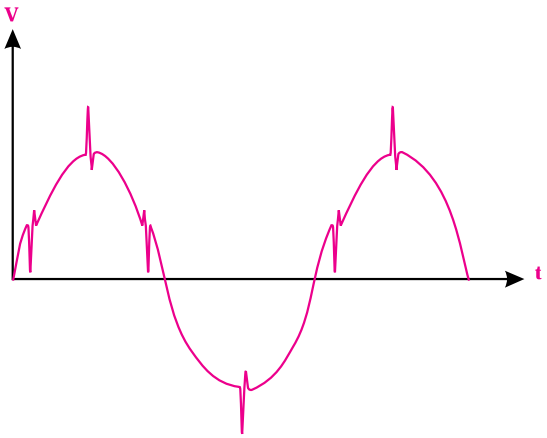
شکل ۳۲- ۱۲ نمادهای فنی دیود تونلی

از خاصیت مقاومت منفی دیود تونلی در مدار نوسان ساز فرکانس بالا استفاده می‌شود. نوسان‌ساز مداری است که انرژی DCرا به سیگنال AC تبدیل می کند.

۸-۴-۱۲ وریستور(Varistor)

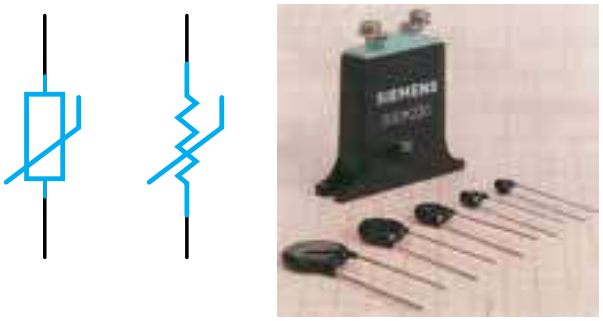
برخی از عوامل طبیعی مانند رعدو برق یا پدید آمدن معایبی در شبکه‌ی برق، سبب تداخل امواجی روی برق شهر می‌شود. این تداخل از طریق پالس‌های سوزنی شکل که روی سیگنال سوار می‌شوند رخ می‌دهد. شکل ۳۳-۱۲ نمونه‌هایی از پالس‌های سوزنی (SPIKE و DIP) را که روی موج برق شهر نشسته (سوار شده) است نشان می‌دهد.

وریستور را در فصل دوم معرفی کرده‌ایم. در این فصل به دلیل بیان دوباره‌ی آن در استاندارد به تشریح تفصیلی آن پرداخته‌ایم.



شکل ۳۳-۱۲ پالس‌های سوزنی روی برق شهر

پالس‌های بالا رونده را **اسپایک** و پالس‌های پایین رونده را **دیپ** می گویند. دامنه‌های این پالس‌ها ممکن است تا چند هزار ولت برسد. اگر چه دامنه‌ی این پالس‌ها زیاد است ولی معمولا انرژی زیادی ندارند. در عمل پالس‌های سوزنی شکل موجود در ورودی مدارها را توسط فیلترهای مخصوصی حذف می کنند. گاهی ممکن است انرژی این پالس‌ها زیاد باشد و از فیلترهای ورودی مدار عبور کند. در اثر وارد شدن این پالس‌ها به مدار، ممکن است به قطعاتی مانند ترانزیستور یا مدارهای مجتمع آسیب برسد. لذا در بعضی از دستگاه ها از قطعه‌ای بنام (حذف کننده‌ی اسپایک Suppressor SPIKE) یا (وریستور) استفاده می کنند. این قطعه شبیه دو دیود زنر پشت به پشت (Back to Back) با ولتاژ شکست بالااست.در شکل ۳۴-۱۲ نمادهای فنی وشکل ظاهری وریستور (VDR)نشان داده شده است.



شکل ۳۴-۱۲ شکل ظاهری و نمادهای مداری

در مدارهای با ولتاژ برق شهر (۲۲۰V)معمولا از وریستور ۴۰۰ولتی استفاده می کنند. این قطعه در شرایط معمولی کار مدار، عملا نقشی ندارد و مانند مدار باز عمل می کند. چنانچه ولتاژ ورودی از ۴۰۰ ولت بیش‌تر شود، وریستور به حالت فعال در می‌آید و با عبور جریان از خود دامنه‌ی ولتاژ را در مقدار ۴۰۰ ولت محدود می کند. وریستور معمولا در ورودی دستگاه، بعداز فیوز به صورت موازی در مدار قرار می گیرد. وریستورها معمولا قابلیت تحمل جریان های لحظه‌ای تا چند صد آمپر را دارند.

۵-۱۲ نام گذاری دیود ها

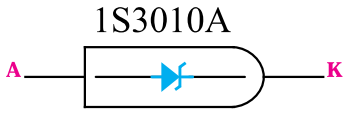
برای نام گذاری دیودها سه روش مهم وجود دارد .ممکن است بعضی از کارخانه ها از این سه روش تبعیت نکنند ونام گذاری مخصوص خود داشته باشد. این سه روش عمومی عبارتند از:

الف) روش ژاپنی

ب) روش اروپایی

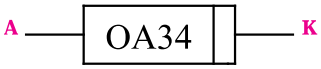
ج) روش آمریکایی

الف- روش ژاپنی: در این روش از پیش وند 1S تعدادی شماره که به دنبال آن می‌آید استفاده می‌شود، شکل ۱۲-۳۵. در این شیوه نام گذاری نوع دیود، جنس دیود وسایر مشخصات آن را نمی‌توان از شماره‌ی دیود به دست آورد. برای این منظور با مراجعه به کاتالوگ های مربوطه امکان دسترسی به مشخصات دیود وجود دارد.



شکل ۱۲-۳۵ نام گذاری دیود، به روش ژاپنی

ب- روش اروپایی: در روش اروپایی، ابتدا تمامی دیود ها را با پیشوند OA وتعدادی شماره مشخص می کردند مانندOA۳۴ شکل ۱۲-۳۶



شکل ۱۲-۳۶ نام‌گذاری دیودها به روش اروپایی

بعدها روش نام‌گذاری در اروپا تغییر کرد. به این ترتیب که دیود هایی را که بیش‌تر در مدارهای رادیو تلویزیون به کار می‌روند با دوحرف و سه شماره دیودهای خاص راباسه حرف و دو شماره نام‌گذاری کردند. سیستم دوحرفی و سه شماره‌ای که امروز نیزاستفاده می‌شود به شرح زیر است.

حرف اول: جنس نیمه هادی به کار رفته در دیود را مشخص می کند. اگر حرف اول A باشد جنس دیود ژرمانیوم واگرB باشد سیلیکون است.

حرف دوم: یکی از حروف زیر است که نوع دیود را مشخص می کند.

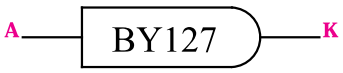
A: دیود معمولی یکسوکننده

B: دیود واراکتور

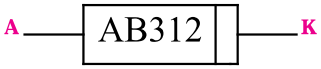
Y: دیود یکسوکننده‌ی قدرت

Z: دیود زنر

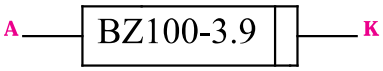
بعداز این دوحرف، سه شماره می‌آید که با مراجعه به جدول می‌توان سایر مشخصات الکتریکی دیود را از روی کاتالوگ کارخانه‌ی سازنده به دست آورد. شکلهای ۱۲-۳۷ و۱۲-۳۸ و۱۲-۳۹ .



شکل ۱۲-۳۷نام گذاری دیودها، به روش جدید



شکل ۱۲-۳۸دیود واراکتور از جنس ژرمانیوم

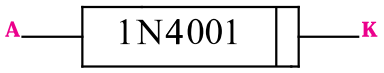


شکل۱۲-۳۹ دیود زنر از جنس سیلیسیوم ۳/۹ ولتی

نکته‌ی مهم

هنگام آزمون جدول مربوط به اطلاعات حروف اختصاری دیود را دراختیار فراگیر قرار دهید.

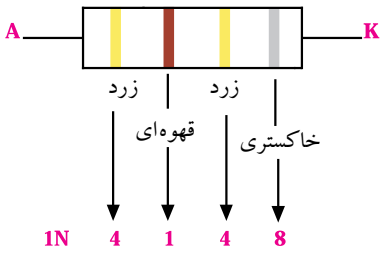
ج–روش امریکایی: در این روش از پیش وند 1N استفاده می‌شود و به دنبال آن معمولا یک شماره‌ی چهار رقمی می‌آید. بامراجعه به جدول مشخصات دیودها می‌توان از روی شماره‌ی چهار رقمی به نوع دیود و مشخصات آن پی برد، شکل ۴۰-۱۲.



شکل ۴۰-۱۲ نحوه‌ی نام‌گذاری دیودها به روش امریکایی

در بعضی از دیودها، به جای شماره‌ی چهار رقمی، از چهار نوار رنگی استفاده می‌شود. در این صورت دیگر پیشوند 1N را روی دیودها نمی‌نویسند. ارقام مربوط به نوارهای رنگی به شرح جدول ۴-۱۲و مشابه کد رنگی مقاومت‌ها است.

رنگ	شماره	رنگ	شماره
مشکی	۰	آبی	۶
قهوه ای	۱	بنفش	۷
قرمز	۲	خاکستری	۸
نارنجی	۳	سفید	۹
زرد	۴		
سبز	۵		



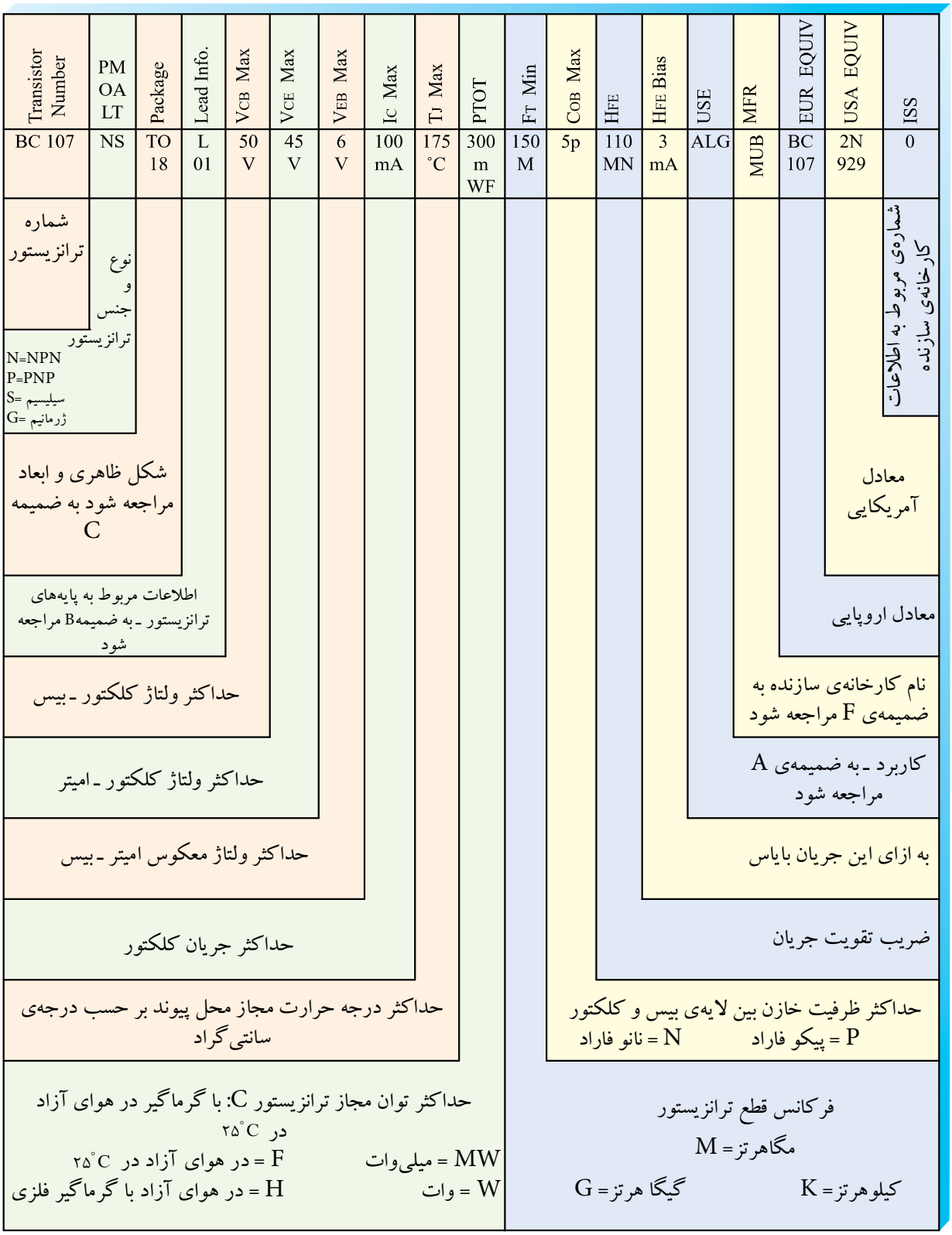
شکل ۴۱-۱۲–نحوه‌ی شماره‌گذاری دیود هابااستفاده از نوارهای رنگی

۶–۱۲ نحوه‌ی استخراج مشخصات دیودها از کتاب‌های مرجع:

کتاب‌های مختلفی در زمینه‌ی ارائه‌ی مشخصات دیودها چاپ شده است. این کتاب‌ها در بازار به فراوانی یافت می‌شوند. با توجه به شماره‌ی دیود و مراجعه به کتاب می‌توانید اطلاعات مربوط به دیود را به دست آورید. در جدول ۵-۱۲ یک نمونه از این جدول مشخصات دیودها آمده است.

در این مرحله هنر جو باید بتواند با داشتن شماره‌ی دیود، با استفاده از کتاب اطلاعات مشخصه‌های دیود (Data book)، تعدادی دیود در اختیار بگیرد و مشخصات مربوط به جنس دیود، ماکزیمم ولتاژ معکوس مجاز، ولتاژ معکوس شکست، حداکثر جریان مستقیم و ..... را استخراج کند.

جدول ۵-۱۲


ISS
USA EQUIV
EUR EQUIV
MFR
USE
HFE Bias
HFE
COB Max
FT Min
PTOT
TJ Max
IC Max
VEB Max
VCE Max
VCB Max
Lead Info.
Package
PM OA LT
Transistor Number
0
2N 929
BC 107
MUB
ALG
3 mA
110 MN
5p
150 M
300 m WF
175 °C
100 mA
6 V
45 V
50 V
L 01
TO 18
NS
BC 107
شماره‌ی مربوط به اطلاعات کارخانه‌ی سازنده
معادل آمریکایی
معادل اروپایی
نام کارخانه‌ی سازنده به ضمیمه‌ی F مراجعه شود
کاربرد ـ به ضمیمه‌ی A مراجعه شود
به ازای این جریان بایاس
ضریب تقویت جریان
حداکثر ظرفیت خازن بین لایه‌ی بیس و کلکتور
P = پیکو فاراد N = نانو فاراد
حداکثر درجه حرارت مجاز محل پیوند بر حسب درجه‌ی سانتی‌گراد
حداکثر جریان کلکتور
حداکثر ولتاژ ولتاژ معکوس امیتر ـ بیس
حداکثر ولتاژ کلکتور ـ امیتر
حداکثر ولتاژ کلکتور ـ بیس
اطلاعات مربوط به پایه‌های ترانزیستور ـ به ضمیمه B مراجعه شود
شکل ظاهری و ابعاد مراجعه شود به ضمیمه C
نوع و جنس ترانزیستور
N=NPN
P=PNP
S= سیلیسیم
G= ژرمانیم
شماره ترانزیستور
فرکانس قطع ترانزیستور
مگاهرتز = M
کیلوهرتز = K گیگا هرتز = G
حداکثر توان مجاز ترانزیستور C: با گرماگیر در هوای آزاد در ۲۵°C
MW = میلی‌وات F = در هوای آزاد در ۲۵°C
W = وات H = در هوای آزاد با گرماگیر فلزی

استفاده از برگه‌ی داده‌ها (اطلاعات)

پارامترهـای مختلفـی در برگه‌ی اطلاعـات دیود آورده می‌شود که در طراحی ها از آنها استفاده نمود. در این بخش، پارامترهای مهمی که اسـتفاده عملی دارند مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۱-۶-۱۲ حداکثر جریان مستقیم

یکی از مشـخصه‌های مجـاز دیود، متوسـط جریان قابل تحمل دیود اسـت کـه در برگه‌ی اطلاعات بـه صورت زیر مشخص می کنند. Average Rectified Forward current

ایـن جریان رابا I_O نشـان می‌دهند. مثـلا دیود ۱N۴۰۰۱ متوسـط جریانی کـه می تواند تحمل کند ۱Aاسـت. جریان عبوری از این قطعه نباید از ۱A بیش‌تر شـود، در این صورت جریـان عبوری از این قطعـه نباید از ۱ آمپر تجـاوز کند. در طراحی‌ها بهتر اسـت ضریب اطمینانی را در نظر بگیریم. مثلا برای دیود ۱N۴۰۰۱، جریان عبوری از دیود ۵۰ درصد جریان ماکزیمم یعنی نیم آمپر پیش‌بینی می کنیم.

بـا درنظرگرفتن ضریب اطمینان مناسـب، احتمال خرابی قطعات کاهش می‌یابد .

۲-۶-۱۲ افت ولتاژ مستقیم (Forward Voltage Drop)

ایـن پارامتر حداکثر افت ولتـاژ لحظه ای دیود در حالت موافق است. مثلا اگر از ۱N۴۰۰۱ جریان ۱Aدر دمای اتصال $25^{\circ}C$ عبور کند، در دوسر آن ولتاژی برابر با ۰/۹ تا ۱/۱ ولت افت می کند.

۳-۶-۱۲ ولتاژ معکوس شکست

(Reverse Breakdown Voltage)

سه پارامتر برای ولتاژ معکوس شکست در کتاب اطلاعات نوشته می‌شود.

الف) V_{RRM} ولتا ژ معکوسـی اسـت به صـورت متناوب می‌توان به دیود اعمال کرد.

ب) V_{RWM} ولتاژ معکوس قابل تحمل در شرایط کار عادی

ج) V_Rحداکثر ولتاژ dc اسـت کـه در حالتی که دیود در بایاس مخالف قرار دارد، می‌تواند تحمل کند.

اگر ولتـاژ معکوس دوسـر دیـود، از مقادیـر حدی که کارخانه سـازنده‌ی آن اعلام می کند بیش‌تر شـود، دیود در ناحیه‌ی شکسـت قرار می گیرد و آسـیب می‌بیند. برای دیود ۱N۴۰۰۱ مقادیر V_{RRM} و V_{RWM} و V_R برابر ۵۰ ولت است.

۴-۶-۱۲ حداکثر جریان معکوس

(Reverse Current Maximum)

یکی دیگر از مشخصات الکتریکی که در برگه‌ی اطلاعات آورده می‌شـود حداکثر جریان معکوس است که آن را با I_R مشـخص می کنند. این جریان در حالتی اندازه‌گیری می‌شود که ولتاژDC معکوس اعمال شـده به دیـود برابر با حداکثر مقدار مجاز باشد. مثلا برای دیود ۱N۴۰۰۱ که حداکثر ولتاژ معکوس آن(۵۰V) در دمای $25^{o}C$ است، جریان I_R درحالت معمـول برابر $1\mu A$ وحداکثر $10\mu A$ اسـت. اگر دمای محل پیوند T_j به ۱۰۰ درجه سانتی گراد برسد در این شرایط جریان معکوس به $50\mu A$ می‌رسد.

برای دسـت یابی بـه اطلاعات فوق بایـد به کتاب اطلاعـات Data book مراجعـه کنید. به خاطر سـپردن اعداد هیچ ضرورتی ندارد.

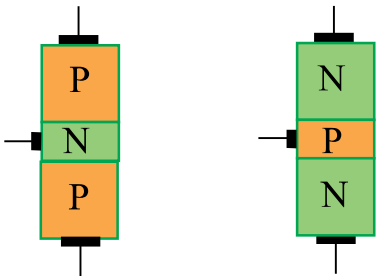
۱۲-۷ ســـاختمان وطرز کار ترانزیستور معمولی (BJT)

یک ترانزیســتور معمولی، از سه قطعه نیمه هادی نوع Pو N تشکیل شده است. نحوه‌ی قرار گرفتن نیمه هادی‌های نوع PوN در کنــار یکدیگر به دوصورت زیر می تواند باشــد. هر دو نوع ترانزیستور در عمل ساخته می‌شوند.

الف :یک قطعه نیمه هادی نوعN در وسط و دو قطعه نیمه هادی نوع Pدر دوطرف آن

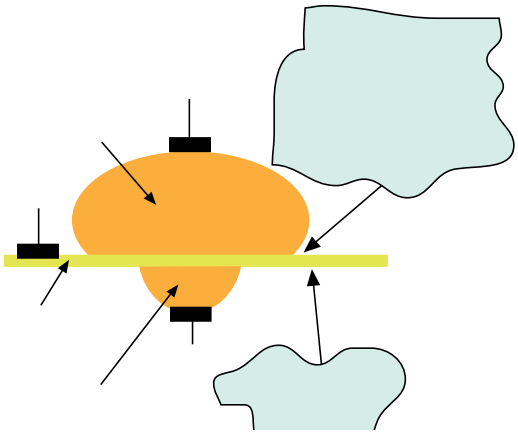
ب : یک قطعه نیمه هادی نوعP در وســط و دو قطعه نیمه هادی نوع Nدر دوطرف آن

در شکل ۱۲-۴۲ ســاختمان داخلی هر دونوع ترانزیستور نشان داده شده است.



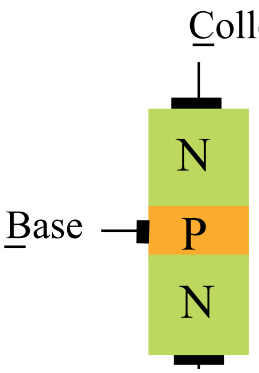
شکل ۱۲-۴۲- نحوه‌ی قرار گرفتن نیمه هادی های نوع PوN در ترانزیستور

ترانزیســتوری کــه از دو قطعــه نیمه هادی نــوع Pویک قطعه نیمه هادی نوع N ساخته شــده باشد ترانزیستور PNP و ترانزیســتوری کــه دو قطعه نیمه هــادی نوعNویک قطعه نیمه هادی نوع P دارد،ترانزیســتور NPN نامیده می شــود. پایه‌های ترانزیســتور را امیتر ، بیس و کلکتور می‌نامند. از نظر ناخالصی، لایه‌ی امیتر بیشترین ناخالصی ولایه‌ی بیس کمترین ناخالصی را دارد.از نظر ابعاد فیزیکی کلکتور دارای بیشــترین ابعاد ولایه‌ی بیس کمترین ابعاد را دارد. در شکل ۱۲-۴۳ ابعاد تقریبی یک ترانزیستور معمولی نشان داده شده است.



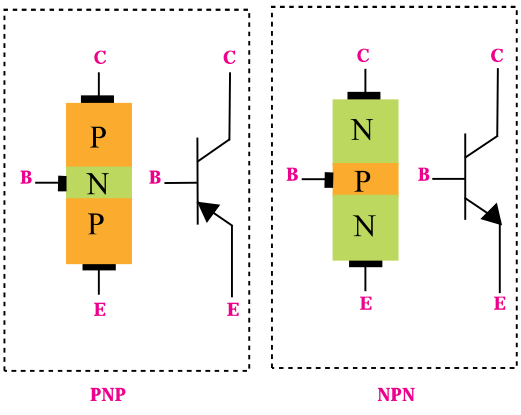
شکل ۱۲-۴۳-مقایسه‌ی ابعاد تقریبی یک ترانزیستور معمولی

پایه‌ی کلکتور را با حرف C، پایه‌ی بیس را باحرف B و پایه‌ی امیتر را باحرف Eنشان می‌دهند، شکل ۱۲-۴۴.



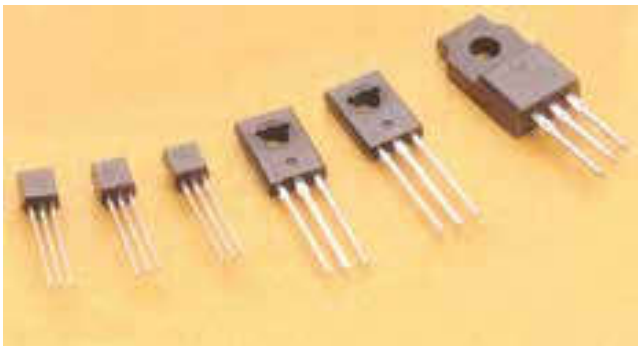
شکل ۱۲-۴۴- نام پایه‌های ترانزیستور

در شــکل ۱۲-۴۵، علامت هــای قرار دادی ترانزیســتور PNPوNPN نشان داده شده است.



شکل ۱۲-۴۵-علامت قرار دادی ترانزیستورهای NPNوPNP

در شـکل ۴۶-۱۲، نمونه‌هایـی از انواع ترانزیسـتور ها را مشاهده می کنید.



شکل ۴۶-۱۲- نمونه هایی از انواع ترانزیستور

۸-۱۲ تعیین پایه‌ها ونوع ترانزیستور توسط مولتی‌متر دیجیتالی

از مولتی‌متـر دیجیتالی نیـز می‌توان برای تسـت صحت ترانزیسـتور وتعییـن پایه‌هـا ونوع آن اسـتفاده نمـود. اغلب مولتی‌مترهـای دیجیتالی وضعیت تسـت دیود دارنـد. مانند حالـت آزمایش دیود، وقتی دیود بیـس - امیتر یا دیود بیس -کلکتور در بایاس موافق قـرار می گیرند، ولتاژ بایاس موافق روی صفحه‌ی نمایش نشـان داده خواهد شد. این ولتاژ حدود ۰/۵ تـا ۰/۷ ولت اسـت. اگر دیـود بیس امیتر یـا دیود بیس کلکتوردر بایـاس مخالف قرار گیرد ، ولتـاژ بایاس مخالف دو سـر دیود (حـدود ۱/۵ تا۳ ولـت) روی صفحه‌ی نمایش مولتی‌متر نشان داده خواهد شد.

۱-۸-۱۲ تعیین پایه‌ی بیس ترانزیستور

مولتی‌متـر دیجیتالـی را روی حالت آزمایـش دیود قرار می‌دهیـم. بااتصال پـروب مولتی‌متر به پایه‌هـا، پایه‌ای را پیدا می کنیم که نسبت به پایه های دیگر در ولتاژ موافق قرار گرفته باشد. در صورت سالم بودن ترانزیستور ، این پایه بیس است.

شـکل ۴۷-۱۲ الف،ب پایـه ی بیس را که نسـبت به دو پایه‌ی دیگر در بایاس موافق قرار دارد، نشان می‌دهد.

پیوند بیس امیتر در بایاس موافق

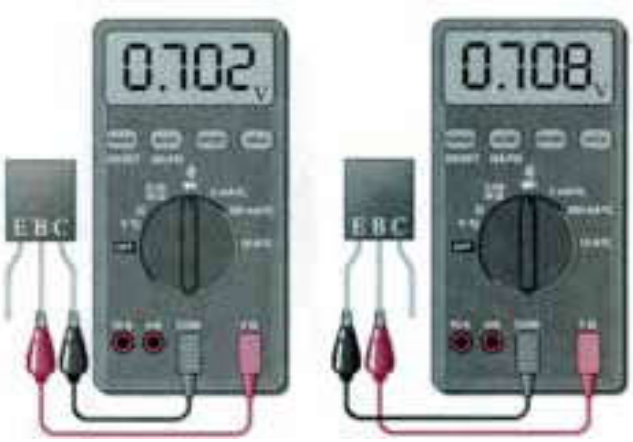
پیوند بیس کلکتور در بایاس موافق

شکل۴۷-۱۲

با اسـتفاده از این آزمایش نوع ترانزیستور را نیز می توانید مشـخص کنید. در صورتی کـه درحالت ولتـاژ موافق برای دیودهـای بیس امیتر و بیـس کلکتور، ترمینـال مثبت مولتی متر به بیس متصل باشـد (شـکل ۴۷-۱۲)، ترانزیستور از نوع NPN و اگـر ترمینال منفی مولتی‌متر بـه پایه‌ی بیس متصل باشد، ترانزیستور از نوع PNP است.

۲-۸-۱۲ تعیین پایه های کلکتور وامیتر :

می‌دانیم سطح تماس کلکتور به بیس از سطح تماس امیتر به بیس بیش‌تر اسـت. بنابراین محل پیوند کلکتور به بیس در ولتـاژ موافق در مقایسـه با پیوند امیتر بیـس مقاومت کم‌تری دارد. در حالـت بایـاس موافق، ولتاژ بیـس کلکتور را کمی کمتر از ولتاژ بیس امیتر نشـان می‌دهد. تفاوت ولتاژ ها بسـیار کم ودر حدود هزارم ولت اسـت. شـکل ۴۸-۱۲ الف و ب ولتاژ موافق کلکتـور بیس را کم تر از ولتاژ موافق امیتر بیس نشان می‌دهد.



شکل ۴۸-۱۲

به ایـن ترتیب پایـه‌ای کـه دارای ولتاژ موافـق کم‌تری اسـت کلکتور و پایـه‌ای که ولتاژ موافق بیشـتری دارد، امیتر است.

۳-۸-۱۲ ترانزیستور معیوب

ترانزیسـتور زمانی سـالم اسـت که بین بیس امیتر و بیس کلکتـور در یک جهت ولتاژ موافـق ودر جهت دیگر تقریبا حالت باز را نشـان دهد . برخی مولتی‌مترهای دیجیتالی حالت بـاز را با حـرف OL که اول کلمات Open Load اسـت نشان می‌دهند. برخی دیگر افت ولتاژ دوسر دیود را که توسط مولتی‌متر به دو سر آن داده می‌شود، نشان می‌دهند، این ولتاژ معمولا از ۱/۵ تا۳ ولت است.

شکل ۴۹-۱۲ ترانزیستور معیوب (قطع) را نشان می‌دهد.

شکل ۴۹-۱۲ ترانزیستور معیوب (قطع)

اگر ترانزیستور معیوب اتصال کوتاه شده باشد ، در تست دیود بیس امیتر یا بیس کلکتور، مولتی متر ولتاژ صفر ولت را مطابق شکل ۵۰-۱۲ نشان می‌دهد.

شکل ۵۰-۱۲ ترانزیستور معیوب (اتصال کوتاه)

۹-۱۲ آزمایش شماره (۲):

تشخیص پایه‌های ترانزیستور

زمان اجرا: ۳ ساعت آموزشی

۱-۹-۱۲ هدف آزمایش:

تشخیص نوع PNP یا NPN ترانزیستور ومشخص کردن پایه‌ها با استفاده از مولتی متر دیجیتالی.

۲-۹-۱۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	مولتی‌متر دیجیتالی	یک دستگاه
۲	ترانزیستور NPN	یک عدد
۳	ترانزیستور PNP	یک عدد
۴	سیم رابط یک سر گیره سوسماری	چهار رشته

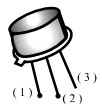
۳-۹-۱۲ مراحل اجرای آزمایش :

■ یک عدد ترانزیستور NPN ویک عدد ترانزیستور PNP را انتخاب کنید.

■ شکل ظاهری این دو ترانزیستور را در جدول ۶-۱۲ رسم کنید.

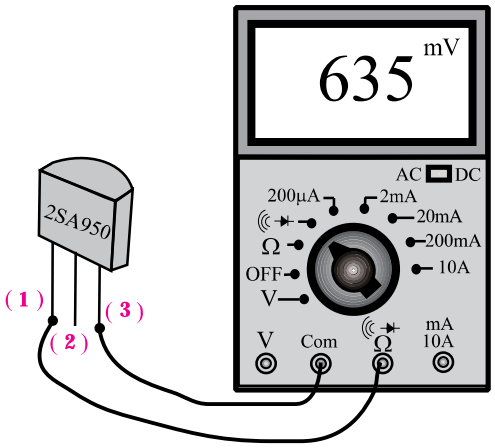
■ پایه‌های این دو ترانزیستور را به دلخواه شماره گذاری کنید.

جدول ۶-۱۲

ردیف	شماره ترانزیستور	شکل ظاهری
۱	BC۱۴۰	
۲		
۳		

■ کلید سلکتور مولتی متر دیجیتالی را روی حالت ⊣◁)) قرار دهید.

■ ترانزیستوررا مطابق شکل ۵۱-۱۲ به مولتی متر اتصال دهید.



شکل ۵۱-۱۲ مدار آزمایش هنگام اندازه‌گیری $V_{۱۳}$

■ مراقب باشید هنگام اندازه‌گیری ولتاژ دست‌های شما با قسمت فلزی پروب تماس نداشته باشد.

■ ولتاژ های خواسته شده را هنگام اتصال ترانزیستور به مولتی متر، از روی صفحه نمایش مولتی متر بخوانید و در جدول ۷-۱۲ یادداشت کنید.

■ مقادیر ولتاژ هارا تا ۳ رقم اعشار بنویسید.

جدول ۷-۱۲

	شماره ترانزیستور
ولت	$V_{۱۲}$=
ولت	$V_{۱۳}$=
ولت	$V_{۲۳}$=
ولت	$V_{۳۲}$=
ولت	$V_{۳۱}$=
ولت	$V_{۲۱}$=

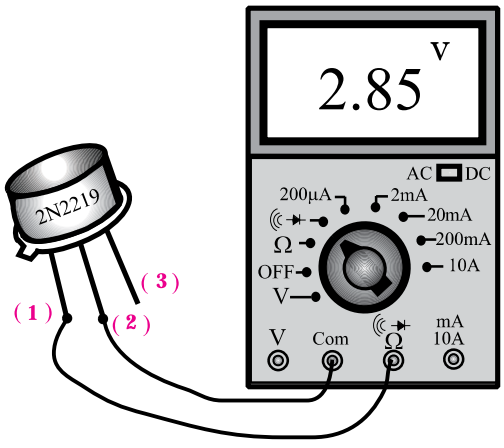
توجه داشته با شـید که منظور از ولتاژ $V_{۱۲}$ اختلاف پتانسـیل پایه ۱ و پایه ۲ است. به عبارت دیگر باید پایه ۱ را به ترمینـال خروجی ⊣((و پایه‌ی ۲ را باید به مشـترک یا ترمینـال Com وصل کنید. منظور از ولتاژ $V_{۲۱}$ این اسـت کـه پایه ۲ به ترمینـال خروجی ⊣((و پایه هـای ۱ به پایه مشترک وصل شود .

سوال ۱: باتوجه به مقادیر ولتاژ به دست آمده بین پایه‌ها نوع ترانزیستور و پایه‌های آن را مشخص کنید.

نوع ترانزیستور ⇒ ☐

(۱) پایه ها ⇒ ☐ : (۲) ☐ : (۳) ☐

■ ترانزیستور را طبق شکل ۱۲-۵۲ به مولتی‌متر دیجیتالی ببندید.



شکل ۱۲-۵۲ اندازه گیری ولتاژ بین پایه ها

■ ولتاژهای خواسته شـده را هنگام اتصال ترانزیستور به مولتی متـر از روی صفحه‌ی نمایش مولتی‌متـر بخوانید ودر جدول ۸-۱۲ یادداشت کنید.

■ مقادیر ولتاژ را تا سه رقم اعشار بنویسید.

جدول ۸-۱۲

	شماره ترانزیستور
ولت	$V_{۱۲}$=
ولت	$V_{۱۳}$=
ولت	$V_{۲۳}$=
ولت	$V_{۳۱}$=
ولت	$V_{۳۲}$=

سوال ۲ : بـا توجه به مقادیر بدست آمده برای ولتاژ بین پایه‌ها، نوع ترانزیستور و پایه‌های آن را مشخص کنید. جدول ۸-۱۲

نوع ترانزیستور ⇒ ☐

(۱) پایه ها ⇒ ☐ : (۲) ☐ : (۳) ☐

■ در صـورت امکان ، دوعدد ترانزیسـتور معیوب را در اختیار بگیرید و نوع عیب آن ها را توسـط مولتی‌متر مشخص نموده ویادداشت کنید.

نکته :

پایه‌هـای کلکتور و امیتر در هیـچ جهتی از خود جریان قابل ملاحظه‌ای عبور نمی‌دهند. بنابراین دریک ترانزیستور، ابتدا دو پایـه‌ای را که در هیچ جهتـی از خود جریان عبور نمی‌دهند تشـخیص می‌دهیم . این دو پایـه یکی کلکتور و دیگری امیتر اسـت و پایه‌ی سـوم نیز با فرض سـالم بودن ترانزیستور قطعاً بیس است.

۴-۹-۱۲ نتایج آزمایش :

آن چـه در این آزمایـش فرا گرفته اید به اختصار شـرح دهید .

۱۰-۱۲ آزمایش شماره (۳)

زمان اجرا : ۲ ساعت آموزشی

۱-۱۰-۱۲ هدف آزمایش :

استخرا ج مشخصه‌های دیود با استفاده از کتاب اطلاعات مشخصه‌های دیود

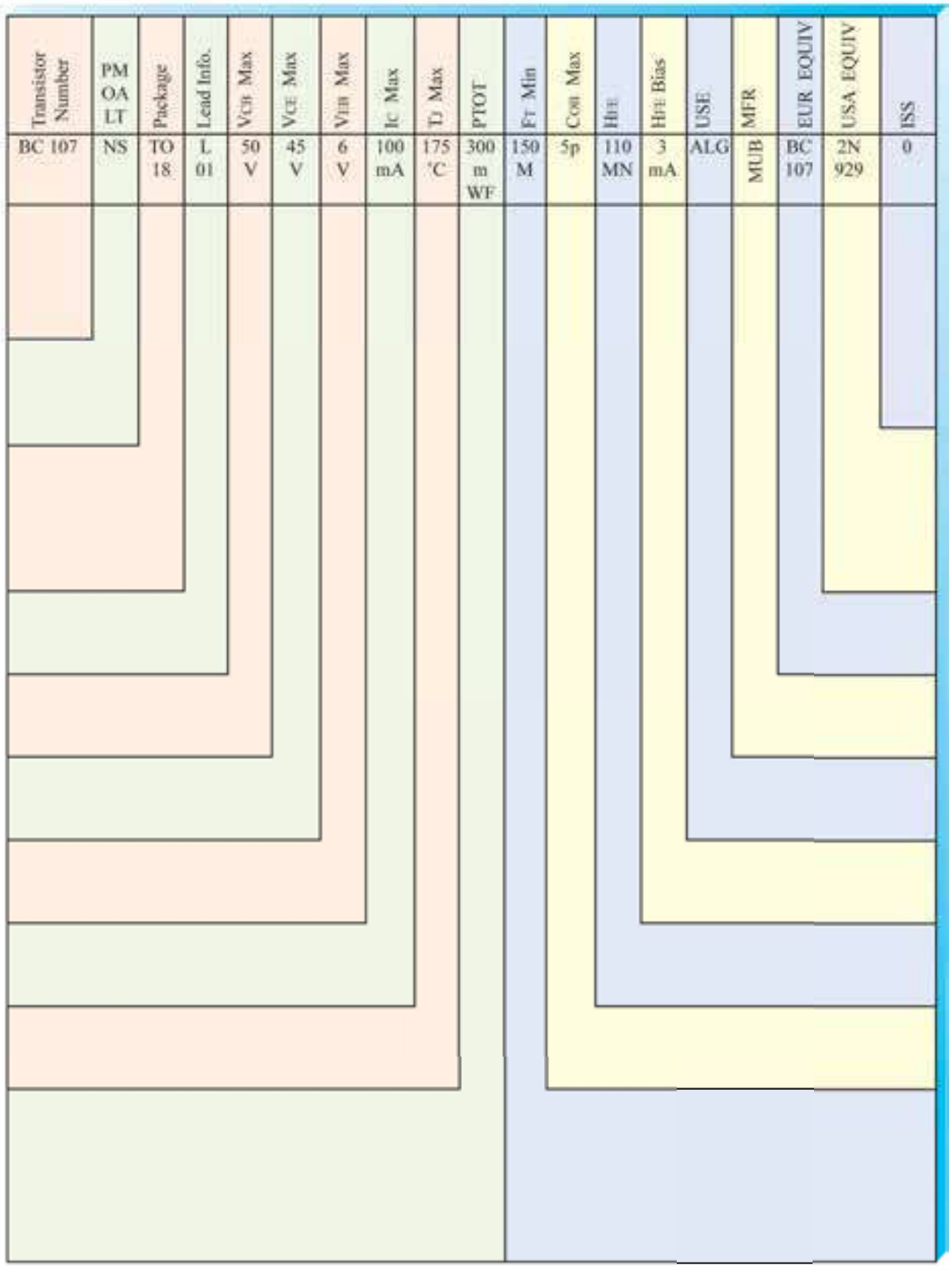
۲-۱۰-۱۲ تجهیزات، ابزار، قطعات و مواد مورد نیاز:

ردیف	نام و مشخصات	تعداد / مقدار
۱	دیود ۱N۴۱۴۸	یک عدد
۲	دیود ۱N۴۰۰۱	یک عدد
۳	دیود ۱N۴۰۰۷	یک عدد
۴	دیودهای موجود در کارگاه	از هر یک ، یک عدد
۵	کتاب مشخصه های دیود	یک جلد

۳-۱۰-۱۲ مراحل اجرای آزمایش :

- یک دیود را در اختیار بگیرید.
- بـا اسـتفاده از کتـاب اطلاعـات مشـخصه‌های دیودهـا (Data book) را اسـتخراج کنیـد و در جدول ۹-۱۲ یادداشت کنید.

جدول ۹-۱۲



Transistor Number	PM OA LT	Package	Lead Info.	V_{CB} Max	V_{CE} Max	V_{EB} Max	I_C Max	T_J Max	PTOT	F_T Min	C_{OB} Max	H_{FE}	H_{FE} Bias	USE	MFR	EUR EQUIV	USA EQUIV	ISS
BC 107	NS	TO 18	L 01	50 V	45 V	6 V	100 mA	175 °C	300 m WF	150 M	5p	110 MN	3 mA	ALG	MUB	BC 107	2N 929	0

آزمون پایانی فصل (۱۲)

۱-شرط هدایت یک دیود زنر کدام است؟

الف) ولتاژ کاتد به اندازه‌ی V_z از آند بیش‌تر باشد.

ب) ولتاژ آند به اندازه‌ی V_z از کاتد بیش‌تر باشد.

ج) جریان در مدار حداکثر به اندازه ۱۰mA باشد.

د) ولتاژ آند به اندازه‌ی ۰/۶ ولت از کاتد بیشتر باشد.

۲- شکل ۱۲-۵۳ نماد کدام نوع دیود است؟

الف) LED ❐ ب) خازنی ❐

ج) اتصال نقطه ای ❐ د) زنر ❐

شکل ۱۲-۵۳

۳-یک دیود زنر ۱۰ ولتی با توان ۰/۵ وات حداکثر چند میلی‌آمپر را می‌تواند تحمل کند؟

الف)۵ ❐ ب) ۵۰ ❐

ج)۱۰۰ ❐ د)۲۰۰ ❐

۴-در مدارهای مختلف، دیود زنر در بایاس ..... و دیود نور دهنده (LED) در بایاس ..... به کار می‌رود.

الف) مستقیم – معکوس ❐

ب) معکوس – مستقیم ❐

ج) معکوس- معکوس ❐

د) مستقیم – مستقیم ❐

۵- در دیود ..... با تغییر ولتاژ معکوس دو سر آن، ظرفیت خازنی آن تغییر می کند.

الف) اتصال نقطه‌ای ❐ ب) شاتکی ❐

ج) خازنی ❐ د) وریستور ❐

۶-به علت قابلیت هدایت الکتریکی زیاد فلز ، زمان تاخیر در دیود ..... بسیار کم است.

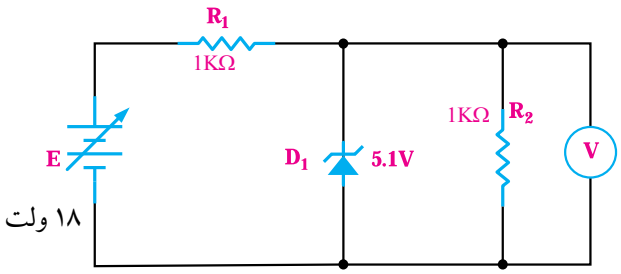
۷- دیود تونلی دارای خاصیت مقاومت منفی است.

صحیح ❐ غلط ❐

۸- ولتاژ V_{RRM}، ولتاژ معکوسی است که به صورت متناوب می‌توان به دیود اعمال کرد.

صحیح ❐ غلط ❐

۹- ولتاژ خروجی مدار شکل ۱۲-۵۴ چند ولت است ؟



شکل ۱۲-۵۴

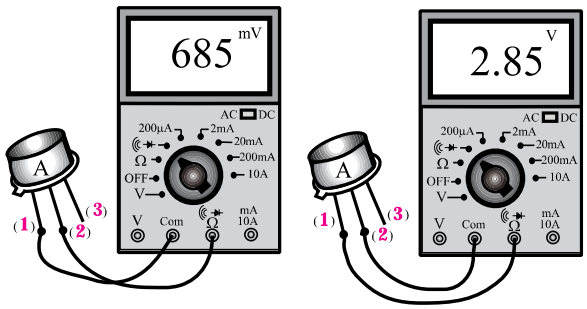
الف) ۸ ❐ ب) ۱۳/۱ ❐

ج) ۳/۱ ❐ د) ۵/۱ ❐

۱۰- درشکل ۱۲-۵۵ نوع ترانزیستور A کدام است ؟

الف) PNP ب) NPN

ج – با این دو آزمایش نمی‌توان تشخیص داد.



شکل ۱۲-۵۵

۱۱- منحنی مشـخصه‌ی "ولت – آمپر" دیود زنر را رسـم کنید.

۱۲- تـوان دیود زنری ۱۰ وات و ولتاژ شکسـت دو سـر آن ۱۰ ولت می‌باشـد ، جریان ماکزیمـم مجاز دیود زنر چند میلی‌آمپر است؟

۱۳- مداری رسم کنید که توسط آن بتوانید نور سبز تولید کنید.

۱۴- عملکرد زوج نوری یا اپتو کوپلر را با رسـم شـکل شرح دهید.

۱۵- چگونگـی تعییـن پایه‌هـای کلکتـور و امیتریـک ترانزیستور را شرح دهید.

۱۶ - یـک دیود در اختیار بگیرید و با اسـتفاده از کتاب اطلاعات و مشـخصه‌ی دیود (Data book) مشـخصه‌های مهم دیود را استخراج کنید.