فصل پنجم

عناصر نیمه‌هادی خاص

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

۱ــ قطعات نیمه‌هادی چهارلایه را تعریف کند.

۲ــ تریستور را به‌صورت یک دیود قابل کنترل شرح دهد.

۳ــ SCR را با کلید مقایسه کند.

۴ــ تست SCR را از نظر سالم بودن و پایه‌ها تشریح کند.

۵ ــ مدار ساده‌ی تریستوری را توضیح دهد.

۶ــ «Triac» را به‌صورت یک کلید قابل کنترل با جریان AC شرح دهد.

۷ــ چگونگی روشن کردن Triac را تشریح کند.

۷ــ Diac را به‌صورت یک دیود AC شرح دهد.

۹ــ UJT و PUT را تشریح کند.

۱۰ــ مدارهای کاربردی ساده (منبع تغذیه، یک‌سوساز با SCR و ...) را شرح دهد.

مقدمه

در فصول گذشته 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، هم‌چنین با یکی از کاربردهای آن که در مدارهای یک‌سوساز است آشنا شدید. به‌طور کلی مدارات یک‌سوساز را از نظر عناصر به‌کار رفته، هم‌چنین چگونگی عملکرد به سه دسته می‌توان تقسیم نمود :

۱ــ مدارات یک‌سوساز کنترل نشده (دیودی)،

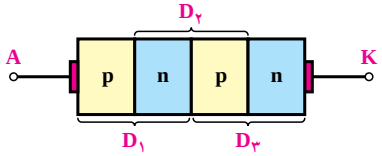
۲ــ مدارات یک‌سوساز نیمه‌کنترل شده (دیودی و تریستوری)،

۳ــ مدارات یک‌سوساز تمام کنترل شده (تریستوری).

مدارات یک‌سوسازی که در فصل‌های پیشین بررسی شدند از جمله مدارات یک‌سوساز کنترل‌نشده بودند، زیرا مقدار و شکل موج یک‌سو شده‌ی خروجی در اختیار ما نبود، اما به‌کارگیری مدارات یک‌سوساز کنترل‌شده این امکان را به وجود می‌آورد که بتوانیم تأثیر و تغییراتی را در وضعیت شکل موج خروجی ایجاد نماییم. دراین‌گونه مدارات از دیودهای یک سو ساز خاصی استفاده می‌شود که برای بررسی و توضیح آن‌ها لازم است تا ساختمان داخلی این نیمه‌هادی‌ها را بشناسیم.

۱ــ۵ــ دیود چهارلایه (دیود شاکلی)

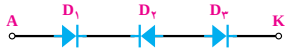
این دیود خاص از چهار لایه‌ی نیمه‌هادی PNPN که به‌طور سری و به‌تناوب از نوع P و N هستند درست شده است. همان‌گونه که در شکل ۱ــ۵ مشاهده می‌شود دو لایه‌ی خارجی



شکل ۱ــ۵

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

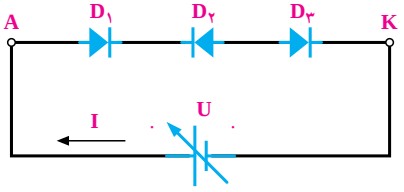
در واقع با توجه به‌شکل ۱ــ۵ می‌توان گفت : مدار معادل این نیمه‌هادی از سه دیود D_1 و D_2 و D_3 تشکیل شده است که آن‌را به‌صورت شکل ۲ــ۵ــالف نیز می‌توان نشان داد. علامت اختصاری دیود شاکلی به صورت شکل ۲ــ۵ــب است.



شکل ۲ــ۵ ــ الف

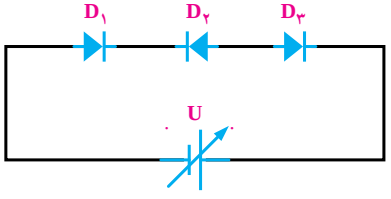
شکل ۲ــ۵ ــ ب

درصورت اعمال ولتاژ بر دوسر این نیمه‌هادی‌ها (بایاس کردن نیمه‌هادی) جریانی از آن عبور نمی‌کند، زیرا همان‌گونه که در شکل‌های ۳ــ۵ و ۴ــ۵ ملاحظه می‌شود، اگر بایاس دیود به‌صورت شکل ۳ــ۵ باشد دیودهای D_1 و D_3 در بایاس موافق



شکل ۳ــ۵

و دیود D_2 در بایاس مخالف قرار می‌گیرد ؛ هم‌چنین اگر نیمه‌هادی را به‌صورت شکل ۴ــ۵، اتصال دهیم، جریانی از مدار عبور

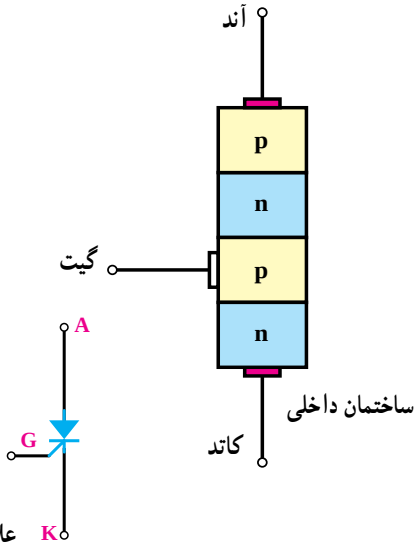


شکل ۴ــ۵

نخواهد کرد ؛ زیرا دیودهای D_1 و D_3 در بایاس مخالف قرارگرفته، فقط دیود D_2 که در وسط است در بایاس موافق خواهد بود. شرط استفاده از این دیود چهار لایه آن است که در هریک از مدارات شکل ۳ــ۵ و ۴ــ۵ ولتاژ مدار را افزایش دهیم تا به‌مقداری بیش‌تر از ولتاژهای شکست دیودهای D_2 یا D_1 و D_3 برسد. این عمل در قطعات خاص هم‌چون تریستور، دیاک، ترایاک و... انجام می‌شود.

۲ــ۵ــ تریستور (SCR)

تریستور یا SCR[1] یک عنصر نیمه‌هادی چهارلایه ــ با ساختمان داخلی PNPN ــ بوده، شامل سه پیوند PN است. رفتار آن نیز مانند دیودهای چهارلایه است. برای هادی شدن تریستور، چون اعمال ولتاژ زیاد به‌دوسر یک دیود چهارلایه مشکل و در بعضی موارد غیرممکن است، برای رفع این عیب در ساختمان SCR یک پایه که به لایه‌ی P میانی متصل می‌شود در نظر گرفته شده که اصطلاحاً به‌آن «گیت» (G)[2] یا «پایه‌ی فرمان» یا «پایه‌ی آتش‌زنه» گفته می‌شود. در شکل ۵ ــ۵ ساختمان داخلی و علامت اختصاری یک SCR (تریستور گیت‌کاتدی) را مشاهده می‌کنید.

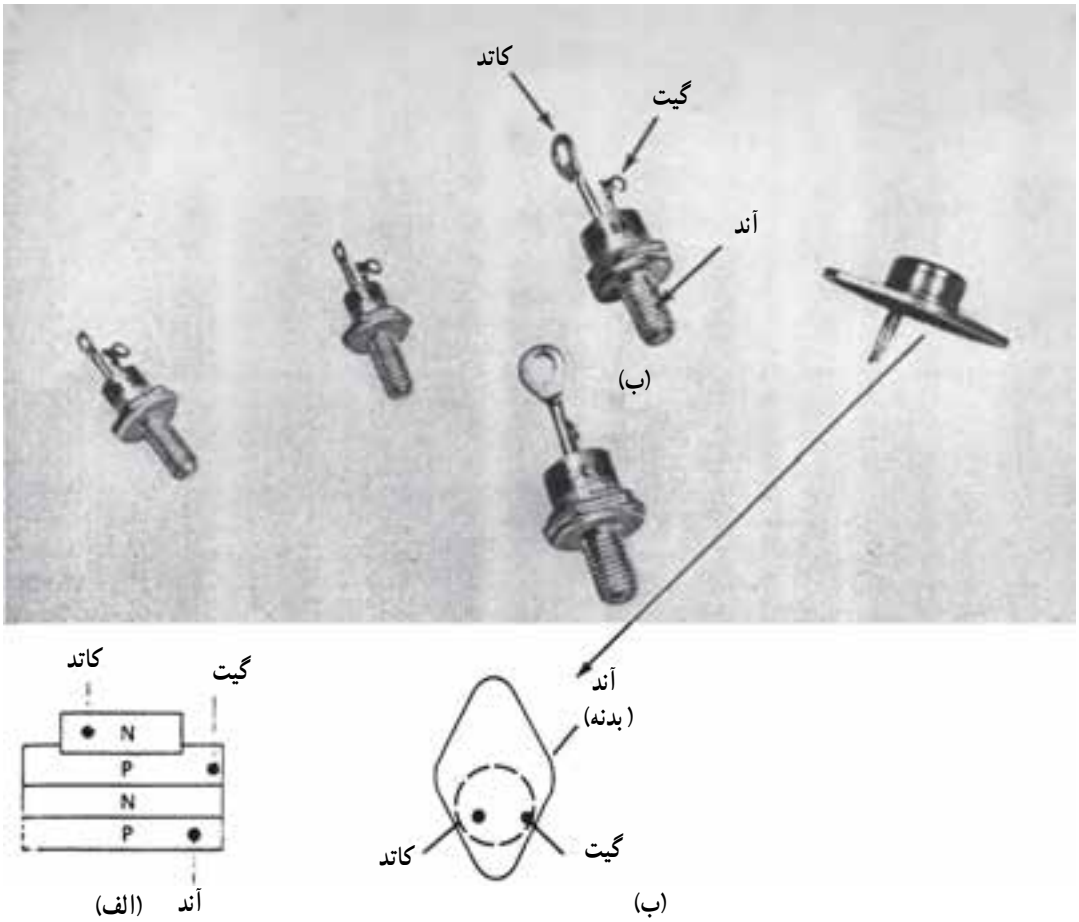


شکل ۵ــ۵ــ ساختمان داخلی، شکل ظاهری و علامت اختصاری تریستور

۱ــ SCR = Silicon Controlled Rectifier

۲ــ G = Gate

در شکل ۶ــ۵ تصویر چند تریستور نشان داده شده است.



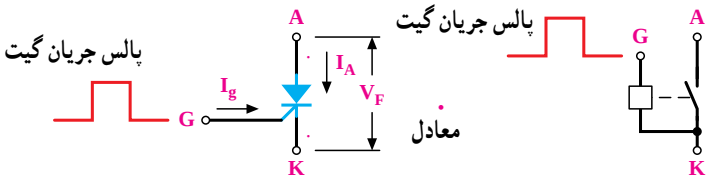
شکل ۶ــ۵ ــ الف ــ ساختمان اصلی (داخلی) یک‌سوکننده‌ی کنترل سیلیکونی ، ب ــ شکل ظاهری

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

الف ــ هرگاه ولتاژ آند نسبت به کاتد مثبت باشد، به‌طوری که بر ولتاژ سد لایه‌های میانی P و N غلبه کند (مانند دیود).

ب ــ در صورتی که ولتاژ مثبتی بین آند و کاتد وجود داشته باشد و جریانی نیز به پایه‌ی گیت تزریق شود تریستور هدایت خواهد کرد.

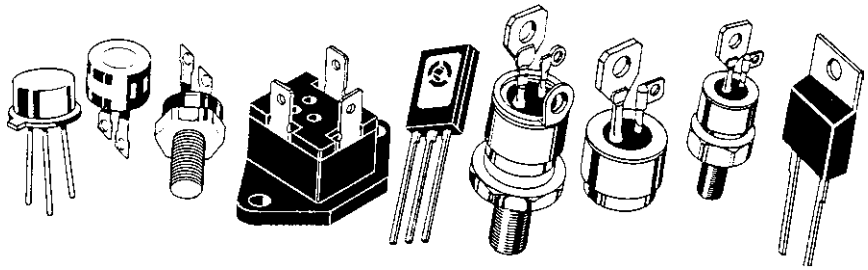
درواقع تریستور، مشابه کلیدی است که کنترل آن از طریق گیت امکان‌پذیر است (شکل ۷ــ۵).



شکل ۷ــ۵

از این قطعه به‌صورت تنظیم‌کننده‌ی جریان بار مصرف‌کننده و قطع و وصل کننده در انواع مدارات کنترل‌کننده استفاده می‌شود که از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به شارژ باتری‌ها، کنترل نور و کنترل دور اشاره کرد.

شکل ۸ ــ۵ نمونه‌های دیگری از اشکال مختلف تریستورهاست.



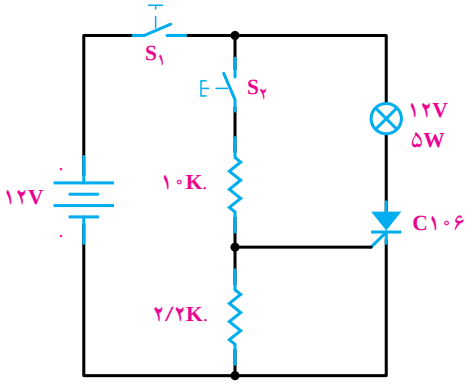
شکل ۸ــ۵

۳ــ۵ــ تشخیص پایه‌های تریستور

تعیین پایه‌های تریستور از روی شکل ظاهری، غیرممکن بوده، هم‌چنین استفاده از اهم‌متر روش مطمئن و کلی نیست ؛ از این‌رو بهترین روشی که برای تشخیص پایه‌های تریستور توصیه می‌شود استفاده از کتاب مشخصات است.

۴ــ۵ــ تست تریستور

در این روش با کمک مداری مطابق شکل ۹ــ۵ و به‌وسیله‌ی آزمایش به سالم‌بودن تریستور می‌توان پی‌برد.



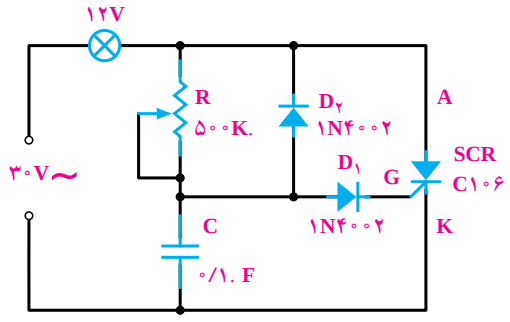
شکل ۹ــ۵

در این مدار با اتصال کلید S_1 جریان از یک سمت به لامپ و آند تریستور می‌رسد، اما چون تریستور در وضعیت هدایت قرار ندارد جریانی از آند به کاتد عبور نمی‌کند و لامپ خاموش است. به‌محض این‌که کلید S_2 وصل شود جریانی از طریق مقاومت ۱۰ کیلواهمی به گیت تریستور اعمال شده، درنتیجه سبب می‌شود تا تریستور عمل کند و جریانی از سمت آند آن به سمت کاتد فرستاده شود و بدین‌ترتیب، لامپ روشن می‌شود ؛ حتی با قطع کلید S_2 نیز در همان حال باقی می‌ماند، زیرا جریان لازم برای پایدار ماندن تریستور در حالت وصل کلید S_2 تأمین شده و تریستور مانند کلید بسته در همان وضعیت باقی می‌ماند. از این آزمایش می‌توان نتیجه‌گرفت که تریستور مورد نظر سالم است. درصورتی‌که واکنش‌هایی به‌غیر از موارد اشاره شده داشته باشیم نشان‌دهنده‌ی خرابی تریستور است.

۵ ــ۵ــ مدارهای ساده‌ی تریستوری

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

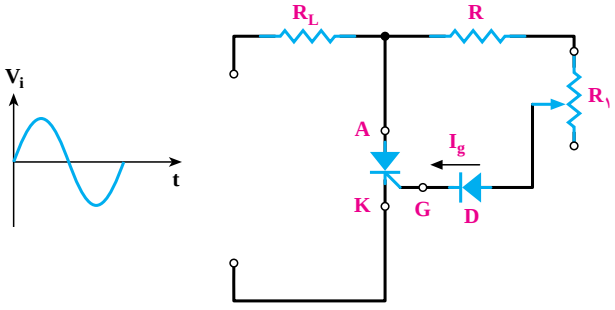
۱ــ ۵ ــ۵ــ مدار دیمر: در شکل ۱۰ــ۵ مدار یک



شکل ۱۰ــ۵

دیمر[1] با استفاده از SCR نشان داده شده است. در نیم‌سیکل مثبت که آند SCR نسبت به کاتد آن مثبت‌تر است باید SCR وصل شود. برای وصل شدن SCR باید گیت آن را تحریک نمود. خازن C از طریق R شروع به شارژ می‌کند، وقتی ولتاژ آن به‌حدود ۱/۴ ولت رسید (۰/۷ ولت برای وصل D_1 و ۰/۷ ولت برای تحریک گیت SCR)، در این لحظه D_1 وصل و هدایت می‌کند و جریان از گیت تریستور می‌گذرد و SCR وصل می‌شود. با وصل‌شدن SCR جریان از لامپ گذشته، لامپ روشن می‌شود؛ با صفر شدن نیم‌سیکل مثبت، SCR قطع می‌شود و در تمام زمان نیم‌پریود منفی، SCR خاموش خواهد بود. در نیم‌سیکل منفی دیود D_2 وصل بوده، خازن C را شارژ می‌کند. دیود D_1 که در این نیم‌سیکل قطع است، مانع اعمال ولتاژ منفی خازن به گیت SCR می‌شود. در نیم‌سیکل مثبت بعدی ابتدا خازن دشارژ، سپس از طریق R مجدداً شارژ می‌شود و عمل وصل SCR تکرار می‌شود. به‌این ترتیب، با تغییر مقاومت R می‌توانیم در نیم‌پریود مثبت، ولتاژ شارژ خازن را در حدود وسیعی کنترل نموده، سرانجام جریان بار را بین صفر تا ۱۸۰درجه از سیگنال ورودی کنترل کنیم.

۲ــ ۵ ــ۵ــ مدار کنترل جریان: در شکل ۱۱ــ۵ مداری نشان داده می‌شود که قادر است زاویه‌ی هدایتی بین ۰ تا ۹۰ درجه داشته باشد. هدایت تریستور را زاویه‌ی آتش (.) می‌نامند. در نیم‌سیکل مثبت دیود D وصل می‌کند و سبب عبور جریان در گیت SCR می‌شود. البته مقاومت‌های R و R_1 جریان

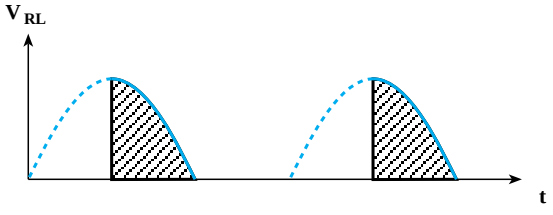


شکل ۱۱ــ۵

گیت را کنترل می‌نمایند. افزایش R_1 سبب کاهش جریان گیت شده و زمان تحریک، به تأخیر می‌افتد.

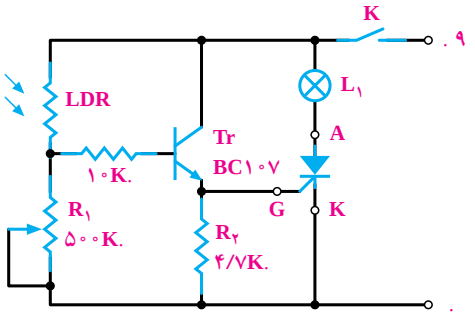
با کاهش مقاومت R_1 جریان گیت افزایش می‌یابد و SCR می‌تواند زودتر روشن شود. به‌این ترتیب، با تغییر R_1 می‌توان در هر لحظه بین ۰ تا ۹۰ تریستور را هادی نمود.

با هادی شدن SCR جریان از طریق SCR از بار عبور نموده در دو سر آن افت می‌کند. در شکل ۱۲ــ۵ ولتاژ دو سر R_L را در زاویه‌ی آتش ۹۰ مشاهده می‌کنید. در این مدار رسیدن به زوایای بیشتر از ۹۰ امکان‌پذیر نیست به دلیل این‌که مقادیر موج در زوایای ۹۰ تا ۱۸۰ قبلاً به وجود آمده‌اند. در نیم‌سیکل منفی SCR قطع است.



شکل ۱۲ــ۵

۳ــ ۵ ــ۵ ــ کاربرد مقاومت تابع نور و SCR به‌عنوان چشم الکترونیک: در شکل ۱۳ــ۵ مدار چشم الکترونیک رسم شده است. چشم الکترونیک مداری است که نسبت به نور حساس بوده، عکس‌العمل نشان می‌دهد.



شکل ۱۳ــ۵

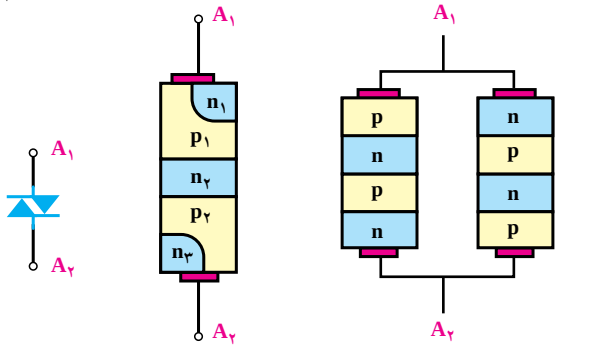
۱ــ dimmer به مداراتی که می‌توانند نور لامپ را کنترل کنند، تاریک کننده یا دیمر گویند.

وقتی نور به مقاومت LDR نمی‌تابد مقاومت آن زیاد بوده و چون جریانی از بیس ترانزیستور نمی‌گذرد، Tr قطع است. به‌محض تابش نور مقاومت LDR کم می‌شود ؛ درنتیجه، جریان عبوری از LDR زیاد شده ترانزیستور Tr را فعال می‌کند. عبور جریان از امیتر ترانزیستور سبب تحریک گیت SCR و روشن‌شدن آن شده و لامپ L_1 روشن می‌گردد. مقاومت متغیر ۵۰۰K. برای تنظیم ولتاژ بین دو پایه بیس و امیتر ترانزیستور یا به‌عبارت دیگر حساسیت مدار نسبت به نور در مدار به‌کار رفته است.

۶ــ۵ــ دیاک[1]

دیاک یک قطعه الکترونیکی است که معادل آن را به‌صورت دو دیود چهار لایه‌ی موازی و معکوس مانند شکل۱۴ــ۵ــ الف می‌توان نشان داد. دیاک در هر دو جهت تحریک می‌شود. درواقع دیاک دیود جریان متناوب بوده و دارای دوپایه است. واژه‌ی «diac» اختصارشده‌ی دیود جریان متناوب **diode ac** است.

ترتیب لایه‌های نیمه‌هادی دیاک به‌همراه علامت اختصاری آن در شکل ۱۴ــ۵ نشان داده شده است. این قطعه دارای دوپایه است که تحت عنوان آند یک (A_1) و آند دو (A_2) می‌شناسیم.



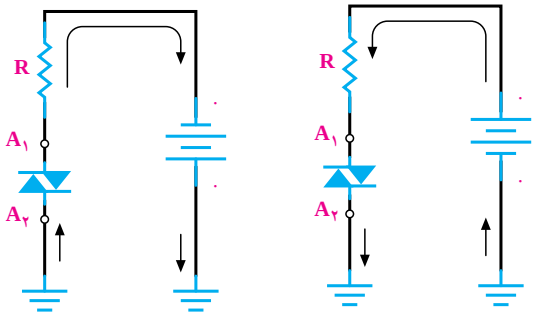
الف ــ لایه‌های تفکیک شده ب ــ ساختمان داخلی ج ــ علامت اختصاری

شکل ۱۴ــ۵ــ 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 سالم‌بودن دیاک را به‌وسیله‌ی اهم‌متر نمی‌توان انجام داد، زیرا اهم‌متر از هر دو طرف مقدار مقاومت . را نشان می‌دهد. ولتاژهای شکست (ولتاژ هدایت) دیاک‌ها بین ۲۵ تا ۴۲ ولت است. نوع متداول آن دارای ولتاژ شکست ۳۵ . ولت است.

نحوه‌ی عملکرد دیاک چنین است : تا زمانی‌که 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_2 ، n_2 ، P_1 و n_1 هستند. در شکل ۱۵ــ۵ چگونگی هدایت جریان در دو بایاس مختلف یک دیاک نشان داده شده است.

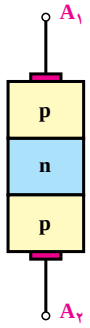


الف ــ بایاس از A_2 به A_1 ب ــ بایاس از A_1 به A_2

شکل ۱۵ــ۵

بزرگ‌ترین مزیت و کاربرد دیاک استفاده در ولتاژهای AC است، زیرا از هر دو سو هدایت می‌کند (نیم‌سیکل منفی و نیم‌سیکل مثبت). از دیاک به‌عنوان عنصر فرمان در مدارهای کنترل‌کننده‌ی توان نیز استفاده می‌شود.

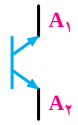
نمونه‌ی دیگری از دیاک وجود دارد که به‌صورت سه لایه PNP است (شکل ۱۶ــ۵)، اما از نظر علامت اختصاری مانند دیاک ۵ لایه نشان داده می‌شود.



شکل ۱۶ــ۵ــ ساختمان دیاک سه‌لایه به همراه شکل واقعی

۱ــ DIAC

در مدارات الکترونیکی دیاک را با علامت اختصاری شکل ۱۷ــ۵ نیز نشان می‌دهند.

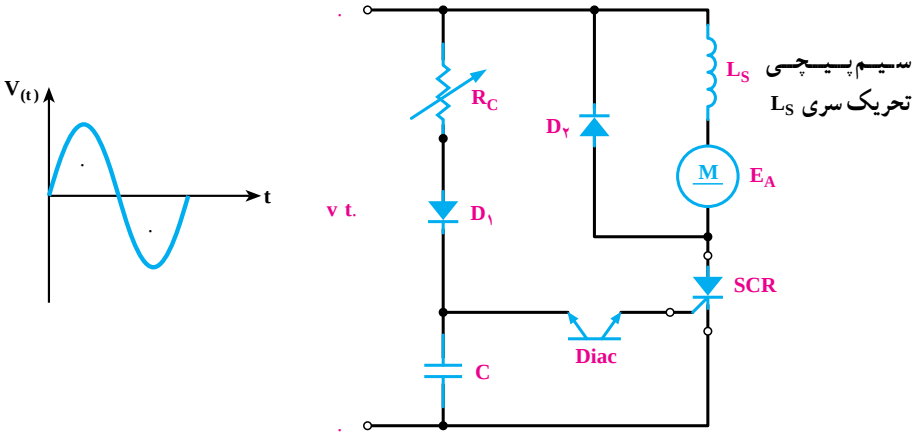


شکل ۱۷ــ۵ــ علامت اختصاری دیگری از دیاک سه لایه

در شکل ۱۸ــ۵ یک مدار کاربردی برای دیاک نشان داده شده است.

طرز کار مدار شکل ۱۸ــ۵ بدین‌صورت 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 می‌شود و جریان را هدایت کرده، موتور شروع به حرکت می‌کند.

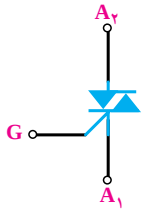
در نیم‌سیکل منفی چون دیود D_1 بایاس مخالف می‌شود ؛ پس جریانی به خازن و دیاک نمی‌رسد، اما موتور می‌تواند جریان خود را از طریق مسیر دیود D_2 (انرژی سیم‌پیچ L_S) دریافت نموده و به‌حرکت خود ادامه دهد. با تغییر مقدار مقاومت R_C در واقع زاویه‌ی آتش تریستور، به عبارت دیگر مقدار مؤثر ولتاژ اعمال شده به موتور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



شکل ۱۸ــ۵ ــ کنترل‌کننده‌ی موتور اونیورسال نیم‌موج

۷ــ۵ ــ ساختمان ترایاک[1]

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 ۱۹ــ۵ نمای مداری ترایاک نشان داده شده است.

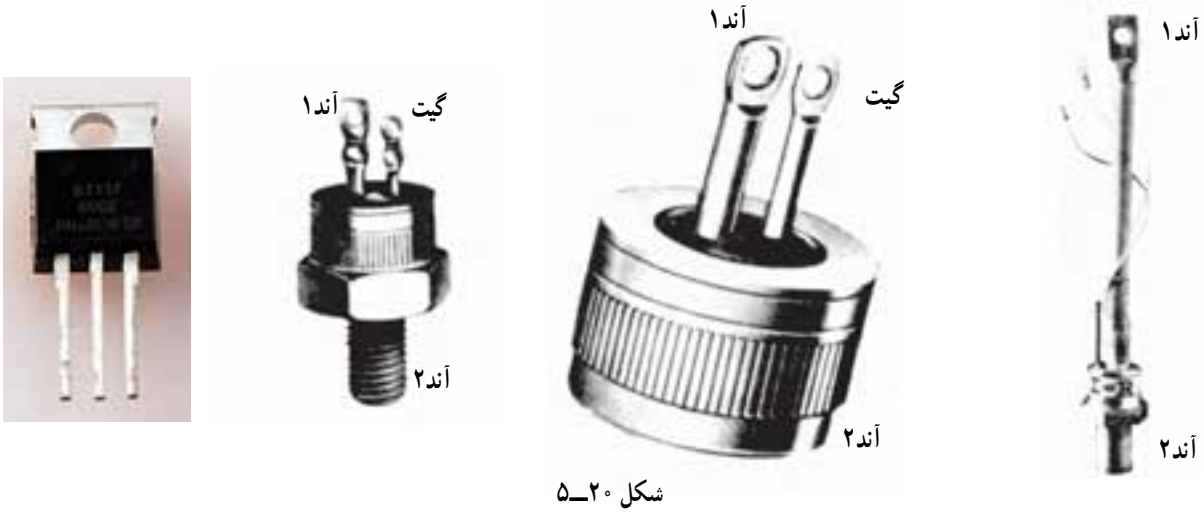


شکل۱۹ــ۵ ــ علامت اختصاری ترایاک

۱ــ TRIAC

پایه‌های ترایاک «آند یک» (A_1) و «آند دو» (A_2) و «گیت» (G) نام دارند. در شکل ۲۰ــ۵ تصویر ظاهری چند ترایاک رسم شده است.

عمل تحریک توسط پایه‌ی گیت انجام می‌گیرد.

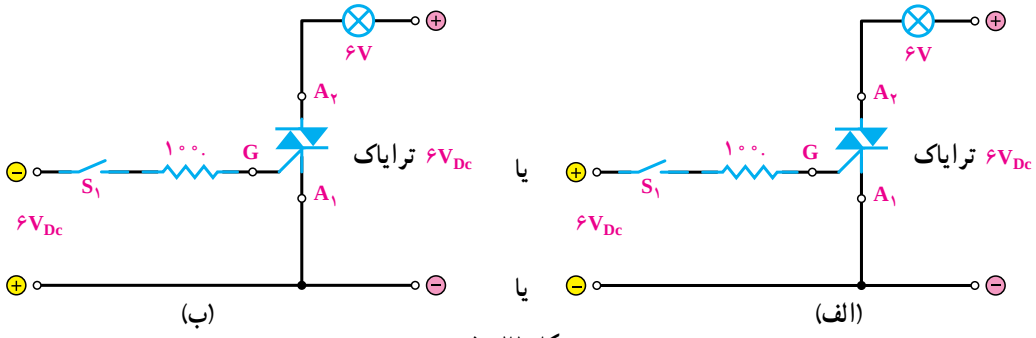


شکل ۲۰ــ۵

۸ ــ۵ــ روشن کردن ترایاک (تریگر کردن ترایاک)

ترایاک را می‌توان با چهار روش وصل نمود.

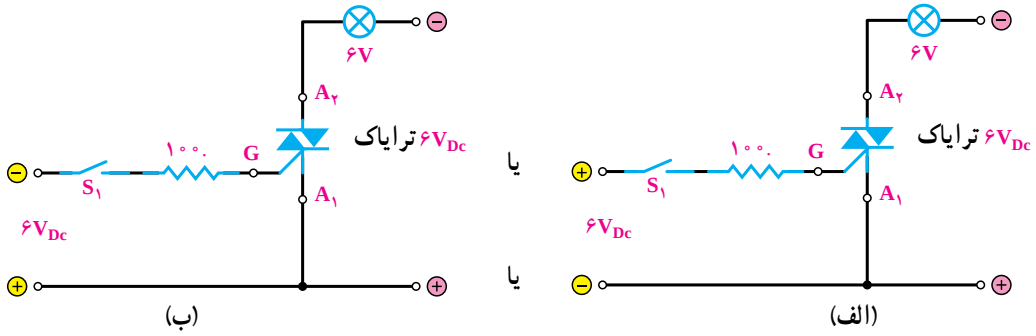
الف ــ اگر A_2 نسبت به A_1 به پتانسیل مثبت وصل شود و گیت نیز نسبت به A_1 ولتاژ مثبت یا منفی وصل گردد ترایاک تحریک شده و وصل می‌شود (شکل ۲۱ــ۵ ــ الف و ب).



شکل ۲۱ــ۵

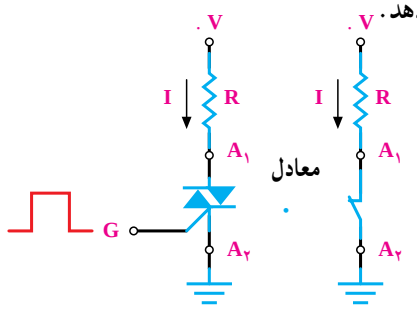
در شکل مشاهده می‌کنید اگر کلید S_1 وصل شود گیت نیز تحریک می‌شود و در حالت ایده‌آل ترایاک مانند یک کلید وصل عمل کرده، جریان از لامپ عبور می‌کند.

ب ــ اگر A_2 نسبت به A_1 به پتانسیل منفی وصل شود و گیت نیز نسبت به A_1 به ولتاژ مثبت یا منفی وصل گردد، ترایاک تحریک شده و وصل می‌شود. در شکل ۲۲ــ۵ــ الف و ب این حالت‌ها را مشاهده می‌کنید.



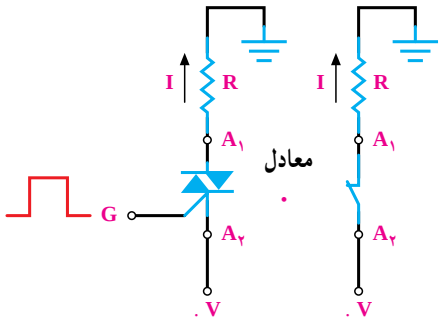
شکل ۲۲ــ۵

البته بهتر است هنگامی که A_1 نسبت به A_2 مثبت‌تر است گیت نسبت به A_2 تحریک شود. شکل ۲۳ــ۵ این حالت را نشان می‌دهد.



شکل ۲۳ــ۵

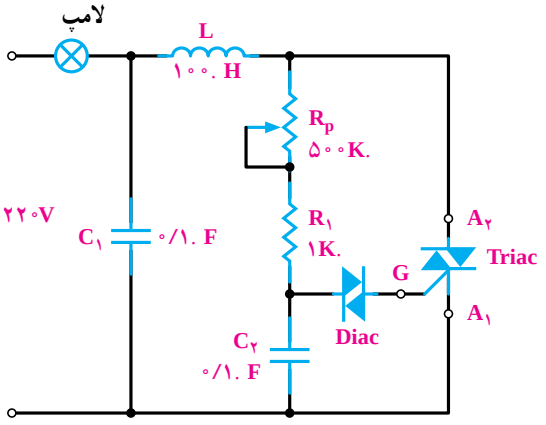
اگر A_2 نسبت به A_1 مثبت‌تر باشد گیت نسبت به A_1 تحریک می‌شود. در شکل ۲۴ــ۵ این حالت را مشاهده می‌کنید.



شکل ۲۴ــ۵

۹ــ۵ــ کاربرد ترایاک به‌صورت مدار دیمر

در شکل ۲۵ــ۵ مدار یک دیمر برای کنترل روشنایی نشان داده شده است.



شکل ۲۵ــ۵

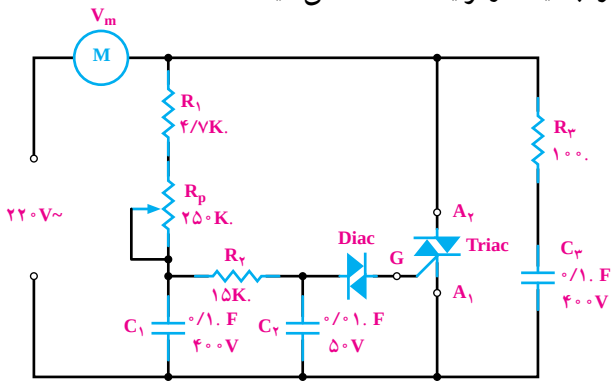
در دیمر چون جریان به‌صورت ناگهانی، ضربه‌ای و به‌طور مرتب قطع و وصل می‌شود، مقدار زیادی پارازیت به‌اطراف خود پخش می‌کند. خازن C_1 و سلف L برای حذف پارازیت است و از عبور پارازیت‌های فرکانس بالا به شبکه جلوگیری می‌کنند.

با تغییر پتانسیومتر زاویه‌ی برش و درنتیجه ولتاژ مؤثر دو سر بار را می‌توان تغییر داد. وقتی ولتاژ شارژ خازن C_2 به‌اندازه‌ی ولتاژ شکست دیاک رسید، دیاک وصل می‌کند؛ هم‌چنین خازن در داخل گیت به‌صورت ضربه‌ای خالی می‌شود و ترایاک را وصل می‌کند. این عمل عیناً در دو نیم‌سیکل مثبت و منفی تکرار می‌شود.

در مراکز صنعتی اگر بخواهند زاویه‌ی برش را به‌صورت اتوماتیک کنترل کنند باید به‌وسیله‌ی مداری پالس‌های الکتریکی کنترل‌پذیر ایجاد نمایند. یکی از این قطعات به‌منظور ایجاد پالس ترانزیستور UJT است.

۱۰ــ۵ــ کنترل دور موتور یونیورسال

در مدار شکل ۲۶ــ۵ کنترل کننده‌ی دور موتور یونیورسال را با دیاک و ترایاک مشاهده می‌کنید.

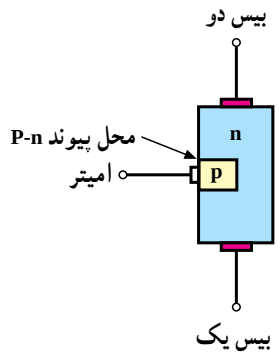


شکل ۲۶ــ۵

با شارژ خازن C_2 وقتی ولتاژ دو سر آن به‌اندازه‌ی ولتاژ شکست دیاک رسید، دیاک وصل می‌کند؛ هم‌چنین خازن در داخل گیت ترایاک به‌صورت 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_3 با خازن C_3 به‌منظور حذف پارازیت‌های ایجاد شده به شبکه است.

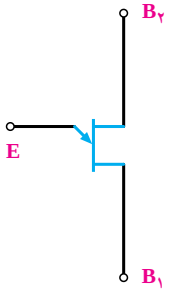
۱۱ــ۵ــ ترانزیستور UJT

UJT[1] یک نوع ترانزیستور تک‌اتصالی است. در ساختمان این ترانزیستور یک قطعه‌ی کوچک کریستال، نوع P روی یک کریستال نوع N متصل شده است (شکل ۲۷ــ۵).



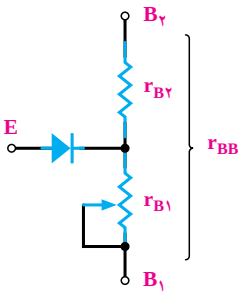
شکل ۲۷ــ۵

در شکل ۲۸ــ۵ علامت اختصاری UJT رسم شده است.



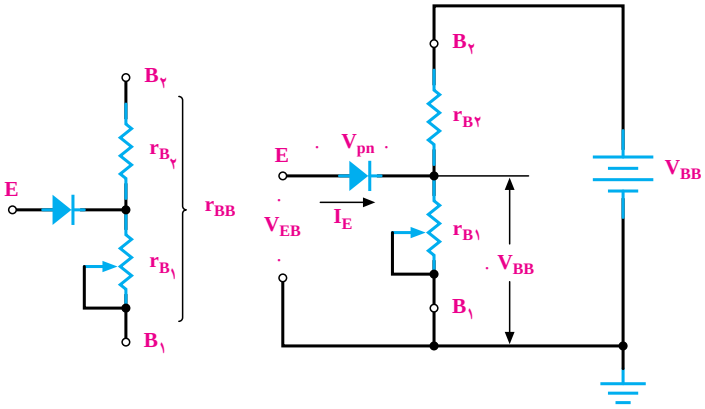
شکل ۲۸ــ۵

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 به‌هم 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 کیلواهم تا ۱۰ کیلواهم است. امیتر نسبت به B_1 و B_2 مانند دیود عمل می‌کند. در شکل ۲۹ــ۵ مدار معادل UJT رسم شده است.



شکل ۲۹ــ۵

۱ــ۱۱ــ۵ــ طرز کار UJT: هرگاه منبع ولتاژ V_{BB} را مطابق شکل ۳۰ــ۵ به دو پایه‌ی B_1 و B_2 وصل کنیم، به‌علت مقاومت زیاد بین دو بیس (B_1 تا B_2) جریان کمی از منبع کشیده می‌شود؛ هم‌چنین منبع ولتاژ V_{BB} بین دو مقاومت r_{B_2} و r_{B_1} تقسیم ولتاژ می‌گردد. افت ولتاژ دو سر r_{B_1} یعنی ولتاژ کاتد دیود E (امیتر) و B_1 (بیس شماره‌ی ۱) برابر است با :



شکل ۳۰ــ۵

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

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

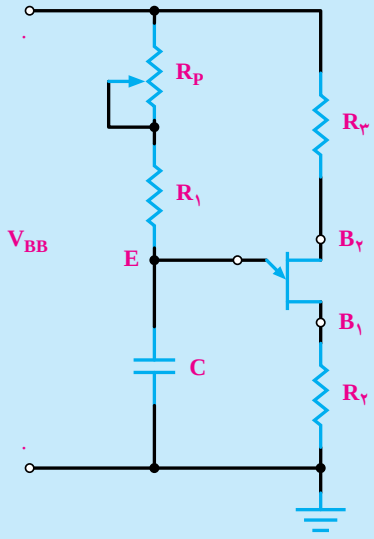
$$Vr_{B_1} = \eta V_{BB}$$

۱ــ UJT - Uni Junction Transistor

اگر ولتاژ اعمال شده به امیتر نسبت به B_1 به‌حدی برسد که دیود امیتر وصل کند (این ولتاژ که ولتاژ «آتش‌امیتر» نام دارد برابر ولتاژ وصل دیود . V_{BB} . است)، بارهای کریستال P وارد منطقه‌ی کریستال N می‌شوند و مقاومت r_{BB} به سرعت کاهش می‌یابد و از منبع V_{BB} جریان زیاد کشیده می‌شود.

مطالعه‌ی آزاد

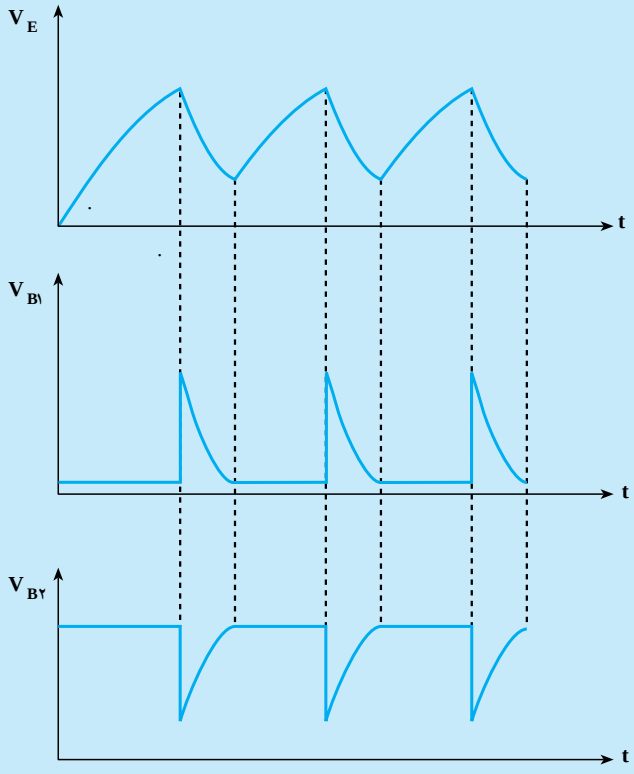
۲ــ۱۱ــ۵ــ کاربرد UJT به‌صورت مولّد موج دندانه ارّه‌ای و پالس: در شکل ۳۱ــ۵ مدار مولّد موج (اسیلاتور یا نوسان‌ساز) با UJT رسم شده است.



شکل ۳۱ــ۵

خازن C از طریق R_1 و R_p شروع به شارژ می‌کند و ولتاژ دو سر خازن یعنی ولتاژ E به‌تدریج افزایش می‌یابد. هر وقت ولتاژ امیتر (E) به‌حدی برسد که بتواند UJT را هادی کند، دیود امیتر وصل می‌کند و مقاومت B_2 نسبت به B_1 کاهش می‌یابد. خازن C از طریق امیتر ــ بیس یک به‌سرعت 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 مولّد موج (اسیلاتور) UJT در حال کار است، سه نوع موج با فرکانس برابر، اما شکل‌های مختلف ایجاد می‌کند. در شکل ۳۲ــ۵ این سه‌موج رسم شده است.



شکل ۳۲ــ۵

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 دندانه‌ی ارّه‌ای ایجاد شده، در دستگاه‌هایی نظیر اسیلوسکوپ یا تلویزیون استفاده می‌کنند. پالس‌های ایجادشده را نیز برای تحریک گیت عناصری نظیر تریستور و ترایاک به‌کار می‌برند.

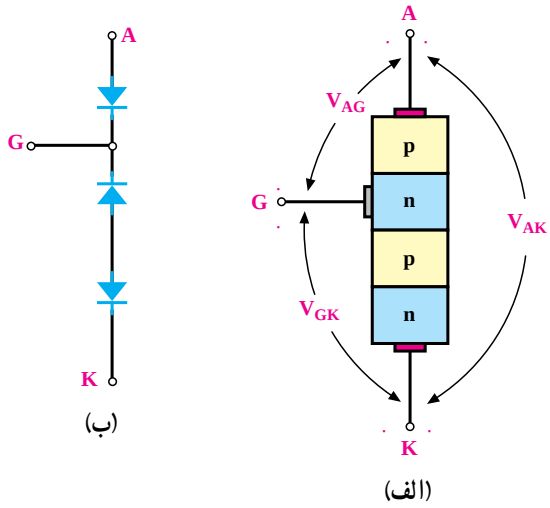
برای ساختن مدار می‌توان این مقادیر را به‌کار برد :

V_{BB} . ۱۰ ولت R_P . ۵۰۰K. R_1 . ۱K. C . ۱۰nF

R_2 . ۱۰۰. R_3 . ۱/۵K. UJT . ۲N۲۶۴۶

۱۲ــ۵ــ تریستور PUT

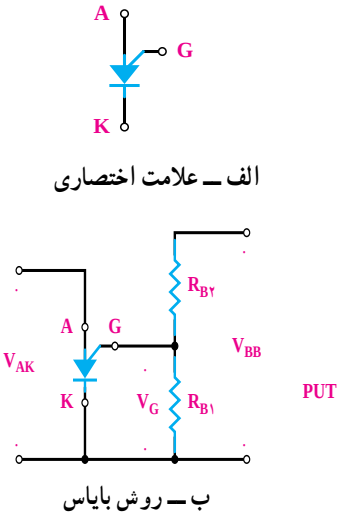
PUT[1] یا ترانزیستور تک‌قطبی قابل برنامه‌ریزی، یک تریستور سه‌پایه است که ساختمان داخلی آن از چهار لایه‌ی متناوب از نیمه‌هادی‌های نوع P و N تشکیل شده است. برخلاف تشابه اسمی که بین PUT و UJT (ترانزیستور تک‌قطبی) وجود دارد، ساختمان داخلی و شیوه‌ی کار کاملاً متفاوتی دارند. در شکل ۳۳ــ۵ــ الف و ب ساختمان PUT و معادل دیودی آن نشان داده شده است.



شکل ۳۳ــ۵

این قطعه دارای چهار لایه‌ی PnPn و یک گیت است که به لایه‌ی نوع n میانی اتصال دارد. علامت اختصاری PUT و اصول بایاس آن در شکل ۳۴ــ۵ مشاهده می‌شود.

همان‌گونه که از علامت اختصاری آن استنباط می‌شود این قطعه نیز در واقع SCR از نوع گیت آندی است. اصطلاح «برنامه‌ریزی» از این رو برای PUT به‌کار می‌رود چون به‌کمک مقاومت‌های بایاس آن R_{B_1} و R_{B_2}، هم‌چنین V_{BB} می‌توان آن را کنترل کرد. برای تحریک این نوع SCR باید به گیت ولتاژ منفی حدود ۰/۷ ولت نسبت به آند اعمال کرد.



شکل ۳۴ــ۵

PUT نسبت به UJT دارای امتیازاتی است که عبارت‌اند از :

الف ــ ولتاژ شکست آن، بالاتر است.

ب ــ قادر به کار در ولتاژهای پایین است.

ج ــ پالس‌های خروجی آن دارای ولتاژ بالاتری است.

د ــ ولتاژ تحریک آن قابل برنامه‌ریزی است.

هـ ــ قیمت آن کم و اندازه‌ی حقیقی آن کوچک است.

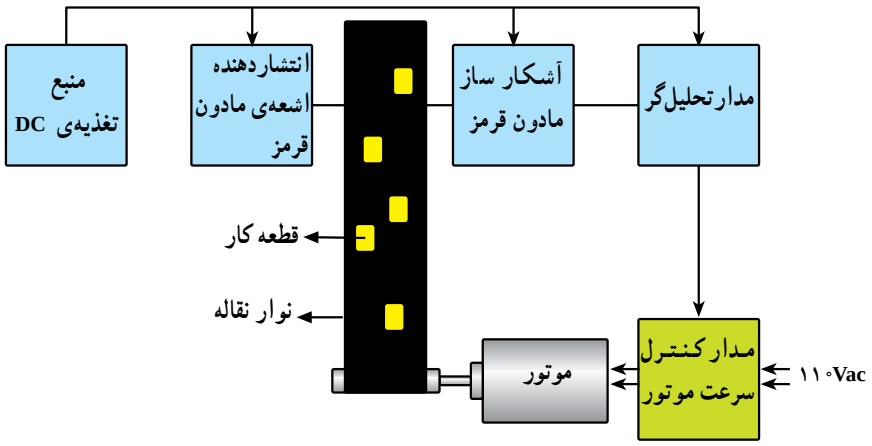
از جمله کاربردهای PUT می‌توان به این موارد اشاره کرد :

۱ــ ساخت تایمرها در مدارات شارژر،

۲ــ افزایش راندمان مولد (با کنترل ولتاژ V_{BB}).

۱ــ۱۲ــ۵ ــ کاربرد PUT: بلوک دیاگرام کلی این سیستم در شکل ۳۵ــ۵ نشان داده شده است. این سیستم سرعت نوار نقاله را کنترل می‌کند ؛ یعنی به‌گونه‌ای عمل می‌کند که طی یک زمان مشخص تعدادی معین از اجسامی که در فواصل نامساوی از هم قرار دارند از مقابل نقطه‌ای خاص در روی خط تولید عبور کنند.

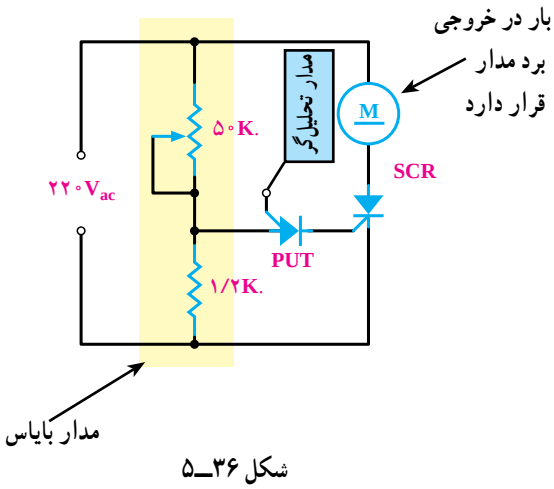
۱ــ PUT = Programmable Unijuntion Transistor



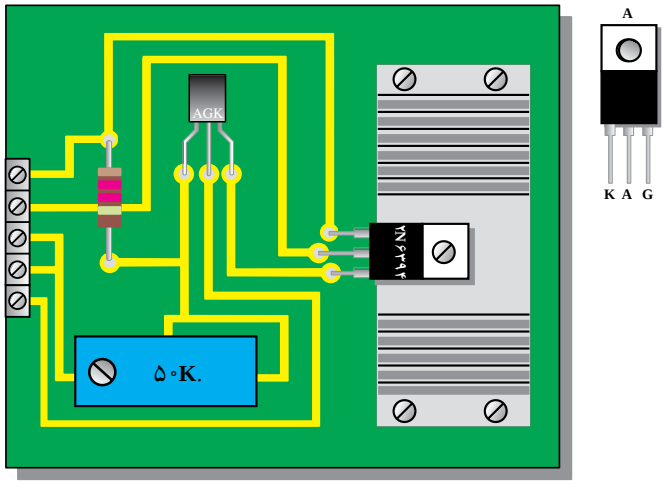
شکل ۵ــ۳۵

هرگاه جسمی که روی تسمه‌ی نقاله‌ی متحرک قرار دارد از مقابل آشکارساز نوری عبور کرده، مانع از عبور اشعه‌ی مادون‌قرمز شود شمارنده‌ی دیجیتالی یک شماره می‌اندازد. بعد از مدت‌زمان خاص این شماره‌های جمع‌شده از طریق مدار تحلیل‌گر به یک ولتاژ مناسب تبدیل می‌شود. هرچه تعداد اجسامی که از جلوی حس‌کننده‌ی[1] نوری عبور می‌کنند بیش‌تر باشد ولتاژ بالاتر خواهد بود. این ولتاژ در مدار برای کنترل دور موتور به‌کار رفته و باعث تنظیم سرعت موتور الکتریکی می‌شود. در شکل ۵ــ۳۶ این مدار نشان داده شده است. توجه داشته باشید که بایاس PUT می‌تواند روی گیت یا آند انجام شود.

این ولتاژ نسبی توسط مدار تحلیل‌گری برای گیت PUT که در روی برد مدار کنترل سرعت است به‌کار 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 تریستور دیرتر روشن می‌شود و مقدار متوسط قدرت کم‌تری به موتور 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 به‌گونه‌ی اتوماتیک بتوان تنظیم کرد. شکل ۵ــ۳۷ تصویری است از برد مدار چاپی به‌همراه قطعات نصب‌شده‌ی روی آن.



شکل ۵ــ۳۶



شکل ۵ــ۳۷

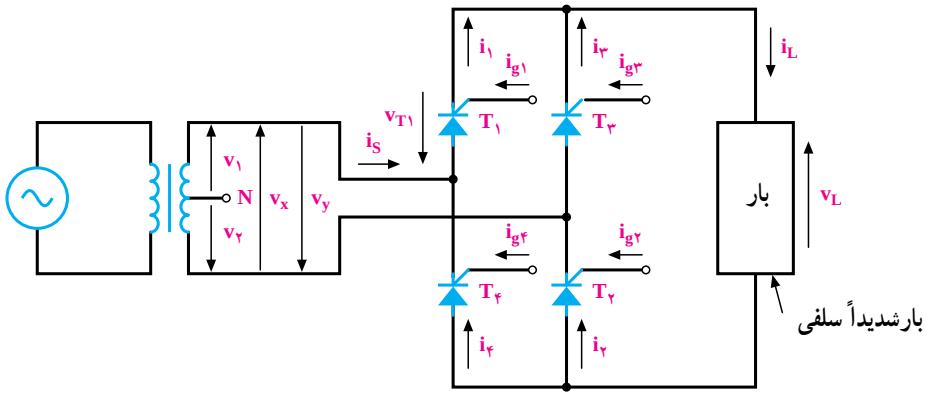
۱ــ Sensor

۱۳ــ۵ــ چند نمونه کاربرد نیمه‌هادی‌های خاص

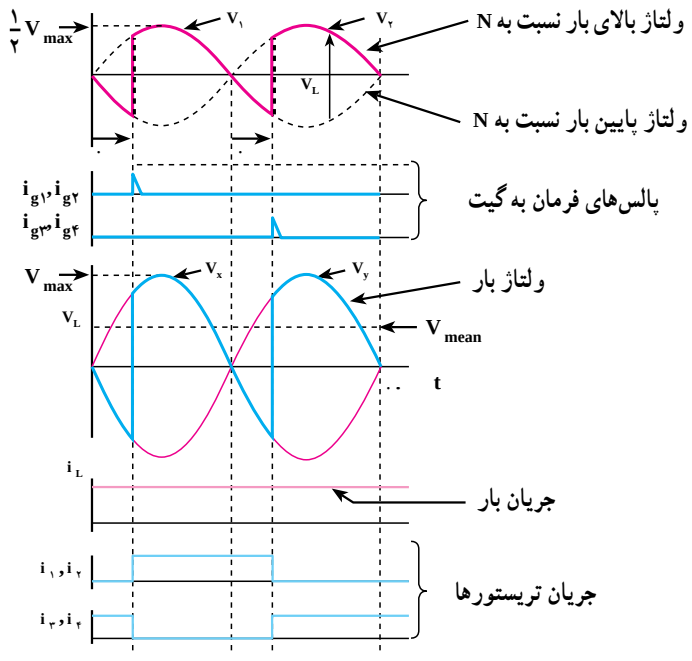
در این فصل با چند قطعه نیمه‌هادی خاص (الکترونیک قدرت) مانند SCR ؛ DIAC ؛ TRIAC ؛ UJT و PUT آشنا شده‌اید و در هر قسمت حداقل یک نمونه کاربردی برای هریک از آن‌هاتشریح شده است. اما به‌جهت آشنایی بیشتر با زمینه‌های استفاده از این قطعات مدارهای متفاوت دیگری معرفی و بررسی شده‌اند.

۱ــ۱۳ــ۵ــ یک‌سوساز تمام موج تریستوری تک‌فاز: این مدار با همان شرایط کاری و مشابه مدار یک‌سوسازی دیودی عمل می‌کند یعنی در هر نیم‌سیکل دو تریستور 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 تریستورها می‌توان عمل هدایت را در لحظه‌ی دلخواه انجام داد و بر روی شکل موج خروجی اثر گذاشت.

در شکل ۳۸ــ۵ مدار و شکل موج‌های ولتاژ و جریان دوسر بار (v_L و i_L) ؛ جریان‌های تحریک (i_g) و جریان عبوری از هر تریستور (i_1 تا i_4) نشان داده شده است. چون بار با خاصیت سلفی زیاد است، شکل موج جریان بار بدون ضربان می‌باشد.



(الف)

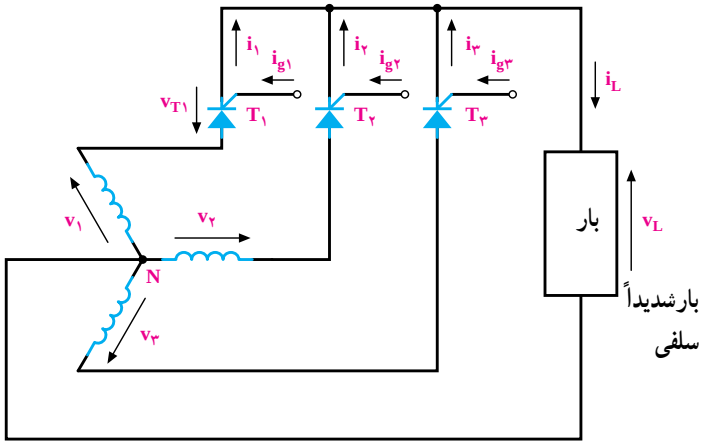


(ب)

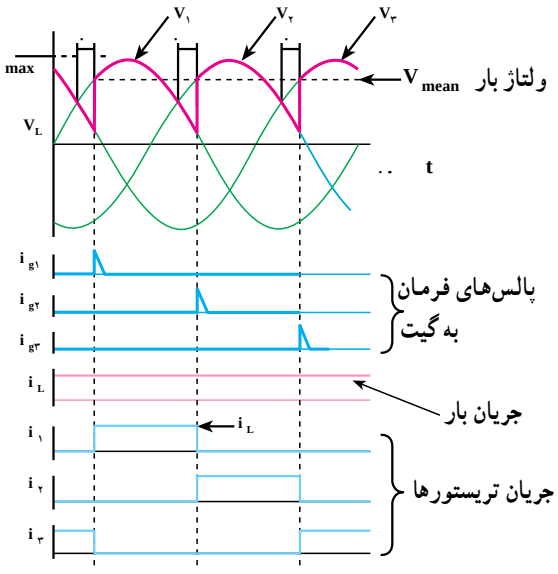
شکل ۳۸ــ۵

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.

۲ــ۱۳ــ۵ــ یک‌سوساز نیم‌موج تریستوری 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 تریستور می‌توان آن را در وضعیت وصل قرار داد. همان‌گونه که در شکل ۵ــ۳۹ مشاهده می‌شود هر فاز نسبت به دو فاز دیگر در هر ۱۲۰



الف ــ اتصال مدار



ب ــ شکل موج‌ها با زاویه‌ی تأخیر آتش کوچک

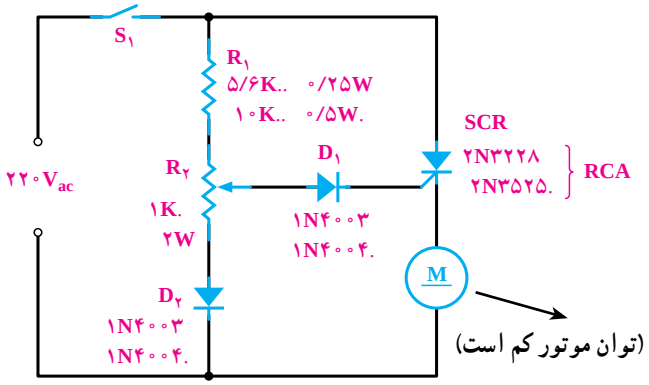
شکل ۵ــ۳۹ ــ مدار سه‌فاز تمام کنترل شده‌ی نیم‌موج تریستوری

درجه مثبت‌تر است؛ بنابراین، تریستوری که در مسیر آن فاز قرار می‌گیرد، آند آن نسبت به کاتد مثبت‌تر است؛ پس در این فاصله می‌توان جریان تحریکی را به گیت آن تریستور فرستاد تا عمل هدایت را انجام دهد. در شکل ۵ــ۳۹ وضعیت جریان‌های تحریک (i_g) جریان‌های عبوری از هر تریستور (i_1 تا i_3) ولتاژ و جریان دو سر بار (V_L و I_L) در زاویه‌ی آتش (.) نشان داده شده است.

در لحظاتی که جریان به گیت هر تریستور اعمال می‌شود (i_g) مسیر جریان بار (I_L) از طریق آن تریستور بسته می‌شود پس شکل موج جریان بار هر ۱۲۰ درجه تابع یکی از تریستورها است.

۳ــ۱۳ــ۵ــ کنترل دور موتورهای dc: در شکل ۵ــ۴۰ مداری نشان داده شده است که در آن موتور جریان مستقیم به‌گونه‌ی سری با تریستور قرارگرفته است.

مدار فرمان تریستور 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 تریستور کم شده، SCR دیرتر تحریک می‌شود. درنتیجه، سرعت موتور نیز کاهش می‌یابد. پس به‌این ترتیب می‌توانیم با تغییر در مقدار مقاومت R_2 ، جریان تحریک گیت تریستور را تغییر دهیم که با این کار سرعت موتور نیز تغییر می‌کند.



شکل ۵ــ۴۰

در شکل ۴۱ــ۵ تصویر دو کنترل کننده‌ی دور موتورهای (ac و dc) نشان داده شده است.

شکل ۴۱ــ۵

۴ــ۱۳ــ۵ــ کنتاکتور الکترونیکی: در مدارات الکترونیکی از ترکیب دو تریستور مخالف موازی می‌توان ترکیبی را ساخت که به‌صورت 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 ــ زمان جواب گرفتن از آن‌ها بسیار کوتاه است.

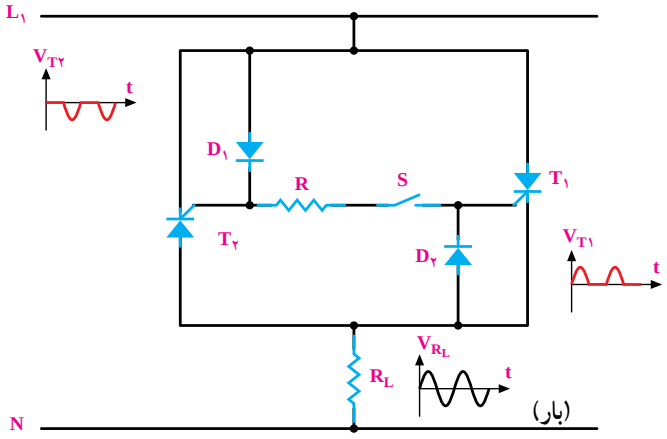
ب ــ قطع دائم مدار در زمانی که جریان در آن صفرشود.

ج ــ کنتاکت‌های فلزی در آن وجود ندارند.

د ــ این سیستم بی‌سر و صدا کار می‌کند.

هـ ــ امکان فرستادن فرمان برای قدرت‌های کوچک یا خیلی بزرگ وجود دارد (مانند ماشین‌های جوش‌کاری).

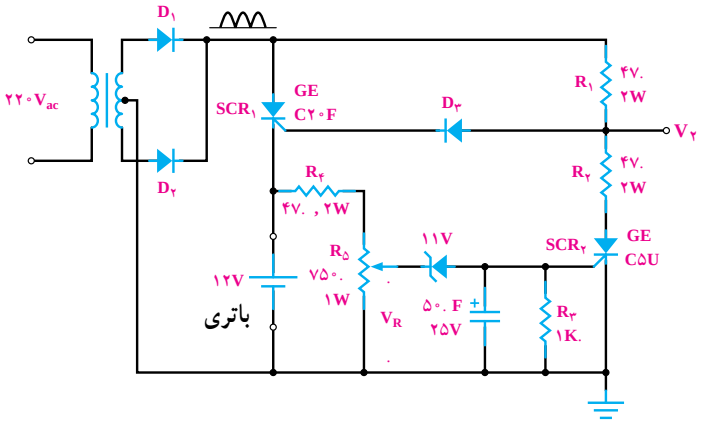
شکل ۴۲ــ۵ تصویری از مدار کنتاکتور الکترونیکی است.



شکل ۴۲ــ۵

در این مدار دیودهای D_1 و D_2 به‌عنوان یک‌سوکننده و R به‌منظور کنترل جریان گیت تریستورها به‌کار برده شده‌اند. در نیم‌سیکل مثبت D_1 و T_1 در بایاس موافق و در نیم‌سیکل منفی D_2 و T_2 در بایاس موافق قرار دارند. بدین‌ترتیب، برای هادی شدن هر تریستور کافی است کلید S فشار داده شود. در این‌صورت، جریان از طریق هر تریستور به‌بار خواهد رسید. از این مدار هنگامی استفاده می‌شود که ترایاک موجود نباشد، زیرا عملکرد آن مانند ترایاک است.

۵ــ۱۳ــ ۵ ــ رگولاتور شارژ باتری: از جمله کاربردهای مشهور SCR در رگولاتورهای شارژ باتری است. اجزا و عناصر اصلی چنین مداری در شکل ۴۳ــ۵ دیده می‌شود.



شکل ۴۳ــ۵ ــ رگولاتور شارژ باتری

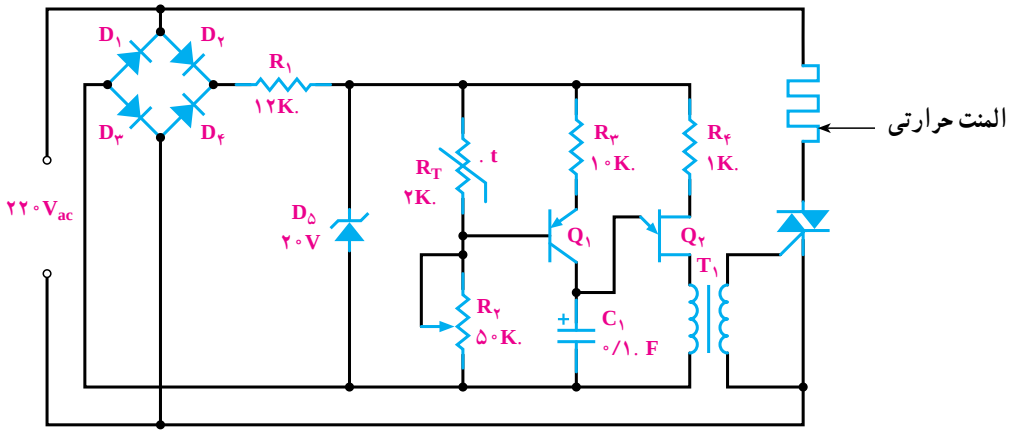
طرز کار مدار بدین صورت است که ابتدا ولتاژ متناوب به‌وسیله‌ی دیودهای D_1 و D_2 یک‌سو شده و به آند SCR_1، هم‌چنین از طریق مقاومت R_1 و دیود D_3 به گیت تریستور SCR_1 به‌منظور تحریک اعمال می‌شود. با روشن شدن SCR_1 شارژ باتری آغاز خواهد شد. در شروع شارژ ولتاژ کم باتری به‌صورت یک افت ولتاژ کوچک در بین دو مقاومت R_4 و R_5 تقسیم می‌شود. این ولتاژ ابتدا نمی‌تواند دیود زنر را که در بایاس معکوس است به هدایت ببرد.

با ادامه‌ی عمل شارژ، ولتاژ باتری به‌حدی می‌رسد که ولتاژ دو سر مقاومت R_5(VR) به‌اندازه‌ای می‌رسد که می‌تواند دیود زنر و SCR_2 را روشن کند. با هادی‌شدن دیود زنر و رسیدن جریان به گیت، تریستور SCR_2 روشن و مدار از طریق دو مقاومت R_1 ، R_2 و SCR_2 بسته می‌شود که درنتیجه ولتاژ خروجی یک‌سوساز بین آن‌ها تقسیم خواهد شد. در این‌حالت هم‌چنین ولتاژ دوسر مقاومت R_2 (گره V_2) به‌اندازه‌ای نیست که تریستور SCR_1 را روشن کند ؛ از این‌رو مدار SCR_1 قطع می‌گردد و عمل شارژ به‌صورت اتوماتیک متوقف می‌شود.

۶ــ۱۳ــ۵ــ کنترل اتوماتیک درجه‌ی حرارت المان

حرارتی: در شکل ۴۴ــ۵ مدار کنترل کننده‌ی اتوماتیک درجه‌ی حرارت المان حرارتی نشان داده شده است. یکی از قطعات مدار مقاومت با ضریب حرارتی منفی (NTC) است. این مقاومت حرارتی به‌همراه مقاومت R_2 بایاس بیس ترانزیستورQ_1 را به‌عهده دارد. ولتاژ متناوب ورودی (برق شهر) به‌وسیله‌ی مدار پُل یک‌سوساز تمام موج یک‌سو می‌شود و از طریق مقاومت R_1 به مدار کنترل اعمال می‌گردد. مقدار موج یک‌سو شده به‌وسیله‌ی دیود زنر روی ۲۰ ولت تثبیت می‌شود. R_2 به‌گونه‌ای تنظیم می‌شود که Q_1 در درجه‌ی حرارت معین که از قبل تعیین شده قطع گردد. وقتی Q_1 قطع است، خازن C_1 نمی‌تواند شارژ کند. درنتیجه، گیت UJT تحریک نمی‌شود وUJT قطع می‌گردد. با قطع UJT پالسی ایجاد نمی‌شود تا گیت ترایاک را تحریک کند ؛ از این‌رو ترایاک قطع و المنت حرارتی خنک خواهد بود. با خنک بودن المنت حرارتی NTC که بدنه‌ی آن به المنت نزدیک است خنک می‌گردد و مقاومت آن زیاد می‌شود. زیادشدن مقاومت NTC سبب افزایش ولتاژ امیتر ــ بیس Q_1 شده، Q_1 وصل می‌شود ؛ هم‌چنین جریان کلکتور Q_1 خازن C_1 را شارژ می‌کند، با شارژ خازن، گیت UJT تحریک می‌شود و UJT وصل می‌کند. پالس ایجاد شده گیت ترایاک را تحریک می‌کند و ترایاک وصل می‌شود. درنتیجه از المنت جریان عبور نموده آن را گرم می‌کند.

هرگاه حرارت المنت از حد تعیین‌شده تجاوز کند مقاومت NTC آن‌قدر کاهش می‌یابد که سبب قطع Q_1 و در نهایت، موجب قطع ترایاک می‌شود، این امر جریان المنت را قطع می‌کند و سبب خنک‌شدن آن می‌شود.



شکل ۴۴ــ۵

پرسش

۱ــ ساختمان داخلی و اساس کار دیود چهارلایه را توضیح دهید.
۲ــ ساختمان داخلی SCR را توضیح داده، شرایط هدایت آن‌را بنویسید.
۳ــ با رسم مدار روش آزمایش تریستور را توضیح دهید.
۴ــ مدار کنترل جریان تریستوری را رسم نموده، طرز کار آن‌را توضیح دهید.
۵ ــ نقش مقاومت $R_۲$ و ترانزیستور Tr در مدار چشم الکترونیک چیست؟
۶ــ «دیاک» چیست و نحوه‌ی بایاس آن چگونه است؟
۷ــ نقشه‌ی مدار کنترل‌کننده‌ی دور موتور اونیورسال نیم‌موج را رسم کرده، طرز کار آن‌را توضیح دهید.
۸ ــ روشهای روشن کردن ترایاک را به‌همراه رسم مدارهای مربوط شرح دهید.
۹ــ نقش خازن $C_۱$ ، $C_۲$ و DIAC در نقشه‌ی دیمر (کاربرد ترایاک) چیست؟
۱۰ــ ساختمان داخلی UJT را به همراه رسم علامت اختصاری آن توضیح دهید.
۱۱ــ مدار بایاس ترانزیستور UJT را رسم کرده، طرز کار آن‌را توضیح دهید.
۱۲ــ تریستور گیت آندی (PUT) را از نظر ساختمان داخلی توضیح دهید.
۱۳ــ مزایای PUT نسبت به UJT را برشمارید و کاربردهای آن را تشریح کنید.
۱۴ــ مدارهای یک‌سوساز کنترل‌شده (تریستوری) نیم‌موج و تمام موج را برای حالات زیر رسم نموده، شکل موج ولتاژ خروجی مدار را برای زاویه‌ی آتش ۳۰ . . رسم کنید.
الف ــ تک‌فاز ب ــ سه‌فاز
۱۵ــ نقش دیود $D_۱$ در مدار کنترل دور موتور dc چیست؟
۱۶ــ مدار کنتاکتور الکترونیکی را رسم نمایید و به این سؤالات پاسخ دهید.
الف ــ طرز کار ب ــ زمینه‌ی کاربردی ج ــ رسم شکل موج‌های ورودی و خروجی
۱۷ــ در مدار رگولاتور شارژ باتری، نقش دیود $D_۳$ و مقاومت $R_۵$ و تریستور $SCR_۲$ چیست؟
۱۸ــ در نقشه مدار کنترل‌کننده‌ی اتوماتیک درجه‌ی حرارت یک المان حرارتی شکل ۴۴ــ۵، نقش عناصر NTC، $Q_۱$ ، $Q_۲$ ، $D_۵$ و $T_۱$ چیست؟

منابع و مآخذ

۱ ــ Electronic devices by: T.L.floyd(2000 ــ (میلادی ــ (MCGraw-Hill)

۲ــ خرازی، سعید. اصول الکترونیک، ۱۳۷۸. مجتمع فنی تهران.

۳ــ خلج، بهرام. نظریان، فتح الله. الکترونیک عمومی. وزارت آموزش و پرورش.

۴ــ لندر، سریل. ۱۳۷۵. الکترونیک صنعتی. معتمدی‌نژاد، میرفاضلی، شفیعی. انتشارات خراسان

۵ ــ مطلبی، علی. الکترونیک صنعتی. ۱۳۶۳. انتشارات دانش و فن

۶ــ نشلسکی، اشتاد. ۱۳۷۸. قطعات و مدارات الکترونیک. دکتر قدرت سپیدنام و . . . انتشارات خراسان

۷ــ ویکرز، ویلیام. ۱۳۷۵. مدار منطقی. مهندس انواری و مهندس سینا. انتشارات پرهام