فصل ۵

سوئیچ‌های استاتیکی[1]

۵-۱ مقدمه

همانطوریکه می‌دانیم تریستورها قادر هستند در فاصله زمانی چند میکروثانیه روشن - خاموش (وصل و قطع) شوند از این‌رو می‌توانند نقش سوئیچ‌های سریع را ایفاء نمایند و بدین وسیله جایگزین کلیدهای مکانیکی، کنتاکتورها[2] و کلیدهای قدرت الکترومکانیکی[3] گردند. این کلیدهای الکترونیکی همچنین در جبران کننده‌های استاتیکی[4] (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

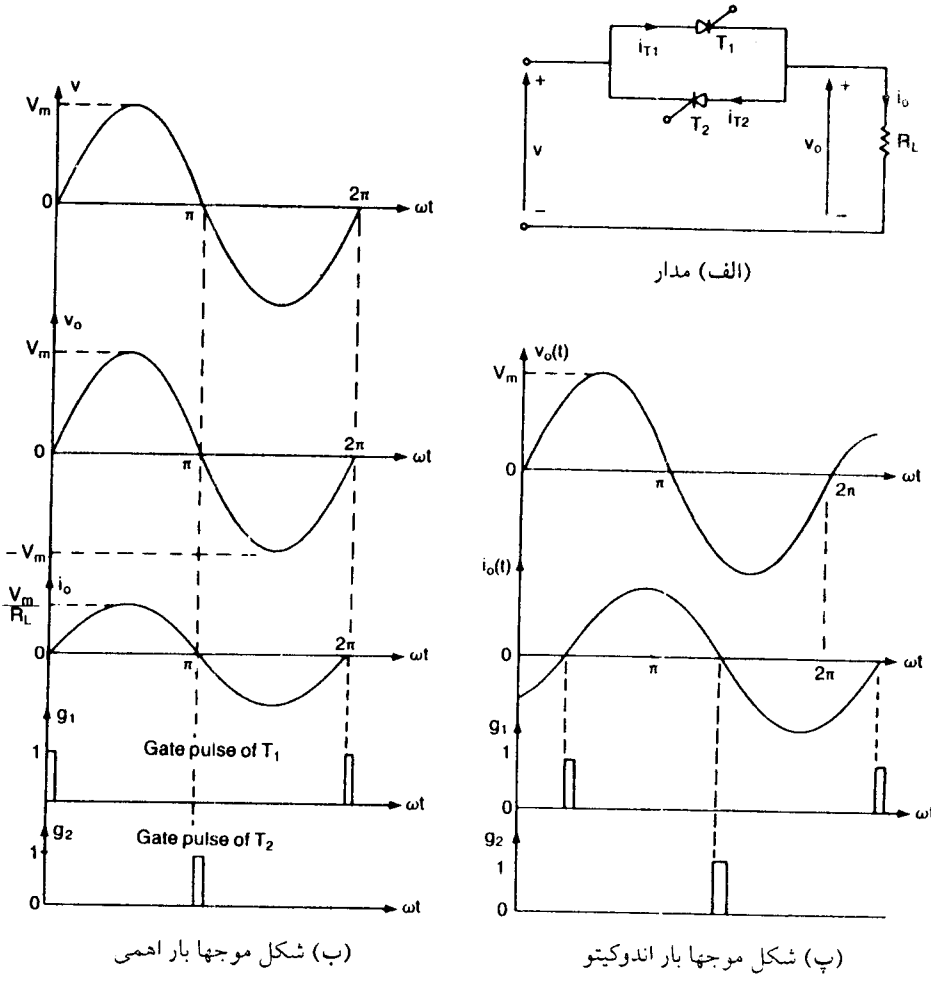
(ب) سوئیچ‌های dc

سوئیچ‌های ac خود به سوئیچ‌های تکفاز و سه فاز تقسیم‌بندی می‌شوند. در سوئیچ‌های ac، کموتاسیون تریستورها طبیعی است و سرعت سوئیچینگ توسط فرکانس منبع تغذیه و زمان قطع[5] تریستورها محدود می‌شود. در سوئیچ‌های dc، کموتاسیون تریستورها اِجباری است و سرعت سوئیچینگ به مدار کموتاسیون و زمان قطع تریستورها بستگی دارد.

1- Static Switches
2- Contactors
3- Circuit Breakers
4- Static VAr Compensators
5- Turn- Off Time

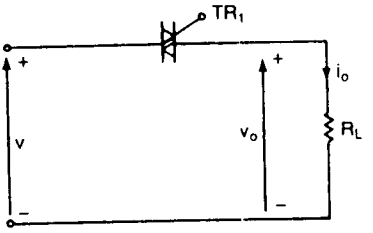
۵-۲ سوئیچ‌های ac تکفاز

دیاگرام مداری یک کلید تمام موج تکفاز در شکل ۵-۱ الف نشان داده شده است، که در آن از یک زوج تریستور موازی معکوس استفاده شده است. اگر باراهمی خالص باشد تریستور T_1 در زاویه ۰ و T_2 در π آتش می‌شود. ولتاژ خروجی مشابه ولتاژ ورودی است و تریستورها نقش سوئیچ را به عهده دارند. شکل موجها در شکل ۵-۱ ب نشان داده شده است. در مورد بار اندوکتیو تریستور T_1 در نقطه صفر نیم‌سیکل 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



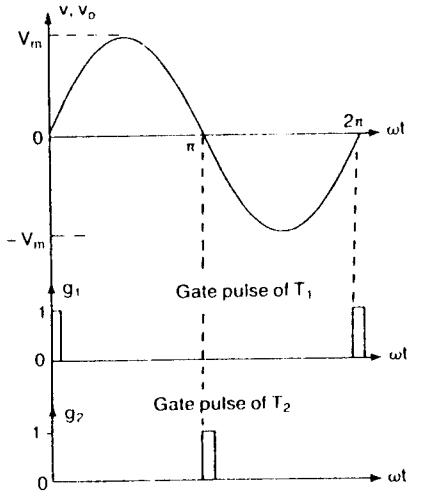
شکل ۵-۱ سوئیچ ac تکفاز با استفاده از تریستور

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

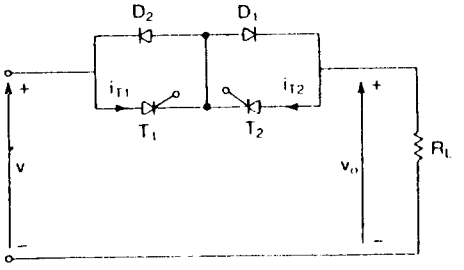


شکل ۵-۲ سوئیچ ac تکفاز با استفاده از تریاک

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.



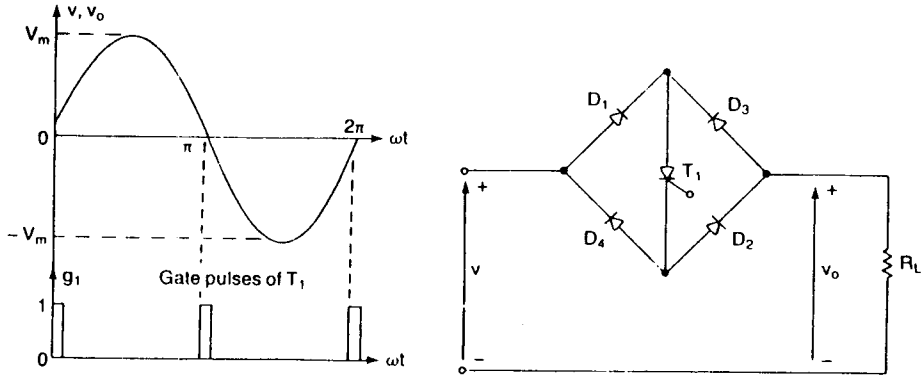
(ب) شکل موجها



(الف) مدار

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

مدار شکل ۵-۴ الف که شامل پل یکسو کننده 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 ۵-۴ سوئیچ ac تکفاز با استفاده از پل دیودی و تریستور

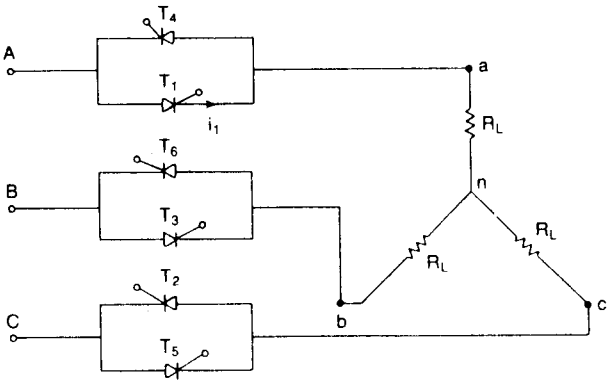
است. بجای تریستور T_1 می‌توان از یک ترانزیستور استفاده کرد. به چنین سوئیچی که شامل پل یکسوکننده و یک تریستور (ترانزیستور) است، **سوئیچ دو طرفه**[1] گفته می‌شود.

۵-۳ سوئیچ‌های ac سه فاز

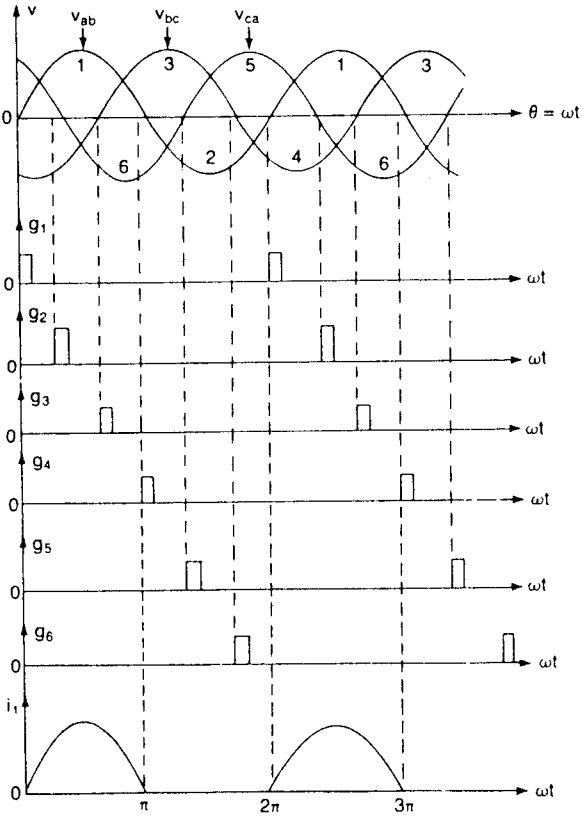
بااستفاده از مفهوم سوئیچ ac تکفاز، می‌توان مطابق شکل ۵-۵ الف با اتصال سه سوئیچ تکفاز، یک سوئیچ سه فاز را ایجاد کرد. سیگنالهای آتش و همچنین جریان عبوری از T_1 در شکل ۵-۵ب نشان داده شده است. بار می‌تواند بصورت اتصال ستاره یا مثلث باشد.

به منظور کاهش دادن تعداد تریستورها و در نتیجه کاهش هزینه، همچنین می‌توان نظیر شکل ۵-۳ الف، سوئیچ سه فاز شکل ۵-۶ را ایجاد کرد. وقتی از زوج تریستور موازی معکوس استفاده می‌شود، می‌توان در هر نیم‌سیکل جریان را متوقف کرد و حال آنکه در ترکیب دیود و تریستور، این امکان فقط در هر سیکل ولتاژ ورودی امکان‌پذیر است. با اضافه کردن دو سوئیچ تکفاز دیگر به مدار شکل ۵-۵ الف، مدار شکل ۵-۷ بدست می‌آید که در آن امکان جابجا کردن دو فاز یعنی معکوس نمودن توالی فازها حاصل می‌شود. در شرایط کار نرمال، تریستورهای T_7 الی T_{10} با قطع پالس آتش آنها، خاموش می‌شوند و تریستورهای T_1 الی T_6 روشن می‌گردند.

1- Bidirectional Switch

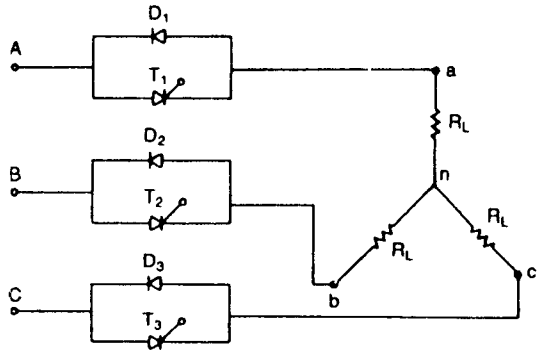


(الف) مدار

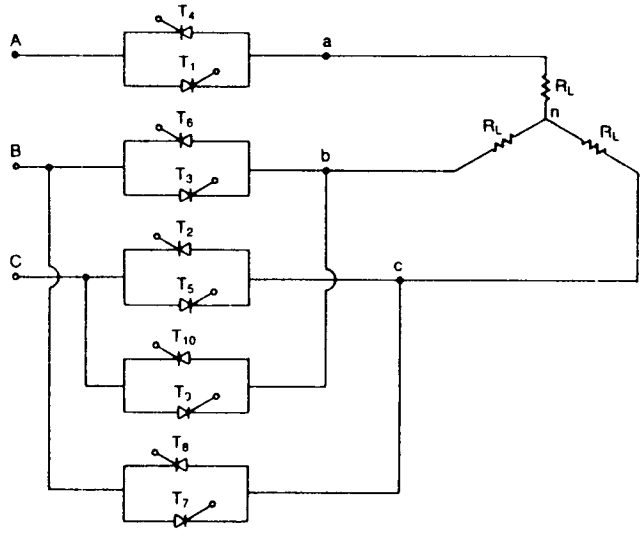


(ب) شکل موجها

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



شکل ۵-۶ سوئیچ سه فاز با استفاده از دیود وتریستور

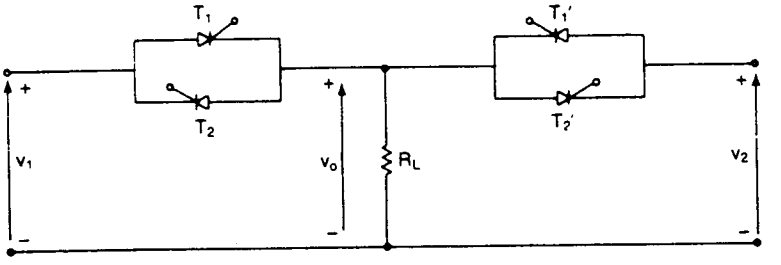


شکل ۵-۷ سوئیچ ac سه فاز باامکان تغییر جهت دادن توان

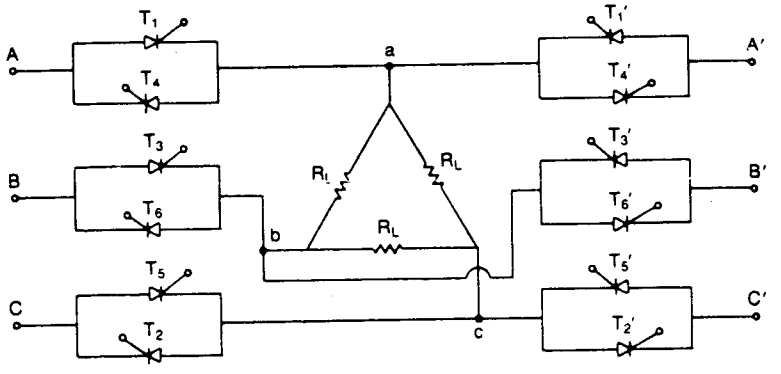
خطوط A وB و C به ترتیب ترمینالهای a و b و c را تغذیه می‌نمایند. در شرایطی که بخواهیم توالی فازها را معکوس نمائیم تریستورهای T_2، T_3، T_5 و T_6 خاموش و تریستورهای T_7 الی T_{10} روشن می‌شوند. در نتیجه خط B ترمینال c و خط C ترمینال b را تغذیه می‌نماید و بنابراین ولتاژهای معکوس بر بار اعمال می‌گردد.

۵-۴ 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 انتقالِ‌باس[1] را نشان می‌دهد که درآن 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

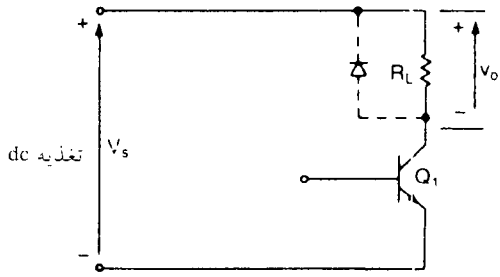


شکل ۵-۹ انتقال باس سه فاز

1- Single - phase bustransfer switch

۵-۵ سوئیچ‌های dc

در مورد سوئیچ‌های dc ولتاژ ورودی dc بوده و از ترانزیستورهای قدرت و یا تریستورهای با سوئیچینگ سریع استفاده می‌گردد. وقتی تریستوری روشن می‌شود، همان طوری که در فصل قبل ملاحظه کردیم بایستی باروشنهای 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 وبدین وسیله ترانزیستور حفاظت گردد.

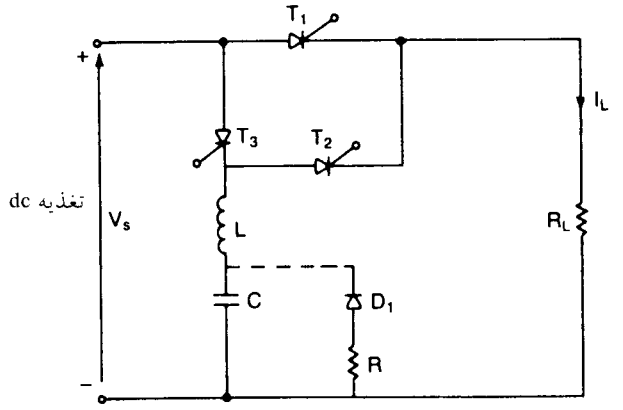


شکل ۵-۱۰ سوئیچ یک قطبی ترانزیستوری (dc)

چنانچه تریستورها 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 تریستور $T_۳$ آتش شود، خازن C از طریق L و $T_۳$ و منبع تغذیه شارژ می‌گردد و طبق آنچه که در فصل قبل گفته شد خازن تا مقدار $۲V_s$ شارژ می‌گردد. اگر تریستور $T_۱$ در حال هدایت باشد و بار را از طریق منبع، تغذیه نماید، با آتش کردن $T_۲$، تریستور $T_۱$ خاموش می‌شود. زیرا آتش کردن $T_۲$ باعث می‌شود که در مدار شامل C، L و $T_۲$ جریان رزونانسی برقرار شود. با افزایش این جریان، جریان تریستور $T_۱$ کاهش می‌یابد. وقتی که جریان رزونانس تا مقدار جریان بار I_L افزایش می‌یابد، جریان تریستور $T_۱$ به مقدار صفر تنزل می‌یابد و تریستور $T_۱$ 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.

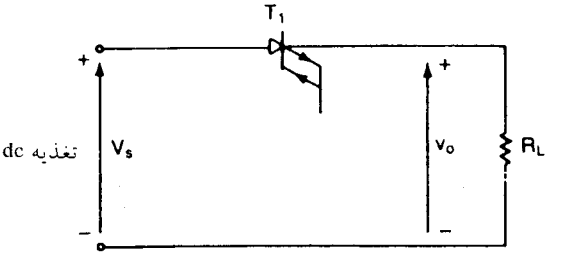
البته در هر عمل سوئیچینگ بایستی خازن کاملا" تخلیه شود و با قراردادن یک دیود و مقاومت به موازات خازن، از ایجاد ولتاژ منفی در دو سرخازن پیشگیری می‌گردد.

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 تریستورهای 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 درآن از GTO استفاده شده است در شکل ۵-۱۲ نشان داده شده است.



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

www.elec4u.ir



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

۵-۶ مسائل حل شده

مساله ۵-۱

یک سوئیچ تک فاز dc باآرایش شکل ۵-۱ الف بین منبع ۶۰Hz، ۱۶۰V و بار اندوکیتو قرار گرفته است.توان بار ۵ kW و ضریب توان ۰/۸۸ پس فاز است. تعیین کنید:

(الف) مقادیر نامی جریان و ولتاژ تریستورها
(ب) زاویه‌های آتش تریستورها

حل - $P_o = ۵۰۰۰\ W \quad PF = ۰/۸۸ \quad و \quad V_s = ۱۲۰\ V$

(الف) جریان پیک بار $I_m = \sqrt{۲} \times ۵۰۰۰ / (۱۲۰ \times ۰/۸۸) = ۶۶/۹۶\ A$

جریان متوسط $I_{av} = \frac{۱}{۲\pi} \int_{o}^{\pi} I_m \sin \omega t\, d(\omega t) = \frac{I_m}{\pi} = \frac{۶۶/۹۶}{\pi} = ۲۱/۳۱\ A$

جریان موثر $I_{rms} = \left[\frac{۱}{۲\pi} \int_{o}^{\pi} I_m^۲ \sin^۲ \omega t\, d(\omega t) \right]^{\frac{۱}{۲}} = \frac{I_m}{۲} = \frac{۶۶/۹۶}{۲} = ۳۳/۴۸\ A$

مقدار پیک ولتاژ معکوس $PIV = \sqrt{۲} \times ۱۲۰ = ۱۶۹/۷\ V$

(ب) $\cos\phi = ۰/۸۸$ یا $\varphi = ۲۸/۳۶°$

بنابراین زاویه آتش تریستور $T_۱$ و $T_۲$ به ترتیب برابر $\alpha_۱$ و $\alpha_۲$ به شرح زیر خواهد بود.

$$\alpha_۱ = ۲۸/۳۶° \qquad \alpha_۲ = ۱۸۰° + ۲۸/۳۶° = ۲۰۸/۳۶°$$

مساله ۵-۲

یک سوئیچ سه فاز ac باآرایش شکل ۵-۵ الف بین یک منبع سه فاز ۶۰Hz، ۴۴۰V و بار سه فاز با اتصال ستاره قرارگرفته است.توان بار ۲۰ kW و ضریب قدرت پس فاز ۰/۷۰۷ است مقادیر نامی جریان و ولتاژ تریستورها راحساب کنید :

حل - $P_o = ۲۰۰۰۰\ W \quad PF = ۰/۷۰۷ \quad و \quad V_L = ۴۴۰\ V$

$V_s = ۴۴۰ / \sqrt{۳} = ۲۵۴/۰۳\ V$

جریان خط را از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$I_s = \frac{۲۰۰۰۰}{\sqrt{۳} \times ۴۴۰ \times ۰/۷۰۷} = ۳۷/۱۹\ A$$

مقدار پیک جریان $I_m = \sqrt{۲} \times ۳۷/۱۱۹ = ۵۲/۴۹۴\ A$

جریان متوسط $I_{av} = \frac{۵۲/۴۹۴}{\pi} = ۱۶/۷۱\ A$

جریان موثر $I_{rms} = \frac{۵۲/۴۹۴}{۲} = ۲۶/۲۴۷\ A$

مقدار پیک جریان $PIV = \sqrt{۲} \times ۴۴۰ = ۷۶۲/۱\ V$