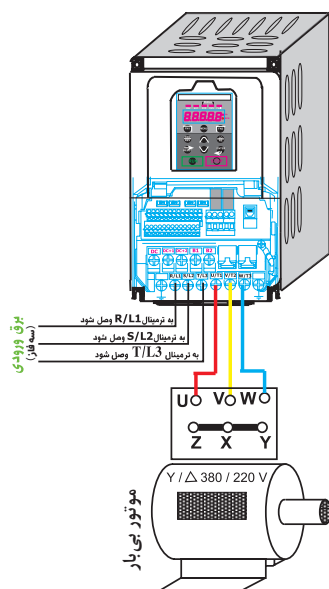
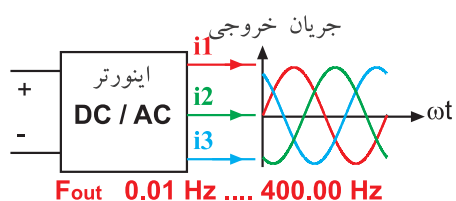


## پودمان چهارم

### کاربرد اتوماسیون صنعتی (اینورتر)



## واحد یادگیری ۴

### آیا می‌دانید

- ۱- نیمه‌هادی چیست و یکسوسازی در مدارهای الکتریکی چگونه انجام می‌شود؟
- ۲- بایاس کردن دیود چیست؟
- ۳- ترانزیستور و تریستور چه تفاوت‌ها و شباهت‌هایی دارند؟
- ۴- اینورتر چیست و چه کاربردهایی در صنعت دارد؟

پس از اتمام این پودمان هنرجویان قادر خواهند بود مفاهیم بایاس، یکسوسازی، سوئیچینگ را فراگرفته و با عملکرد قطعات نیمه‌هادی الکترونیکی و الکترونیک صنعتی آشنا شوند. آنها همچنین با اینورتر و مزایا و کاربرد آن در صنعت برق آشنا می‌شوند.

استاندارد  
عملکرد



## ۴-۱- مقدمه

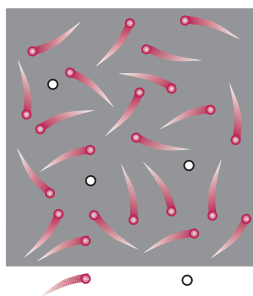
امروزه قطعات الکترونیکی در اکثر وسایل الکتریکی به کار برده می‌شوند. در بسیاری از وسایل الکتریکی صنعتی و خانگی از قطعات الکترونیکی جهت فرایند کنترل استفاده می‌شود. قطعات الکترونیکی باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی الکتریکی می‌شوند و راحتی، دقت و ایمنی بیشتر به هنگام کار با وسیله برقی را نیز فراهم می‌نمایند.

قطعات الکترونیکی بسیار زیادی با کاربردهای منحصر به فرد تولید شده‌اند. نمونه‌های قطعات الکترونیکی مانند دیود، ترانزیستور و تریستور و... است. قطعات الکترونیکی با نیمه‌هادی‌ها ساخته می‌شوند.

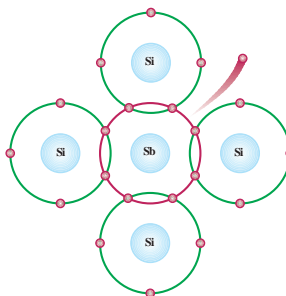
## ۴-۲- نیمه‌هادی‌ها

نیمه‌هادی‌ها عناصری هستند که در لایه والانس خود چهار الکترون دارند و هدایت الکتریکی آنها کمتر از هادی‌ها و بیشتر از عایق‌ها می‌باشد. نیمه‌هادی‌های سیلیسیوم و ژرمانیوم در ساخت قطعات الکترونیکی استفاده می‌شوند. از نیمه‌هادی ژرمانیوم در ساخت قطعات الکترونیکی که در مدارات مخابراتی به کار می‌روند استفاده می‌شود. به منظور افزایش هدایت الکتریکی، نیمه‌هادی‌ها را ناخالص می‌کنند. برای ناخالص کردن نیمه‌هادی‌های سیلیسیوم و ژرمانیوم از عناصر پنج ظرفیتی مانند آنتیموان (Sb) و آرسنیک (As) و فسفر (P) و عناصر سه ظرفیتی مانند بور (B) و آلومینیوم (Al) و ایندیم (In) استفاده می‌شود.

با ناخالص کردن نیمه‌هادی با عنصر پنج ظرفیتی پیوند کووالانسی بین الکترون‌های آنها ایجاد می‌شود. در این پیوند اتم‌های نیمه‌هادی و عنصر پنج ظرفیتی الکترون‌های لایه والانس خود را به اشتراک می‌گذارند و تعداد الکترون‌های لایه والانس اتم‌ها به هشت می‌رسد و پایدار می‌شوند و یک الکترون آزاد ایجاد می‌شود. الکترون آزاد به هیچ اتمی وابسته نمی‌باشد. با ناخالص کردن نیمه‌هادی توسط عنصر پنج ظرفیتی تعداد الکترون‌های آزاد افزایش می‌یابد در نتیجه هدایت الکتریکی زیاد می‌شود (شکل ۱).



شکل ۲

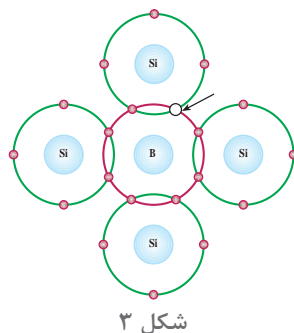


شکل ۱

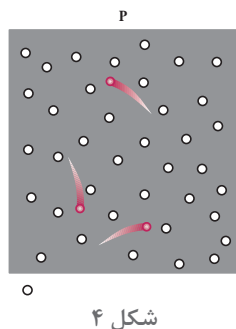
ترکیب اتم نیمه‌هادی با چهار عنصر پنج ظرفیتی از نظر الکتریکی خنثی است زیرا تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های این ترکیب برابر است. با آزاد شدن الکترون، این ترکیب به یون مثبت تبدیل می‌شود. در ناخالص کردن اتم نیمه‌هادی با عنصر پنج ظرفیتی، اتمی که یک الکترون آزاد می‌دهد و خود به یون مثبت در می‌آید را «اتم اهداکننده» گویند.

قطعه‌ای که با ناخالص کردن نیمه‌هادی با عنصر پنج ظرفیتی تولید می‌شود و دارای الکترون‌های آزاد می‌باشد را قطعه N گویند (شکل ۲).

قطعه N از نظر الکتریکی خنثی می‌باشد زیرا تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های آن با هم برابر است. با ناخالص کردن نیمه‌هادی با عنصر سه ظرفیتی پیوند کووالانسی بین الکترون‌های آنها ایجاد می‌شود. در این پیوند اتم‌های نیمه‌هادی و عنصر سه ظرفیتی الکترون‌های لایه والانس خود را به اشتراک می‌گذارند و تعداد الکترون‌های لایه والانس اتم‌ها به هفت می‌رسد و پایدار نمی‌شوند و جای یک الکترون در لایه والانس آنها خالی می‌باشد. به جای خالی الکترون در لایه والانس حفره گویند. با ناخالص کردن نیمه‌هادی توسط عنصر سه ظرفیتی تعداد حفره‌ها افزایش می‌یابد در نتیجه هدایت الکتریکی زیاد می‌شود (شکل ۳).



ترکیب اتم نیمه‌هادی با چهار عنصر سه ظرفیتی از نظر الکتریکی خنثی است زیرا تعداد پروتون‌ها و الکترون‌های این ترکیب برابر است. با ایجاد حفره و در صورت دریافت الکترون، این ترکیب به یون منفی تبدیل می‌شود. در ناخالص کردن اتم نیمه‌هادی با عنصر سه ظرفیتی، اتمی که قادر است یک الکترون آزاد را جذب کند و خود به یون منفی درآید را «اتم پذیرنده» گویند. قطعه‌ای که با ناخالص کردن نیمه‌هادی با عنصر سه ظرفیتی تولید می‌شود و دارای حفره می‌باشد را قطعه P گویند (شکل ۴).



قطعه P از نظر الکتریکی خنثی می‌باشد زیرا تعداد الکترون‌ها و پروتون‌های آن با هم برابر است.

### ۳-۴- دیود (Diode)

دیود یک قطعه الکترونیکی است که از اتصال دو لایه P و N ایجاد می‌شود و آن را اتصال PN نیز می‌گویند (شکل ۵).

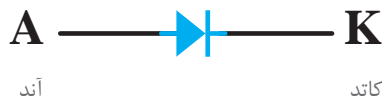


شکل ۵- چند دیود

دیود دارای دو پایه می‌باشد. پایه‌ای که به لایه P دیود متصل می‌شود را آند و پایه‌ای که به لایه N دیود متصل می‌شود را کاتد می‌نامند.

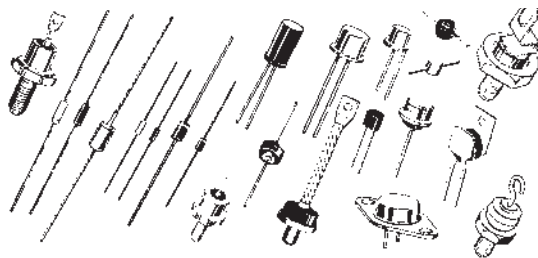


شکل ۶



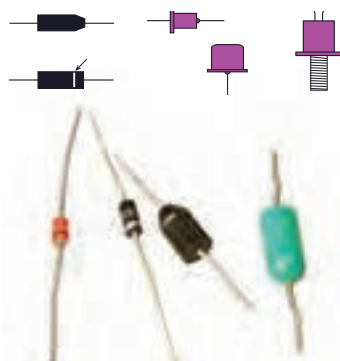
نماد دیود در مدارهای الکتریکی و الکترونیکی در شکل ۷ نشان داده شده است.

شکل ۷- نماد دیود



دیود می‌تواند جریان الکتریکی را از سوی آند به سمت کاتد هدایت کند. نماد دیود بیانگر این واقعیت است. چند نمونه دیود در شکل ۸ نشان داده شده است.

شکل ۸

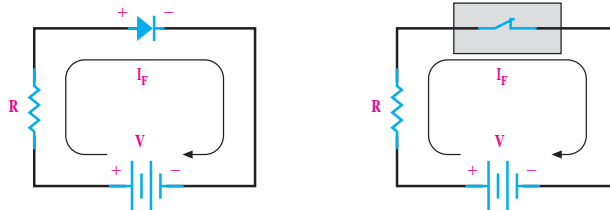


شکل ۹

به منظور تشخیص پایه‌های دیود معمولاً پایه کاتد بر روی دیود علامت‌گذاری می‌شود. و یا روی بدنه دیود با حرف و یا حلقه رنگی کاتد را مشخص می‌کنند (شکل ۹).

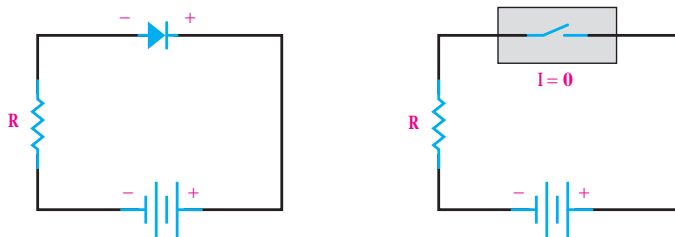
## ۴-۴- بایاس دیود

تغذیه پایه‌های دیود در مدارهای الکتریکی توسط منبع ولتاژ را بایاس دیود گویند. بایاس دیود به دو صورت بایاس موافق و بایاس مخالف در مدارهای الکتریکی انجام می‌شود. هرگاه پتانسیل پایه آند دیود در یک مدار الکتریکی مثبت‌تر از پتانسیل پایه کاتد باشد، دیود در بایاس موافق است. در بایاس موافق به شرط اینکه پتانسیل الکتریکی آند در مدار به اندازه حدود  $0.7$  ولت از پتانسیل الکتریکی کاتد بیشتر شود، دیودهادی خواهد شد و مانند یک کلید بسته جریان الکتریکی را هدایت می‌نماید. (شکل ۱۰).



شکل ۱۰

هرگاه پتانسیل پایه کاتد دیود در یک مدار الکتریکی مثبت‌تر از پتانسیل پایه آند باشد دیود در بایاس مخالف است. در بایاس مخالف دیود قطع می‌باشد و مانند یک کلید باز عمل می‌کند و جریان الکتریکی از آن عبور نمی‌کند. (شکل ۱۱).



شکل ۱۱

مقدار جریان دیود در بایاس موافق و مخالف در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



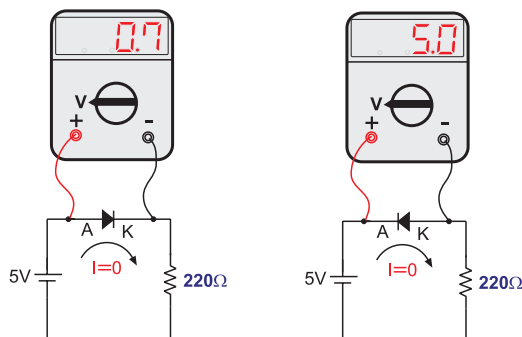
در این مدار جریان الکتریکی برقرار می‌شود. به این حالت قرار گرفتن دیود در مدار بایاس موافق گفته می‌شود.

در این مدار جریان الکتریکی برقرار نمی‌شود. به این حالت قرار گرفتن دیود در مدار بایاس مخالف گفته می‌شود.

شکل ۱۲- دیود در بایاس موافق و مخالف

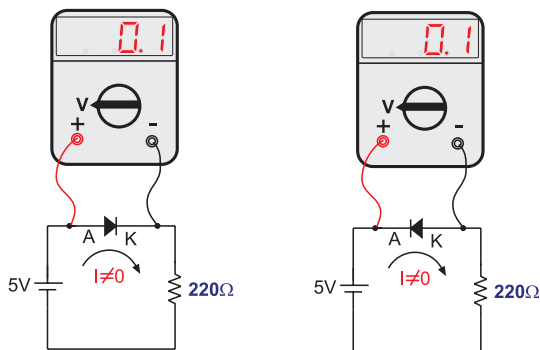
## ۵-۴- آزمایش دیود

آزمایش دیود به منظور اطمینان از سالم بودن دیود انجام می‌شود. افت ولتاژ دو سر دیود سالم در بایاس موافق حدود ۰٫۷ ولت می‌باشد و افت ولتاژ دو سر دیود در بایاس مخالف حدود ولتاژ منبع تغذیه مدار است. بدین منظور توسط ولت‌متر با اندازه‌گیری افت ولتاژ دوسر دیود از صحت سلامت آن مطمئن می‌شوند (شکل ۱۳).



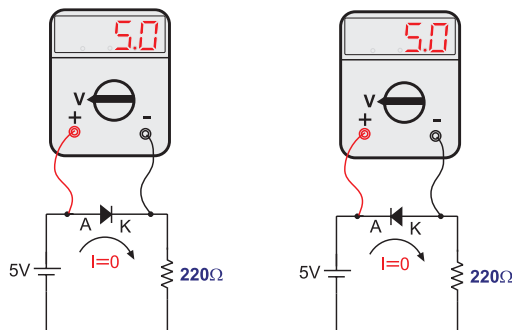
شکل ۱۳- دیود سالم

اگر در آزمایش افت ولتاژ دو سر دیود در بایاس موافق و مخالف برابر باشد، دیود معیوب است. در صورتی که افت ولتاژ دو سر دیود معیوب در بایاس موافق و مخالف حدود صفر ولت باشد، دیود اتصال کوتاه و خراب است (شکل ۱۴).



شکل ۱۴- دیود معیوب که اتصال کوتاه شده است

در صورتی که افت ولتاژ دوسر دیود معیوب در بایاس موافق و مخالف حدود ولتاژ منبع باشد دیود قطع و خراب است (شکل ۱۵).



شکل ۱۵- دیود معیوب که قطع شده است

## ۴-۶- پارامترهای دیود

پارامترهای دیود شامل ولتاژ، جریان، فرکانس، دمای کار و مقاومت حرارتی و... می‌باشد. در انتخاب دیود توجه به پارامترهای آن بسیار مهم است. با رعایت مقدار مجاز پارامترهای دیود از آسیب رسیدن به دیود و معیوب شدن آن در مدارالکتریکی جلوگیری می‌شود. از مهم‌ترین پارامترهای دیود ولتاژ، جریان و فرکانس کار آن می‌باشد. بیشترین مقدار مجاز ولتاژ، جریان، فرکانس و دمای کار دیود را مقادیر حد دیود گویند.

### الف) فرکانس کار

حداکثر تعداد دفعاتی که دیود در هر ثانیه قطع و وصل می‌کند و معیوب نمی‌شود را فرکانس کار گویند. دیودهایی که فرکانس کار آنها ۵۰ و یا ۶۰ هرتز می‌باشد را دیود معمولی گویند. از دیودهای معمولی در فرکانس‌های بالاتر نمی‌توان استفاده کرد.

### ب) حداکثر ولتاژ معکوس دیود

بیشترین ولتاژی که دیود در بایاس مخالف می‌تواند تحمل کند و معیوب نشود را حداکثر ولتاژ معکوس دیود می‌گویند و آن را با PIV (Peak Inverse Voltage) و یا با  $V_{RM}$  نشان می‌دهند. حداکثر ولتاژ معکوس دیود به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در دیود است. حداکثر ولتاژ معکوس PIV دیود معمولی ۵۰ الی ۱۰۰۰ ولت است. برای تحمل ولتاژ بالاتر دو یا چند عدد دیود را با یکدیگر با شرایطی سری می‌کنند.

### ج) حداکثر جریان دیود

بیشترین جریانی که دیود در بایاس موافق می‌تواند تحمل کند و معیوب نشود را حداکثر جریان دیود می‌گویند و آن را با  $I_{AVG}$  نشان می‌دهند. مقدار جریان قابل تحمل دیود توسط کارخانه سازنده تعیین می‌شود. دیود معمولی از ۱ A الی ۱۰۰۰۰ A ساخته شده و به بازار عرضه شده‌اند.

### د) دمای مجاز

حداکثر دمایی که دیود هنگام کار می‌تواند تحمل کند را دمای مجاز دیود می‌گویند. به‌طورمثال دیودی با دمای مجاز ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد می‌تواند عبور ۱۰۰ A جریان را تحمل کند به شرط اینکه دمای بدنه آن از ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد تجاوز نکند و اگر به جای ۱۰۰ A فقط ۳ A جریان از دیود عبور کند و دمای بدنه آن از ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد بیشتر شود، احتمال معیوب شدن آن وجود دارد. در صورتی که احتمال افزایش دمای دیود بیش از دمای مجاز وجود داشته باشد باید برای دیود گرماگیر (Heatsink) نصب شود تا دمای بدنه را از خود دفع کند به‌طوری که دمای بدنه آن همواره از ۴۰ درجه‌سانتی‌گراد تجاوز نکند.





- ۱- درستی یا نادرستی هر عبارت را تعیین کنید:
  - الف) هدایت الکتریکی نیمه‌هادی‌ها کمتر از هادی‌ها و بیشتر از عایق‌ها می‌باشد.
 

□ صحیح □ غلط
  - ب) با ناخالص کردن نیمه‌هادی با عنصر پنج ظرفیتی تعداد الکترون‌های آزاد کاهش می‌یابد.
 

□ صحیح □ غلط
  - ج) هرگاه پتانسیل پایه آند دیود در یک مدار الکتریکی مثبت‌تر از پتانسیل پایه کاتد باشد دیود در بایاس مخالف است.
 

□ صحیح □ غلط
  - د) دیود در بایاس موافق مانند یک کلید بسته عمل می‌کند.
 

□ صحیح □ غلط
- ۲- در جای خالی عبارت مناسب بنویسید.
  - الف) در صورتی که افت ولتاژ دو سر دیود در بایاس موافق حدود  $0.7$  ولت باشد دیود..... است.
  - ب) دیودهایی که فرکانس کار آنها  $50$  یا  $60$  هرتز باشد دیود..... گویند.
  - ج) قطعه‌ای که با ناخالص کردن نیمه‌هادی با عنصر پنج ظرفیتی تولید می‌شود نوع..... گویند.
  - د) جای خالی الکترون در لایه والانس..... نام دارد.
- ۳- نیمه‌هادی را تعریف کنید.
- ۴- علت ناخالص کردن نیمه‌هادی‌ها را توضیح دهید.
- ۵- طریقه تشکیل قطعه N و P را توضیح دهید.
- ۶- موارد زیر را تعریف کنید.
 

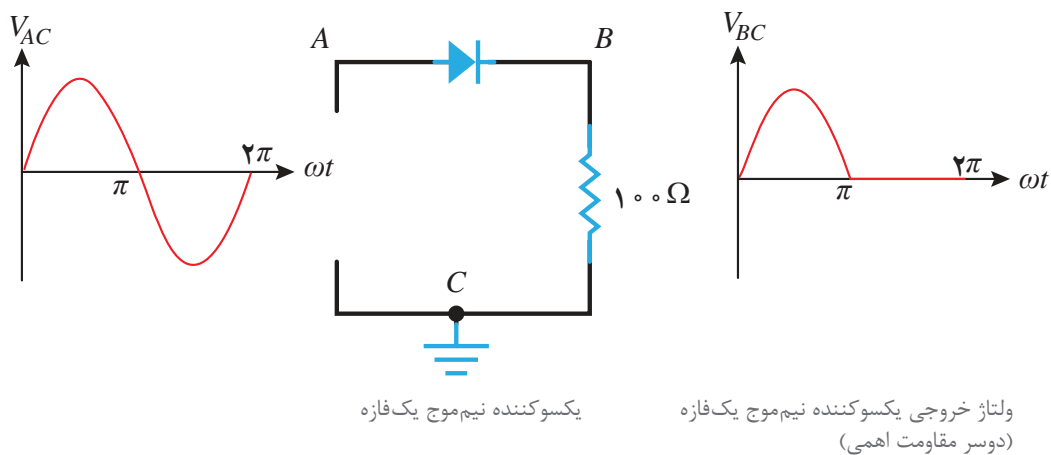
الف) قطعه N      ب) قطعه P      ج) اتم اهداکننده      د) اتم پذیرنده
- ۷- دیود را تعریف کنید و نماد آن را رسم کنید.
- ۸- بایاس دیود را تعریف کنید و انواع بایاس دیود را نام ببرید.
- ۹- نحوه آزمایش دیود را بنویسید.
- ۱۰- مقادیر حد دیود را تعریف کنید و پارامترهای آن را نام ببرید.

## ۷-۴-یکسوسازی

تبدیل ولتاژ متناوب AC به ولتاژ مستقیم DC را یکسوسازی می‌گویند. از دیودهای معمولی برای یکسوسازی استفاده می‌شود. به مدارهای دیودی که برای یکسوسازی استفاده می‌شود مدار یکسوکننده گویند. انواع مدارهای یکسوکننده تک‌فاز و سه‌فاز به صورت نیم موج و تمام موج طراحی می‌شود.

### الف) یکسوکننده نیم موج تک‌فاز

یکسوکننده‌ای که نیم سیکل از هر سیکل موج متناوب ورودی را به مصرف‌کننده می‌رساند، یکسوکننده نیم موج تک‌فاز می‌گویند. در مدار یکسوکننده نیم موج تک‌فاز از یک دیود استفاده می‌شود (شکل ۱۶).



شکل ۱۶- یکسوکننده نیم موج

در شکل ۱۶ در نیم سیکل مثبت (۰ تا  $\pi$ ) دیود شرط هدایت را دارد. پس دیود در بایاس موافق می‌باشد و حالت اتصال کوتاه دارد (مقاومت اهمی فوق‌العاده کم) و ولتاژ ورودی تقریباً دو سر بار (مقاومت  $100\Omega$ ) افت می‌کند و در نیم سیکل منفی، دیود در بایاس مخالف می‌باشد لذا شرط هدایت را ندارد و قطع است بنابراین ولتاژ ورودی به بار نمی‌رسد و ولتاژ دوسر بار برابر صفر ولت است. مقدار ولتاژ یکسو شده توسط یکسوکننده نیم موج تک‌فاز از رابطه زیر به دست می‌آید

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi}$$

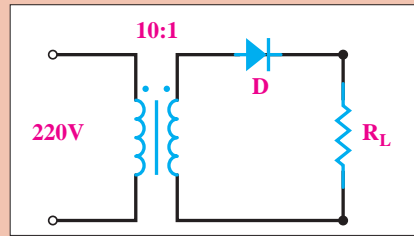
در این رابطه:

$V_{dc}$  ولتاژ یکسو شده

$V_m$  ولتاژ ماکزیمم است.



در مدار شکل زیر ترانسفورماتور ایده آل می باشد. مقدار ولتاژ دو سر بار چند ولت است؟



شکل ۱۷

حل: ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور محاسبه می شود:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

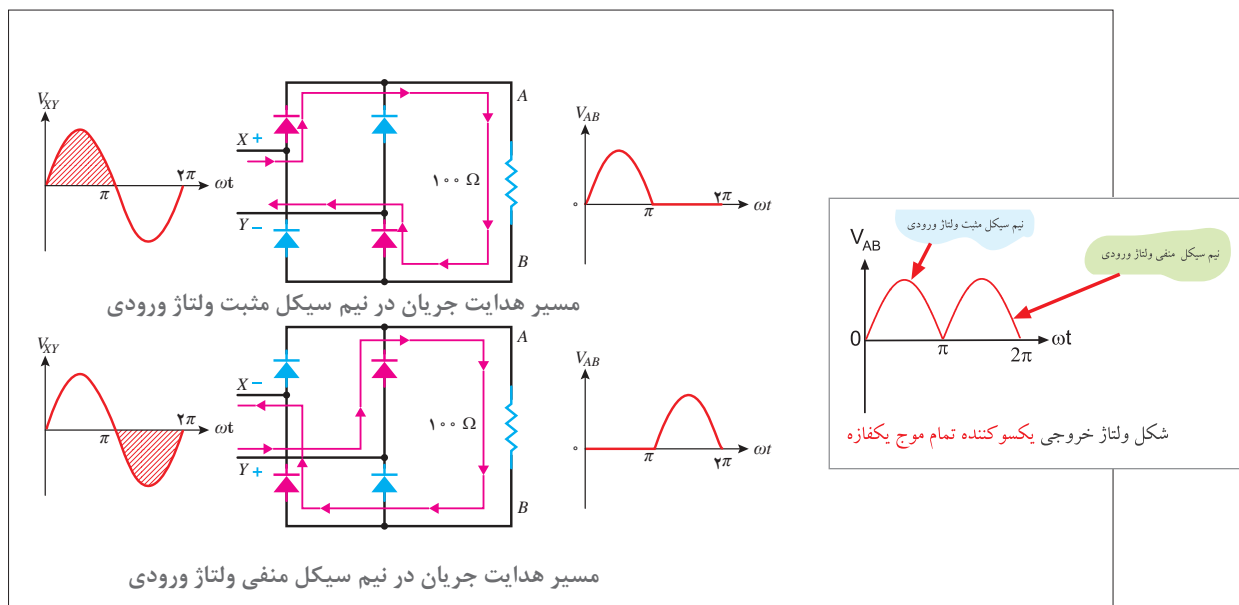
$$\frac{220}{V_2} = \frac{10}{1} \rightarrow V_2 = \frac{1 \times 220}{10} = 22 \text{ [V]}$$

$$V_m = V_2 \sqrt{2} = 22\sqrt{2} \text{ [V]}$$

$$V_{dc} = \frac{V_m}{\pi} = \frac{22\sqrt{2}}{3.14} = 9.87 \text{ [V]}$$

### ب) یکسوکننده تمام موج تک فاز

یکسوکننده ای که نیم سیکل های مثبت و منفی موج متناوب ورودی را به صورت نیم سیکل های یکسو شده به بار می رساند را یکسوکننده تمام موج تک فاز می گویند. به یکسوکننده تمام موج تک فاز پل دیودی نیز می گویند. مدار پل دیودی با چهار دیود ساخته می شود (شکل ۱۸).



شکل ۱۸- عملکرد یکسوکننده تمام موج یکفازه

مقدار ولتاژ یکسو شده توسط یکسوکننده تمام موج تک فاز از رابطه زیر به دست می آید:

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi}$$

در این رابطه:

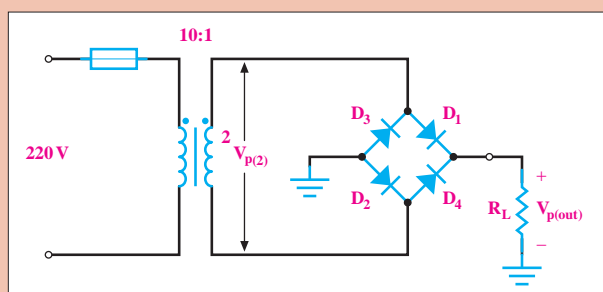
$V_{dc}$  ولتاژ یکسو شده

$V_m$  ولتاژ ماکزیمم است.

مثال



در مدار شکل زیر ترانسفورماتور ایده آل می باشد. مقدار ولتاژ دو سر بار، چند ولت است؟



شکل ۱۹

حل: ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور محاسبه می شود:

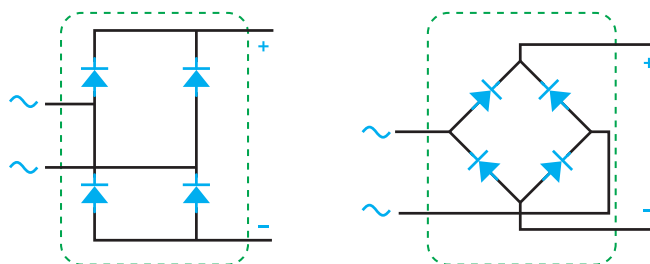
$$\frac{V_1}{V_r} = \frac{N_1}{N_r}$$

$$\frac{220}{V_r} = \frac{1}{10} \rightarrow V_r = \frac{1 \times 220}{10} = 22 \text{ [V]}$$

$$V_m = V_r \sqrt{2} = 22\sqrt{2} \text{ [V]}$$

$$V_{dc} = \frac{2V_m}{\pi} = \frac{2 \times 22\sqrt{2}}{3.14} = 19.75 \text{ [V]}$$

مدار الکتریکی پل دیودی در شکل ۲۰ نشان داده شده است.



شکل ۲۰- پل دیود یک فاز



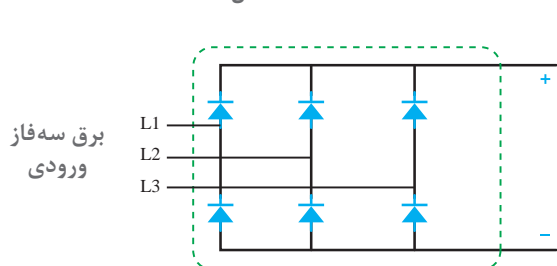
شکل ۲۱

پل دیودی با استفاده از چهار عدد دیود مطابق شکل ۲۱ ساخته می‌شود.



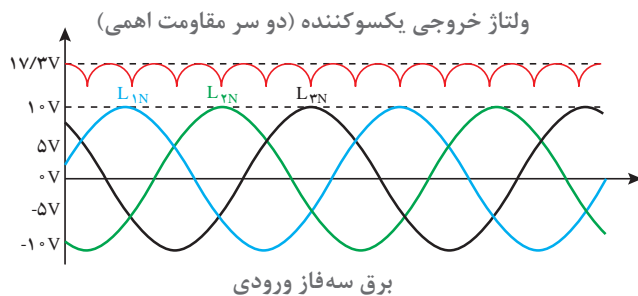
شکل ۲۲

پل دیودی به صورت یکپارچه نیز ساخته شده است (شکل ۲۲).

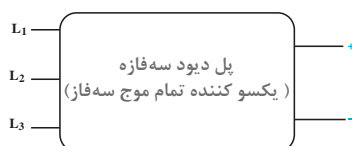


### ج) یکسوکننده تمام موج سه فاز

یکسوکننده‌ای که نیم سیکل‌های مثبت و منفی موج متناوب سه فاز ورودی را به صورت یکسوشده به بار می‌رساند، یکسوکننده تمام موج سه فاز می‌گویند. به یکسوکننده تمام موج سه فاز پل سه فاز دیودی نیز می‌گویند. مدار پل سه فاز دیودی با شش دیود ساخته می‌شود (شکل ۲۳).



شکل ۲۳- یکسوکننده تمام موج سه فاز به همراه شکل ولتاژ خروجی آن

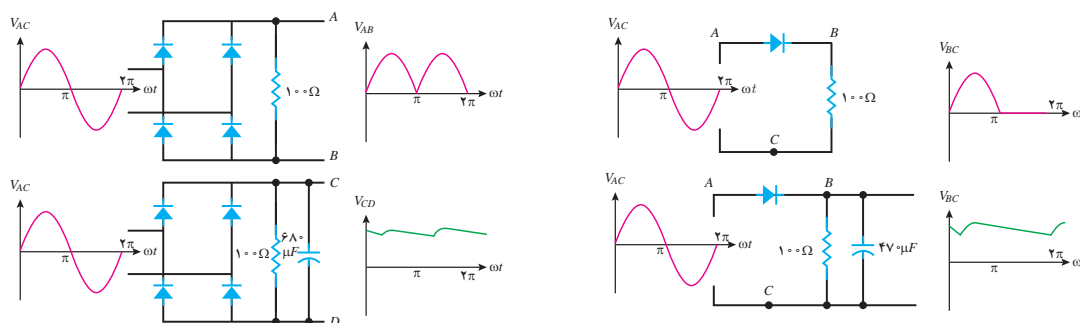


شکل ۲۴- پل دیود سه فاز

شش عدد دیود (پل دیود سه فاز) به صورت یکپارچه نیز ساخته شده و در بازار موجود است (شکل ۲۴).

## ۸-۴- صافی یکسوساز

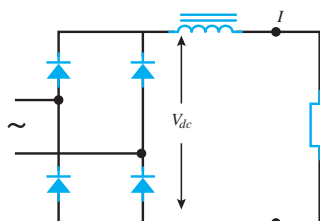
عناصر الکتریکی که برای کاهش تغییرات دامنه ولتاژ یا جریان یکسو شده به کار می‌رود را صافی (filter) می‌گویند. صافی‌ها دارای دو نوع صافی خازنی و صافی سلفی می‌باشند. صافی خازنی دامنه تغییرات ولتاژ یکسو شده را کاهش می‌دهد. صافی خازنی با خروجی یکسوکننده به صورت موازی نصب می‌شود. با نصب صافی خازنی شکل ولتاژ موج یکسو شده به شکل موج ولتاژ ثابت (مانند ولتاژ دوسر باتری) نزدیک‌تر خواهد شد (شکل ۲۵).



شکل ۲۵- با اضافه کردن یک خازن به خروجی یکسوکننده، ولتاژ دو سر بار به ولتاژ ثابت نزدیک‌تر می‌شود

در صافی، خازنی از خازن‌های الکترولیتی استفاده می‌شود. ظرفیت خازن الکترولیتی متناسب با توان یکسوساز انتخاب خواهد شد.

صافی سلفی دامنه تغییرات جریان یکسو شده را کاهش می‌دهد. صافی یکسوساز سلفی با خروجی یکسوکننده به صورت سری نصب می‌شود (شکل ۲۶).



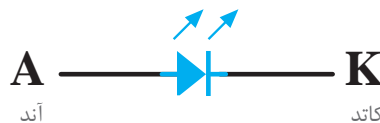
شکل ۲۶

با نصب صافی سلفی، جریان بار تقریباً به صورت یک خط مستقیم (ثابت) درمی‌آید.

توجه داشته باشید که در عمل از صافی خازنی برای جریان‌های کم و از صافی‌های سلفی برای جریان‌های زیاد استفاده می‌کنند.

## ۹-۴- دیود نوردهنده

دیود نور دهنده انرژی الکتریکی را به انرژی نورانی تبدیل می کند. به دیود نوردهنده، LED می گویند. نماد دیود LED در شکل ۲۷ نشان داده شده است.



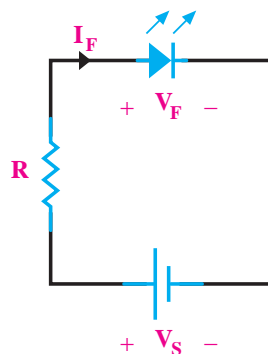
شکل ۲۷- نماد LED در نقشه های الکتریکی و الکترونیکی

شدت نور LED به مقدار جریان عبوری از آن بستگی دارد. جریان عبوری از LED از چند میلی آمپر شروع و گاهی در LED های بزرگ تر به چند ده میلی آمپر نیز می رسد. دیودهای نوردهنده LED با نور تولیدی به رنگ های آبی، سفید، قرمز، زرد و سبز با شکل های فیزیکی متنوع ساخته شده و به بازار عرضه می شوند (شکل ۲۸).



شکل ۲۸- دیودهای نوردهنده در انواع مختلف

لامپ های سیگنال در تمامی دستگاه ها تقریباً همگی از LED هستند چون می توان آنها را در ابعاد بسیار کوچک ساخت و ضمناً طول عمر آنها هم نسبتاً زیاد است. افت ولتاژ دو سر دیود نوردهنده LED حدود ۲/۷ ولت است و با سری کردن یک مقاومت در مدار الکتریکی LED جریان جاری می شود و با ایجاد افت ولتاژ دو سر مقاومت سری و با تأمین ولتاژ مورد نیاز، LED راه اندازی می شود (شکل ۲۹).



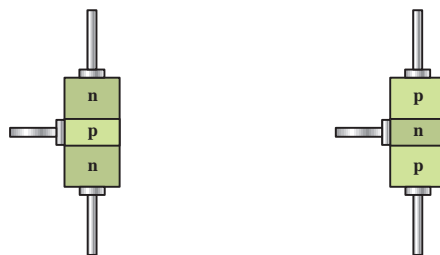
شکل ۲۹- نحوه قرار گرفتن دیود نوردهنده در یک مدار الکتریکی



- ۱- یکسوسازی را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
- ۲- مدار یکسوساز تمام موج تکفاز را به همراه شکل موج ورودی و خروجی رسم کنید.
- ۳- صافی یکسوساز را تعریف کنید و انواع آن را نام ببرید.
- ۴- شکل موج خروجی یکسو ساز نیم موج به همراه صافی خازنی را رسم کنید.
- ۵- دیود نور دهنده را تعریف کنید و نماد آن را رسم کنید.
- ۶- وظیفه مقاومت سری در راه اندازی دیود نوردهنده را بنویسید.

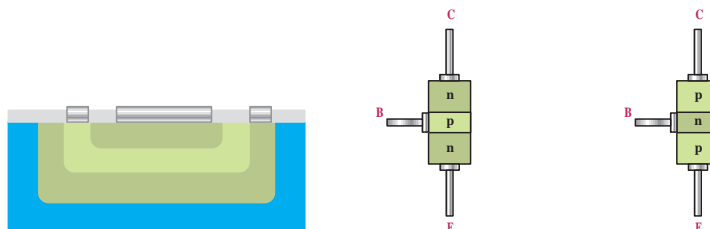
## ۱۰-۴- ترانزیستور

ترانزیستور<sup>۱</sup> یک قطعه الکترونیکی سه لایه می باشد که از قطعات P و N تشکیل شده است. ترانزیستور در دو نوع PNP و NPN ساخته می شود (شکل ۳۰).



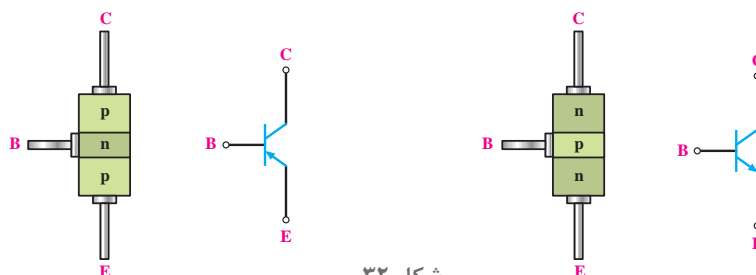
شکل ۳۰

ترانزیستور دارای سه پایه کلکتور، بیس و امیتر می باشد که به لایه های ترانزیستور وصل می شوند (شکل ۳۱).



شکل ۳۱

نماد ترانزیستورهای PNP و NPN در شکل ۳۲ نشان داده شده است.



شکل ۳۲



ترانزیستورهای سه لایه دارای دو محل اتصال بین قطعات P و N می‌باشند و آنها را ترانزیستور BJT می‌نامند. چند نمونه ترانزیستور در شکل ۳۳ نشان داده شده است.

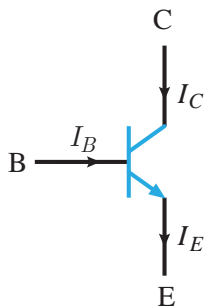


شکل ۳۳

ترانزیستورهای NPN و PNP در مدارهای الکترونیکی برای تقویت و یا قطع و وصل سیگنال ورودی استفاده می‌شوند. هنگامی که ترانزیستور در یک مدار الکترونیکی به عنوان تقویت کننده استفاده می‌شود آن مدار را آمپلی فایر گویند و هنگامی که ترانزیستور در یک مدار الکتریکی یا الکترونیکی به عنوان قطع و وصل کننده به کار می‌رود آن مدار را مدار سوئیچینگ می‌گویند.

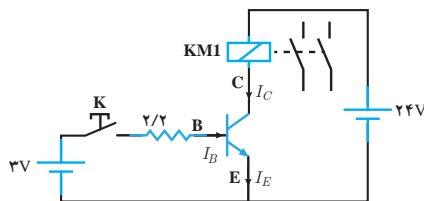
تغذیه پایه‌های ترانزیستور با منبع ولتاژ جریان مستقیم DC را بایاس ترانزیستور گویند. ترانزیستورهای PNP و NPN هر دو در عمل تقویت و سوئیچینگ سیگنال قابل استفاده هستند و تفاوت آنها در بایاس و جهت جریان پایه‌ها می‌باشد. کاربرد ترانزیستور NPN به مراتب بیشتر از PNP است.

عملکرد ترانزیستوری که به عنوان سوئیچ به کار می‌رود به این ترتیب است که پس از بایاس ترانزیستور و تزریق جریان به پایه بیس ترانزیستور، مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر کاهش می‌یابد. به این ترتیب جریان الکتریکی بین پایه‌های کلکتور و امیتر برقرار خواهد شد (شکل ۳۴).



شکل ۳۴

برای اینکه از ترانزیستور بتوان استفاده کرد باید آن را بایاس کرد. بایاس ترانزیستور به عنوان سوئیچ الکترونیکی در شکل ۳۵ نشان داده شده است.

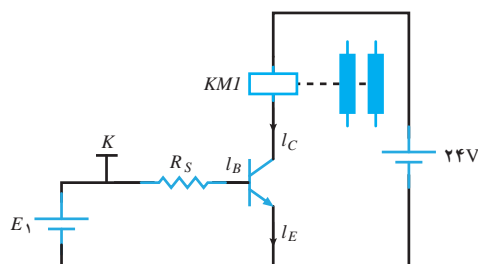


شکل ۳۵- بایاس ترانزیستور

در شکل ۳۵ جریان بیس ترانزیستور صفر است و در نتیجه مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر بسیار زیاد

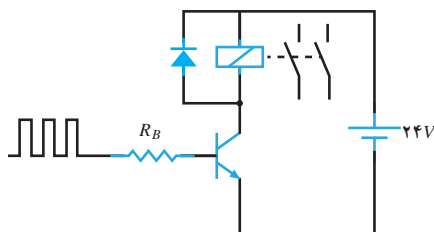
است به طوری که جریان کلکتور ( $I_C$ ) فوق العاده کم و در حد میکروآمپر می باشد. از این رو از بوبین رله  $KM1$  که با کلکتور سری شده است جریانی عبور نمی کند (یا در حد میکروآمپر عبور می کند) بنابراین بوبین رله  $KM1$  تحریک نمی شود.

حال اگر کلید  $K$  بسته شود (شکل ۳۶) جریان در بیس تزریق می شود. مدار الکتریکی از طریق منبع ۳ ولتی، کلید  $K$ ، مقاومت  $2K\Omega$  و مدار اتصال بیس امیتر بسته می شود و در این مدار جریان جاری می شود (اتصال بیس امیتر مانند یک دیود معمولی است)، با تزریق جریان به بیس، مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر ترانزیستور کم می شود و از مدار رله و کلکتور و امیتر و منبع ۲۴ ولتی جریان عبور می کند و باعث تحریک رله می شود و رله عمل می کند.



شکل ۳۶- بایاسینگ ترانزیستور

فرق ترانزیستور با یک کلید (سوئیچ معمولی) این است که به کمک ترانزیستور می توان در ثانیه میلیون ها بار عمل قطع و وصل را انجام داد، در صورتی که با یک کلید معمولی چنین چیزی امکان پذیر نیست و در ضمن ترانزیستور ابعاد کوچک تری نسبت به کلید مکانیکی مشابه خود دارد، جرقه نمی زند، نویز پخش نمی کند.. لازم به یادآوری است که از ترانزیستور (ها) در زمینه های مختلف مانند تقویت سیگنال، عمل سوئیچینگ استفاده فراوانی می شود. از این رو انواع مختلفی از ترانزیستور تاکنون ساخته شده اند که تفاوت اصلی و عمده آنها در تحمل جریان کلکتور و ولتاژ بین کلکتور و امیتر و فرکانس کار است. اگر بخواهیم به کمک ترانزیستور، یک رله را قطع و وصل کنیم بهتر است یک دیود موازی و معکوس با رله ببندیم تا هنگام سوئیچ زنی، ترانزیستور آسیب نبیند (شکل ۳۷).



شکل ۳۷- دیود از سوختن ترانزیستور جلوگیری می کند

### الف) پارامترهای ترانزیستور

در کاربردهای صنعتی، سه پارامتر ترانزیستور اهمیت زیادی دارند:

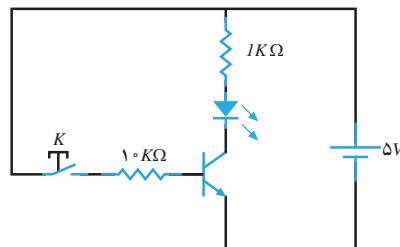
- ۱- ماکزیمم جریان کلکتور قابل تحمل ترانزیستور ( $I_{Cmax}$ )

۲- ماکزیمم ولتاژ کلکتور - امیتر ( $V_{CEmax}$ )

۳- ماکزیمم توان قابل تحمل ترانزیستور ( $P_{max}$ )

### ب) آزمایش ترانزیستور

آزمایش ترانزیستور با روش‌های مختلفی انجام می‌شود. هدف از انجام آزمایش ترانزیستور تشخیص سالم بودن ترانزیستور است. مدار یکی از روش‌های آزمایش ترانزیستور در شکل ۳۸ نشان داده شده است.

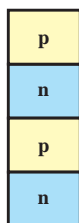


شکل ۳۸- مدار آزمایش سالم بودن ترانزیستور

در شکل ۳۸ اگر با بسته شدن کلید k دیود نورددهنده روشن شود و با قطع آن کلید k دیود نورددهنده خاموش شود، ترانزیستور سالم است در غیر این صورت ترانزیستور معیوب می‌باشد.

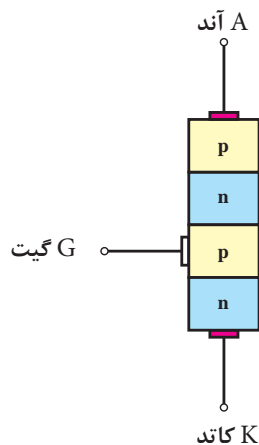
## ۱۱-۴- ترایستور

ترایستور یک قطعه الکترونیکی چهارلایه می‌باشد که از قطعات P و N تشکیل شده است (شکل ۳۹).



شکل ۳۹

ترایستور دارای سه پایه آند، کاتد و گیت می‌باشد (شکل ۴۰).



شکل ۴۰

نماد تریستور در شکل ۴۱ نشان داده شده است.



شکل ۴۱

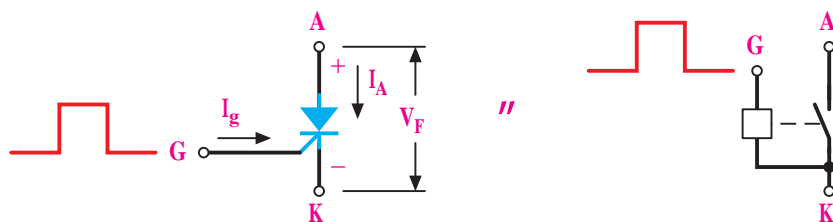
تریستور را SCR نیز می‌گویند. یک نمونه تریستور در شکل ۴۲ نشان داده شده است.



شکل ۴۲

هرگاه پتانسیل پایه آند تریستور در یک مدار الکتریکی مثبت‌تر از پتانسیل پایه کاتد باشد تریستور در بایاس موافق است. در بایاس موافق با اعمال لحظه‌ای جریان به پایه گیت تریستور، مقاومت اهمی بین پایه‌های آند و کاتد به شدت کاهش می‌یابد و ارتباط الکتریکی بین آنها برقرار می‌شود و مانند یک سوئیچ بسته، هادی می‌باشند و اصطلاحاً تریستور سوئیچ می‌کند. هنگامی که تریستور سوئیچ می‌کند آند و کاتد باید تحمل جریانی را که از آنها عبور می‌کند داشته باشند.

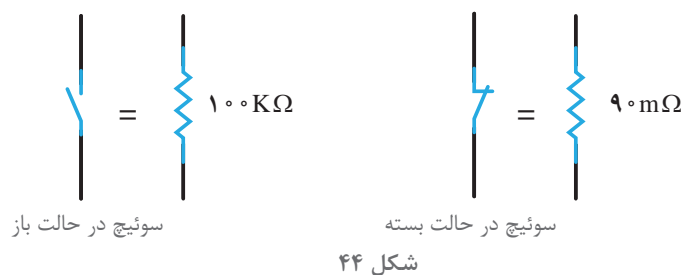
اعمال لحظه‌ای جریان به پایه گیت تریستور را «تحریک گیت» گویند. در واقع تریستور مشابه کلیدی است که کنترل آن از طریق گیت امکان‌پذیر است (شکل ۴۳).



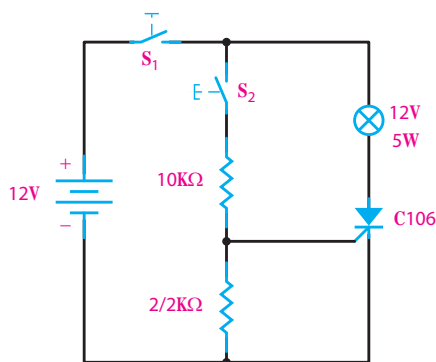
شکل ۴۳

در بایاس موافق با تحریک گیت، تریتورهای خواهد شد پس از هادی شدن تریتور دیگر نیازی به باقی ماندن تحریک گیت نیست و مادامی که تریتور در بایاس موافق باشد هادی خواهد ماند. هرگاه پتانسیل پایه کاتد تریتور در یک مدار الکتریکی مثبت تر از پتانسیل پایه آند باشد تریتور در بایاس مخالف است. در بایاس مخالف مقاومت اهمی بین پایه های آند و کاتد بسیار زیاد است و ارتباط الکتریکی بین آند و کاتد قطع می باشد (مانند یک سوئیچ باز، قطع می باشند) و اصطلاحاً تریتور قطع می شود. هنگامی که تریتور قطع است آند و کاتد باید تحمل ولتاژی را که بر روی آنها قرار می گیرد داشته باشند. در بایاس مخالف، حتی با تحریک گیت، تریتور سوئیچ نخواهد شد و همانند یک سوئیچ باز، قطع خواهد بود و از آند و کاتد جریان عبور نمی کند.

از تریتور SCR به عنوان سوئیچ های الکترونیکی در مدارهای تبدیل AC به DC استفاده می شود. در واقع سوئیچ الکترونیکی یک مقاومت اهمی است که هنگامی که مقاومت آن زیاد است مانند یک سوئیچ باز می باشد و مدار را قطع می کند. و هنگامی که مقاومت اهمی آن بسیار کم است مانند یک سوئیچ بسته می باشد و مدار را وصل می کند (شکل ۴۴).



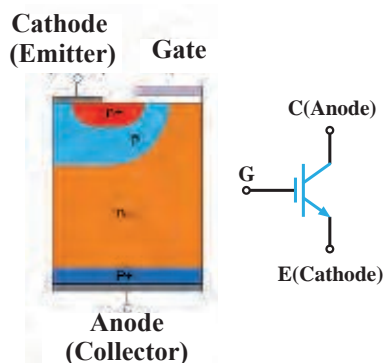
**آزمایش تریتور:** آزمایش تریتور به منظور اطمینان از سالم بودن تریتور انجام می شود. آزمایش تریتور با مدار شکل ۴۵ انجام می شود.



در این مدار با وصل کلید  $S_1$  تریتور در بایاس موافق قرار می گیرد چون گیت آن تحریک نشده است. هادی نمی شود و جریانی از تریتور عبور نمی کند لذا لامپ روشن نمی شود. در این لحظه با وصل کلید  $S_2$  گیت تریتور تحریک می شود و با تحریک گیت تریتور هادی می شود و با عبور جریان از تریتور، لامپ روشن می شود. اکنون با قطع کلید  $S_2$ ، تریتور همچنان هادی خواهد ماند. درستی نتایج این آزمایش نشان می دهد تریتور سالم است.

## ۱۲-۴- ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده

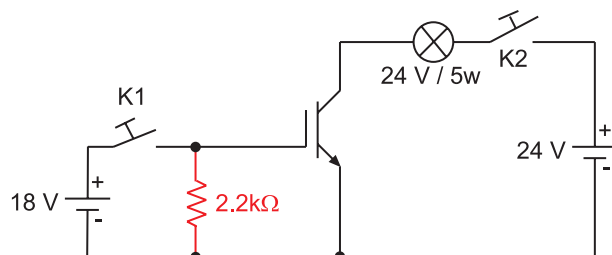
ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده جزو نیمه‌هادی‌های قدرت می‌باشد. ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده را IGBT نیز گویند. ترانزیستور دوقطبی با گیت عایق شده IGBT یک قطعه الکترونیکی چهار لایه با شرایط ویژه از قطعات P و N است و دارای سه پایه گیت، امیتر و کلکتور است (شکل ۴۶).



شکل ۴۶- نمایش لایه‌های نیمه‌هادی مرتبط با IGBT و نماد الکتریکی IGBT

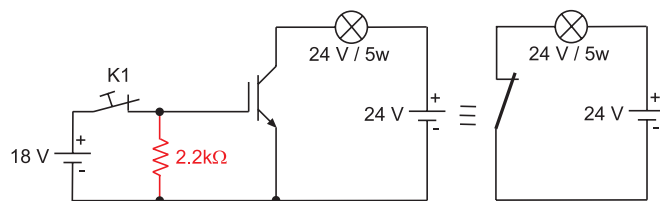
### طرز کار IGBT

IGBT یک سوئیچ الکترونیکی است. پس از بایاس IGBT مادامی که ولتاژ گیت نسبت به امیتر، صفر باشد، مقاومت اهمی بین پایه‌های کلکتور و امیتر زیاد است و ارتباط الکتریکی بین آنها قطع می‌باشد. در این حالت کلکتور و امیتر مانند یک سوئیچ باز می‌باشند و IGBT قطع است. هنگامی که IGBT قطع است کلکتور و امیتر باید تحمل ولتاژی که بر روی آنها قرار می‌گیرد را داشته باشند (شکل ۴۷).



شکل ۴۷

با اعمال ولتاژ مثبت به پایه گیت نسبت به پایه امیتر، مقاومت اهمی بین پایه‌های کلکتور و امیتر به شدت کاهش می‌یابد و ارتباط الکتریکی بین آنها برقرار می‌شود. در این حالت کلکتور و امیتر مانند یک سوئیچ بسته، هادی می‌باشند و IGBT سوئیچ می‌کند. هنگامی که IGBT سوئیچ می‌کند کلکتور و امیتر باید تحمل جریانی را که از آنها عبور می‌کند را داشته باشند (شکل ۴۸).



شکل ۴۸

مادامی که ولتاژ به گیت اعمال می شود، IGBT سوئیچ می ماند اما با صفر شدن ولتاژ گیت، IGBT قطع خواهد شد. از ترانزیستور IGBT به عنوان سوئیچ الکترونیکی در مدارهای تبدیل DC به AC استفاده می شود.

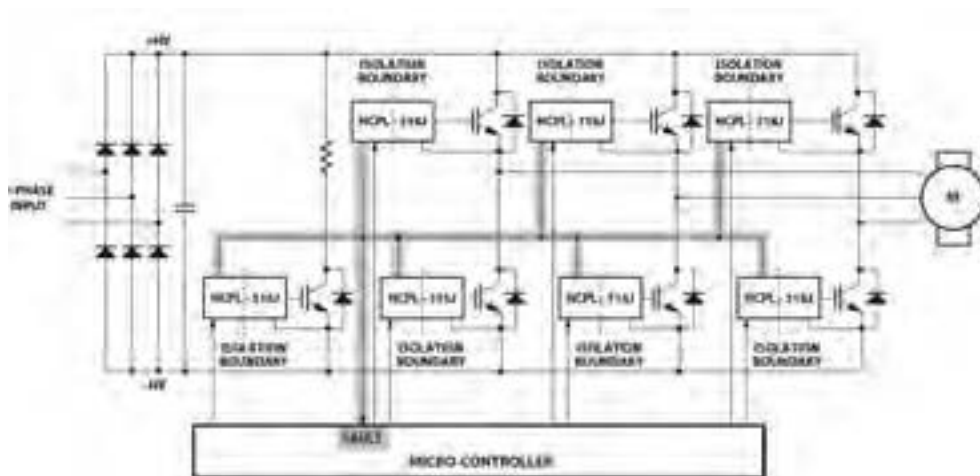
مزایای IGBT عبارت است از :

- ۱- مقاومت ورودی زیاد
- ۲- جریان و توان راه اندازی کم
- ۳- افت ولتاژ در حالت وصل کم
- ۴- تلفات کم

سرعت سوئیچ IGBT تا ۵۰KHz است یعنی در هر ثانیه می تواند مدار الکتریکی را تا ۵۰۰۰۰ بار قطع و وصل نماید که در مقایسه با سرعت قطع و وصل کلیدهای دستی و یا کنتاکتورها بسیار زیاد است. IGBT ها با جریان قابل تحمل حالت سوئیچ تا ۱۲۰۰ آمپر و ولتاژ قابل تحمل حالت قطع ۱۷۰۰ ولت ساخته شده اند. از IGBT به عنوان سوئیچ الکترونیکی در مدارهای تبدیل DC به AC مانند مدارهای الکتریکی یخچال ها، دستگاه های تهویه مطبوع، خودروهای برقی، منابع تغذیه سوئیچینگ UPS به عنوان سوئیچ الکترونیکی استفاده می شود.

### مدار راه اندازی گیت IGBT

IGBT نیازمند ولتاژ گیت - امیتر برای کنترل میزان هدایت میان کلکتور و امیتر است. ولتاژ گیت - امیتر توسط مدارهای راه اندازی گیت تأمین می شود. مدارهای راه اندازی گیت تأثیر زیادی بر عملکرد IGBT از نظر تلفات سوئیچ، توانایی حفاظت اتصال کوتاه و زمان سوئیچینگ دارد. در مدار راه انداز از مدارات مجتمع آماده برای راه اندازی استفاده می شود که از آن جمله می توان IC راه انداز HCP1316j را نام برد. نحوه اتصال IC راه انداز HCP1316j به IGBT در مدار کنترل دور موتور القایی به کمک اینورتر در شکل ۴۹ نشان داده شده است.

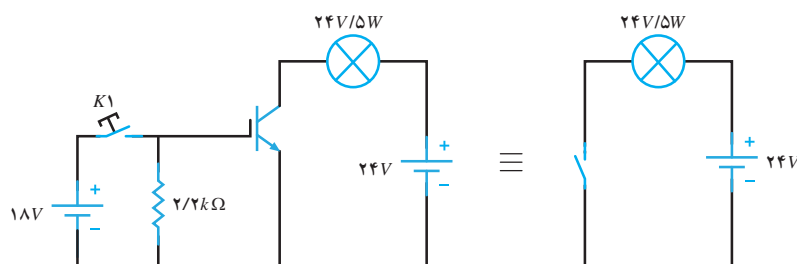


شکل ۴۹- مدار اتصال آی سی راه انداز IGBT به آن در مدار کنترل دور موتور القایی به کمک اینورتر

## آزمایش IGBT

برای آزمایش IGBT، به مدار آزمایش نیاز می‌باشد. با قرار دادن IGBT در مدار آزمایش به سالم بودن آن پی می‌برند.

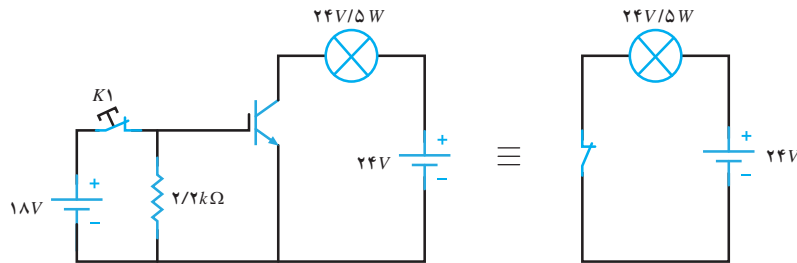
ولتاژ گیت امیتر IGBTها معمولاً بین ۱۵ تا ۲۰ ولت می‌باشد و جریان مجاز کلکتور به امیتر از کاتالوگ IGBT به دست می‌آید. با توجه به مقدار ولتاژ گیت امیتر و جریان مجاز امیتر به کلکتور مدار آزمایش مطابق (شکل ۵۰) آماده می‌شود.



شکل ۵۰

در شکل ۵۰ کلید K۱ باز است و ولتاژی به گیت امیتر IGBT اعمال نمی‌شود IGBT خاموش است (مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر بسیار زیاد و در حد مگا اهم است) ارتباط الکتریکی کلکتور و امیتر مانند یک کلید باز می‌باشد و جریان در مدار آنها جاری نخواهد شد لذا لامپ خاموش می‌باشد. با بستن کلید K۱ ولتاژ ۱۸ ولت بین گیت و امیتر IGBT اعمال می‌شود. IGBT سوئیچ می‌کند (مقاومت اهمی بین کلکتور و امیتر به شدت کاهش می‌یابد - در حد میلی اهم) ارتباط الکتریکی کلکتور مانند یک کلید بسته می‌باشد و جریان در مدار آنها جاری خواهد شد لذا لامپ روشن می‌شود (شکل ۵۱).





شکل ۵۱

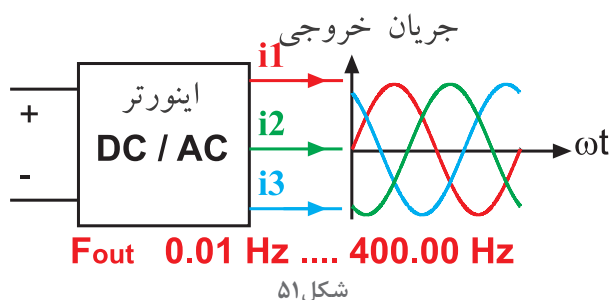
پرسش



- ۱- انواع ترانزیستور را نام ببرید و نماد آنها را رسم کنید.
- ۲- بایاس ترانزیستور را تعریف کنید و عملکرد آن به عنوان سوئیچ را شرح دهید.
- ۳- کاربردهای ترانزیستور را بنویسید.
- ۴- آزمایش تشخیص سالم بودن ترانزیستور را با رسم مدار توضیح دهید.
- ۵- بایاس موافق ترانزیستور را تعریف کنید و نحوه سوئیچ کردن آن را شرح دهید.
- ۶- رفتار ترانزیستور در بایاس مخالف پس از تحریک گیت را شرح دهید.
- ۷- آزمایش تشخیص سالم بودن ترانزیستور را با رسم مدار توضیح دهید.
- ۸- IGBT را تعریف کنید و نماد آن را رسم کنید.
- ۹- طرز کار IGBT را توضیح دهید.
- ۱۰- مزایای IGBT را بنویسید.
- ۱۱- وظیفه مدار راه اندازی گیت و تأثیر آن بر عملکرد IGBT را بنویسید.

### ۱۳-۴- درایو فرکانس متغیر

درایو فرکانس متغیر<sup>۱</sup> VFD دستگاهی است که ولتاژ مستقیم DC را به ولتاژ متناوب AC با فرکانس متغیر تبدیل می‌کند. درایو فرکانس متغیر را اینورتر فرکانس متغیر نیز می‌نامند. در واقع اینورتر فرکانس متغیر یک مبدل DC به AC است که فرکانس ولتاژ متناوب خروجی آن قابل کنترل می‌باشد. خروجی اینورترها می‌تواند به صورت تک فاز و یا سه فاز باشد. فرکانس ولتاژ متناوب خروجی اینورترهای تک فاز و سه فاز معمولاً بین ۰/۱ هرتز تا ۴۰۰ هرتز قابل کنترل است. اما ولتاژ متناوب خروجی در اینورتر تک فاز تا ۲۳۰ ولت و در اینورتر سه فاز تا ۴۰۰ ولت قابل کنترل می‌باشد (شکل ۵۱).



ولتاژ مستقیم DC ورودی اینورتر از یکسو کردن ولتاژ متناوب AC برق شهر تأمین می‌شود. برای یکسو کردن ولتاژ متناوب AC برق شهر از یکسوکننده‌های دیودی تمام موج استفاده می‌شود. در اینورترهای تک فاز یکسوکننده تمام موج تک فاز و در اینورترهای سه فاز یکسوکننده‌های تمام موج سه فاز استفاده می‌شود (شکل ۵۲).

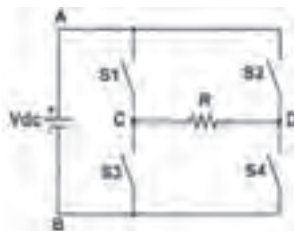


شکل ۵۲- اینورتر تک فاز و سه فاز

اینورترهای تک فاز با ولتاژ متناوب ورودی ۲۳۰ ولت در توان‌های تا حدود ۳/۷ Kw ساخته شده‌اند. اما اینورترهای سه فاز با ولتاژ متناوب ورودی ۴۰۰ ولت از توان ۱۰۰ وات الی ۱۰ MW (ده مگاوات) ساخته می‌شوند. البته ولتاژ ورودی اینورترهای سه فاز در توان‌های بالا می‌تواند بیش از ۴۰۰ ولت باشد. اینورتر معمولاً ولتاژ ورودی را افزایش نمی‌دهد یعنی در خروجی اینورتر حداکثر دامنه ولتاژ خروجی، برابر دامنه ولتاژ ورودی است. اگر ولتاژ ورودی اینورتر ۲۲۰ ولت باشد در خروجی آن برق سه فاز با فرکانس متغیر و با دامنه صفر ولت الی حداکثر ۲۲۰ ولت برق خواهیم داشت. اگر ولتاژ ورودی اینورتر سه فاز ۳۸۰ ولت باشد در خروجی آن برق سه فاز با فرکانس متغیر با دامنه صفر ولت الی حداکثر ۳۸۰ ولت خواهیم داشت.

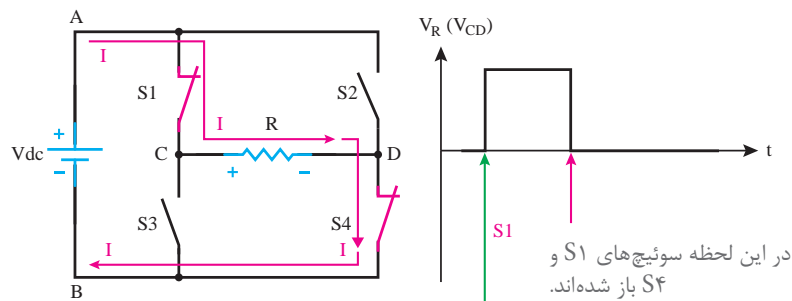
## ۱۴-۴- اصول کار اینورتر

اصول کار اینورتر بر مبنای تبدیل ولتاژ DC به ولتاژ AC استوار است. نحوه تبدیل ولتاژ DC به ولتاژ AC در مدار شکل ۵۳ نشان داده شده است.



شکل ۵۳- نحوه تبدیل ولتاژ DC به AC

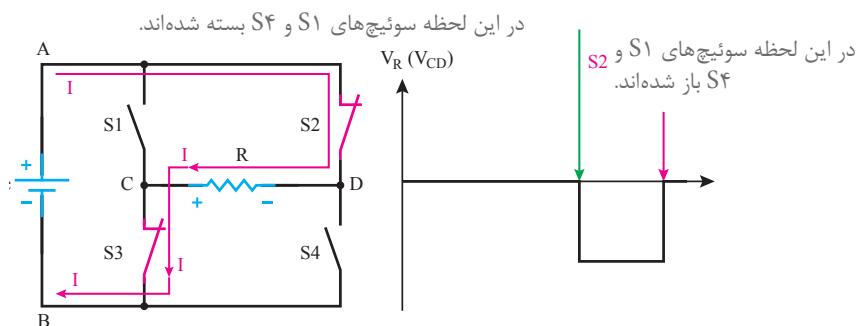
اگر سوئیچ‌های  $S_1$  و  $S_4$  شکل ۵۳ بسته شوند، ولتاژ DC بین نقاط A و B، در دو سر مقاومت قرار می‌گیرد در حقیقت مقاومت با منبع موازی می‌شود (شکل ۵۴).



در این لحظه سوئیچ‌های  $S_1$  و  $S_4$  بسته شده‌اند.

شکل ۵۴- ولتاژ دو سر بار

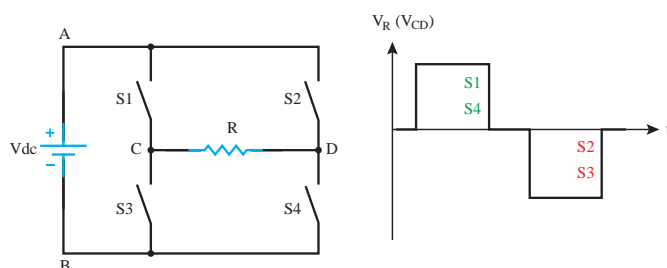
حال اگر در حالی که کلیدهای  $S_1$  و  $S_4$  باز هستند کلیدهای  $S_2$  و  $S_3$  را ببندیم شکل ولتاژ دو سر مقاومت اهمی به صورت شکل ۵۵ خواهد شد.



در این لحظه سوئیچ‌های  $S_1$  و  $S_4$  بسته شده‌اند.

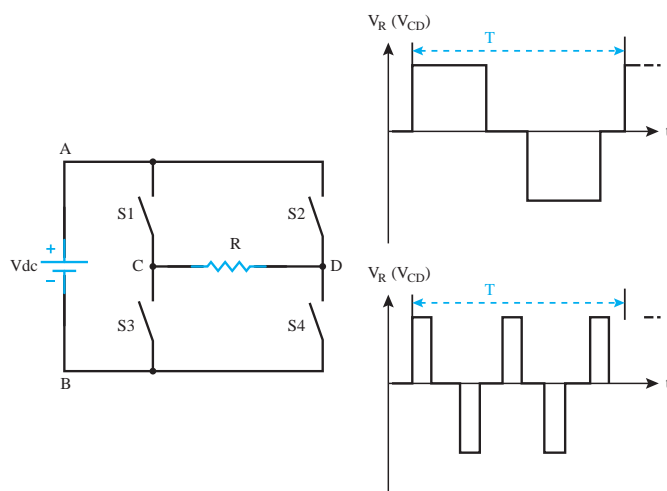
شکل ۵۵- ولتاژ دو سر بار

حال اگر به تناوب کلیدهای  $S_1$  و  $S_4$  و همچنین کلیدهای  $S_2$  و  $S_3$  را باز و بسته کنیم، شکل ولتاژ دو سر مقاومت اهمی به صورت شکل ۵۶ خواهد شد.



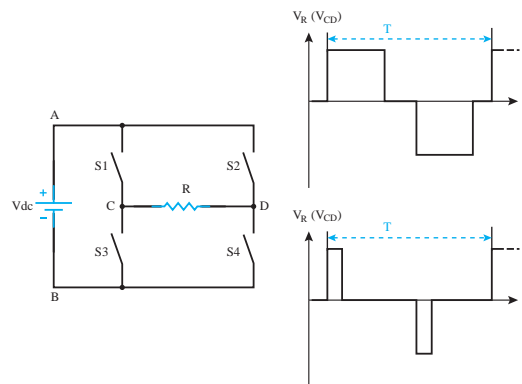
شکل ۵۶- نحوه تولید ولتاژ AC

با تغییر تعداد وصل و قطع کلیدهای  $S_1$  تا  $S_4$  در مدت یک ثانیه، فرکانس شکل موج خروجی تنظیم می شود (شکل ۵۷).



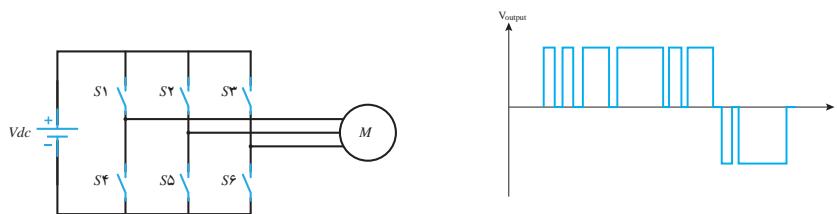
شکل ۵۷- تغییر فرکانس

همچنین با تغییر مدت زمان وصل و قطع کلیدهای  $S_1$  الی  $S_4$  در مدت زمان تناوب مقدار ولتاژ مؤثر خروجی تنظیم خواهد شد (شکل ۵۸).



شکل ۵۸- نحوه تغییر ولتاژ مؤثر خروجی اینورتر

شکل موج ولتاژ خروجی اینورتر (VFD) مربعی است. فقط یک تفاوت خیلی کوچک با شکل‌های نشان داده شده دارد و آن اینکه عرض مربع‌ها با یکدیگر ممکن است متفاوت باشد (شکل ۵۹).



شکل ۶۰- تولید ولتاژ سه فاز در اینورتر

شکل ۵۹- ولتاژ خروجی اینورتر

دلیل این امر این است که اگر ولتاژ شکل فوق را به یک بار اهمی القایی اعمال کنیم، شکل جریان گذرنده از بار اهمی - القایی (مثلاً موتور) تقریباً سینوسی خواهد بود.

برای تولید ولتاژ سه فاز در خروجی اینورتر، از ۶ کلید به صورت شکل ۶۰ استفاده می‌کنند در خروجی اینورتر علی‌رغم داشتن ولتاژ سه فاز شکل ولتاژ همچنان به صورت پالس‌های مربعی است. با ولت متر معمولی نمی‌توان ولتاژ خروجی اینورتر را اندازه گرفت، زیرا ولت مترهای معمولی برای شکل ولتاژ سینوسی ساخته شده‌اند.

فرکانس سوئیچ‌زنی در اینورترها معمولاً بین ۱/۵ کیلوهرتز الی ۱۶ کیلوهرتز است و در اکثر اینورترهای ساخته شده کاربر می‌تواند آن را تغییر دهد.

### مزایای اینورتر

مزایای اینورتر در فرایندهای صنعتی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در فرایندهای صنعتی با استفاده از تکنولوژی اینورتر سرعت تولید افزایش خواهد یافت و از سوی دیگر تکنولوژی اینورتر باحفاظت دقیق از موتورهایی که چرخ صنعت را به گردش در می‌آورند مانع از آسیب دیدن آنها به‌هنگام کار خواهد شد. بدین ترتیب چرخ صنعت از حرکت نمی‌ایستد و بهره‌وری افزایش خواهد یافت. لذا متخصصان حوزه استفاده از تکنولوژی اینورتر صاحبان صنایع را به استفاده از اینورتر جهت کنترل موتورهای الکتریکی تشویق می‌کنند.

برای اینورتر مزایای بسیار زیادی قائل شده‌اند که مهم‌ترین آنها به شرح زیر است :

- ۱- صرفه‌جویی در مصرف انرژی به‌طوری که ظرف مدت یک الی یک و نیم سال، هزینه خود اینورتر از بابت صرفه‌جویی در مصرف انرژی جبران می‌شود.
  - ۲- کاهش توان راکتیو (به‌دلیل داشتن بانک خازنی در اینورتر)
  - ۳- کاهش جریان راه‌اندازی
  - ۴- کاهش تنش‌های مکانیکی موتور رفع ناهنجاری‌های مکانیکی (عدم ایجاد ضربه و به تبع آن عدم خرابی فونداسیون و...)
  - ۵- عدم خرابی تکیه‌گاه‌ها (مانند یاتاقان‌ها، بیرینگ‌ها، بلبرینگ‌ها و...)
  - ۶- عدم خرابی سیستم انتقال نیرو از موتور به بار مکانیکی (مانند تسمه‌ها، چرخ زنجیرها و...)
  - ۷- عدم خرابی گیربکس‌های تبدیل دور
  - ۸- محدود کردن جریان راه‌اندازی
  - ۹- عدم نیاز به خازن‌های اصلاح ضریب توان مؤثر
  - ۱۰- عدم نیاز به راه‌اندازی ستاره مثلث موتور
  - ۱۱- امکان قطع و وصل اضطراری از راه دور
  - ۱۲- عدم نیاز به کلیدهای قطع و وصل قدرت
  - ۱۳- امکان افزایش تعداد دفعات قطع و وصل در زمان کوتاه
  - ۱۴- امکان داشتن دور ثابت و مستقل از بار (مانند موتور سنکرون)
  - ۱۵- امکان تغییر جهت گردش موتور الکتریکی بدون نیاز به تجهیزات دیگر
  - ۱۶- امکان غیر فعال یک جهت گردش موتور توسط اینورتر
  - ۱۷- سرعت قطع و وصل بالا در آمپرهای زیاد
  - ۱۸- هنگام قطع و وصل ایجاد جرقه نمی‌کنند.
  - ۱۹- طول عمر بسیار بالا به‌دلیل نداشتن قطعه مکانیکی متحرک
- اینورتر هنگام کار موتور، به طور مستمر تمامی پارامترهای موتور را کنترل می‌کند و آنها را با نامی و واقعی آنها مقایسه می‌کند. فرض کنید در اینورتر جریان نامی موتور را  $20\text{ A}$  تعریف می‌کنیم و همچنین در اینورتر مشخص می‌شود که اگر جریان موتور از مقدار تعریف شده  $30\%$  بیشتر شد و این اضافه جریان بیش از  $60$  ثانیه طول کشید اینورتر موتور را خاموش کند. و یا اگر به هر دلیلی یکی از فازهای موتور قطع شود موتور را خاموش کند و یا اگر اختلاف جریان‌های سه فاز موتور از مقدار مشخصی بیشتر شد موتور را خاموش کند.

به‌طور کلی می‌توان گفت:

وقتی یک موتور از طریق اینورتر راه‌اندازی می‌شود اگر پارامترهای اینورتر درست تنظیم شده باشند،

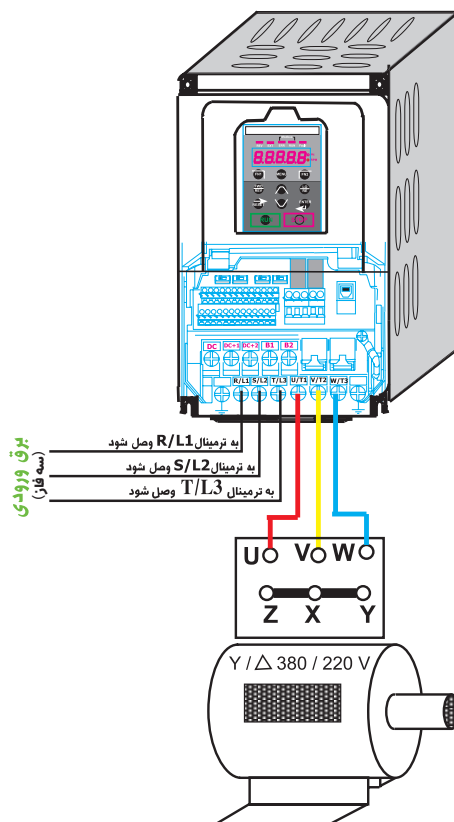
سیم‌پیچ‌های موتور هرگز نمی‌سوزد.

یعنی اینورتر ضمن داشتن مزایای زیاد در راه‌اندازی و توقف موتور و سایر موارد ذکر شده، محافظ بسیار

خوب و مطمئن موتور الکتریکی است. ضمن اینکه اینورتر تا حدود زیادی خودش نیز مواظب خودش

است مثلاً اگر از خروجی اینورتر جریانی بیش از حد تحمل اینورتر عبور کند بلافاصله اینورتر انتقال توان به موتور را قطع می‌کند و پیغام جریان اضافی اینورتر را صادر می‌کند.

برای استفاده بهتر از برتری‌های اینورتر در راه‌اندازی موتورهای الکتریکی لازم است شناخت دقیقی از پارامترهای اینورتر داشت. تعداد پارامترهای یک اینورتر، در بعضی از آنها بیش از ۲۰۰ مورد است. نحوه اتصال یک موتور الکتریکی به یک اینورتر و شبکه برق در شکل ۶۱ نشان داده شده است.



شکل ۶۱- نحوه اتصال اینورتر به یک موتور الکتریکی و شبکه برق سه فاز

## پرسش‌های پایانی پودمان ۴

- ۱- درایور فرکانس متغیر را تعریف کنید و محدوده ولتاژ و فرکانس خروجی آن را بنویسید.
- ۲- اصول کار اینورتر را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۳- مزایای اینورتر را بنویسید. (چهار مورد)

## ارزشیابی مبتنی بر شایستگی پودمان کاربرد اتوماسیون صنعتی

### هدف گذاری و سنجش:

برای کسب شایستگی در این پودمان اگر هنرجو:

از کل سؤالات به یک تا پنج سؤال به طور کامل پاسخ دهد شایستگی پایین تر از حد انتظار خواهد بود.

از کل سؤالات به شش سؤال به طور کامل پاسخ دهد شایستگی در حد انتظار خواهد بود.

از کل سؤالات به هفت تا ده سؤال به طور کامل پاسخ دهد شایستگی بالاتر از حد انتظار خواهد بود.

**توجه:** سؤالات ارائه شده همگی هم ارزش بوده و در سطح یادگیری در حد انتظار است. معیار ارزشیابی نتیجه محور است.

سؤال ۱- ..... (۲ نمره)

سؤال ۲- ..... (۲ نمره)

سؤال ۳- ..... (۲ نمره)

سؤال ۴- ..... (۲ نمره)

سؤال ۵- ..... (۲ نمره)

سؤال ۶- ..... (۲ نمره)

سؤال ۷- ..... (۲ نمره)

سؤال ۸- ..... (۲ نمره)

سؤال ۹- ..... (۲ نمره)

سؤال ۱۰- ..... (۲ نمره)