http://levinic.com

۳-۶ یکسو کننده‌های قابل کنترل

همانطوریکه در بخش قبل ملاحظه کردیم یکسوکننده‌های غیرقابل کنترل (دیودی) ولتاژ خروجی ثابتی را تولید می‌نمایند. برای اینکه بتوان خروجی قابل کنترلی را بدست آورد، بجای دیود از تریستور استفاده می‌شود که درآن ولتاژ خروجی با تغییر زاویه آتش تریستور کنترل می‌شود و به این ترتیب یکسو کننده های قابل کنترل که بخشی از مبدلهای ac به dc می‌باشند، بدست می‌آیند. این نوع مبدلها بطور وسیع در کاربردهای صنعتی، بخصوص در محرکهای سرعت متغیر[1] مورد استفاده قرار می‌گیرند. همانطوریکه گفته شد این نوع مبدلها بر حسب نوع تغذیه به مبدلهای تکفاز و سه فاز تقسیم می‌شوندو هر نوع ممکن است بصورت نیمه کنترل شده و یا تمام کنترل شده باشد. دراین بخش انواع این مبدلها و طرز کار آنهاتشریح می‌گردد.

۳-۶-۱ یکسوکننده قابل کنترل تکفاز نیم موج

مدار تکفاز نیم موج را می‌توان با استفاده از یک تریستور (بجای دیود) مطابق شکل ۳-۲۱ الف کنترل کرد. با تشریح طرز کار این مدار می‌توان به اصول کار مبدل قابل کنترل پی‌برد. در این مدار مشابه مدار کنترل نشده، بار می‌تواند اهمی و یا اندوکتیو باشد. تریستور وقتی شروع به هدایت می‌نمایدکه ولتاژ دو سرش v_T مثبت است و پالس آتش i_g را دریافت می‌نماید. بنابراین وقتی تریستور در بایاس (گرایش) مستقیم قرار دارد و در $\omega t = \alpha$ پالس آتش به‌گیت آن اعمال می‌گردد، تریستور شروع به هدایت می‌کند و ولتاژ ورودی در دوسر بار ظاهر می‌شود. شکل‌های ۳ - ۲۱ ب و پ نشان می‌دهند که هدایت تریستور به اندازه α نسبت به وضعیتی که دیود بطور طبیعی هدایت می‌کرد، به تأخیر افتاده است. به این زاویه، ***زاویه تأخیر آتش***[2] گفته می‌شود. در این حالت زاویه α نسبت به نقطه صفر ولتاژ تغذیه سنجیده می‌شود. این شکل موج‌ها با توجه به وجود دیود کموتاسیون بدست آمده‌اند که در آنها دیودکموتاسیون از منفی شدن ولتاژ بار (بیش از مقدار افت ولت دیود) ممانعت می‌کند. در خلال پریود هدایتِ تریستور، شکل موج جریان از معادله (۳-۲۱) بدست می‌اید که قبلاً به تفصیل بیان شد و وقتی ولتاژ معکوس می‌شود v_L تقریباً صفر است و جریان بار بطور نمایی کاهش می‌یابد. اگر چنانچه جریان از مقدار جریان نگهدارنده دیود کمتر شود، جریان بار ناپیوسته می‌شود همانطوریکه در شکل ۳-۲۱ پ نشان داده شده است. اگر جریان بارنمایی نزولی تا روشن شدن تریستور در سیکل بعدی، ادامه یابد جریان بار پیوسته می‌گردد چنین شرایطی در شکل ۳-۲۱ ب نشان داده شده‌است.

اگر مقدارپیک ولتاژورودی v_m باشد، مقدارمتوسط ولتاژخروجی ازرابطه زیربدست می‌آید،

1- Variable speed drives 2- Firing delay angle

http://levinic.com

(۴۱-۳)

$$V_{dc}=\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin\omega t\, d(\omega t)=\frac{V_m}{2\pi}\left[-\cos\omega t\right]_{\alpha}^{\pi}=\frac{V_m}{2\pi}(1+\cos\alpha)$$

با تغییر دادن زاویه α از 0 تا π می‌توان ولتاژ V_{dc} را از $\frac{V_m}{\pi}$ تا 0 کنترل کرد. چون ولتاژ خروجی فقط دارای پلاریته مثبت است یعنی یک مبدل یک ربعی[1] است، مبدل یک طرفه یا **نیمه‌مبدل**[2] نامیده می‌شود. بررسی شکل موجها نیز بوضوح نشان می‌دهد که هر چه زاویه تأخیر آتش بزرگتر باشد مقدار متوسط ولتاژ خروجی کمتر است.
مقدار rms ولتاژ خروجی بوسیله رابطه زیر بدست می‌آید،

$$V_{rms}=\left[\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m^2 \sin^2\omega t\, d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}=\left[\frac{V_m^2}{4\pi}\int_{\alpha}^{\pi}(1-\cos 2\omega t)\, d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$=\frac{V_m}{2}\left[\frac{1}{\pi}(\pi-\alpha+\frac{\sin 2\alpha}{2})\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۴۲-۳)$$

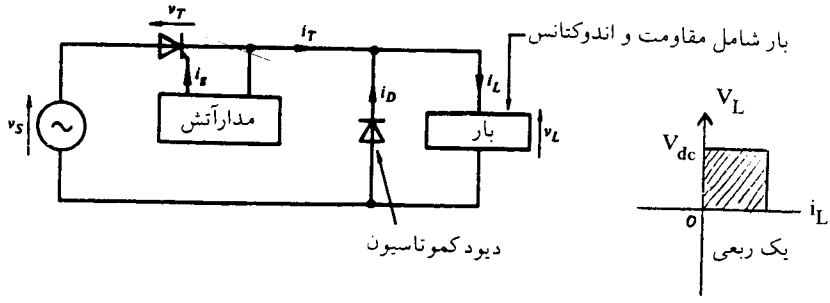
شکل موج ولتاژ دو سر تریستور v_T نشان می‌دهد که در خلال پریود تأخیر ولتاژ مثبت است و همچنین ماکزیمم ولتاژ مستقیم و معکوس آن برابر V_m منبع تغذیه است.
بررسی شکل موجهای شکل ۳-۲۱ بوضوح دو نقش دیود کموتاسیون را نشان می‌دهند، یکی اینکه از منفی شدن ولتاژ بار جلوگیری می‌کند و دیگر اینکه با انتقال جریان بار از تریستور به دیود، اجازه می‌دهد که تریستور در ولتاژ صفر به حالت مسدود (قطع) بازگردد.

مثال ۳-۳

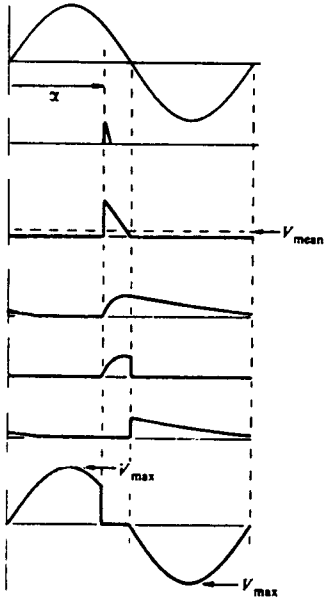
اگر در مدار شکل ۳-۲۱ بار فقط شامل مقاومت اهمی R و زاویه تأخیر آتش $\alpha = \pi/2$ باشد، معین کنید (الف) بازده یکسوکنندگی (ب) ضریب شکل FF (پ) ضریب ریپل RF (ت)ضریب بهره‌برداری ترانسفورماتور TUF و (ث) پیک ولتاژ معکوس PIV تریستور.

1- One quadrant converter 2- Semiconverter

http://levinic.com

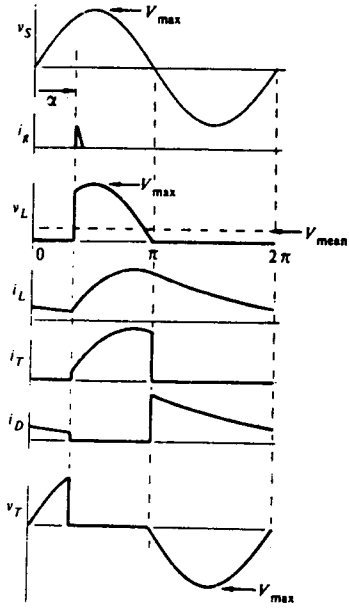


(الف) دیاگرام مداری



(پ)

شکل موجها در زاویه آتش بزرگ
و جریان بار غیرپیوسته



(ب)

شکل موجها در زاویه آتش کوچک
و جریان بار پیوسته

شکل ۳-۲۱ مدار کنترل شده نیم موج تکفاز همراه با دیود کموتاسیون

http://levinic.com

حل - با توجه به زاویه آتش α از معادله (۳-۴۱)، $V_{dc} = ۰/۱۵۹۲\ V_m$ و در نتیجه $I_{dc} = ۰/۱۵۹۲\ V_m/R$ از معادله (۳-۴۲)، $V_{rms} = ۰/۳۵۳۶\ V_m$ و $I_{rms} = ۰/۳۵۳۶\ V_m/R$ همچنین $P_{dc} = V_{dc}\ I_{dc} = (۰/۱۵۹۲V_m)^۲/R$ و $P_{ac} = V_{rms}\ I_{rms} = (۰/۳۵۳۶\ V_m)^۲/R$ بنابراین

(الف)بازده یکسوکنندگی برابر است با

$$\eta = \frac{(۰/۱۵۴۲V_m)^۲}{(۰/۳۲۳۶V_m)^۲} = ٪۲۰/۲۵$$

(ب) ضریب شکل برابر است با

$$FF = \frac{۰/۳۵۳۶Vm}{۰/۱۵۹۲Vm} = ۲/۲۲۱ \text{ یا } ٪۲۲/۲۱$$

(پ) ضریب ریپل برابر است با

$$RF = (۲/۲۲۱^۲ - ۱)^{\frac{۱}{۲}} = ۱/۹۸۳ \text{ یا } ٪۱۹۸/۳$$

(ت) مقدار rms ولتاژ ثانویه ترانسفورماتور برابر است با $V_s = \frac{V_m}{\sqrt{۲}} = ۰/۷۰۷V_m$

مقدار rms جریان ثانویه ترانسفورماتور برابر جریان بار است یعنی، $I_s = ۰/۳۵۳۶V_m \ / \ R$

مقدار ولت آمپر (VA) نامی آن برابر است با $VA = V_sI_s = ۰/۷۰۷V_m \times ۰/۳۶۳۵\ V_m / R$ بنابراین

$$TUF = \frac{(۰/۱۵۹۲)^۲}{۰/۷۰۷\times۰/۳۵۳۶} = ۰/۱۰۱۴ \text{ و } \frac{۱}{TUF} = ۹/۸۶$$

(ث) پیک ولتاژ معکوس برابراست با

$$PIV = V_m$$

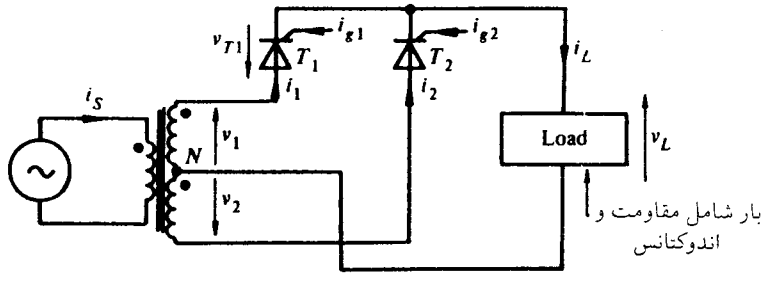
۳-۶-۲ یکسوکننده قابل کنترل تکفاز تمام موج

مدار یکسوکننده قابل کنترل تکفاز تمام موج در شکل ۳-۲۲ نشان داده شده است که در حقیقت همان مدار شکل ۳-۷ است که درآن دیودها با تریستورها جایگزین شده‌اند.

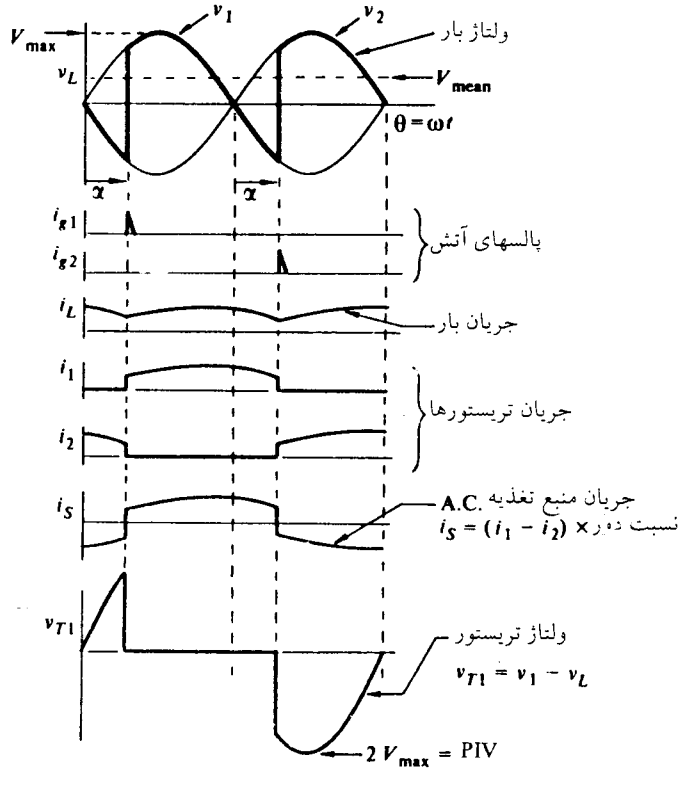
در هرمدار ساده نیم موج، در هر زمان مفروض فقط یک تریستور هدایت می‌کند. همان طوری که قبلاً ملاحظه کردیم در حالت دیودی، عنصر هدایت کننده دیودی است که درآن لحظه

http://levinic.com

به فازی که دارای ولتاژ بالاتری است، متصل شده است. حال آنکه در این مدار تریستور مورد نظر می‌تواند در هر لحظه‌ای که ولتاژ آند آن نسبت به کاتد مثبت است، روشن شود. یعنی اینکه مثلاً در شکل ۳-۲۲، می‌توان تریستور T_1 را پس از مثبت شدن ولتاژ v_1 در هر لحظه‌ای از زمان آتش کرد. پالسهای اعمال شده به تریستورها هر یک به اندازه α نسبت به حالت دیودی تأخیر دارند.



(الف)



(ب)

شکل ۳-۲۲ مدار یکسوکننده قابل کنترل تمام موج

http://levinic.com

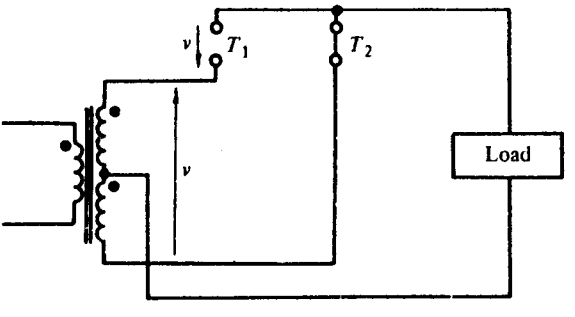
یعنی اگر تریستورها با دیودها جایگزین می‌شدند این زاویه برابر صفر می‌شد.

وقتی تریستور T_1 روشن می‌شود جریان در بار اندوکتیو برقرار می‌شود و تا منفی شده v_1 در حالت روشن باقی می‌ماند. هنگامی که v_1 منفی می‌شود، v_2 مثبت شده و با آتش کردن تریستور T_2، بلافاصله این تریستور روشن شده و جریان بار را به عهده می‌گیرد و ولتاژ معکوس را بر تریستور T_1 اعمال می‌کند و بدین وسیله جریان T_1 به T_2 انتقال می‌یابد. شکل موج ولتاژ دو سر تریستور vT در شکل ۳-۲۲ ب نشان می‌دهد که می‌توان در فاصله‌ای که vT مثبت است در هر لحظه تریستور را با اعمال پالس آتش، به حالت روشن درآورد. پیک ولتاژ معکوس دو سر آن برابر $2vm$ است یعنی ماگزیمم ولتاژ کامل ثانویه ترانسفورماتور در دو سر تریستور ظاهر می‌شود. با مراجعه به شکل ۳-۲۳ به وضوح مشاهده می‌شود که وقتی تریستور T_2 در حالت روشن قرار دارد و تقریباً اتصال کوتاه است تمامی ولتاژ ترانسفورماتور در دوسر تریستور خاموش (قطع) T_1 ظاهر می‌شود.

باتوجه به شکل موج ولتاژبار در شکل ۳-۲۲ ب، مقدارمتوسط ولتاژاز رابطه زیربدست می‌آید،

$$V_{dc}=\frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin\omega t\, d(\omega t) = \frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha \qquad (۴۳-۳)$$

البته بایستی در تمامی مدارهای یکسو کننده توجه داشت که مقدار ولتاژ dc بدست آمده بدون درنظرگرفتن افت ولت وسیله هدایت کننده است. دراینجادر عمل به اندازه افت ولت دو سرتریستور در حال هدایت از مقدار فوق کسرمی‌شود زیرا همواره یکی ازتریستورها بطور سری،با منبع تغذیه قرار می‌گیرد. همچنین دراین حالت فرض شده‌است اندوکتانس باربه‌اندازه‌ای است که جریان بارپیوسته را فراهم می‌کند. وقتی α برابرصفرباشد مقدار ولتاژ متوسط حداکثراست یعنی مشابه حالت دیودی است. وقتی زاویه α برابر ۹۰ درجه است، ولتاژ متوسط



شکل ۳-۲۳ نمایش لحظه‌ای مدار فوق

http://levinic.com

صفراست یعنی سطوح زیر منحنی مثبت ومنفی موج ولتاژ باهم برابر می‌گردند.این موضوع هم‌از روی معادله فوق که تغییرات آن کسینوسی است و هم از روی شکل موجهابه وضوح ملاحظه می‌گردد. همان‌طوری که از روی شکل موج ولتاژ بار مشاهده می‌گردد خروجی دارای مشخصه دوپالسی است، زیرا شکل موج ولتاژ بار، در فاصله زمانی یک سیکل منبع دوبار تکرار می‌شود.

وقتی بار دارای اندوکتانس کمی است، جریان بار ناپیوسته می‌شود و در این صورت ولتاژ بار دارای پریودهای صفر می‌گردد. جریان تریستورها دارای پریود نیم‌سیکل بوده و در جریان بار پیوسته به شکل موج مربعی متمایل می‌شوند. همان‌طوری که در شکل ملاحظه می‌شود جریان منبع تغذیه غیرسینوسی بوده و نسبت به ولتاژ تأخیر دارد.

۳-۶-۳ یکسوکننده قابل کنترل پل تکفاز

مدار پل تکفاز می‌تواند بصورت آرایش‌های نیمه کنترل شده یا تمام کنترل شده مورد استفاده قرار گیرد. اگر دیودهای موجود در مدار شکل ۳-۸ با تریستور جایگزین گردند، مدار پل تکفاز تمام‌کنترل شده شکل ۳-۲۴ بدست می‌آید. مادامی که تریستورها آتش نشده‌اند هدایت صورت نمی‌گیردو برای اینکه جریان برقرار شود بایستی تریستورهای T_1 وT_2 بطور همزمان در نیم سیکل اول و تریستورهای T_3 و T_4 بطور همزمان در نیم سیکل بعدی روشن شوند. جهت اطمینان یافتن از اینکه تریستورها بطور همزمان آتش می‌شوند هر دو تریستور T_1 وT_2 مطابق شکل ۳-۲۵ از یک مدار آتش مشترک، آتش می‌گردند سیگنالهای آتش از طریق ترانسفورماتور ضربه (پالس) به گیت‌ها اعمال می‌شوند.

ولتاژ بار این مدار مشابه مدار قبلی است و مقدار متوسط آن از رابطه زیر بدست می‌آید،

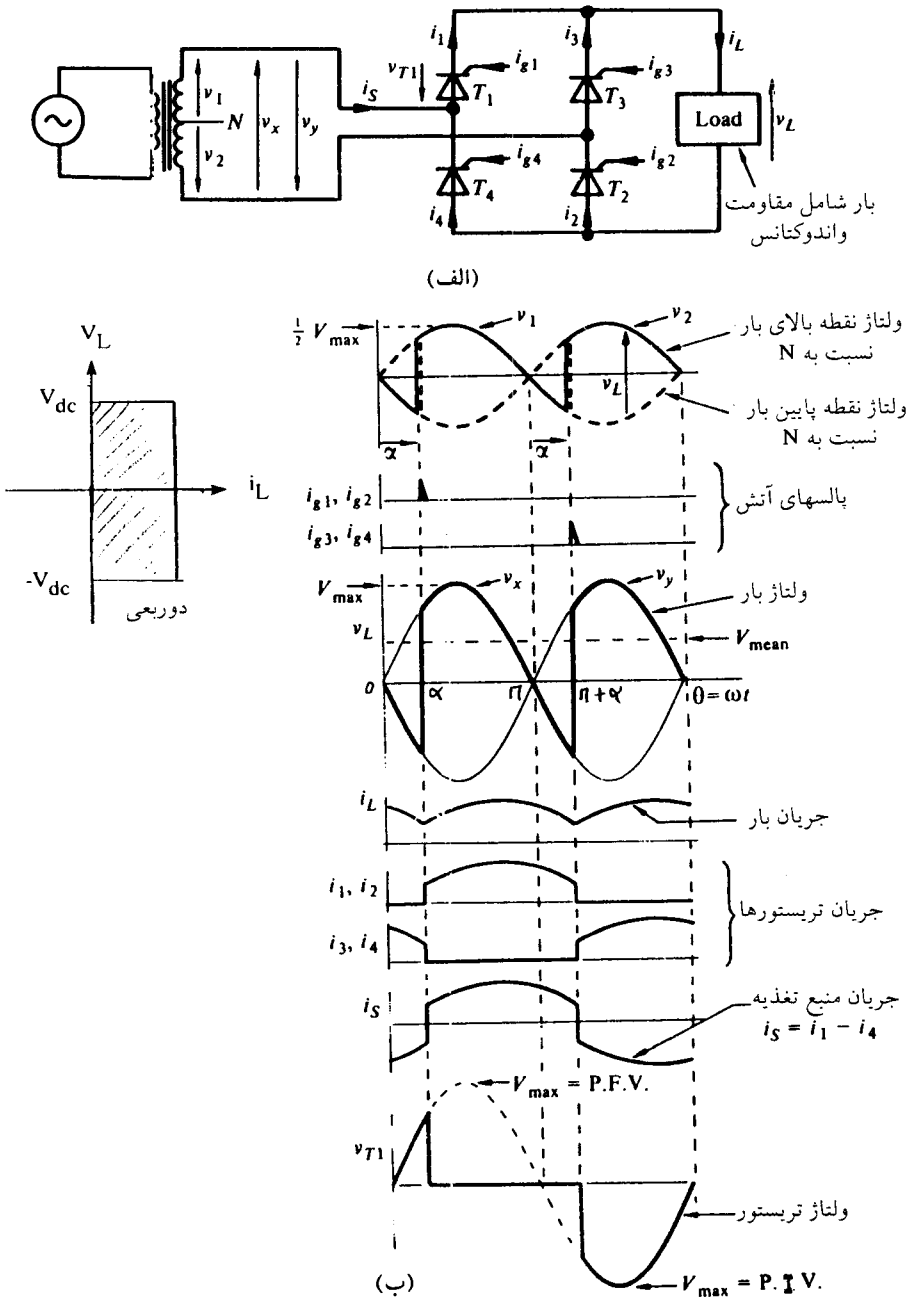
$$V_{dc}=\frac{2}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m \sin\omega t\, d(\omega t)=\frac{2V_m}{2\pi}\left[-\cos\omega t\right]_{\alpha}^{\pi+\alpha}=\frac{2V_m}{\pi}\cos\alpha$$

(۴۴-۳)

در این حالت به اندازه افت ولت دو تریستور از مقدار فوق کسر می‌شود. معادله فوق با این فرض که جریان بار پیوسته می‌باشد بدست آمده است. باتغییر α از ۰ تا π مقدار V_{dc} از $2V_m/\pi$ تا $-2V_m/\pi$ تغییر می‌کند. بنابراین ولتاژ خروجی مبدل می‌تواند پلاریته مثبت یا منفی داشته باشد، البته جریان خروجی فقط یک پلاریته دارد (یعنی در یک جهت جاری می‌شود). چنین مبدلی که در حقیقت یک مبدل دو ربعی[1] است، ***تمام مبدل تکفاز***[2] یا مبدل

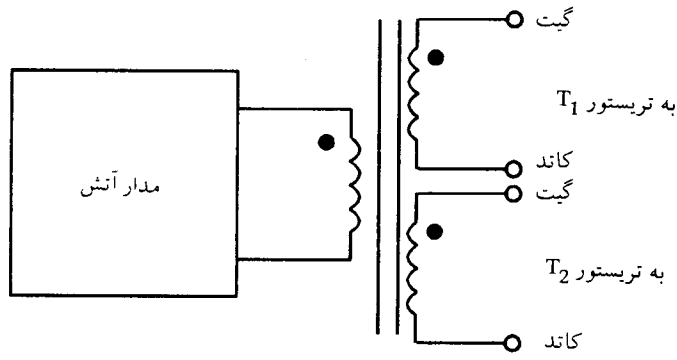
1- Two-quadrant converter 2- Single-phase full converter

http://levinic.com



شکل ۳-۲۴ مدار پل تکفاز تمام کنترل شده

http://levinic.com



شکل ۳-۲۵ مدار آتش با اتصالات خروجی

دو طرفه نامیده می‌شود. مقدار rms ولتاژ خروجی از رابطه زیر بدست می‌آید،

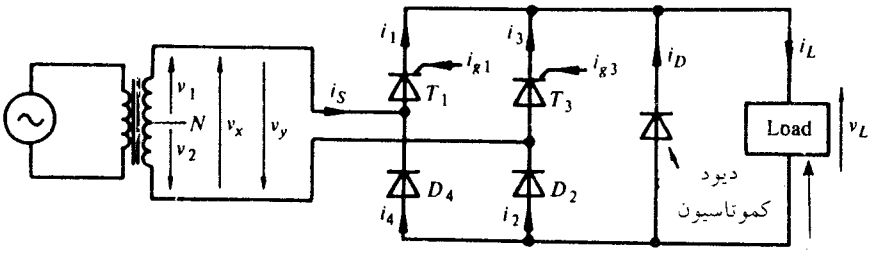
$$V_{rms}=\left[\frac{۲}{۲\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha} V_m^{۲}\,Sin^{۲}\omega t\,d(\omega t)\right]^{\frac{۱}{۲}}=\left[\frac{V_m{}^{۲}}{۲\pi}\int_{\alpha}^{\pi+\alpha}(۱-Cos۲\omega t)\,d(\omega t)\right]^{\frac{۱}{۲}}$$

$$=\frac{V_m}{\sqrt{۲}}$$

(۴۵-۳)

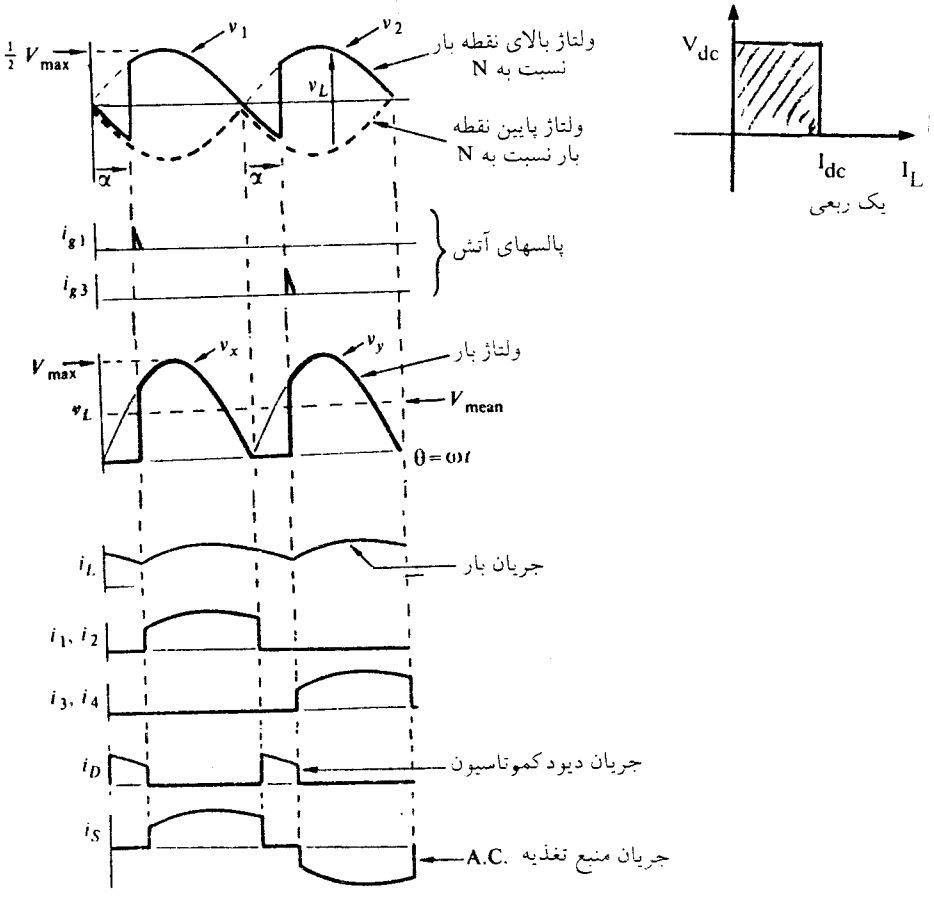
در این نوع مبدل مطابق شکل در فاصله α تا π ولتاژ و جریان ورودی مثبت بوده و در نتیجه توان از منبع به سمت بار عبور می‌کند. بنابراین مبدل در این حالت در مُد یکسوکنندگی کار می‌کند. در فاصله π تا $\pi+\alpha$ ولتاژ ورودی منفی و جریان مثبت است و در نتیجه توان معکوس بوده و از بار به سمت منبع عبور می‌کند. در این حالت مبدل در مُد معکوس‌کنندگی کار می‌کند. همان طوری که گفته شد بسته به مقدار α مقدار متوسط خروجی مثبت یا منفی خواهد بود. اگر چنانچه در مدار شکل ۳-۲۴ تریستورهای $T_۲$ و $T_۴$ با دیودهای $D_۲$ و $D_۴$ جایگزین گردند، مدار نیمه کنترل شده شکل ۳-۲۶ بدست می‌آید. فرض می‌شود که جریان بار پیوسته باشد. شکل موج ولتاژ بار شکل ۳-۲۶ ب مطابق آنچه که قبلاً ارائه شد رسم شده است. نحوه عملکرد مداربه این صورت است که در خلال نیم‌سیکل مثبت، تریستور $T_۱$ در بایاس (گرایش) مستقیم قرار دارد و وقتی تریستور در زاویه α آتش می‌شود در فاصله $\alpha \le \omega t \le \pi$ بار از طریق $D_۲$ و $T_۱$ به منبع تغذیه ورودی متصل می‌گردد و جریان بار برقرار می‌گردد که این جریان در شکل بصورت $i_۲$ و $i_۱$ نشان داده شده است. در فاصله $\pi \le \omega t \le \pi+\alpha$ ولتاژ ورودی منفی می‌شود لیکن به واسطه اندوکتیو بودن بار، جریان بار ادامه دارد و چون دیود کموتاسیون در

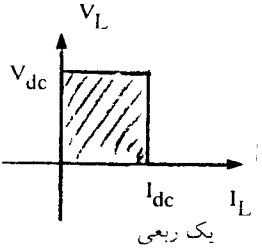
http://levinic.com



بار شامل مقاومت واندوکتانس

(الف)





یک ربعی

(ب)

شکل ۳-۲۶ مدار پل تکفاز نیمه کنترل شده

http://levinic.com

بایاس (گرایش) مستقیم قرار می‌گیرد هدایت کرده جریان بار از T_1 و D_2 به دیود کموتاسیون انتقال می‌یابد که در شکل بصورت i_D نشان داده شده است و در نتیجه T_1 و D_2 خاموش می‌شوند. در نیم سیکل منفی تریستور T_3 در بایاس مستقیم قرار می‌گیرد و وقتی در لحظه $\pi+\alpha$ ، T_3 آتش می‌شود، دیود کموتاسیون در بایاس معکوس قرار گرفته، قطع می‌شود و در نتیجه بار از طریق T_3 و D_2 به منبع تغذیه متصل می‌گردد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود دیود کموتاسیون از منفی شدن ولتاژ بار ممانعت می‌کند، اما در این مدار، بدون حضور دیود کموتاسیون نیز این عمل انجام می‌شود. به این صورت که بعد از نقطه صفر ولتاژ تغذیه و قبل از آنکه مثلاً تریستور T_3 روشن شود، تریستور T_1 به هدایت خود ادامه می‌دهد اما مسیر برگشت جریان بار از دیود D_2 به دیود D_1 منتقل می‌شود (زیرا در این فاصله با منفی شدن ولتاژ تغذیه دیود D_2 بایاس معکوس و D_1 بایاس مستقیم می‌شود.بنابراین جریان بار از طریق T_1 و D_1 یک مسیر آزاد (هرزگرد) را طی می‌کند و جریان منبع تغذیه برابر صفر می‌شود). البته دیود کموتاسیون در مقایسه با ترکیب تریستور، دیود، مسیر موازی بهتری را برای‌جریان آزاد (هرزگرد) بار فراهم می‌کند و موجب می‌شودکه تریستور قطع شده و وضعیت مسدود خود را بازیابد.

مقدار متوسط ولتاژ خروجی برابر است با

$$V_{dc}=\frac{2}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi}V_m\sin\omega t\,d(\omega t)=\frac{2V_m}{2\pi}[-\cos\omega t]_{\alpha}^{\pi}=\frac{V_m}{\pi}(1+\cos\alpha) \qquad (۴۶-۳)$$

با تغییر α از ۰ تا π مقدار V_{dc} از $2V_m/\pi$ تا ۰ تغییر می‌کند، یعنی مبدل یک ربعی یا نیم مبدل است.

مقدار rms ولتاژ خروجی برابر است با

$$V_{rms}=\left[\frac{2}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi}V_m^2\sin^2\omega t\,d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}=\left[\frac{V_m^2}{2\pi}\int_{\alpha}^{\pi}(1-\cos 2\omega t\,d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$=\frac{V_m}{\sqrt{2}}\left[\frac{1}{\pi}(\pi-\alpha+\frac{\sin 2\alpha}{2})\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (۴۷-۳)$$

همانطوریکه در شکل موج جریان تغذیه ملاحظه می‌شود، در بعضی فواصل زمانی مقدارش صفراست و در فواصلی که ولتاژ بار صفر است دیود کموتاسیون جریان نزولی بار را از خود عبور می‌دهد.

http://levinic.com

مدار نیمه کنترل شده در مقایسه با مدار تمام کنترل شده ارزانتر است اما به واسطه این‌که جریان تغذیه دارای پریودهای صفر است، این جریان دارای اعوجاج بیشتری است. همان‌طوری که ملاحظه کردیم مدار نیمه کنترل شده یک مبدل یک ربعی یا نیمه مبدل است یعنی در آن امکان‌معکوس شدن ولتاژ متوسط (dc) خروجی وجود ندارد و نمی‌توان بصورت معکوس کننده (اینورتر) که بعداً توضیح داده خواهد شد، بکاربرد. در مدار تمام کنترل شده امکان معکوس شدن ولتاژ متوسط خروجی وجود دارد.

۳-۶-۴ یکسوکننده قابل کنترل سه فاز نیم موج

اگر دیودهای شکل ۳-۹ با تریستور جایگزین شوند مدار قابل کنترل شکل ۳-۲۷ بدست می‌آید مقدار متوسط ولتاژ خروجی با کنترل زاویه آتش α قابل تنظیم خواهد بود. زاویه تأخیر آتش نسبت به نقطه‌ای که ولتاژهای فاز منبع تغذیه یکدیگر را تلاقی کرده‌اند، تعریف می‌شود. بنابراین وقتی زاویه تأخیر آتش صفر است، مدار مشابه حالت دیودی است و مقدار متوسط ولتاژ خروجی ماکزیمم است و دیودها در نقاط تلاقی ولتاژهای فاز بطور طبیعی عمل کموتاسیون را انجام می‌دهند. همان‌طوری که شکل ۳-۲۷ ب نشان می‌دهدتا زمانیکه پالس آتش به گیت تریستور اعمال نشده است، تریستور هدایت نمی‌کند، در نتیجه تا فرارسیدن آن لحظه، ولتاژ قبلی بر روی بار قرار می‌گیرد و بنابراین مقدار متوسط ولتاژ بار کاهش می‌یابد. مقدار ریپل افزایش می‌یابد ولی هنوز دارای مشخصه سه پالسی است. شکل موج‌های ولتاژ بار در شکلهای ۳-۲۷ ب و پ اثر زاویه تأخیر آتش بزرگتر را نشان می‌دهند. به ازاء زاویه تأخیر آتش بزرگتر از ۳۰° ولتاژ دارای پریودهای منفی خواهد شد.

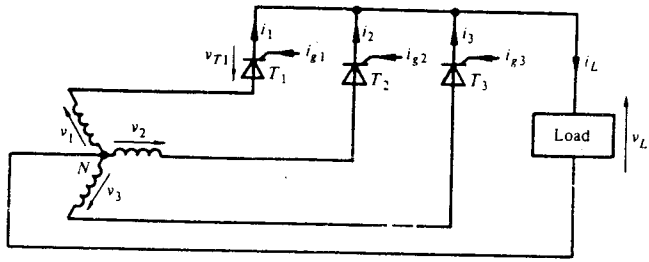
مقدار متوسط ولتاژ خروجی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$V_{dc} = \frac{1}{2\frac{\pi}{3}} \int_{\frac{\pi}{6}+\alpha}^{\frac{5\pi}{6}+\alpha} V_m \sin\omega t \, d(\omega t) = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \cos\alpha \qquad (۳-۴۸)$$

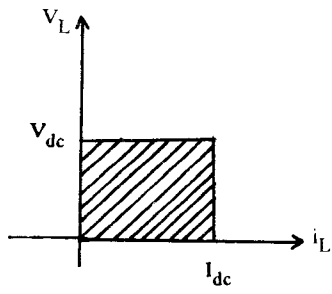
بنابراین مقدار متوسط ولتاژ خروجی با کسینوس زاویه آتش α متناسب است که در زاویه تأخیر $\alpha = 0$ حداکثر و در زاویه تأخیر آتش $\alpha = 90°$، صفر است.

مقدار rms ولتاژ خروجی برابر است با

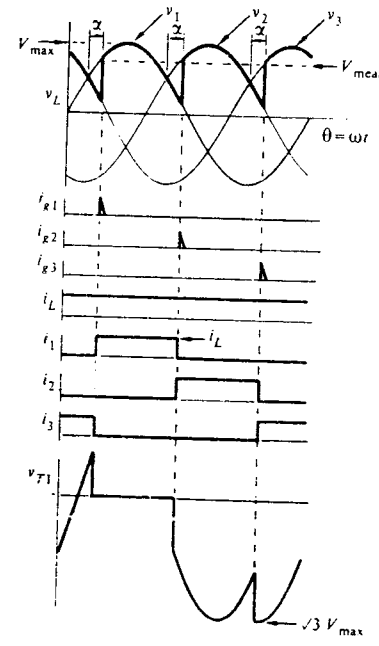
http://levinic.com



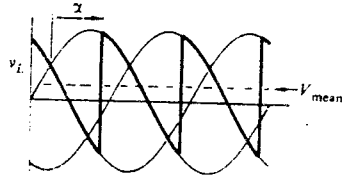
(الف)



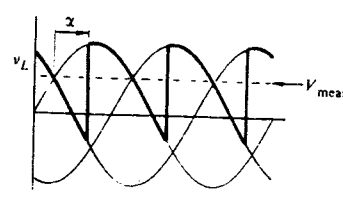
یک ربعی



(ب)



(ت)



(پ)

شکل ۳-۲۷ مدار کنترل شده سه فاز نیم موج

http://levinic.com

$$V_{rms}=\left[\frac{۱}{۲\frac{\pi}{۳}}\int_{\frac{\pi}{۶}+\alpha}^{\frac{۵\pi}{۶}+\alpha} V_m^۲ \sin^۲\omega t\, d(\omega t)\right]^{\frac{۱}{۲}}=\sqrt{۳}V_m\left(\frac{۱}{۶}+\frac{\sqrt{۳}}{۸\pi}\cos ۲\alpha\right)^{\frac{۱}{۲}} \quad (۴۹-۳)$$

مثال ۳-۴

یک یکسوکننده کنترل شده سه فاز نیم موج به منبع تغذیه ۳۸۰V (ولتاژ خط)، متصل شده است. جریان بار ثابت و مقدار آن ۳۲A می‌باشد. با فرض اینکه تریستورها دارای افت ولت ۱/۲V باشند، مقدار متوسط ولتاژ بار را در زاویه آتش ۰° و ۴۵° بدست آورید. مقدار نامی جریان و پیک ولتاژ معکوس تریستور چقدر خواهد بود و همچنین متوسط توان تلف شده در هر تریستور چقدر است؟

حل - همانطوریکه قبلاً گفته شد، افت ولت تریستور سبب می‌شود مقدار متوسط ولتاژ خروجی کاهش یابد بنابراین،

$$V_m=\frac{۳۸۰\sqrt{۲}}{\sqrt{۳}}=۳۱۰/۳V$$

$$V_{dc}=\frac{۳\sqrt{۳}}{۲\pi}V_m\cos\alpha - V_t$$

که درآن V_t افت ولت مستقیم تریستور است.

در $\alpha=۰°$ داریم

$$V_{dc}=\frac{۳\sqrt{۳}\times ۳۸۰\times\sqrt{۲}}{۲\times\pi\times\sqrt{۳}}\cos ۰° - ۱/۲ = ۲۵۵/۴\ V$$

در $\alpha=۴۵°$ داریم

$$V_{dc}=\frac{۳\times\sqrt{۳}\times ۳۸۰\times\sqrt{۲}}{۲\times\pi\times\sqrt{۳}}\cos ۴۵° - ۱/۲ = ۱۸۰/۲\ V$$

برای یک جریان ثابت، جریان rms در هر تریستور بوسیله انتگرال‌گیری در خلال یک سیکل

http://levinic.com

تغذیه بدست می‌آید، یعنی

$$I_{rms}=\left[\frac{1}{2\pi}\int_{\alpha}^{\alpha+\frac{2\pi}{3}} I_1^2\, d(\omega t)\right]^{\frac{1}{2}}=\frac{I_1}{\sqrt{3}}$$

بنابراین براساس این فرمول مقدار نامی جریان برابر است با

$$I_{rms} = 32/\sqrt{3} = 18/47 \text{ A}$$

با مراجعه به شکل ۳-۲۷ ملاحظه می‌شود که پیک ولتاژ معکوس تریستور برابر است با

$$PRV = \sqrt{3}\, V_{max} = \sqrt{3} \times 380 = 537/4 \text{ V}$$

مقدار متوسط توان تلف شده در تریستور به وسیله میانگین‌گیری از توان لحظه‌ای تلف شده در تریستور در خلال یک سیکل بدست می‌آید، یعنی

$$\text{متوسط توان} = \frac{1}{2\pi}\int_{\pi}^{\alpha+\frac{2\pi}{3}} v_t i_t\, d(\omega t)=\frac{V_t I_t}{3}=\frac{1/2\times 32}{3}=12/8 \text{ W}$$

۳-۶-۵ یکسوکننده قابل کنترل شش فاز نیم موج

مدار کنترل شده شش فاز نیم موج که درآن از یک ترانسفورماتور تغذیه ستاره ساده استفاده شده است، در شکل ۳-۲۸ نشان داده شده است. نحوه اتصال مشابه مدار سه فاز نیم موج است و فقط تعداد فاز افزایش یافته است و هر تریستور در فاصله یک ششم سیکل هدایت می‌کند. همانطوریکه قبلاً در شکل ۳-۱۲ ملاحظه کردیم شکل موج ولتاژ بار در حالت دیودی همان قسمت قلهٔ ولتاژهای شش فاز خواهد بود وعمل کموتاسیون در نقطه تلاقی ولتاژها رخ می‌دهد. لیکن برای حالت تریستوری همانطوریکه شکل ۳-۲۸ ب نشان می‌دهد، به اندازه زاویه تأخیر آتش α در موج ولتاژ خروجی تأخیر ایجاد می‌شود. شکل موج دارای مشخصه شش پالسی است و مقدار متوسط آن از رابطه زیر بدست می‌آید: