

### عناصر نیمه‌هادی خاص

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این درس از فراگیر انتظار می‌رود:

- ۱- قطعات نیمه‌هادی چهارلایه را تعریف کند.
- ۲- ترستور را به صورت یک دیود قابل کنترل شرح دهد.
- ۳- SCR را با کلید مقایسه کند.
- ۴- تست SCR را از نظر سالم بودن و پایه‌ها تشریح کند.
- ۵- مدار ساده‌ی ترستوری را توضیح دهد.
- ۶- «Triac» را به صورت یک کلید قابل کنترل با جریان AC شرح دهد.
- ۷- چگونگی روشن کردن Triac را تشریح کند.
- ۷- Diac را به صورت یک دیود AC شرح دهد.
- ۹- PUT و UJT را تشریح کند.
- ۱۰- مدارهای کاربردی ساده (منبع تغذیه، یک‌سوساز با SCR و ...) را شرح دهد.

#### مقدمه

موج یک‌سو شده‌ی خروجی در اختیار ما نبود، اما به کارگیری مدارات یک‌سوساز کنترل شده این امکان را به وجود می‌آورد که بتوانیم تأثیر و تغییراتی را در وضعیت شکل موج خروجی ایجاد نماییم. در این گونه مدارات از دیودهای یک‌سوساز خاصی استفاده می‌شود که برای بررسی و توضیح آن‌ها لازم است تا ساختمان داخلی این نیمه‌هادی‌ها را بشناسیم.

در فصل دوم قطعه‌ی الکترونیکی «دیود» برای شما معرفی شد و مشاهده کردید که این عنصر الکترونیکی از اتصال دو قطعه‌ی نیمه‌هادی P و N ساخته شده است و مانند یک کلید قطع و وصل عمل می‌کند، هم چنین با یکی از کاربردهای آن که در مدارهای یک‌سوساز است آشنا شدید. به طور کلی مدارات یک‌سوساز را از نظر عناصر به کار رفته، هم چنین چگونگی عملکرد به سه دسته می‌توان تقسیم نمود:

#### ۱-۴- دیود چهارلایه (دیود شاکلی)

این دیود خاص از چهار لایه‌ی نیمه‌هادی PNPN که به طور سری و به تناوب از نوع P و N هستند درست شده است. همان گونه که در شکل ۴-۱ مشاهده می‌شود دو لایه‌ی خارجی این نیمه‌هادی

۱- مدارات یک‌سوساز کنترل نشده (دیودی)،

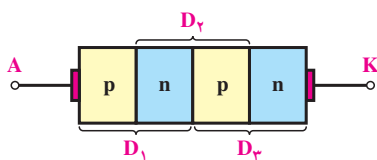
۲- مدارات یک‌سوساز نیمه کنترل شده (دیودی و

ترستوری)،

۳- مدارات یک‌سوساز تمام کنترل شده (ترستوری).

مدارات یک‌سوسازی که در فصل‌های پیشین بررسی شدند

از جمله مدارات یک‌سوساز کنترل نشده بودند، زیرا مقدار و شکل

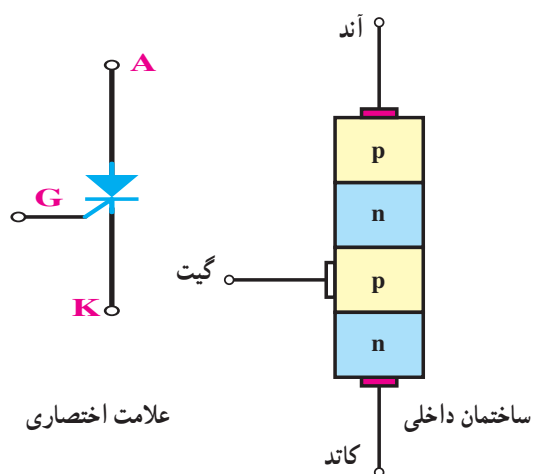


شکل ۴-۱

کرد؛ زیرا دیودهای  $D_1$  و  $D_3$  در بایاس مخالف قرار گرفته، فقط دیود  $D_2$  که در وسط است در بایاس موافق خواهد بود. شرط استفاده از این دیود چهار لایه آن است که در هر یک از مدارات شکل ۴-۳ و ۴-۴ ولتاژ مدار را افزایش دهیم تا به مقداری بیش تر از ولتاژهای شکست دیودهای  $D_2$  یا  $D_1$  و  $D_3$  برسد. این عمل در قطعات خاص هم چون ترستور، دیاک، تریاک و... انجام می شود.

## ۴-۲- ترستور (SCR)

ترستور یا SCR<sup>۱</sup> یک عنصر نیمه هادی چهار لایه - با ساختمان داخلی PNPN - بوده، شامل سه پیوند PN است. رفتار آن نیز مانند دیودهای چهار لایه است. برای هادی شدن ترستور، چون اعمال ولتاژ زیاد به دوسر یک دیود چهار لایه مشکل و در بعضی موارد غیرممکن است، برای رفع این عیب در ساختمان SCR یک پایه که به لایه P میانی متصل می شود در نظر گرفته شده که اصطلاحاً به آن «گیت» (G) یا «پایه ی فرمان» یا «پایه ی آتش زنه» گفته می شود. در شکل ۴-۵ ساختمان داخلی و علامت اختصاری یک SCR (ترستور گیت کاتدی) را مشاهده می کنید.



شکل ۴-۵- ساختمان داخلی و علامت اختصاری ترستور

بدین صورت است که اولین لایه از نوع P، آند (A) و آخرین لایه از نوع N، کاتد (K) نام دارد.

در واقع با توجه به شکل ۴-۱ می توان گفت: مدار معادل این نیمه هادی از سه دیود  $D_1$  و  $D_2$  و  $D_3$  تشکیل شده است که آن را به صورت شکل ۴-۲ الف نیز می توان نشان داد. علامت اختصاری دیود شاکلی به صورت شکل ۴-۲ ب است.

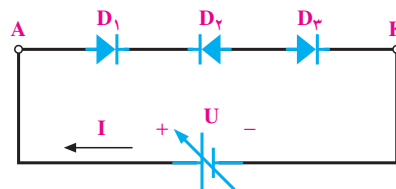


شکل ۴-۲ الف



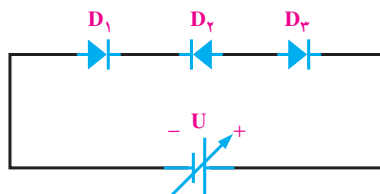
شکل ۴-۲ ب

در صورت اعمال ولتاژ بر دوسر این نیمه هادی ها (بایاس کردن نیمه هادی) جریانی از آن عبور نمی کند، زیرا همان گونه که در شکل های ۴-۳ و ۴-۴ ملاحظه می شود، اگر بایاس دیود به صورت شکل ۴-۳ باشد دیودهای  $D_1$  و  $D_3$  در بایاس موافق



شکل ۴-۳

و دیود  $D_2$  در بایاس مخالف قرار می گیرد؛ هم چنین اگر نیمه هادی را به صورت شکل ۴-۴ اتصال دهیم، جریانی از مدار عبور نخواهد

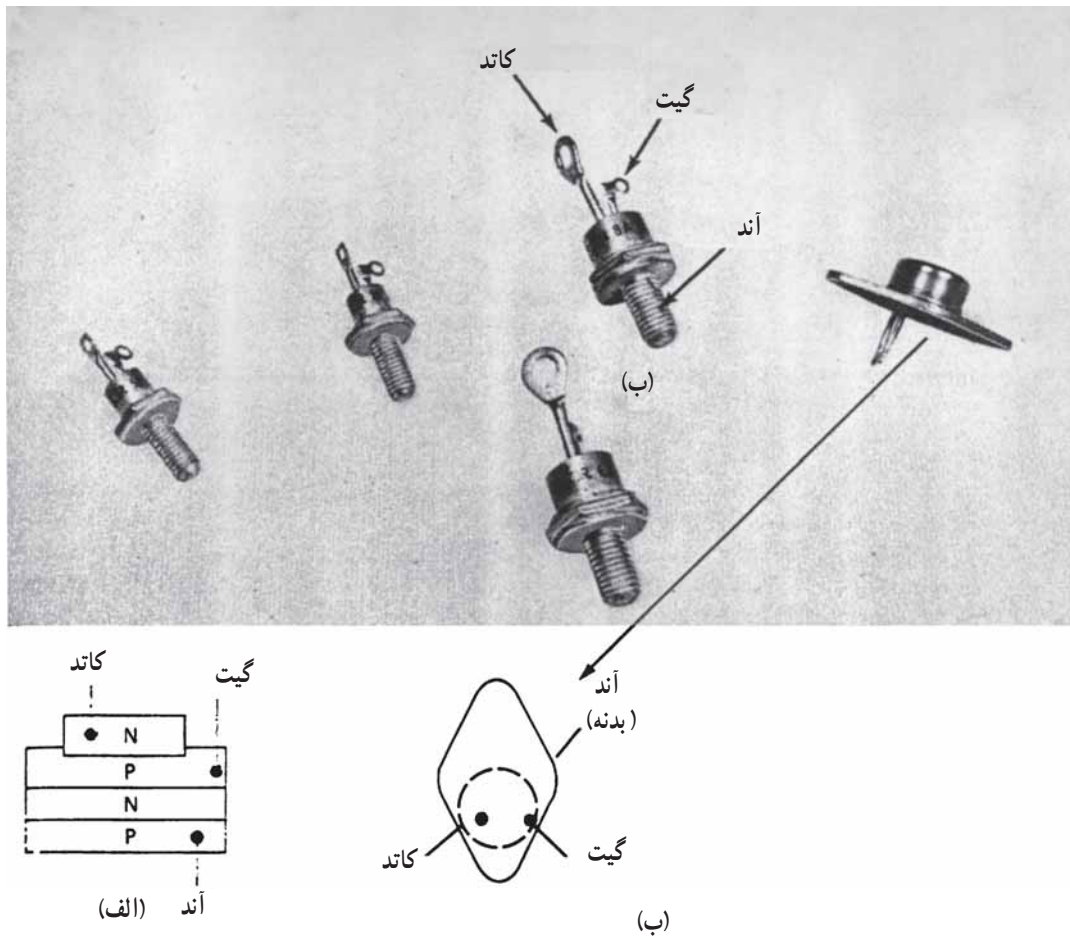


شکل ۴-۴

۱- SCR = Silicon Controlled Rectifier

۲- G = Gate

در شکل ۴-۶ تصویر چند ترستور نشان داده شده است.

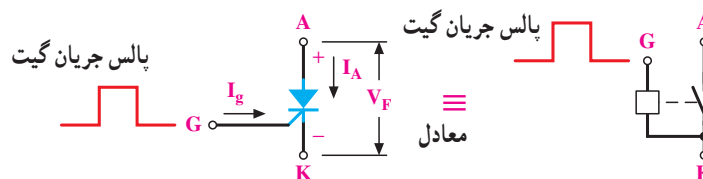


شکل ۴-۶ - الف - ساختمان اصلی (داخلی) یک سوکندهی کنترل سیلیکونی ، ب - شکل ظاهری

که بر ولتاژ سد لایه‌های میانی P و N غلبه کند (مانند دیود).  
 ب - در صورتی که ولتاژ مثبتی بین آند و کاتد وجود داشته  
 باشد و جریانی نیز به پایه‌ی گیت تزریق شود ترستور هدایت خواهد  
 کرد.  
 در واقع ترستور، مشابه کلیدی است که کنترل آن از طریق  
 گیت امکان‌پذیر است (شکل ۴-۷).

به‌طور کلی ترستور مشابه دیود دارای دو پایه‌ی آند و کاتد  
 است؛ با این تفاوت که در ترستور یک پایه‌ی ورودی کنترل‌کننده  
 موسوم به «گیت» وجود دارد که زمان عمل و هدایت ترستور را  
 کنترل می‌کند. دیود معمولی جریان را فقط هنگامی که بایاس  
 مستقیم است هدایت می‌کند، اما ترستور جریان مدار را  
 به‌دو صورت می‌تواند هدایت کند:

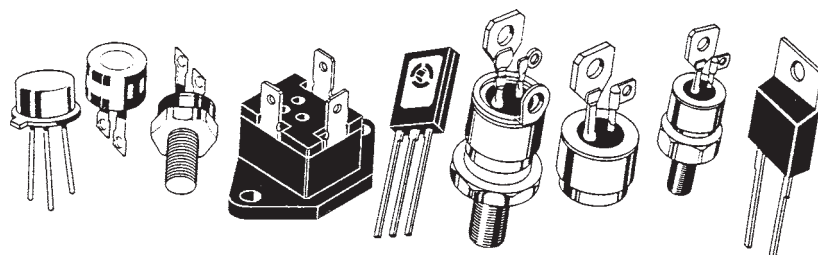
الف - هرگاه ولتاژ آند نسبت به کاتد مثبت باشد، به‌طوری



شکل ۴-۷

دور اشاره کرد.  
 شکل ۸-۴ نمونه‌های دیگری از اشکال مختلف  
 ترستورهاست.

از این قطعه به صورت تنظیم کننده‌ی جریان بار مصرف کننده  
 و قطع و وصل کننده در انواع مدارات کنترل کننده استفاده می‌شود  
 که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به شارژ باتری‌ها، کنترل نور و کنترل



شکل ۸-۴

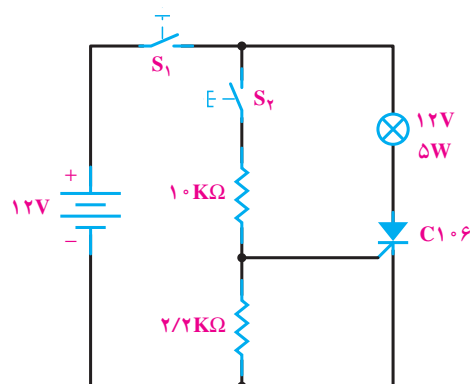
کیلو اهمی به گیت ترستور اعمال شده، در نتیجه سبب می‌شود تا  
 ترستور عمل کند و جریانی از سمت آند آن به سمت کاتد فرستاده  
 شود و بدین ترتیب، لامپ روشن می‌شود؛ حتی با قطع کلید  $S_1$   
 نیز در همان حال باقی می‌ماند، زیرا جریان لازم برای پایدار ماندن  
 ترستور در حالت وصل کلید  $S_1$  تأمین شده و ترستور مانند کلید  
 بسته در همان وضعیت باقی می‌ماند. از این آزمایش می‌توان  
 نتیجه گرفت که ترستور مورد نظر سالم است. در صورتی که  
 واکنش‌هایی به غیر از موارد اشاره شده داشته باشیم نشان دهنده‌ی  
 خرابی ترستور است.

### ۴-۳- تشخیص پایه‌های ترستور

تعیین پایه‌های ترستور از روی شکل ظاهری، غیر ممکن  
 بوده، هم‌چنین استفاده از اهم‌تر روش مطمئن و کلی نیست؛ از  
 این رو بهترین روشی که برای تشخیص پایه‌های ترستور توصیه  
 می‌شود استفاده از کتاب مشخصات است.

### ۴-۴- تست ترستور

در این روش با کمک مدار ی مطابق شکل ۹-۴ و  
 به وسیله‌ی آزمایش به سالم بودن ترستور می‌توان پی برد.



شکل ۹-۴

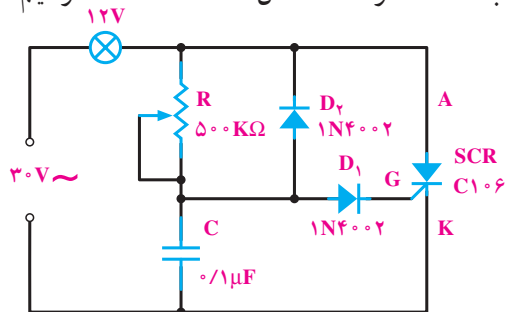
در این مدار با اتصال کلید  $S_1$  جریان از یک سمت به لامپ  
 و آند ترستور می‌رسد، اما چون ترستور در وضعیت هدایت قرار  
 ندارد جریانی از آند به کاتد عبور نمی‌کند و لامپ خاموش است.  
 به محض این که کلید  $S_1$  وصل شود جریانی از طریق مقاومت ۱۰

### ۴-۵- مدارهای ساده‌ی ترستوری

مدارهای مختلفی را می‌توان نام برد که از خصوصیت  
 SCR در طراحی آن‌ها استفاده شده است. در این جا چند نمونه  
 از آن‌ها را بررسی می‌کنیم:

#### ۴-۵-۱- مدار دایمر: در شکل ۱۰-۴

دایمر<sup>۱</sup> با استفاده از SCR نشان داده شده است. در نیم سیکل



شکل ۱۰-۴

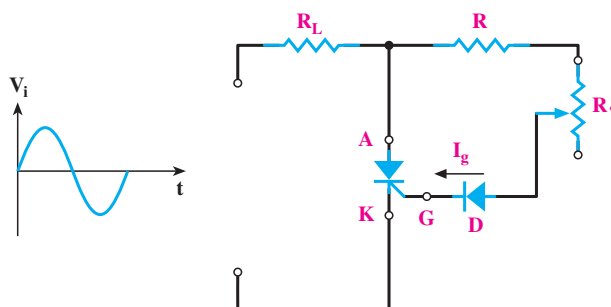
۱- dimmer به مداراتی که می‌توانند نور لامپ را کنترل کنند، تارک کننده یا دایمر گویند.

مثبت، ولتاژ شارژ خازن را در حدود وسیعی کنترل نموده، سرانجام جریان بار را بین صفر تا  $180^\circ$  درجه از سیگنال ورودی کنترل کنیم.

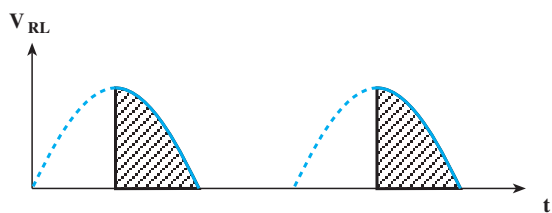
#### ۴-۵-۲ مدار کنترل جریان: در شکل ۴-۱۱ مداری

نشان داده می‌شود که قادر است زاویه‌ی هدایتی بین  $0^\circ$  تا  $90^\circ$  درجه داشته باشد. هدایت تریستور را زاویه‌ی آتش ( $\alpha$ ) می‌نامند. در نیم‌سیکل مثبت دیود D وصل می‌کند و سبب عبور جریان در گیت SCR می‌شود. البته مقاومت‌های  $R_1$  و R جریان گیت را کنترل می‌نمایند. افزایش  $R_1$  سبب کاهش جریان گیت شده و زمان تحریک، به تأخیر می‌افتد.

با کاهش مقاومت  $R_1$  جریان گیت افزایش می‌یابد و SCR می‌تواند زودتر روشن شود. به این ترتیب، با تغییر  $R_1$  می‌توان در هر لحظه بین  $0^\circ$  تا  $90^\circ$  تریستور را هادی نمود.

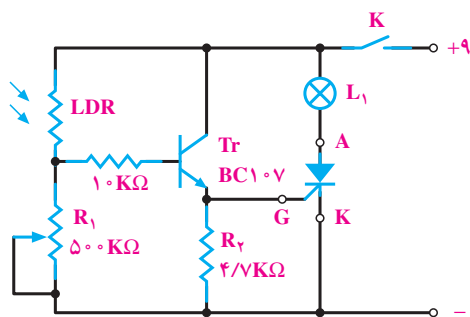


شکل ۴-۱۱



شکل ۴-۱۲

با هادی شدن SCR جریان از طریق SCR از بار عبور نموده در دو سر آن افت می‌کند. در شکل ۴-۱۲ ولتاژ دو سر  $R_L$  را در زاویه‌ی آتش  $90^\circ$  مشاهده می‌کنید. در این مدار رسیدن به زوایای بیشتر از  $90^\circ$  امکان‌پذیر نیست به دلیل این که مقادیر موج در زوایای  $90^\circ$  تا  $180^\circ$  قبلاً به وجود آمده‌اند. در نیم‌سیکل منفی SCR قطع است.



شکل ۴-۱۳

#### ۴-۵-۳ کاربرد مقاومت تابع نور و SCR به عنوان

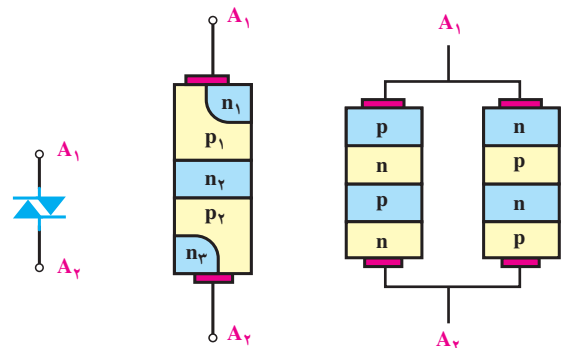
چشم الکترونیک: در شکل ۴-۱۳ مدار چشم الکترونیک رسم شده است. چشم الکترونیک مداری است که نسبت به نور حساس بوده، عکس العمل نشان می‌دهد.

وقتی نور به مقاومت LDR نمی‌تابد مقاومت آن زیاد بوده و چون جریانی از بیس ترانزیستور نمی‌گذرد،  $T_r$  قطع است. به محض تابش نور مقاومت LDR کم می‌شود؛ در نتیجه، جریان عبوری از LDR زیاد شده ترانزیستور  $T_r$  را فعال می‌کند. عبور جریان از امیتر ترانزیستور سبب تحریک گیت SCR و روشن شدن آن شده و لامپ  $L_1$  روشن می‌گردد. مقاومت متغیر  $500\text{ K}\Omega$  برای تنظیم ولتاژ بین دو پایه بیس و امیتر ترانزیستور یا به عبارت دیگر حساسیت مدار نسبت به نور در مدار به کار رفته است.

## ۴-۶- دیاک<sup>۱</sup>

دیاک از دو دیود چهار لایه‌ی موازی و معکوس مانند شکل ۴-۱۴ الف تشکیل شده است که در هر دو جهت تحریک می‌شود. دیاک در واقع دیود جریان متناوب بوده، دارای دو پایه است. واژه‌ی «diac» اختصار شده‌ی دیود جریان متناوب **diode ac** است.

ترتیب لایه‌های نیمه‌هادی دیاک به همراه علامت اختصاری آن در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است. این قطعه دارای دو پایه است که تحت عنوان آند یک ( $A_1$ ) و آند دو ( $A_2$ ) می‌شناسیم.



الف- لایه‌های تفکیک شده ب- ساختمان داخلی ج- علامت اختصاری

شکل ۴-۱۴- ساختمان داخلی و علامت اختصاری دیاک

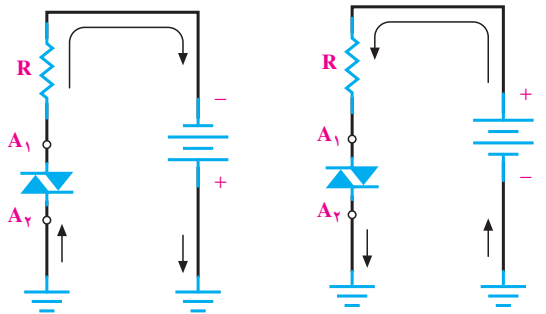
چون این دو پایه هیچ تفاوتی با یکدیگر ندارند در عمل معمولاً روی پایه‌های آن اسمی مشخص نشده است.

امتحان سالم بودن دیاک را به وسیله‌ی اهم‌تر نمی‌توان انجام داد، زیرا اهم‌تر از هر دو طرف مقدار مقاومت  $\infty$  را نشان می‌دهد. ولتاژهای شکست (ولتاژ هدایت) دیاک‌ها بین ۲۵ تا ۴۲ ولت است.

نوع متداول آن دارای ولتاژ شکست  $\pm 35$  ولت است.

نحوه‌ی عملکرد دیاک چنین است: تا زمانی که آند (۱)

نسبت به آند (۲) مثبت است لایه‌های نیمه‌هادی مورد استفاده  $P_1$  و  $n_2$  و  $P_2$  و  $n_3$  هستند و وقتی آند (۲) نسبت به آند (۱) مثبت است لایه‌های مورد استفاده  $P_1$ ،  $n_2$ ،  $P_2$  و  $n_3$  هستند. در شکل ۴-۱۵ چگونگی هدایت جریان در دو بایاس مختلف یک دیاک نشان داده شده است.



ب- بایاس از  $A_1$  به  $A_2$

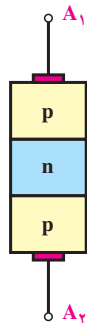
الف- بایاس از  $A_2$  به  $A_1$

شکل ۴-۱۵

بزرگ‌ترین مزیت و کاربرد دیاک استفاده در ولتاژهای AC

است، زیرا از هر دو سو هدایت می‌کند (نیم‌سیکل منفی و نیم‌سیکل مثبت). از دیاک به عنوان عنصر فرمان در مدارهای کنترل کننده‌ی توان نیز استفاده می‌شود.

نمونه‌ی دیگری از دیاک وجود دارد که به صورت سه لایه PNP است (شکل ۴-۱۶)، اما از نظر علامت اختصاری مانند دیاک ۵ لایه نشان داده می‌شود.



شکل ۴-۱۶- ساختمان دیاک سه‌لایه

در مدارات الکترونیکی دیاک را با علامت اختصاری شکل ۴-۱۷ نیز نشان می‌دهند.

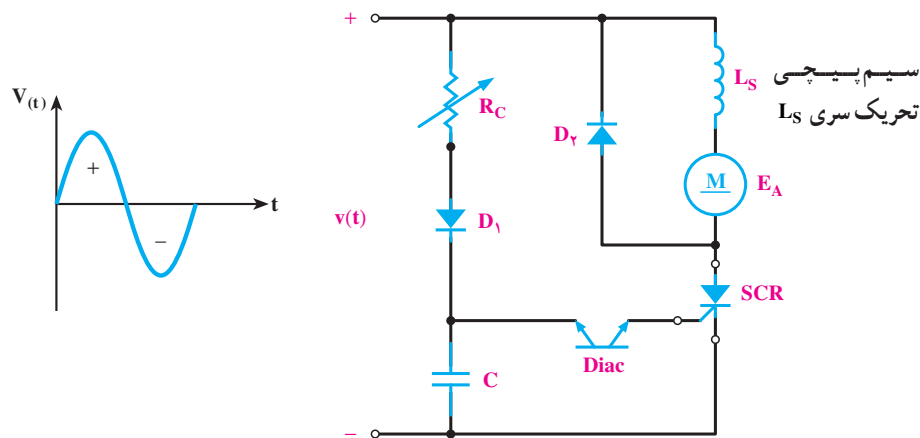


شکل ۴-۱۷- علامت اختصاری دیگری از دیاک سه لایه

می‌شود و جریان را هدایت کرده، موتور شروع به حرکت می‌کند. در نیم‌سیکل منفی چون دیود  $D_1$  بایاس مخالف می‌شود؛ پس جریانی به خازن و دیاک نمی‌رسد، اما موتور می‌تواند جریان خود را از طریق مسیر دیود  $D_2$  (انرژی سیم‌پیچ  $L_S$ ) دریافت نموده و به حرکت خود ادامه دهد. با تغییر مقدار مقاومت  $R_C$  در واقع زاویه‌ی آتش تریستور، به عبارت دیگر مقدار مؤثر ولتاژ اعمال شده به موتور کم و زیاد می‌شود و در نتیجه دور نیز متناسب با آن تغییر می‌کند.

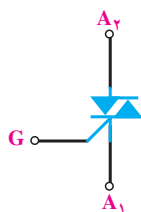
در شکل ۴-۱۸ یک مدار کاربردی برای دیاک نشان داده شده است.

طرز کار مدار شکل ۴-۱۸ بدین صورت است: هرگاه نیم‌سیکل مثبت به مدار اعمال شود جریان از طریق مقاومت متغیر  $R_C$  و دیود  $D_1$  به خازن  $C$  می‌رسد و شارژ آن آغاز می‌گردد. هنگامی که ولتاژ دو سر خازن به ولتاژ هدایت دیاک، ۳۵ ولت برسد دیاک (DIAC) شروع به هدایت می‌کند و جریان را به گیت تریستور رسانده آن را تحریک می‌کند. در این صورت SCR هادی



شکل ۴-۱۸- کنترل‌کننده‌ی موتور اونیورسال نیم‌موج

مداری ترایاک نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۹

## ۴-۷- ساختمان ترایاک<sup>۱</sup>

ترایاک معادل دو SCR یکی «گیت آندی» و دیگری «گیت کاتدی» است که به‌طور موازی به‌هم بسته شده‌اند. این قطعه قادر است در هر دو نیم‌سیکل عمل کنترل را انجام دهد. در نیم‌سیکل مثبت معادل SCR گیت کاتدی و در نیم‌سیکل منفی معادل SCR گیت آندی عمل کنترل را انجام می‌دهند. در شکل ۴-۱۹ نمای

<sup>۱</sup> TRIAC



پایه‌های ترایاک «آند یک» ( $A_1$ ) و «آند دو» ( $A_2$ ) و «گیت» ( $G$ ) نام دارند. در شکل ۴-۲۰ تصویر ظاهری چند ترایاک رسم شده است. عمل تحریک توسط پایه‌ی گیت انجام می‌گیرد.

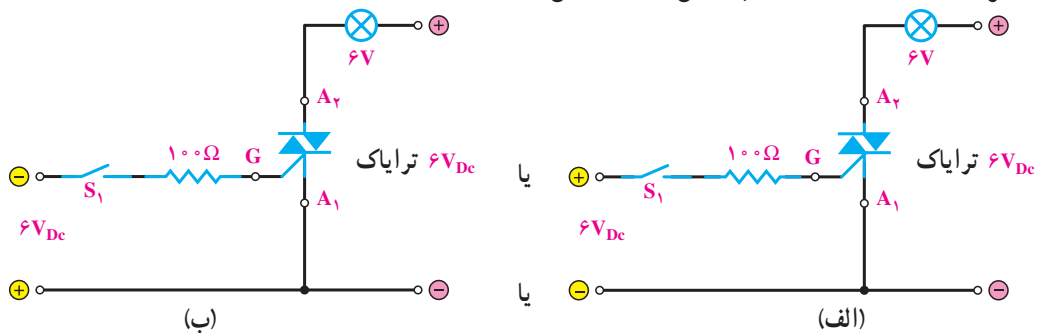


شکل ۴-۲۰

شده و به گیت نسبت به  $A_1$  ولتاژ مثبت یا منفی وصل کنیم ترایاک تحریک می‌گردد و وصل می‌شود (شکل ۴-۲۱ الف و ب).

#### ۸-۴- روشن کردن ترایاک (تریگر کردن ترایاک)

ترایاک را می‌توان با چهار روش وصل نمود.  
الف - اگر  $A_2$  نسبت به  $A_1$  که به پتانسیل مثبت وصل

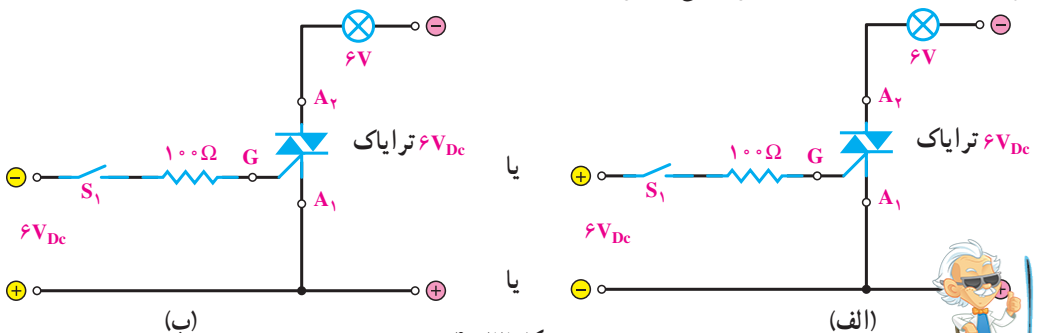


شکل ۴-۲۱

گیت نسبت به  $A_1$  به ولتاژ مثبت یا منفی وصل گردد، ترایاک تحریک می‌گردد. در شکل ۴-۲۲ الف و ب این حالت‌ها را مشاهده می‌کنید.

در شکل مشاهده می‌کنید اگر کلید  $S_1$  وصل شود گیت نیز تحریک می‌شود و در حالت ایده‌آل ترایاک مانند یک کلید وصل عمل کرده، جریان از لامپ عبور می‌کند.

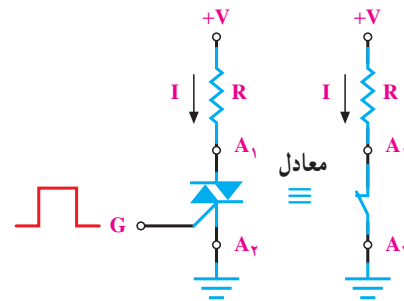
ب - اگر  $A_2$  نسبت به  $A_1$  به پتانسیل منفی وصل شود و



شکل ۴-۲۲

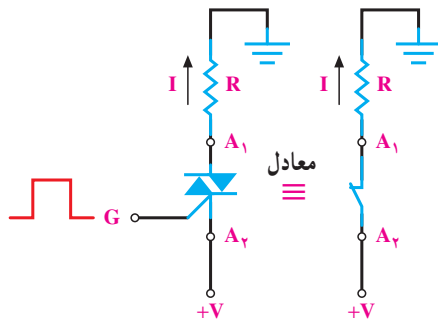


البته بهتر است هنگامی که  $A_1$  نسبت به  $A_2$  مثبت تر است گیت نسبت به  $A_2$  تحریک شود. شکل ۴-۲۳ این حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۳

اگر  $A_2$  نسبت به  $A_1$  مثبت تر باشد گیت نسبت به  $A_1$  تحریک می‌شود. در شکل ۴-۲۴ این حالت را مشاهده می‌کنید.

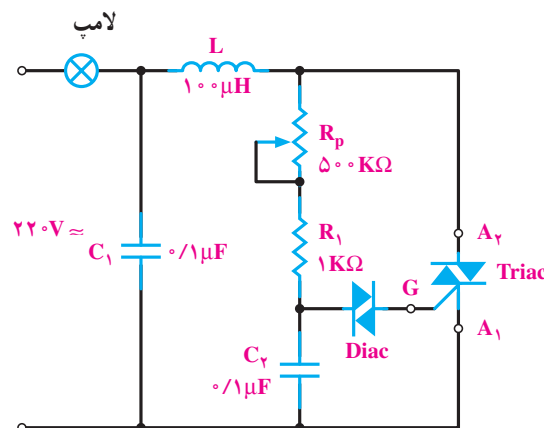


شکل ۴-۲۴

#### ۴-۹ کاربرد تریاک به صورت مدار دیمر

داده شده است.

در شکل ۴-۲۵ مدار یک دیمر برای کنترل روشنایی نشان



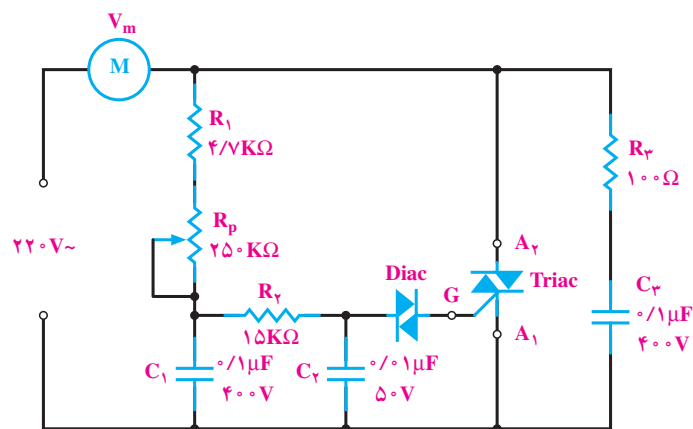
شکل ۴-۲۵

در مراکز صنعتی اگر بخواهند زاویه‌ی برش را به صورت اتوماتیک کنترل کنند باید به وسیله‌ی مدار پالس‌های الکتریکی کنترل‌پذیر ایجاد نمایند. یکی از این قطعات به منظور ایجاد پالس ترانزیستور UJT است.

#### ۴-۱۰ کنترل دور موتور یونیورسال

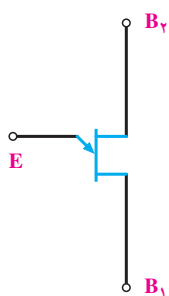
در مدار شکل ۴-۲۶ کنترل‌کننده‌ی دور موتور یونیورسال را با دیاک و تریاک مشاهده می‌کنید.

در دیمر چون جریان به صورت ناگهانی، ضربه‌ای و به طور مرتب قطع و وصل می‌شود، مقدار زیادی پارازیت به اطراف خود پخش می‌کند. خازن  $C_1$  و سلف  $L$  برای حذف پارازیت است و از عبور پارازیت‌های فرکانس بالا به شبکه جلوگیری می‌کنند. با تغییر پتانسیومتر زاویه‌ی برش و در نتیجه ولتاژ مؤثر دو سر بار را می‌توان تغییر داد. وقتی ولتاژ شارژ خازن  $C_2$  به اندازه‌ی ولتاژ شکست دیاک رسید، دیاک وصل می‌کند؛ هم‌چنین خازن در داخل گیت به صورت ضربه‌ای خالی می‌شود و تریاک را وصل می‌کند. این عمل عموماً در دو نیم‌سیکل مثبت و منفی تکرار می‌شود.



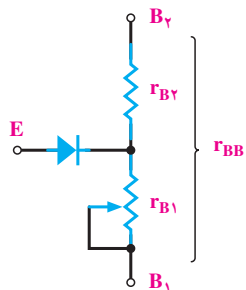
شکل ۴-۲۶

در شکل ۴-۲۸ علامت اختصاری UJT رسم شده است.



شکل ۴-۲۸

پایه‌های UJT «بیس یک» ( $B_1$ )، بیس دو ( $B_2$ ) و «امیتر» ( $E$ ) نام دارند. UJT فقط دارای یک اتصال P-N است. دو پایه‌ی بیس یک و بیس دو نسبت به هم مانند یک مقاومت هستند. مقاومت بین  $B_1$  و  $B_2$  را به  $r_{BB}$  نشان می‌دهند. مقدار  $r_{BB}$  برای UJT‌های مختلف حدود ۴ کیلو اهم تا ۱۰ کیلو اهم است. امیتر نسبت به  $B_1$  و  $B_2$  مانند دیود عمل می‌کند. در شکل ۴-۲۹

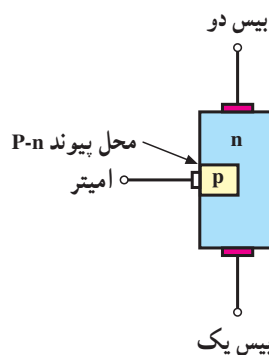


شکل ۴-۲۹

با شارژ خازن  $C_p$  وقتی ولتاژ دو سر آن به اندازه‌ی ولتاژ شکست دیاک رسید، دیاک وصل می‌کند؛ هم‌چنین خازن در داخل گیت ترایاک به صورت ضربه‌ای خالی می‌شود و ترایاک وصل می‌کند. با تغییر  $R_p$  زمان شارژ خازن را می‌توان تغییر داد. هرچه خازن دیرتر شارژ شود زمان وصل ترایاک به تأخیر افتاده، ولتاژ مؤثر در دو سر موتور کم و دور موتور کم می‌شود. مقاومت  $R_p$  با خازن  $C_p$  به منظور حذف پارازیت‌های ایجاد شده به شبکه است.

#### ۴-۱۱- ترانزیستور UJT

UJT<sup>۱</sup> یک نوع ترانزیستور تک‌اتصال‌ی است. در ساختمان این ترانزیستور یک قطعه‌ی کوچک کریستال، نوع P روی یک کریستال نوع N متصل شده است (شکل ۴-۲۷).



شکل ۴-۲۷

مدار معادل UJT رسم شده است.

#### ۴-۱۱-۱- طرز کار UJT: هرگاه منبع ولتاژ $V_{BB}$

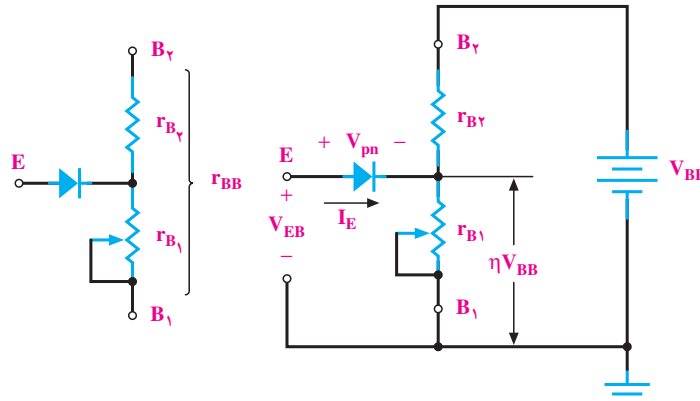
را مطابق شکل ۴-۳ به دو پایه  $B_1$  و  $B_2$  وصل کنیم، به علت مقاومت زیاد بین دو بیس ( $B_2$  تا  $B_1$ ) جریان کمی از منبع کشیده

می شود؛ هم چنین منبع ولتاژ  $V_{BB}$  بین دو مقاومت  $r_{B_1}$  و  $r_{B_2}$  تقسیم ولتاژ می گردد. افت ولتاژ دو سر  $r_{B_1}$  یعنی ولتاژ کاتد دیود E (امیتر) و  $B_1$  (بیس شماره ۱) برابر است با:

$$V_{r_{B_1}} = \left( \frac{r_{B_1}}{r_{B_1} + r_{B_2}} \right) V_{BB}$$

$$\eta = \frac{r_{B_1}}{r_{B_1} + r_{B_2}}$$

$$V_{r_{B_1}} = \eta V_{BB}$$



شکل ۴-۳

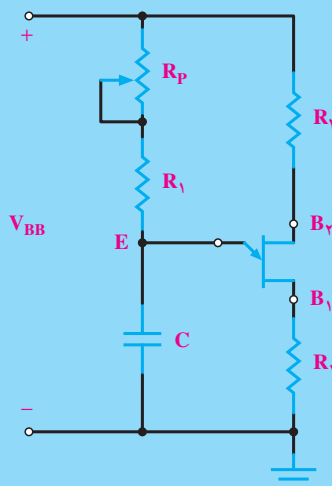
منطقه ی کریستال N می شوند و مقاومت  $r_{BB}$  به سرعت کاهش می یابد و از منبع  $V_{BB}$  جریان زیاد کشیده می شود.

اگر ولتاژ اعمال شده به امیتر نسبت به  $B_1$  به حدی برسد که دیود امیتر وصل کند (این ولتاژ که ولتاژ «آتش امیتر» نام دارد برابر ولتاژ وصل دیود  $+ \eta V_{BB}$  است)، بارهای کریستال P وارد

### مطالعه ی آزاد

#### ۴-۱۱-۲- کاربرد UJT به صورت مولد موج دندانانه آرهای و پالس: در شکل ۴-۳۱ مدار مولد موج

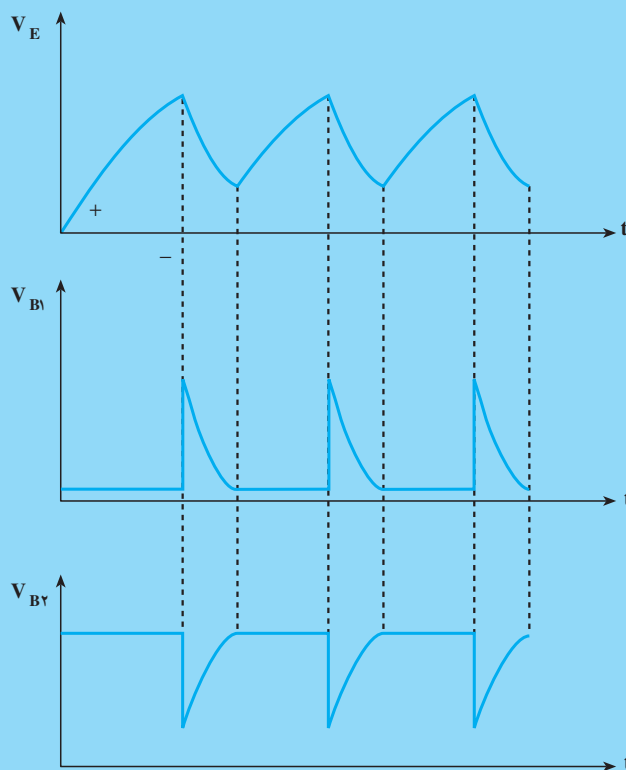
(اسیلاتور یا نوسان ساز) با UJT رسم شده است.



شکل ۴-۳۱

خازن C از طریق  $R_1$  و  $R_p$  شروع به شارژ می‌کند و ولتاژ دو سر خازن یعنی ولتاژ E به تدریج افزایش می‌یابد. هر وقت ولتاژ امیتر (E) به حدی برسد که بتواند UJT را هادی کند، دیود امیتر وصل می‌کند و مقاومت  $B_1$  نسبت به  $B_2$  کاهش می‌یابد. خازن C از طریق امیتر-بیس یک به سرعت دشارژ می‌گردد. برای کنترل جریان دشارژ خازن مقاومت  $R_2$  در مدار قرار دارد. با دشارژ خازن C و کاهش ولتاژ آن دیود امیتر در UJT قطع می‌شود. این عمل شارژ و دشارژ خازن پی‌درپی تکرار می‌شود.

وقتی مولد موج (اسیلاتور) UJT در حال کار است، سه نوع موج با فرکانس برابر، اما شکل‌های مختلف ایجاد می‌کند. در شکل ۴-۳۲ این سه موج رسم شده است.



شکل ۴-۳۲

شکل موج امیتر ( $V_E$ ) منحنی شارژ و دشارژ خازن C است (شارژ خازن از طریق مقاومت‌های  $R_1$  و  $R_p$  و دشارژ آن از طریق مقاومت  $R_2$  است). ولتاژ روی پایه‌ی  $B_1$  در هنگام شارژ خازن بسیار ناچیز و حدود صفر بوده زیرا جریان عبوری از  $R_2$  بسیار ناچیز است، اما به‌هنگام دشارژ خازن جریان  $R_2$  زیاد می‌شود. ولتاژ  $B_2$  در ابتدا زیاد است و به‌هنگام عمل کردن UJT تا زمانی که خازن در حال دشارژ است از پایه‌ی  $B_2$  نیز جریان عبور می‌نماید و ولتاژ آن کاهش می‌یابد. با دشارژ خازن و قطع جریان این ولتاژ افزایش می‌یابد.

از موج دندان‌ه‌ای آره‌ای ایجاد شده، در دستگاه‌هایی نظیر اسیلوسکوپ یا تلویزیون استفاده می‌کنند. پالس‌های ایجادشده را نیز برای تحریک گیت عناصری نظیر ترستور و تریاک به کار می‌برند.

برای ساختن مدار می‌توان این مقادیر را به کار برد:

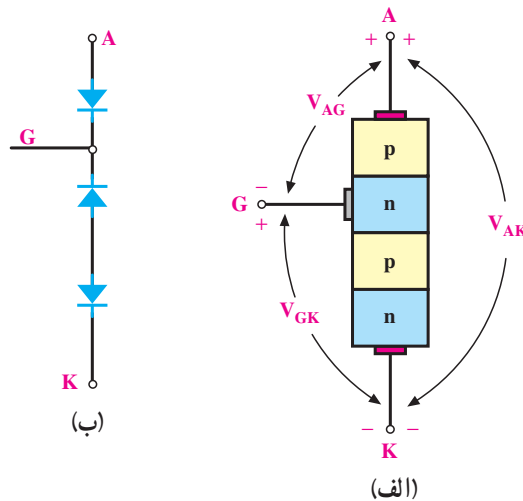
$$V_{BB} = 10 \text{ ولت} \quad R_p = 50 \text{ K}\Omega \quad R_1 = 1 \text{ K}\Omega \quad C = 10 \text{ nF}$$

$$R_2 = 100 \Omega \quad R_3 = 1/5 \text{ K}\Omega \quad \text{UJT} = 2\text{N}2646$$

## ۱۲-۴- ترانزیستور PUT

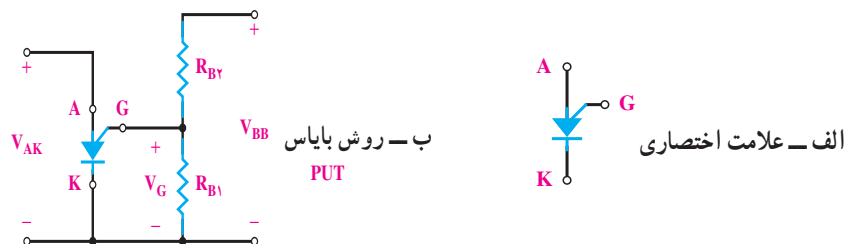
PUT<sup>۱</sup> یا ترانزیستور تک قطبی قابل برنامه ریزی، یک ترانزیستور سه پایه است که ساختمان داخلی آن از چهار لایه‌ی متناوب از نیمه هادی‌های نوع P و N تشکیل شده است. برخلاف تشابه

اسمی که بین PUT و UJT (ترانزیستور تک قطبی) وجود دارد، ساختمان داخلی و شیوه‌ی کار کاملاً متفاوتی دارند. در شکل ۴-۳۳ الف ساختمان PUT و معادل دیودی آن نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۳

این قطعه دارای چهار لایه‌ی PnPN و یک گیت است که به لایه‌ی نوع n میانی اتصال دارد. علامت اختصاری PUT و



شکل ۴-۳۴

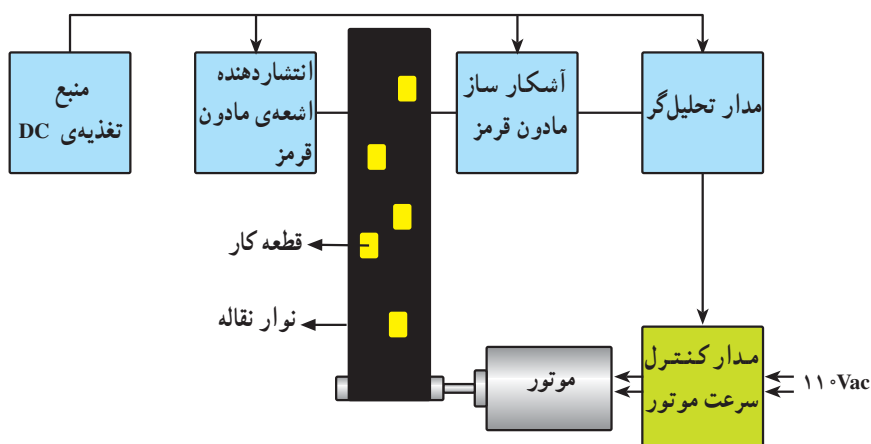
همان گونه که از علامت اختصاری آن استنباط می‌شود از این قطعه نیز در واقع SCR از نوع گیت آندی است. اصطلاح «برنامه ریزی» از این رو برای PUT به کار می‌رود چون به کمک مقاومت‌های بایاس آن  $R_{B1}$  و  $R_{B2}$ ، هم‌چنین  $U_{BB}$  می‌توان آن را کنترل کرد. برای تحریک این نوع SCR باید به گیت ولتاژ منفی حدود ۷/۰ ولت نسبت به آند اعمال کرد. PUT نسبت به UJT دارای امتیازاتی است که عبارت‌اند

- الف - ولتاژ شکست آن، بالاتر است.
  - ب - قادر به کار در ولتاژهای پایین است.
  - ج - پالس‌های خروجی آن دارای ولتاژ بالاتری است.
  - د - ولتاژ تحریک آن قابل برنامه ریزی است.
  - ه - قیمت آن کم و اندازه‌ی حقیقی آن کوچک است.
- از جمله کاربردهای PUT می‌توان به این موارد اشاره کرد :

<sup>۱</sup> - PUT = Programmable Unijunction Transistor

۱- ساخت تایمرها در مدارات شارژر،  
 ۲- افزایش راندمان مولد (با کنترل ولتاژ  $V_{BB}$ ).  
 ۱-۱۲-۴ کاربرد PUT: بلوک دیاگرام کلی این سیستم در شکل ۴-۳۵ نشان داده شده است. این سیستم سرعت

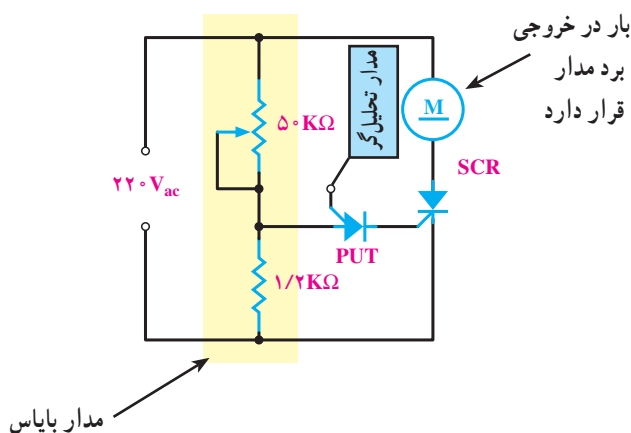
نوار نقاله را کنترل می کند؛ یعنی به گونه ای عمل می کند که طی یک زمان مشخص تعدادی معین از اجسامی که در فواصل نامساوی از هم قرار دارند از مقابل نقطه ای خاص در روی خط تولید عبور کنند.



شکل ۴-۳۵

هرگاه جسمی که روی تسمه ی نقاله ی متحرک قرار دارد از مقابل آشکارساز نوری عبور کرده، مانع از عبور اشعه ی مادون قرمز شود شمارنده ی دیجیتالی یک شماره می اندازد. بعد از مدت زمان خاص این شماره های جمع شده از طریق مدار تحلیل گر به یک ولتاژ مناسب تبدیل می شود. هرچه تعداد اجسامی که از جلوی حس کننده ی<sup>۱</sup> نوری عبور می کنند بیش تر باشد ولتاژ بالاتر خواهد بود. این ولتاژ در مدار برای کنترل دور موتور به کار رفته و باعث تنظیم سرعت موتور الکتریکی می شود. در شکل ۴-۳۶ این مدار نشان داده شده است. توجه داشته باشید که بایاس PUT می تواند روی گیت یا آند انجام شود.

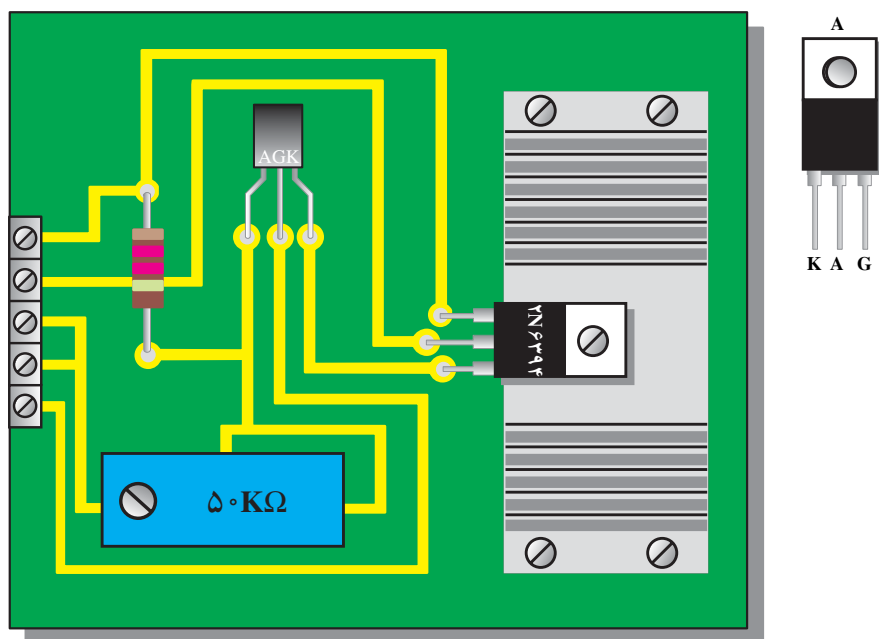
جلوی حس کننده ی<sup>۱</sup> نوری عبور می کنند بیش تر باشد ولتاژ بالاتر خواهد بود. این ولتاژ در مدار برای کنترل دور موتور به کار رفته و باعث تنظیم سرعت موتور الکتریکی می شود. در شکل ۴-۳۶ این مدار نشان داده شده است. توجه داشته باشید که بایاس PUT می تواند روی گیت یا آند انجام شود.



شکل ۴-۳۶

می‌دهد و سرعت آن را کاهش می‌دهد. اگر ولتاژ گیت PUT کاهش یابد SCR زودتر روشن می‌شود. این روند باعث می‌شود تا سرعت موتور را به گونه‌ای اتوماتیک بتوان تنظیم کرد. شکل ۴-۳۷ تصویری است از برد مدار چاپی به همراه قطعات نصب شده روی آن.

این ولتاژ نسبی توسط مدار تحلیل‌گری برای گیت PUT که در روی برد مدار کنترل سرعت است به کار می‌رود. این ولتاژ سبب می‌شود تا گیت PUT تحریک شود و در نقطه‌ای از موج ac هدایت کند. در صورتی که ولتاژ گیت PUT زیاد شود ترستور دیرتر روشن می‌شود و مقدار متوسط قدرت کم‌تری به موتور



شکل ۴-۳۷

لحظه‌ای دلخواه انجام داد و بر روی شکل موج خروجی اثر گذاشت.

در شکل ۴-۳۸ مدار و شکل موج‌های ولتاژ و جریان دوسر بار ( $v_L$  و  $i_L$ )؛ جریان‌های تحریک ( $i_g$ ) و جریان عبوری از هر ترستور ( $i_1$  تا  $i_4$ ) نشان داده شده است. چون بار با خاصیت سلفی زیاد است، شکل موج جریان بار بدون ضریان می‌باشد.

لازم به ذکر است که در بار اهمی خالص قسمت منفی ولتاژ بار ( $v_L$ ) حذف می‌شود و شکل موج جریان بار ( $i_L$ ) نیز مشابه شکل موج ولتاژ بار خواهد شد.

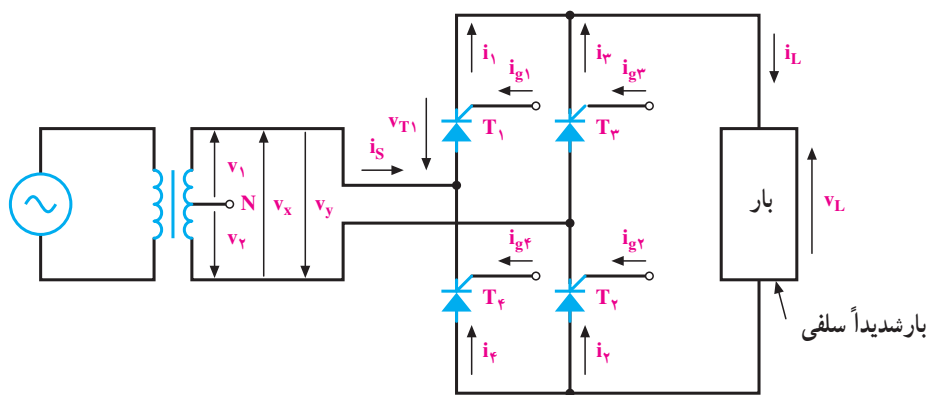
### ۴-۱۳- یک‌سوسازی تریستوری

در صنعت از مدارهای یک‌سوساز قابل کنترل تک‌فاز و سه‌فاز در اشکال مختلف استفاده می‌شود که در این جا دو نمونه از آن تشریح می‌شود.

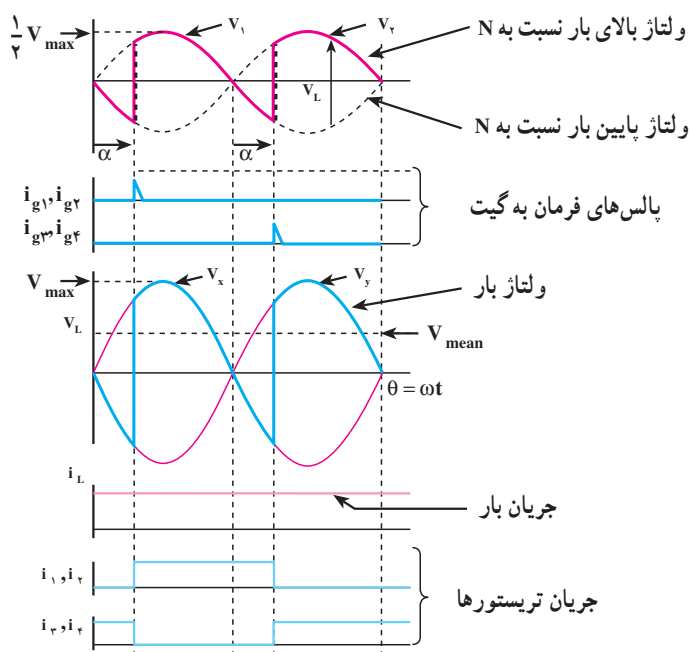
#### ۴-۱۳-۱ یک‌سوساز تمام موج تریستوری

تک‌فاز: این مدار با همان شرایط کاری و مشابه مدار یک‌سوسازی دیودی عمل می‌کند یعنی در هر نیم‌سیکل دو ترستور عمل هدایت جریان را انجام می‌دهند. با این تفاوت که در مدارهای یک‌سوسازی تریستوری از طریق یک مدار فرمان و با اعمال پالس‌های همزمان به گیت ترستورها می‌توان عمل هدایت را در





(الف)



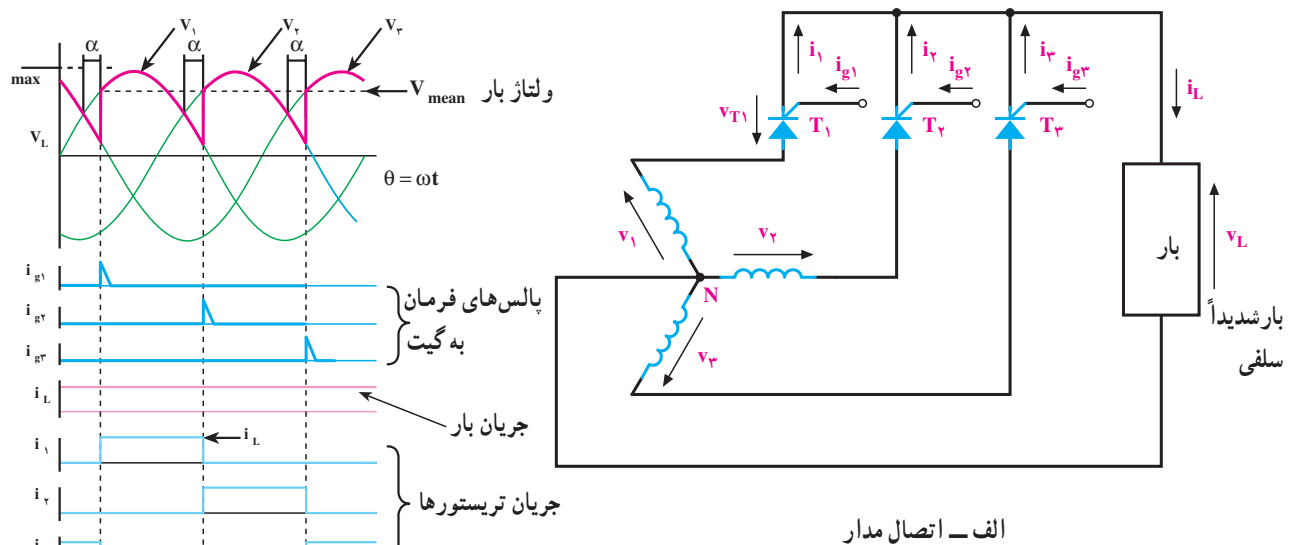
(ب)

شکل ۴-۳۸

قرار می‌گیرد، آند آن نسبت به کاتد مثبت‌تر است؛ پس در این فاصله می‌توان جریان تحریکی را به گیت آن تریتور فرستاد تا عمل هدایت را انجام دهد. در شکل ۴-۳۹ وضعیت جریان‌های تحریک ( $i_g$ ) جریان‌های عبوری از هر تریتور ( $i_1$  تا  $i_3$ ) ولتاژ و جریان دوسر بار ( $V_L$  و  $I_L$ ) در زاویه‌ی آتش ( $\alpha$ ) نشان داده شده است.

## ۲-۱۳-۴- یک‌سوساز نیم‌موج تریتوری سه‌فاز:

اصول کار این مدار نیز مانند یک سوساز نیم‌موج تک‌فاز است؛ با این تفاوت که در این مدار با فرستادن جریان به گیت هر تریتور می‌توان آن را در وضعیت وصل قرار داد. همان‌گونه که در شکل ۴-۳۹ مشاهده می‌شود هر فاز نسبت به دو فاز دیگر در هر  $120^\circ$  درجه مثبت‌تر است؛ بنابراین، تریتوری که در مسیر آن فاز



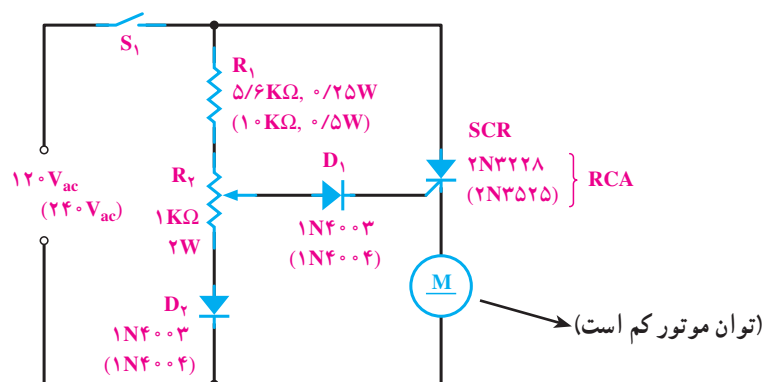
شکل ۴-۳۹ - مدار سه فاز تمام کنترل شده‌ی نیم موج ترستیوری

مدار فرمان ترستور را مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$  و دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  تشکیل می‌دهند؛ برای مثال اگر مقدار مقاومت  $R_2$  را افزایش دهیم جریان عبوری از گیت ترستور کم شده، SCR دیرتر تحریک می‌شود. در نتیجه، سرعت موتور نیز کاهش می‌یابد. پس به این ترتیب می‌توانیم با تغییر در مقدار مقاومت  $R_2$ ، جریان تحریک گیت ترستور را تغییر دهیم که با این کار سرعت موتور نیز تغییر می‌کند.

در لحظاتی که جریان به گیت هر ترستور اعمال می‌شود ( $i_g$ ) مسیر جریان بار ( $I_L$ ) از طریق آن ترستور بسته می‌شود پس شکل موج جریان بار هر  $120^\circ$  درجه تابع یکی از ترستورها است.

#### ۴-۱۴ - کنترل دور موتورهای dc

در شکل ۴-۴۰ مدار نشان داده شده است که در آن موتور جریان مستقیم به گونه‌ی سری با ترستور قرار گرفته است.



در شکل ۴-۴۱ تصویر دو کنترل کننده‌ی دور موتورهای (ac و dc) نشان داده شده است.

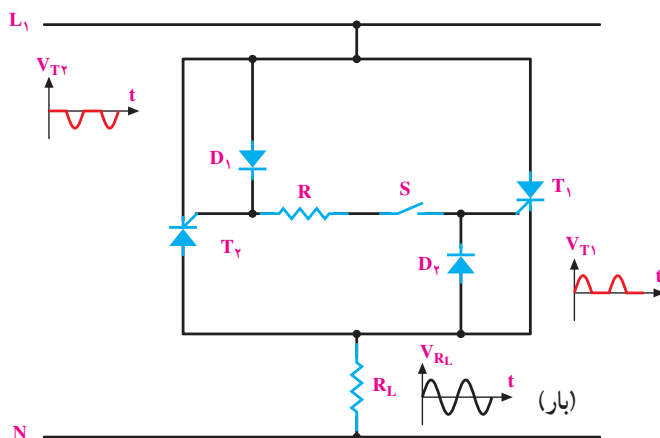


شکل ۴-۴۱

## ۴-۱۵- کنتاکتور الکترونیکی

در مدارات الکترونیکی از ترکیب دو ترستور مخالف موازی می‌توان ترکیبی را ساخت که به صورت کلید یا رگولاتورهای فازی به کار می‌روند. اصطلاحاً به این مدارات «کنتاکتورهای الکترونیکی» گویند. کنتاکتورهای الکترونیکی نسبت به کنتاکتورهای الکترومغناطیسی دارای این مزایا هستند:

- الف - زمان جواب گرفتن از آن‌ها بسیار کوتاه است.
  - ب - قطع دائم مدار در زمانی که جریان در آن صفر شود.
  - ج - کنتاکت‌های فلزی در آن وجود ندارند.
  - د - این سیستم بی‌سر و صدا کار می‌کند.
  - ه - امکان فرستادن فرمان برای قدرت‌های کوچک یا خیلی بزرگ وجود دارد (مانند ماشین‌های جوش کاری).
- شکل ۴-۴۲ تصویری از مدار کنتاکتور الکترونیکی است. در این مدار دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  به عنوان یک سوکننده و  $R$  به منظور کنترل جریان گیت ترستورها به کار برده شده‌اند. در نیم‌سیکل مثبت،  $T_1$  در بایاس موافق و در نیم‌سیکل منفی

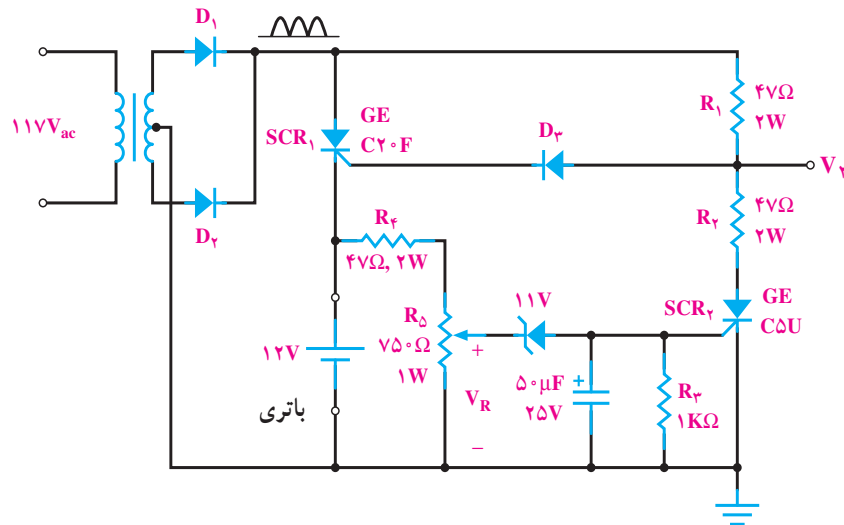


شکل ۴-۴۲

## ۱۶-۴- رگولاتور شارژ باتری

باتری است. اجزا و عناصر اصلی چنین مداری در شکل ۴-۴۳ دیده می‌شود.

از جمله کاربردهای مشهور SCR در رگولاتورهای شارژ



شکل ۴-۴۳- رگولاتور شارژ باتری

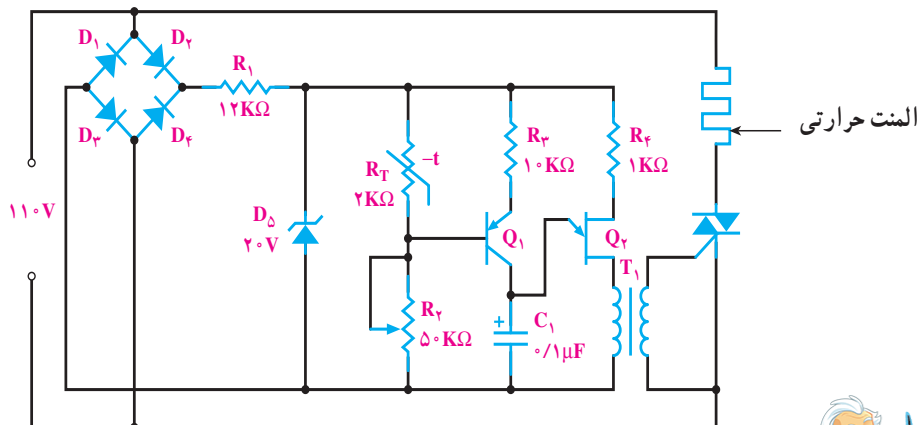
جریان به گیت، ترستور  $SCR_2$  روشن و مدار از طریق دو مقاومت  $R_2$  و  $SCR_2$  بسته می‌شود که در نتیجه ولتاژ خروجی یک سوساز بین آن‌ها تقسیم خواهد شد. در این حالت هم چنین ولتاژ دوسر مقاومت  $R_2$  (گره  $V_p$ ) به اندازه‌ای نیست که ترستور  $SCR_1$  را روشن کند؛ از این رو مدار  $SCR_1$  قطع می‌گردد و عمل شارژ به صورت اتوماتیک متوقف می‌شود.

طرز کار مدار بدین صورت است که ابتدا ولتاژ متناوب به وسیله دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  یک سو شده و به آند  $SCR_1$ ، هم چنین از طریق مقاومت  $R_1$  و دیود  $D_3$  به گیت ترستور  $SCR_1$  به منظور تحریک اعمال می‌شود. با روشن شدن  $SCR_1$  شارژ باتری آغاز خواهد شد. در شروع شارژ ولتاژ کم باتری به صورت یک افت ولتاژ کوچک در بین دو مقاومت  $R_2$  و  $R_5$  تقسیم می‌شود. این ولتاژ ابتدا نمی‌تواند دیود زنر را که در بایاس معکوس است به هدایت ببرد.

## ۱۷-۴- کنترل اتوماتیک درجه‌ی حرارت المان حرارتی

در شکل ۴-۴۴ مدار کنترل کننده‌ی اتوماتیک درجه‌ی حرارت المان حرارتی نشان داده شده است. یکی از قطعات مدار

با ادامه‌ی عمل شارژ، ولتاژ باتری به حدی می‌رسد که ولتاژ دوسر مقاومت  $R_5$  ( $V_R$ ) به اندازه‌ای می‌رسد که می‌تواند دیود زنر و  $SCR_2$  را روشن کند. با هادی شدن دیود زنر و رسیدن



شکل ۴-۴۴

مقاومت با ضریب حرارتی منفی (NTC) است. این مقاومت حرارتی به همراه مقاومت  $R_2$  بایاس بیس ترانزیستور  $Q_1$  را به عهده دارد. ولتاژ متناوب ورودی (برق شهر) به وسیله‌ی مدار پل یک سوساز تمام موج یک سو می شود و از طریق مقاومت  $R_1$  به مدار کنترل اعمال می گردد. مقدار موج یک سو شده به وسیله‌ی دیود زener روی  $20$  ولت تثبیت می شود.  $R_2$  به گونه‌ای تنظیم می شود که  $Q_1$  در درجه‌ی حرارت معین که از قبل تعیین شده قطع گردد. وقتی  $Q_1$  قطع است، خازن  $C_1$  نمی تواند شارژ کند. در نتیجه، گیت UJT تحریک نمی شود و UJT قطع می گردد. با قطع UJT پالسی ایجاد نمی شود تا گیت ترایاک را تحریک کند؛ از این رو ترایاک قطع و المنت حرارتی خنک خواهد بود. با خنک بودن المنت حرارتی NTC که بدنه‌ی آن به المنت نزدیک

است خنک می گردد و مقاومت آن زیاد می شود. زیاد شدن مقاومت NTC سبب افزایش ولتاژ امیتر – بیس  $Q_1$  شده،  $Q_1$  وصل می شود؛ هم چنین جریان کلکتور  $Q_1$  خازن  $C_1$  را شارژ می کند، با شارژ خازن، گیت UJT تحریک می شود و UJT وصل می کند. پالس ایجاد شده گیت ترایاک را تحریک می کند و ترایاک وصل می شود. در نتیجه از المنت جریان عبور نموده آن را گرم می کند.

هرگاه حرارت المنت از حد تعیین شده تجاوز کند مقاومت NTC آن قدر کاهش می یابد که سبب قطع  $Q_1$  و در نهایت، موجب قطع ترایاک می شود، این امر جریان المنت را قطع می کند و سبب خنک شدن آن می شود.

- ۱- ساختمان داخلی و اساس کار دیود چهارلایه را توضیح دهید.
- ۲- ساختمان داخلی SCR را توضیح داده، شرایط هدایت آن را بنویسید.
- ۳- با رسم مدار روش آزمایش ترستور را توضیح دهید.
- ۴- مدار کنترل جریان ترستوری را رسم نموده، طرز کار آن را توضیح دهید.
- ۵- نقش مقاومت  $R_T$  و ترانزیستور  $T_r$  در مدار چشم الکترونیک چیست؟
- ۶- «دیاک» چیست و نحوه ی بایاس آن چگونه است؟
- ۷- نقشه ی مدار کنترل کننده ی دور موتور اونیورسال نیم موج را رسم کرده، طرز کار آن را توضیح دهید.
- ۸- روشهای روشن کردن ترایاک را به همراه رسم مدارهای مربوط شرح دهید.
- ۹- نقش خازن  $C_1$ ،  $C_2$  و DIAC در نقشه ی دیمر (کاربرد ترایاک) چیست؟
- ۱۰- ساختمان داخلی UJT را به همراه رسم علامت اختصاری آن توضیح دهید.
- ۱۱- مدار بایاس ترانزیستور UJT را رسم کرده، طرز کار آن را توضیح دهید.
- ۱۲- ترستور گیت آندی (PUT) را از نظر ساختمان داخلی توضیح دهید.
- ۱۳- مزایای PUT نسبت به UJT را برشمارید و کاربردهای آن را تشریح کنید.
- ۱۴- مدارهای یک سوساز کنترل شده (ترستوری) نیم موج و تمام موج را برای حالات زیر رسم نموده، شکل موج ولتاژ خروجی مدار را برای زاویه ی آتش  $\alpha = 3^\circ$  رسم کنید.
- الف - تک فاز  
ب - سه فاز
- ۱۵- نقش دیود  $D_1$  در مدار کنترل دور موتور dc چیست؟
- ۱۶- مدار کنتاکتور الکترونیکی را رسم نمایید و به این سؤالات پاسخ دهید.
- الف - طرز کار  
ب - زمینه ی کاربردی  
ج - رسم شکل موج های ورودی و خروجی
- ۱۷- در مدار رگولاتور شارژ باتری، نقش دیود  $D_3$  و مقاومت  $R_5$  و ترستور  $SCR_2$  چیست؟
- ۱۸- در نقشه مدار کنترل کننده ی اتوماتیک درجه ی حرارت یک المان حرارتی شکل ۴-۴۴، نقش عناصر  $T_1$ ،  $D_5$ ،  $Q_2$ ،  $Q_1$ ، NTC چیست؟