http://levinic.com

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{۰/۷۰۷V_m}{R}$$

$$P_{dc} = (۰/۶۳۶۶V_m)^۲/R \quad و \quad P_{ac} = (۰/۷۰۷V_m)^۲/R$$

$$\eta = (۰/۶۳۶۶V_m)^۲ \; / \; (۰/۷۰۷V_m)^۲ = ٪۸۱$$

$$FF = ۰/۷۰۷V_m \; / \; ۰/۶۳۶۶V_m = ۱/۱۱$$

$$RF = \sqrt{۱/۱۱^۲ - ۱} = ٪۴۸/۲$$

$$V_s = V_m \; / \; \sqrt{۲} = ۰/۷۰۷ \; V_m$$

$$I_s = ۰/۵ \; V_m/R$$ مقدار موثر جریان در هر قسمت از سیم‌پیچ ثانویه

$$TUF = \frac{۰/۶۳۶۶^۲}{۲\times۰/۷۰۷\times۰/۵} = ٪۵۷/۳۲$$

$$PIV = ۲V_m$$

اگر مقادیر فوق را با آنچه که در مدار یکسوکننده نیم موج بدست آمد، مقایسه نمائیم ملاحظه می‌شود که در مدار تمام موج بهبود قابل ملاحظه‌ای حاصل شده است.

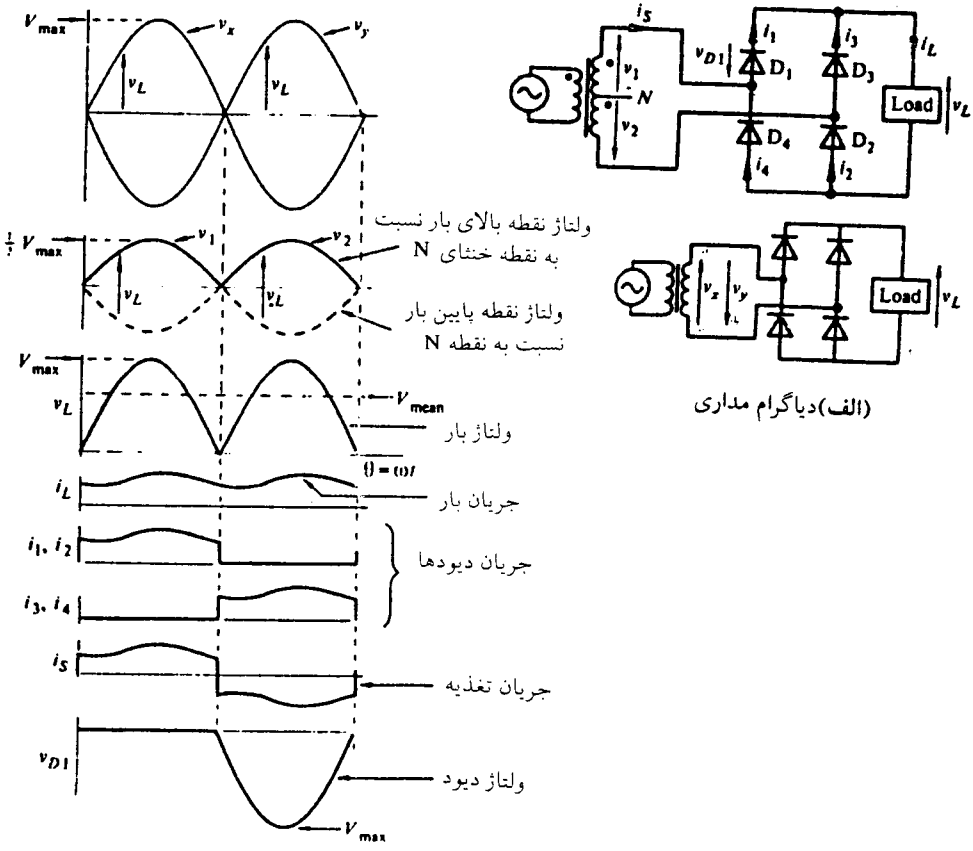
۳-۵-۳ پل تکفاز[1] (دوطرفه)

در یکسو کننده دوفاز نیم موج می‌توان بجای استفاده از ترانسفورماتور با انشعاب میانی، از چهار دیود مطابق شکل ۳-۸ الف،استفاده نمود. این مدار که به یکسوکننده پل معروف است، خروجی تمام موج را فراهم می‌کند و در مقایسه با مدار دو فاز نیم‌موج قبل، هر دیود ولتاژ معکوس کمتری را تحمل می‌کند (V_m). شکل موج جریان و ولتاژ در شکل ۳-۸ ب نشان داده شده است. برای ترسیم شکل موجهامی‌توان مشابه حالت قبل یک نقطه میانی خنثای N را در نظر گرفت و شکل موج ولتاژ هر طرف بار را نسبت به نقطه N بدست آورد و از تفاضل آنها v_L را

1- Single-phase Bridge

http://levinic.com

بدست آورد یا با در نظر گرفتن قسمت مثبت و منفی v_x و v_y آنرا بدست آورد. خروجی دارای مشخصه دو پالسی است. وقتی بار شدیداً اندوکتیو باشد (که معمولاً همین‌طور است)، جریان بار تقریباً ثابت و همان‌طوری‌که در شکل ملاحظه می‌شود جریان تغذیه موج مربعی خواهد بود. مقدار متوسط جریان هر دیود برابر نصف جریان متوسط بار است یعنی $I_D = I_{dc}/۲$ و مقدار موثر جریان دیود که مقدار نامی دیود را مشخص می‌کند برابر است با $I_{rms} = I_{dc}/\sqrt{۲}$ که در آن $n=۲$ معرف تعداد پالس است.



(الف)دیاگرام مداری

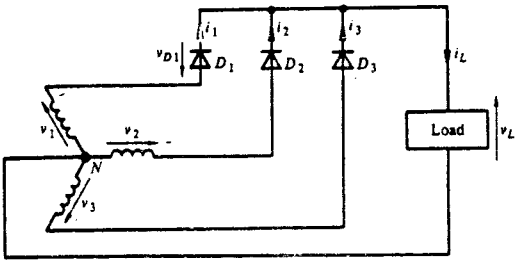
(ب) شکل موج

شکل ۳-۸ یکسوکننده پل تمام موج

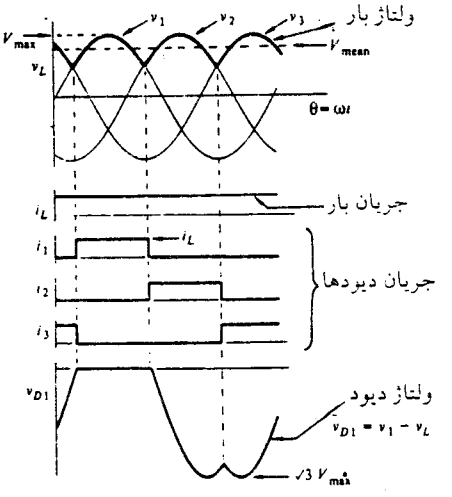
http://levinic.com

۳-۵-۴ یکسوکننده سه فاز نیم موج[1] (یکطرفه)

یکسوکننده سه فاز نیم‌موج، عنصر اصلی اکثر مدارهای یکسو کننده چند فاز را تشکیل می‌دهد. مداراین‌یکسوکننده درشکل ۳-۹ الف نشان‌داده‌شده‌است، هرفازتغذیه‌ازطریق یک دیود به‌بار متصل شده‌است و مشابه کلیه اتصالات نیم‌موج، جریان‌باربه‌نقطه‌خنثای تغذیه برمی‌گردد. عملکرد مدار به این صورت است که در هر لحظه مفروض فقط یک دیود هدایت می‌کند و آن دیودی است که به فازی که دارای بیشترین مقدار ولتاژ لحظه‌ای است، متصل شده باشد. این عملکرد منتج به شکل موج ولتاژ بار v_L مطابق شکل ۳-۹ ب می‌گردد، که در حقیقت همان‌قسمت قله‌ی ولتاژ فازهای متوالی است. مادامیکه v_1 مثبت‌ترین فاز است، دیود D_1



(الف)دیاگرام مداری



(ب)شکل موجها

شکل ۳-۹ یکسوکننده سه فاز نیم موج

1- Three-phase half-wave

http://levinic.com

هدایت می‌کند و جریان پالسی مستطیل شکل ایجاد می‌کند. وقتی $v_۲$ مثبت‌تر از $v_۱$ می‌شود جریان بار از دیود $D_۱$ به دیود $D_۲$ منتقل می‌شود. لحظه انتقال جریان یا کموتاسیون را می‌توان از روی شکل موج ولتاژ دیود v_D مشاهده کرد، وقتی که مقدار لحظه‌ای $v_۱$ از $v_۲$ کمتر می‌شود ولتاژ v_D منفی شده و دیود $D_۱$ خاموش می‌شود.

برای سیستم q فاز، مقدار متوسط ولتاژ خروجی توسط رابطه زیر بدست‌می‌آید.

$$v_{dc}=\frac{۱}{۲\frac{\pi}{q}}\int_{\frac{\pi}{۲}-\frac{\pi}{q}}^{\frac{\pi}{۲}+\frac{\pi}{q}} V_m \operatorname{Sin}\omega t\, d(\omega t)=V_m\frac{q}{\pi}\operatorname{Sin}\frac{\pi}{q} \qquad (۳۳-۳)$$

که در آن $\frac{۲\pi}{q}$ زاویه هدایت دیود است که در مورد سیستم سه فاز $\frac{۲\pi}{۳}$ خواهد شد و مقدار متوسط خروجی برابر است با

$$V_{dc}=\frac{۳V_m}{\pi}\sin\frac{\pi}{۳}=\frac{۳\sqrt{۳}\,V_m}{۲\pi} \qquad (۳۴-۳)$$

همانطوریکه ملاحظه می‌شود ولتاژ خروجی بین ماکزیمم ونصف آن تغییر می‌کند و سه بار در سیکل تکرار می‌شود، بنابراین دارای مشخصه سه‌پالسی است و در مقایسه با مدارهای قبلی دارای ریپل کمتری است و طبق معادله (۳-۳۰) دارای مقدار متوسط ولتاژ بیشتری است از این‌رو برای قدرتهای بالاتر (بیش از ۱۵ kW) از یکسو کننده‌های سه فاز و یا چند فاز استفاده می‌شود.

بافرض اینکه جریان بار ثابت است (I_L) در فاصله زمانی یک سیکل، جریانهای دیود یک سوم آنرا تشکیل می‌دهند. بنابراین مقدار متوسط جریان هر دیود برابراست با

$$I_D=\frac{۱}{۲\pi}\int_{o}^{\frac{۲\pi}{۳}} I_L\,d\theta=\frac{I_L}{۳}$$

ویا

$$\text{متوسط } I_D=\frac{I_L}{n}=\frac{I_L}{۳} \qquad (۳۵-۳)$$

برای تعیین مقدار نامی دیود از مقدار rms جریان دیود استفاده می‌شود که برابر است با

$$\text{موثر } I_D=\left[\frac{۱}{۲\pi}\int_{o}^{۲\frac{\pi}{۳}} I_L^۲\,d\theta\right]^{\frac{۱}{۲}}=\frac{I_L}{\sqrt{۳}}$$

ویا

http://levinic.com

$$\text{موثر } I_D = \frac{I_L}{\sqrt{n}} = \frac{I_L}{\sqrt{۳}} \qquad (۳۶-۳)$$

که در آن n=۳ تعداد پالس است.

همچنین می‌توان بطور ساده از جذر میانگین مجموع مجذورات جریان در سه فاصله مساوی، مقدار موثر جریان را بدست آورد. یعنی

$$I_{rms} = \left(\frac{I_L{}^{۲} + ۰^{۲} + ۰^{۲}}{۳}\right)^{\frac{۱}{۲}} = \frac{I_L}{\sqrt{۳}}$$

با توجه به شکل موج ولتاژ دیود ملاحظه می‌شود که پیک ولتاژ معکوس دیود برابر $\sqrt{۳}V_m$ است که عبارت از ماکزیمم ولتاژ بین دو فاز است.

در اینجا باید خاطر نشان کرد که ترانسفورماتور با اتصال مثلث - ستاره یا ستاره - ستاره ساده، اتصال مناسبی نمی‌باشد زیرا در این‌صورت جریان در هر فاز فقط، در یک جهت عبور می‌کند.

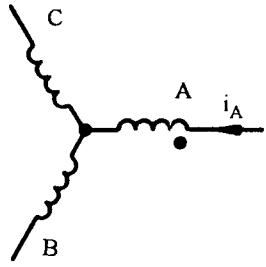
این مسأله ممکن است منجر به مغناطیس شدن dc هسته ترانسفورماتور گردد و در نتیجه جریان مغناطیس کننده و تلفات آهنی افزایش یابد. برای اجتناب از وقوع آن می‌توان از ترانسفورماتور با سیم پیچی اتصال ستاره بهم پیوسته موسوم به اتصال زیگزاگ[1] استفاده کرد. در این‌صورت جریان عبوری از هرفاز متناوب خواهد بود بنابراین از ایجاد هرگونه مولفه dc در نیروی محرکه مغناطیسی هسته جلوگیری می‌شود. اتصال زیگزاگ و شکل موج جریان در شکل ۳-۱۰ نشان داده شده است. در شکل با حروف مشخص شده است که کدام دو سیم پیچ ثانویه با یکی از سیم‌پیچهای اولیه کوپلاژ دارد. با افزایش تعداد فازها، بهره‌برداری از سیم‌پیچی‌ها در هر سیکل کاهش می‌یابد، مثلاً از مقدار π در مدار تکفاز به مقدار $\frac{۲\pi}{۳}$ در مدار سه فاز کاهش می‌یابد.

۳-۵-۵ یکسوکننده شش فاز نیم موج[2] (یکطرفه)

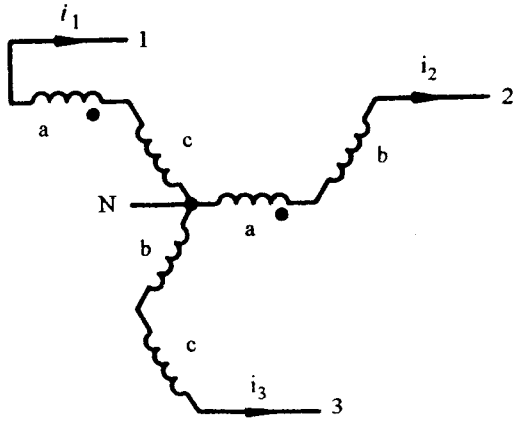
با استفاده از یک ترانسفورماتور تغذیه ستاره ساده شکل ۳-۱۱، می‌توان یک منبع تغذیه شش فاز را ایجاد کرد و از آن در یکسو کننده شش فاز نیم‌موج شکل ۳-۱۲ مورد بهره‌برداری قرارد داد. ولتاژهای خروجی ترانسفورماتور با یکدیگر ۶۰° اختلاف فاز دارند. نحوه اتصال مشابه مدار سه فاز نیم‌موج است و فقط تعداد فاز افزایش یافته است. ولتاژ خروجی دارای مشخصه شش پالسی است (q = ۶)، ریپل آن نسبت به سه فاز نیم‌موج کمتر و با فرکانس

1- Zig-Zag 2- Six-phase half wave

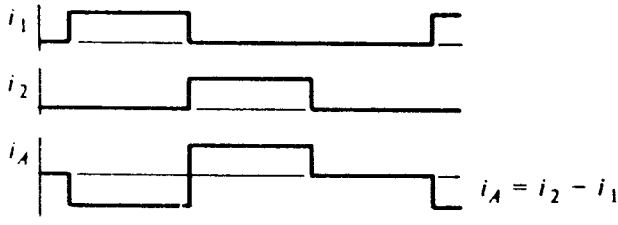
http://levinic.com



اولیه



ثانویه



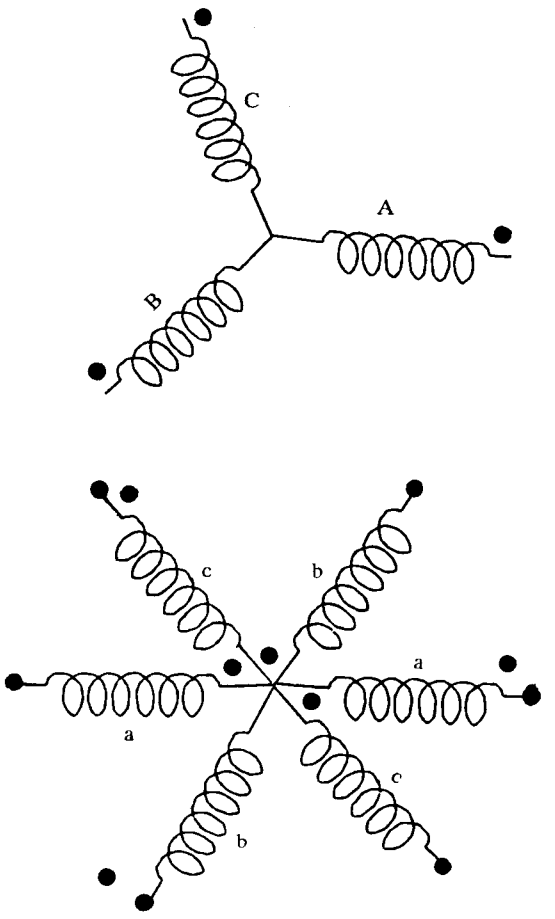
سیم‌پیچهای ثانویه a با سیم‌پیچ اولیه A کوپلاژ دارد.

شکل ۳-۱۰ اتصال زیگزاگ ترانسفورماتور و شکل موج جریان

شش برابر فرکانس تغذیه است. معادلات بخش قبل با جایگذاری ۶ = q، برای یکسوکننده شش فاز نیم موج قابل قبول خواهد بود. مقدار متوسط ولتاژ بار برابر است با

$$V_{dc} = \frac{۳V_m}{\pi} \qquad (۳۷-۳)$$

http://levinic.com



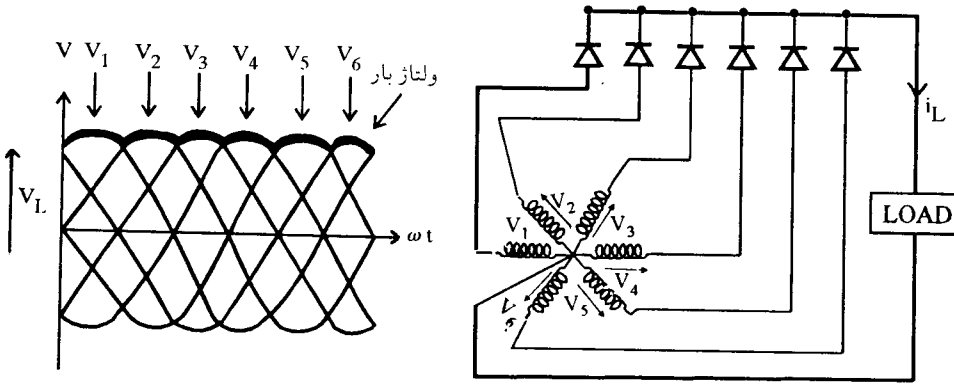
شکل ۳-۱۱ ترانسفورماتور با خروجی شش فاز

البته کاربرد دیود در این مدار بازده خوبی ندارد زیرا فقط در یک ششم سیکل ($\frac{\pi}{3}$) هدایت می‌کند و برای یک جریان بار مستقیم I_L، مقدار موثر جریان دیود برابراست با

$$\text{موثر } I_D = \frac{I_L}{\sqrt{6}} \qquad (۳۸-۳)$$

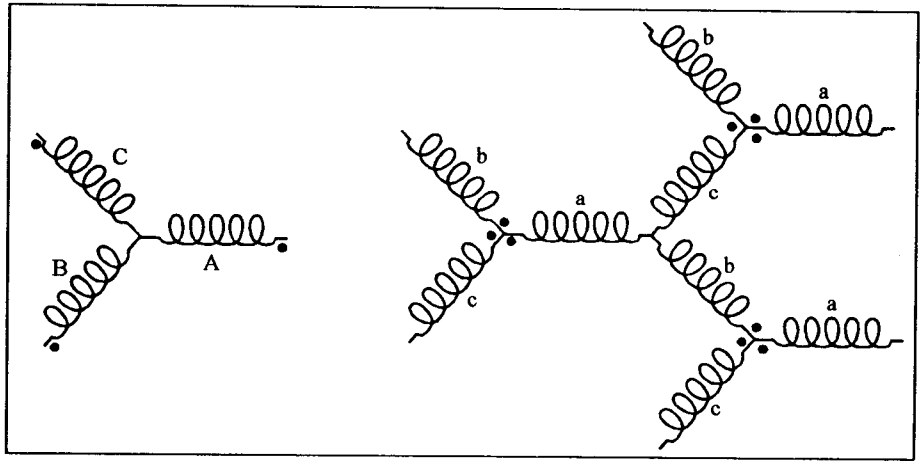
در عمل از اتصال ستاره ساده شکل ۳-۱۲ استفاده نمی‌شود، زیرا از هر بازوی سیم‌پیچی اولیه در یک سوم سیکل جریان عبور می‌کند و در نتیجه مولفه هارمونیک سوم بزرگی در جریان اولیه ایجاد می‌گردد. مقدار جریان مولفه هارمونیک سوم در شکل ۳-۱۱ برابر $\frac{4I_L}{3\pi}$ است. برای

http://levinic.com



(ب)شکل موج (الف) دیاگرام مداری

شکل ۳-۱۲ مدار شش فاز نیم موج ساده



شکل ۳-۱۳ ترانسفورماتور با اتصال ستاره - چنگالی

حذف مولفه هارمونی سوم می‌توان از اتصال ستاره - چنگالی[1] نشان داده شده در شکل ۳-۱۳ استفاده کرد. در این مدار جریان در هر فاز سیم پیچی اولیه در $\frac{۲}{۳}$ سیکل عبور می‌کند و مولفه هارمونیک سوم به صفر تنزل می‌یابد.

1- Star-fork connection

http://levinic.com

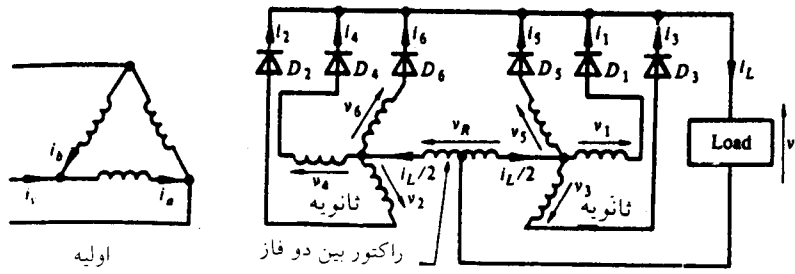
ترانسفورماتوری با چنین سیم‌پیچ غیرمعمول، خیلی گران است و معمولاً بجای آن از اتصال ستاره دوبل[1]، که در شکل ۳-۱۴ نشان داده شده است استفاده می‌گردد. اولیه ترانسفورماتور بصورت مثلث است، در ثانویه ترانسفورماتور روی هر بازو دو سیم پیچ وجود دارد. یک سر سیم پیچهای ثانویه بهم متصل می‌شوند و نقطه خنثی را ایجاد می‌کنند و به این ترتیب ولتاژهای v_1 و v_4، v_3 و v_6، v_5 و v_2، نسبت به هم ۱۸۰° اختلاف فاز دارند. بنابراین اتصال ستاره دوبل اساساً شامل دو مدار سه فاز نیم موج است که بطور موازی کار می‌کنند تا خروجی شش-پالسی را فراهم نمایند. همان‌طوری که گفته شد دو گروه ستاره با یکدیگر ۱۸۰° اختلاف فاز دارند و اگر چنانچه دو نقطه ستاره به‌یکدیگر اتصال کوتاه شوند یک مدار شش فاز ساده خواهیم داشت که شرح آن گذشت. در این حالت ولتاژ خروجی از پشت سرهم قرار گرفتن قله‌های موج ولتاژ، یعنی تکه‌هایی از ولتاژهای سینوسی v_1، v_2، v_3، v_4، v_5، v_6، که نسبت به هم ۶۰° اختلاف فاز دارند، بدست می‌آیدو در هر لحظه فقط دیودی هدایت می‌کند که ولتاژ متصل به آن بیشترین مقدار لحظه‌ای را دارا باشد. مدت زمان هدایت هردیود $\frac{\pi}{3}$ = ۶۰° است و همان‌طوری که گفته شد در این حالت از دیودها بهره‌برداری خوبی به عمل نمی‌آید. البته چون موج خروجی شش‌پالسی است، هارمونیک‌های آن کوچک خواهند بود.

اگر چنانچه دو مدار سه فاز نیم موج بتوانند بصورت موازی کارکنند در مدار شش‌فازه حاصل، عیب فوق مرتفع شده و زاویه هدایت به $\frac{2\pi}{3}$ = ۱۲۰° افزایش می‌یابد یعنی اینکه هر گروه بطور مستقل عمل کرده و هر دیود برای مدت زمان یک سوم سیکل هدایت می‌کند و در هر لحظه یک دیود از هر گروه هدایت نموده و نصف جریان بار را انتقال می‌دهد. چون مقدار لحظه‌ای ولتاژهای خروجی تولید شده توسط دو گروه یکسان نیستند، اتصال موازی آنها بطور مستقیم امکان‌پذیر نیست. بنابراین جهت عملکرد موازی آنها دو نقطه ستاره از طریق یک ترانسفورماتور یا راکتور بین دو فاز[2] (که همچنین بوبین جذب کننده[3] نامیده می‌شود) بهم متصل می‌گردد. بوبین جذب کننده نقش تقسیم کننده القایی ولتاژ را دارد و اختلاف ولتاژ لحظه‌ای خروجی دو گروه را جذب می‌نماید و امکان می‌دهد که هر دو گروه ستاره همزمان هدایت نمایند. ولتاژ در نقطه وسط این بوبین برابر نصف مجموع ولتاژهای خروجی است، بنابراین همان‌طوری که در شکل ملاحظه می‌شود ولتاژ بار در وسط دو گروه پالس قرار می‌گیرد. ولتاژ بار دارای مشخصه شش - پالسی است و حداکثر مقدار لحظه‌ای آن $\frac{\sqrt{3}}{2} V_{max}$ است که در

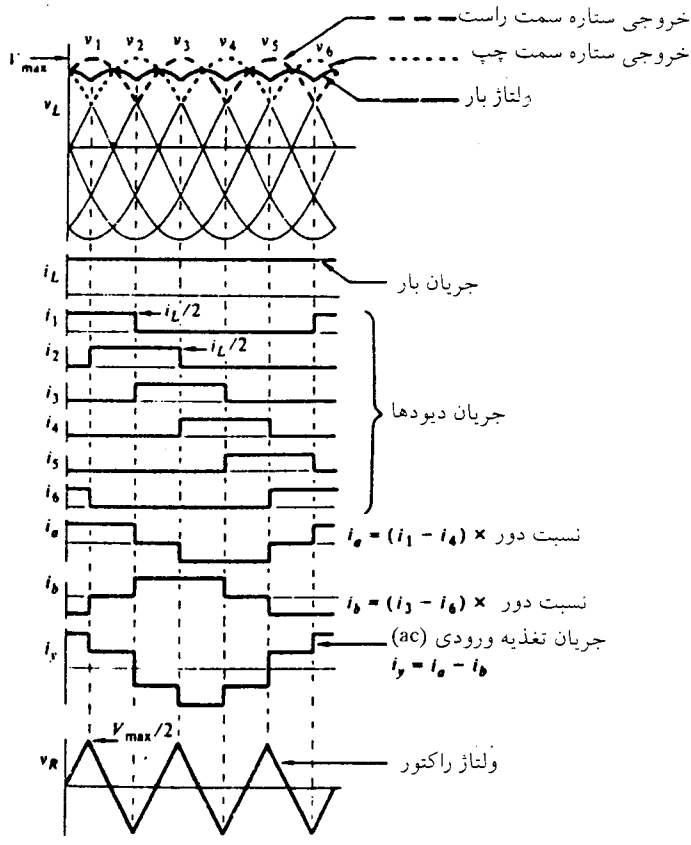
1- Double-star connection 2- Interphase reactor or transformer

3- Absorption inductor

http://levinic.com



(الف) دیاگرام مداری



(ب) شکل موجها

شکل ۳-۱۴ یکسوکننده نیم‌موج شش فاز با ستاره دوبل

http://levinic.com

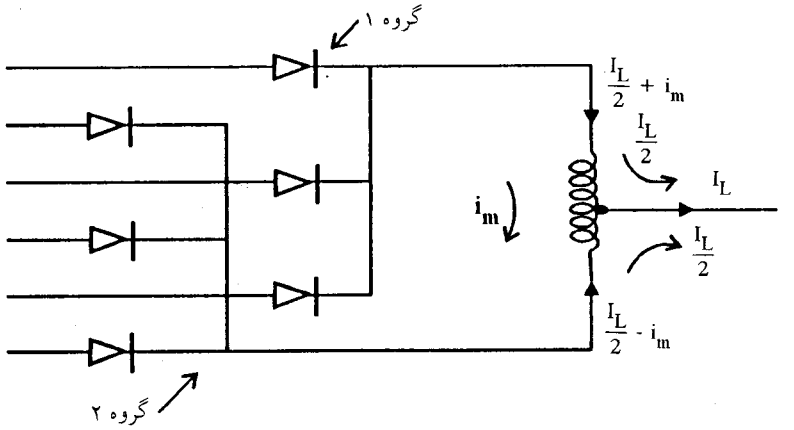
محل تقاطع ولتاژهای فاز قرار دارد. این مقدار از حداکثر مقدار در اتصال ستاره سه فاز (V_{max}) کمتر است.

مقدار متوسط ولتاژ بار را می‌توان با محاسبه مقدار متوسط هر گروه سه پالسی و یا مستقیماً از روی شکل موج واقعی شش پالسی بدست آورد که برابر است با

$$V_{dc} = \frac{3\sqrt{3}}{2\pi} V_m \qquad (۳۹-۳)$$

شکل موج‌های جریان شکل ۳-۱۴ ب نشان می‌دهند که در ترانسفورماتور با اولیه مثلث، یک شکل موج جریان پله‌ای از منبع تغذیه سه فاز کشیده می‌شود. در این نوع اتصال در مقایسه با اتصال شش‌پالسی ساده، مدت زمان هدایت دیود و شکل موج ورودی هر دو بهتر شده است.

شکل موج ولتاژ دو سر بوبین جذب که در شکل ۳-۱۴ ب نشان داده شده است از اختلاف بین دو گروه ستاره بدست می‌آید که تقریباً مثلثی شکل است و ماکزیمم آن برابر نصف ماکزیمم ولتاژ فاز و فرکانس آن سه برابر فرکانس تغذیه است. ولتاژ دو سر بوبین جذب منجر به عبور جریان مغناطیس کننده بین نقاط ستاره دو گروه می‌گردد. مقدار جریان مغناطیس کننده به شارمغناطیسی آن بستگی دارد که خود تابع ولتاژ دو سر آن است. بنابراین یک عدم تعادل کوچکی بین جریانهای دو نیمه راکتور بین دوفاز بوجود می‌آید که در شکل ۳-۱۵ جریان



شکل ۳-۱۵ جریان مغناطیس کننده در راکتور بین دوفاز

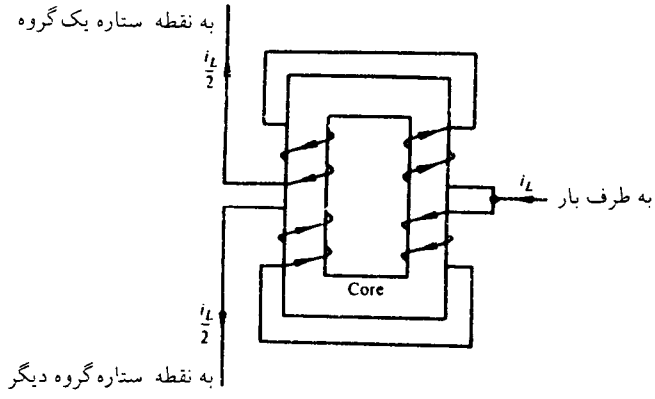
مغناطیس کننده برگشتی از دیودهای هدایت کننده هر گروه (که در یکی از آنها بصورت جریان معکوس است) می‌گذرد. بنابراین مسیر این جریان بایستی از طریق دیودها باشد واین در

http://levinic.com

صورتی امکان‌پذیر است که جریان بار برقرار باشد. جریان مغناطیس کننده که از جهت معکوس دیودها عبور می‌کند جریان مستقیم دیود را قدری کاهش می‌دهد. مقدار جریان بار باید از جریان مغناطیس کننده بیشتر باشد. اگر چنانچه جریان بار از مقدار بحرانی (I_{Lcr}) کمتر گردد جریان مغناطیس‌کننده‌برای ایجاد ولتاژ دوسر بوبین کافی نبوده و بوبین نمی‌تواند به عنوان تقسیم کننده ولتاژ عمل نماید و مجموعه بصورت اتصال ستاره شش فاز ساده کار خواهد کرد.

اگر چنانچه بار قطع گردد جریان مغناطیس کننده عبور نمی‌کند و ولتاژی در دو سر بوبین بوجود نمی‌آید و در نتیجه نقطه‌های ستاره از نظر الکتریکی مشترک گردیده و مدار مشابه مدارنیم موج شش‌فاز ساده رفتار می‌کند. بنابراین برای اینکه عملکرد مدار در بارهای مختلف تضمین گردد، لازم است یک بار دائمی کوچک به دو سر یکسوکننده متصل گردد تا جریانی بیشتر از جریان مغناطیس‌کننده از آن بگذرد.

نمونه‌ای از ترانسفورماتور بین دو فاز (راکتور) در شکل ۳-۱۶ نشان داده شده است که هسته آن شامل دو بازو است و روی هر بازو دو سیم پیچ با پیوستگی (کوپلاژ) زیاد قرار دارد. پیوستگی زیاد سیم‌پیچ‌ها، مشابه ترانسفورماتور، تعادل m.m.f را تضمین نموده و باعث می‌شود که جریان بار بطور مساوی بین سیم‌پیچها تقسیم گردد. جریان مغناطیس کننده که از یک نقطه ستاره به نقطه ستاره دیگر جاری می‌شود در تمام سیم‌پیچ‌ها در یک جهت عمل می‌کند تا شار لازم را ایجاد نماید. مشابه ترانسفورماتور معمولی، جریان مغناطیس کننده منجر به عدم تعادل کمی بین جریان کل در دو سیم‌پیچ واقع بر روی یک بازو می‌گردد.



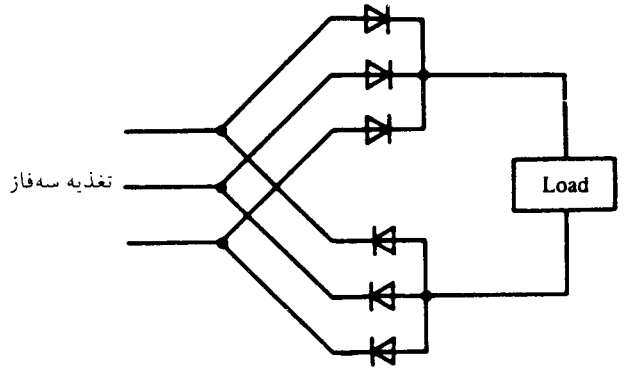
شکل ۳-۱۶ ساختمان ترانسفورماتور (راکتور) بین دو فاز

هر دیود به ماگزیمم ولتاژ معکوس $2V_m$ نیاز دارد، زیرا بایستی هنگامیکه ترانسفورماتور بین دو فاز قادر به تحریک شدن نیست و مدار بصورت اتصال نیم موج شش فاز ساده رفتار می‌کند، این ولتاژ معکوس را تحمل نماید.

http://levinic.com

۳-۵-۶ یکسوکننده پل سه فاز (دوطرفه)

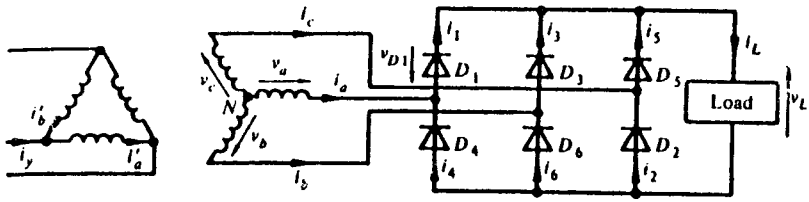
شکل ۳-۱۷ اتصال پل سه فاز تمام موج (دو طرفه) را نشان می‌دهد که در آن دو مدار یکسوکننده سه فاز نیم موج به هم متصل شده‌اند طوری که یکی در نیم سیکل‌های مثبت و دیگری در نیم‌سیکل‌های منفی تغذیه عمل می‌کند. بار از طریق اتصال نیم موج سه فاز تغذیه می‌شود و جریان برگشتی از طریق اتصال نیم موج دیگری به تغذیه برمی‌گردد و نیازی به سیم خنثی نمی‌باشد. این مدار به پل سه فاز شش پالسی معروف است که معمولاً مطابق شکل ۳-۱۸ الف نشان داده می‌شود.



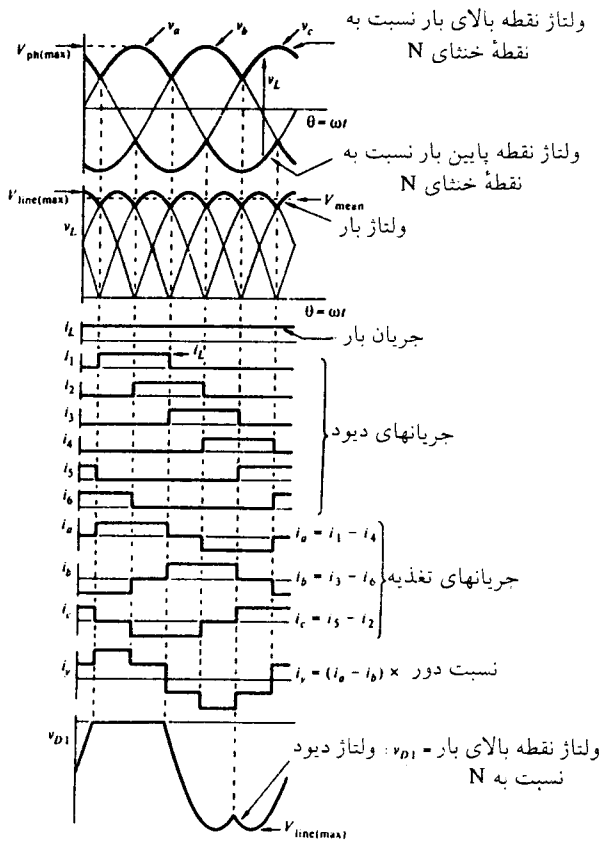
شکل ۳-۱۷ مدار سه فاز تمام موج

برای بدست آوردن شکل موج ولتاژ بار در اتصال ۳-۱۸ الف، می‌توان به دو طریق زیر عمل کرد: روش اول اینکه، می‌توان ولتاژ بار را مجموع دو ولتاژ نیم موجی در نظر گرفت که در طرف مثبت و منفی بار نسبت به نقطه خنثای تغذیه ظاهر می‌شوند. همانطوریکه شکل موج‌های شکل ۳-۱۸ ب نشان می‌دهند، شکل موج ولتاژ بار حاصل دارای مشخصه شش-پالسی بوده و ماکزیمم مقدار لحظه‌ای آن برابر ماکزیمم ولتاژ خط خواهد بود. روش دیگر این است که در نظر گرفته شود که دو دیودی که هدایت می‌کنند آنهایی هستند که به دو خطی متصل شده‌اند که در آن لحظه ولتاژ آنها در بالاترین مقدار است. این بدین معنی‌است که هنگامی که v_a مثبت‌ترین فازاست دیود D_1 هدایت می‌کند و در خلال این پریود هدایت، ابتدا v_b منفی‌ترین فاز بوده و دیود D_6 هدایت می‌کند تا وقتی که v_c منفی‌ترین فاز می‌گردد و جریان دیود D_6 به دیود D_2 منتقل می‌شود. ولتاژ بار در خلال یک سیکل، به نوبت شش موج ولتاژ سینوسی را تعقیب می‌نماید اینها عبارتند از: $v_a - v_b$ ، $v_a - v_c$ ، $v_b - v_c$ ، $v_b - v_a$ ، $v_c - v_a$ ، $v_c - v_b$

http://levinic.com



(الف) دیاگرام مداری



(ب) شکل موجها

شکل ۳-۱۸ مدارپل سه فاز

http://levinic.com

که همگی دارای مقدار ماکزیمی برابر با ماکزیمم ولتاژ خط (یعنی $\sqrt{۳}$ برابر ولتاژ فاز) هستند. گرچه در شکل ۳-۱۸ منبع تغذیه بصورت اتصال ستاره است، می‌توان بخوبی از اتصال مثلث نیز استفاده کرد.

مقدار متوسط ولتاژ بار را می‌توان از مجموع دو شکل موج سه پالسی با استفاده از معادله (۳-۳۴) بدست آورد.

$$V_{dc} = ۲\times\frac{۳\sqrt{۳}}{۲\pi} V_m = \frac{۳\sqrt{۳}}{\pi} V_m \qquad (۳-۴۰)$$

همچنین می‌توان مقدار متوسط ولتاژ را مستقیماً از روی ولتاژ بار شش پالسی بدست آورد.

- البته در تمامی موارد بایستی افت ولت دیود هدایت کننده از آن کسر شود. در اینجا چون دو دیود بطور سری با بار قرار دارند به اندازه دو برابر افت ولت دیود از مقدار فوق کسر می‌شود. شکل موج‌های جریان نشان می‌دهند که هر دیود به مدت یک سوم سیکل جریان بار را هدایت می‌کند و مرتبه کموتاسیون مشخص کننده تعداد دیود موجود در مدار است. شکل موج ولتاژ دیود v_{D_1} را می‌توان از تفاوت بین ولتاژ فاز v_a و ولتاژ نقطه بالای بار نسبت به نقطه خنثای منبع تغذیه (N)، بدست آورد. ماکزیمم ولتاژ معکوسی که در دو سر دیود ظاهر می‌شود برابر مقدار ماکزیمم ولتاژ خط است. همان طوری که شکل ۳-۱۸ ب نشان می‌دهد جریان تغذیه متقارن است و به شکل شبه مربع[1] است. البته دراین حالت شکل موج جریان در مقایسه با اتصال پل تکفاز، به شکل سینوسی نزدیکتر است.

۳-۵-۷ مدارهای دوازده پالسی

در شکل ۳-۱۹ شکل موج ولتاژ دوازده پالسی نشان داده شده است و واضح است که این شکل موج به ولتاژ مستقیم (dc) نزدیک‌تر است. شکل موج نشان داده شده، نمونه شکل موج جریانی است که از منبع تغذیه سه فازac کشیده می‌شود که در مقایسه با مدارهای با پالس کمتر، به شکل موج سینوسی نزدیک‌تر است.

سه نوع اتصال دوازده پالسی که عمومیت دارند، در شکل ۳-۲۰ نشان داده شده است. اتصال نیم‌موج شکل ۳-۲۰ الف، تعمیم مدار ستاره دوبل است که قبلاً تشریح شد. در این مدارها گروه ستاره جابجا شده‌اند تا دوازده فاز با اختلاف زاویه ۳۰° را تولید نمایند و از طریق ترانسفورماتورهای بین دو فاز (راکتورها) به بار متصل گردیده‌اند. چهار دیود بطور همزمان هدایت می‌کنند و فقط به اندازه افت - ولت یک دیود از مقدار متوسط ولتاژ بار کاسته می‌شود.

1- Quazi Square