

## فصل ۵

### سوئیچ‌های استاتیکی<sup>۱</sup>

#### ۵-۱ مقدمه

همانطوریکه می‌دانیم ترستورها قادر هستند در فاصله زمانی چند میکروثانیه روشن - خاموش (وصل و قطع) شوند از این رو می‌توانند نقش سوئیچ‌های سریع را ایفاء نمایند و بدین وسیله جایگزین کلیدهای مکانیکی، کنتاکتورها<sup>۲</sup> و کلیدهای قدرت الکترومکانیکی<sup>۳</sup> گردند. این کلیدهای الکترونیکی همچنین در جبران کننده‌های استاتیکی<sup>۴</sup> (SVC) که در مرجع [۴] تشریح شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در توانهای پائین و dc می‌توان از ترانزیستورهای قدرت به عنوان سوئیچ استفاده کرد. سوئیچ‌های استاتیکی دارای مزیت‌های متعددی می‌باشند، به عنوان مثال، سرعت سوئیچینگ آنها خیلی بالاست، دارای قسمت متحرک نبوده و در نتیجه در آنها مسأله برخورد کنتاکتها و فرسودگی ناشی از آن وجود ندارد. سوئیچ‌های استاتیکی را می‌توان به دو نوع تقسیم‌بندی کرد:

(الف) سوئیچ‌های ac

(ب) سوئیچ‌های dc

سوئیچ‌های ac خود به سوئیچ‌های تک‌فاز و سه فاز تقسیم‌بندی می‌شوند. در سوئیچ‌های ac، کموتاسیون ترستورها طبیعی است و سرعت سوئیچینگ توسط فرکانس منبع تغذیه و زمان قطع<sup>۵</sup> ترستورها محدود می‌شود. در سوئیچ‌های dc، کموتاسیون ترستورها اجباری است و سرعت سوئیچینگ به مدار کموتاسیون و زمان قطع ترستورها بستگی دارد.

---

1- Static Switches

2- Contactors

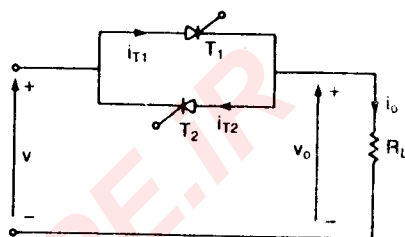
3- Circuit Breakers

4- Static VAr Compensators

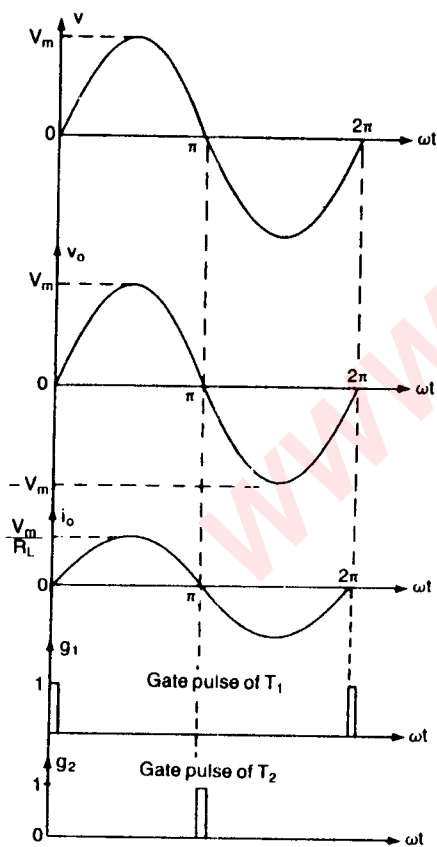
5- Turn- Off Time

## ۵-۲ سوئیچ‌های ac تکفاز

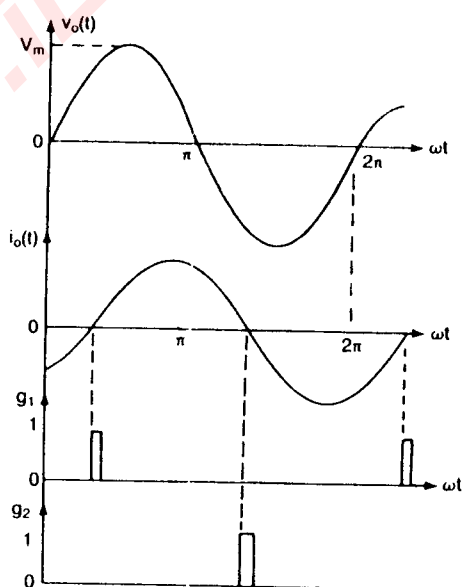
دیاگرام مداری یک کلید تمام موج تکفاز در شکل ۵-۱ الف نشان داده شده است، که در آن از یک زوج ترستور موازی معکوس استفاده شده است. اگر بار اهمی خالص باشد ترستور  $T_1$  در زاویه  $\alpha$  و  $T_2$  در  $\pi + \alpha$  آتش می‌شود. ولتاژ خروجی مشابه ولتاژ ورودی است و ترستورها نقش سوئیچ را به عهده دارند. شکل موجها در شکل ۵-۱ ب نشان داده شده است. در مورد بار اندوکتیو ترستور  $T_1$  در نقطه صفر نیم سیکل مثبت و  $T_2$  در نقطه صفر نیم سیکل منفی آتش نمی‌شوند بلکه همانطوریکه در شکل ۵-۱ پ ملاحظه می‌گردد بسته به زاویه بار آتش



(الف) مدار



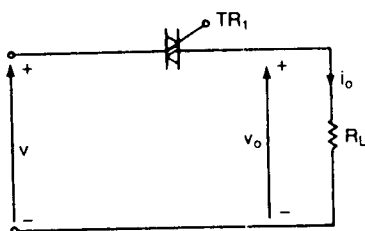
(ب) شکل موجها بار اهمی



(پ) شکل موجها بار اندوکتیو

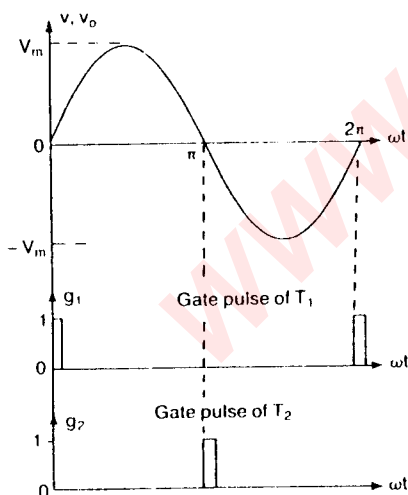
شکل ۵-۱ سوئیچ ac تکفاز با استفاده از ترستور

کردن تریستورها با تأخیر انجام می‌شود. بجای زوج تریستور موازی معکوس می‌توان مطابق شکل ۵-۲ از تریاک استفاده کرد.

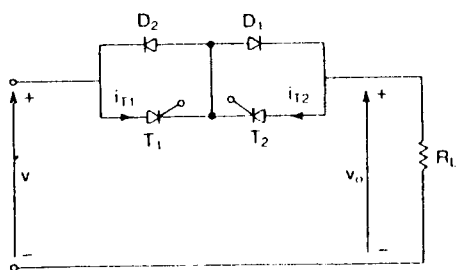


شکل ۵-۲ سوئیچ ac تکفاز با استفاده از تریاک

مدار شکل ۵-۱ الف را می‌توان مطابق مدار شکل ۵-۳ الف تغییر داد، که در آن تریستورها دارای کاتد مشترک و سیگنالهای آتش دارای زمین مشترک می‌باشند. در این صورت مدار آتش ساده‌تر می‌شود. در این حالت تریستور  $T_1$  و دیود  $D_1$  برای یک نیم‌سیکل و تریستور  $T_2$  و دیود  $D_2$  برای نیم‌سیکل بعدی هدایت می‌کنند.



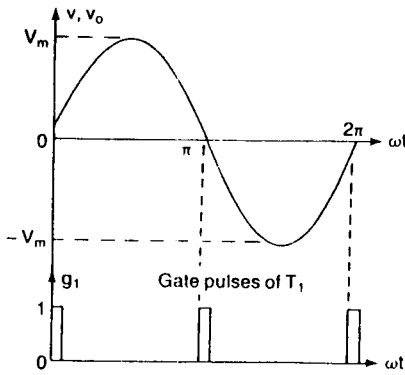
(ب) شکل موجها



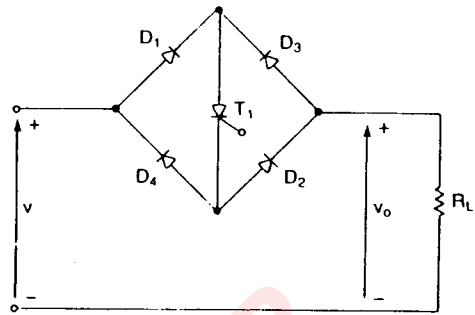
(الف) مدار

شکل ۵-۳ سوئیچ ac تکفاز با استفاده از دیود و تریستور

مدار شکل ۵-۴ الف که شامل پل یکسوکننده دیودی و تریستور  $T_1$  می‌باشد می‌تواند عمل مدار شکل ۵-۱ الف را انجام دهد. جریان عبوری از بار، ac، و جریان عبوری از  $T_1$ ، dc،



(ب) شکل موجها



(الف) مدار

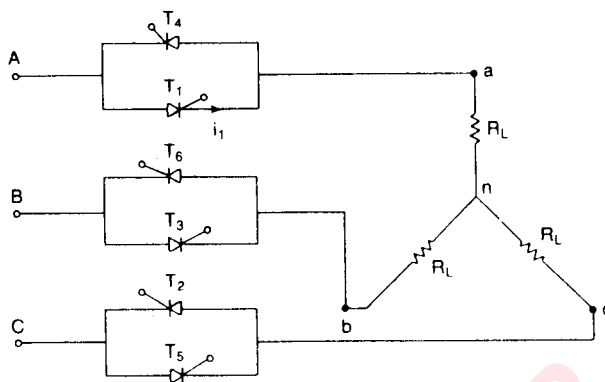
شکل ۳-۵ سوئیچ ac تکفاز با استفاده از پل دیودی و تریستور

است. بجای تریستور  $T_1$  می توان از یک ترانزیستور استفاده کرد. به چنین سوئیچی که شامل پل یکسوکننده و یک تریستور (ترانزیستور) است، سوئیچ دو طرفه<sup>۱</sup> گفته می شود.

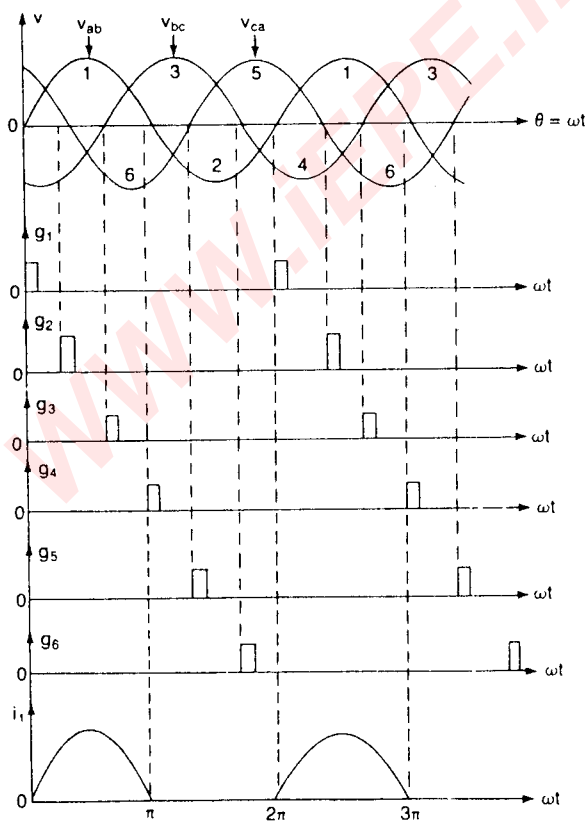
### ۳-۵ سوئیچ های ac سه فاز

با استفاده از مفهوم سوئیچ ac تکفاز، می توان مطابق شکل ۵-۵ الف با اتصال سه سوئیچ تکفاز، یک سوئیچ سه فاز را ایجاد کرد. سیگنالهای آتش و همچنین جریان عبوری از  $T_1$  در شکل ۵-۵ ب نشان داده شده است. بار می تواند بصورت اتصال ستاره یا مثلث باشد.

به منظور کاهش دادن تعداد تریستورها و در نتیجه کاهش هزینه، همچنین می توان نظیر شکل ۳-۵ الف، سوئیچ سه فاز شکل ۵-۶ را ایجاد کرد. وقتی از زوج تریستور موازی معکوس استفاده می شود، می توان در هر نیم سیکل جریان را متوقف کرد و حال آنکه در ترکیب دیود و تریستور، این امکان فقط در هر سیکل ولتاژ ورودی امکان پذیر است. با اضافه کردن دو سوئیچ تکفاز دیگر به مدار شکل ۵-۵ الف، مدار شکل ۷-۵ بدست می آید که در آن امکان جابجاکردن دو فاز یعنی معکوس نمودن توالی فازها حاصل می شود. در شرایط کار نرمال، تریستورهای  $T_7$  الی  $T_1$  با قطع پالس آتش آنها، خاموش می شوند و تریستورهای  $T_1$  الی  $T_6$  روشن می گردند.

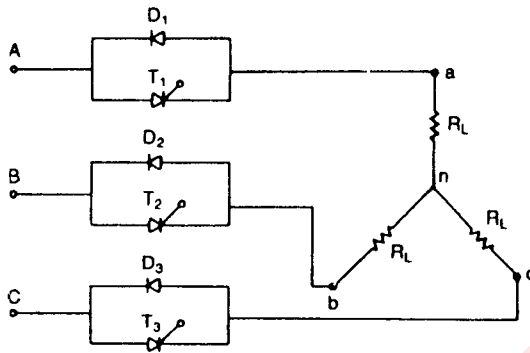


(الف) مدار

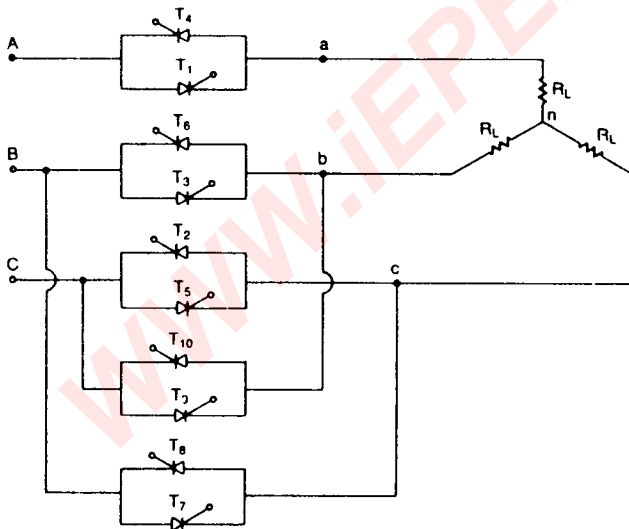


(ب) شکل موجها

شکل ۵-۵ سوئیچ AC سه فاز با استفاده از تریستور



شکل ۵-۶ سوئیچ سه فاز با استفاده از دیود و تریستور

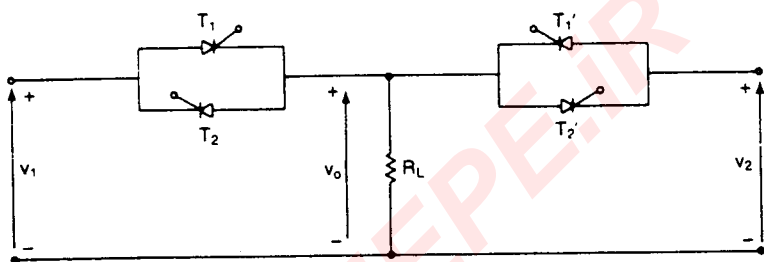


شکل ۵-۷ سوئیچ ac سه فاز با امکان تغییر جهت دادن توان

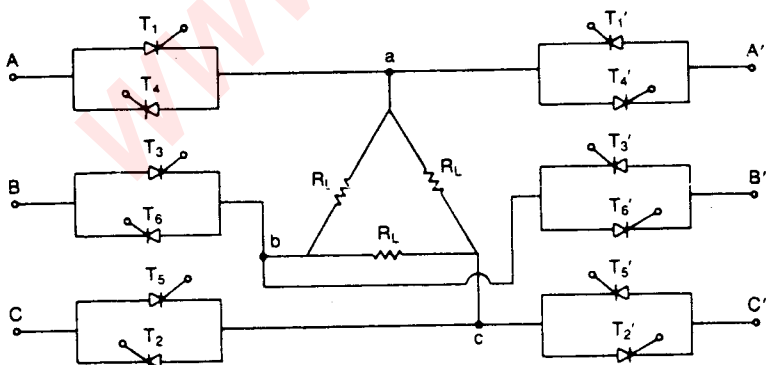
خطوط A و B و C به ترتیب ترمینالهای a و b و c را تغذیه می نمایند. در شرایطی که بخواهیم توانی فازها را معکوس نمائیم تریستورهای  $T_1, T_2, T_3$  و  $T_4, T_5, T_6$  خاموش و تریستورهای  $T_1$  الی  $T_6$  روشن می شوند. در نتیجه خط B ترمینال c و خط C ترمینال b را تغذیه می نماید و بنابراین ولتاژهای معکوس بر بار اعمال می گردد.

### ۴-۵ سوئیچ‌های ac جهت انتقال باس

جهت انتقال بار از یک منبع تغذیه به منبع تغذیه دیگر، می‌توان از سوئیچ‌های استاتیکی استفاده کرد. در یک سیستم تغذیه، گاهی ضروری است که در شرایطی بار از منبع تغذیه اصلی به یک منبع تغذیه دیگر سوئیچ گردد. این شرایط می‌تواند مربوط به موارد وقوع کاهش ولتاژ یا افزایش ولتاژ در منبع تغذیه اصلی و یا قطع منبع تغذیه اصلی باشد. شکل ۵-۸ یک سوئیچ تکفاز انتقال باس<sup>۱</sup> را نشان می‌دهد که در آن وقتی  $T_1$  و  $T_2$  روشن هستند بار به منبع تغذیه نرمال متصل می‌شود و جهت انتقال بار به منبع تغذیه دیگر  $T_1$  و  $T_2$  خاموش و  $T_1'$  و  $T_2'$  روشن می‌شوند. در شکل ۵-۹ یک سوئیچ سه فاز انتقال باس، نشان داده شده است.



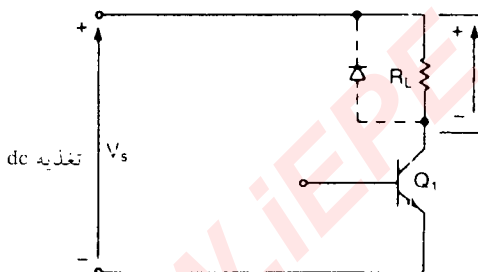
شکل ۵-۸ انتقال باس تکفاز



شکل ۵-۹ انتقال باس سه فاز

### ۵-۵ سوئیچ‌های dc

در مورد سوئیچ‌های dc ولتاژ ورودی dc بوده و از ترانزیستورهای قدرت و یا ترانزیستورهای با سوئیچینگ سریع استفاده می‌گردد. وقتی ترانزیستوری روشن می‌شود، همان طوری که در فصل قبل ملاحظه کردیم بایستی باروشهای کموتاسیون اجباری خاموش گردد. یک سوئیچ یک قطبی ترانزیستوری با باراهمی در شکل ۵-۱۰ نشان داده شده است وقتی بار اندوکتیو (القایی) است بایستی یک دیود (که در شکل خط چین نشان داده شده است) در دوسر بار متصل گردد تا انرژی بار اندوکتیو را در خلال خاموش شدن ترانزیستور تلف نماید و بدین وسیله ترانزیستور حفاظت گردد.



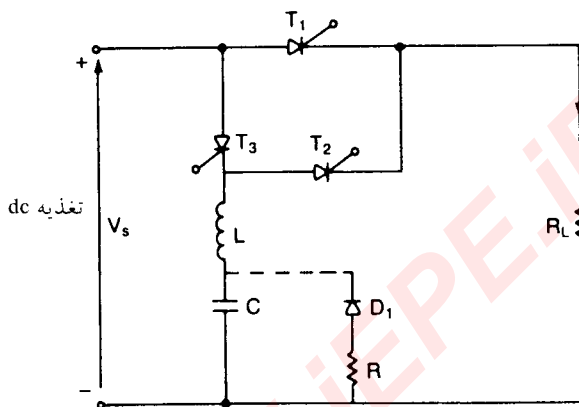
شکل ۵-۱۰ سوئیچ یک قطبی ترانزیستوری (dc)

چنانچه ترانزیستورها مورد استفاده قرار گیرند، مدار کموتاسیون بخشی از سوئیچ dc محسوب می‌شود. نمونه‌ای از این نوع سوئیچ در شکل ۵-۱۱ نشان داده شده است. اگر ترانزیستور  $T_P$  آتش شود، خازن C از طریق L و  $T_P$  و منبع تغذیه شارژ می‌گردد و طبق آنچه که در فصل قبل گفته شد خازن تا مقدار  $2V_s$  شارژ می‌گردد. اگر ترانزیستور  $T_1$  در حال هدایت باشد و بار را از طریق منبع، تغذیه نماید، با آتش کردن  $T_P$ ، ترانزیستور  $T_1$  خاموش می‌شود. زیرا آتش کردن  $T_P$  باعث می‌شود که در مدار شامل C، L و  $T_P$  جریان رزونانسی برقرار شود. با افزایش این جریان، جریان ترانزیستور  $T_1$  کاهش می‌یابد. وقتی که جریان رزونانس تا مقدار جریان بار  $I_L$  افزایش می‌یابد، جریان ترانزیستور  $T_1$  به مقدار صفر تنزل می‌یابد و ترانزیستور  $T_1$  قطع می‌گردد. خازن در مقاومت بار  $R_L$  تخلیه می‌شود. وقتی بار اندوکتیو باشد لازم است یک دیود کموتاسیون (هرزگرد) در دوسر بار قرار گیرد.

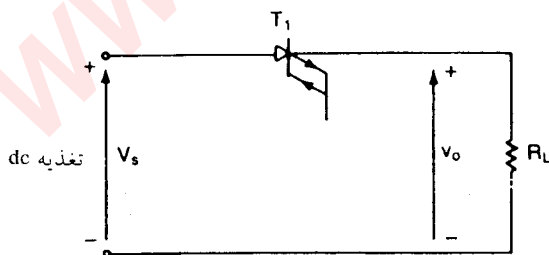
البته در هر عمل سوئیچینگ بایستی خازن کاملاً تخلیه شود و با قراردادن یک دیود و مقاومت به موازات خازن، از ایجاد ولتاژ منفی در دو سر خازن پیشگیری می‌گردد.



از سوئیچ‌های dc می‌توان برای کنترل توان در ولتاژهای بالا و جریان‌های زیاد (نظیر راکتورهای ترکیبی) و کلیدهای قدرت سریع استفاده کرد. بجای ترانزیستور می‌توان از ترستورهای قابل قطع باگیت (GTO) استفاده کرد که در این صورت می‌توان با اعمال پالس کوتاه مثبت و منفی آنرا قطع و وصل کرد و نیازی به مدار کموتاسیون نمی‌باشد. یک سوئیچ یک قطبی که در آن از GTO استفاده شده است در شکل ۵-۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۱ سوئیچ dc یک قطبی با استفاده از ترستور



شکل ۵-۱۲ سوئیچ dc یک قطبی با استفاده از GTO

۵-۶ مسائل حل شده

مساله ۵-۱

یک سوئیچ تک فاز dc با آرایش شکل ۵-۱ الف بین منبع  $60\text{ Hz}$ ،  $160\text{ V}$  و بار اندوکتیو قرار گرفته است. توان بار  $5\text{ kW}$  و ضریب توان  $0.88$  پس فاز است. تعیین کنید:

(الف) مقادیر نامی جریان و ولتاژ تریستورها

(ب) زاویه‌های آتش تریستورها

حل -  $P_o = 5000 \text{ W}$      $PF = 0.88$  و     $V_s = 120 \text{ V}$

(الف)  $I_m = \sqrt{2} \times 5000 / (120 \times 0.88) = 66/96 \text{ A}$

جریان متوسط  $I_{av} = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi I_m \sin \omega t d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi} = \frac{66/96}{\pi} = 21/31 \text{ A}$

جریان موثر  $I_{rms} = \left[ \frac{1}{\pi} \int_0^\pi I_m^2 \sin^2 \omega t d(\omega t) \right]^{\frac{1}{2}} = \frac{I_m}{2} = \frac{66/96}{2} = 33/48 \text{ A}$

$PIV = \sqrt{2} \times 120 = 169/7 \text{ V}$  مقدار پیک ولتاژ معکوس

(ب)  $\cos \phi = 0.88$  یا  $\phi = 28/36^\circ$

بنابراین زاویه آتش تریستور  $T_1$  و  $T_2$  به ترتیب برابر  $\alpha_1$  و  $\alpha_2$  به شرح زیر خواهد بود.

$\alpha_1 = 28/36^\circ$      $\alpha_2 = 180^\circ + 28/36^\circ = 208/36^\circ$

## مساله ۵-۲

یک سوئیچ سه فاز ac با آرایش شکل ۵-۵ الف بین یک منبع سه فاز  $440 \text{ V}$ ،  $60 \text{ Hz}$  و بار سه فاز با اتصال ستاره قرار گرفته است. توان بار  $20 \text{ kW}$  و ضریب قدرت پس فاز  $0.707$  است مقادیر نامی جریان و ولتاژ تریستورها را حساب کنید:

حل -  $P_o = 20000 \text{ W}$      $PF = 0.707$  و     $V_L = 440 \text{ V}$

$V_s = 440 / \sqrt{3} = 254/0.3 \text{ V}$

جریان خط را از رابطه زیر بدست می‌آید.

$I_s = \frac{20000}{\sqrt{3} \times 440 \times 0.707} = 37/19 \text{ A}$

$I_m = \sqrt{2} \times 37/19 = 52/494 \text{ A}$  مقدار پیک جریان

جریان متوسط  $I_{av} = \frac{52/494}{\pi} = 16/71 \text{ A}$

جریان موثر  $I_{rms} = \frac{52/494}{2} = 26/247 \text{ A}$

$PIV = \sqrt{2} \times 440 = 762/1 \text{ V}$  مقدار پیک جریان