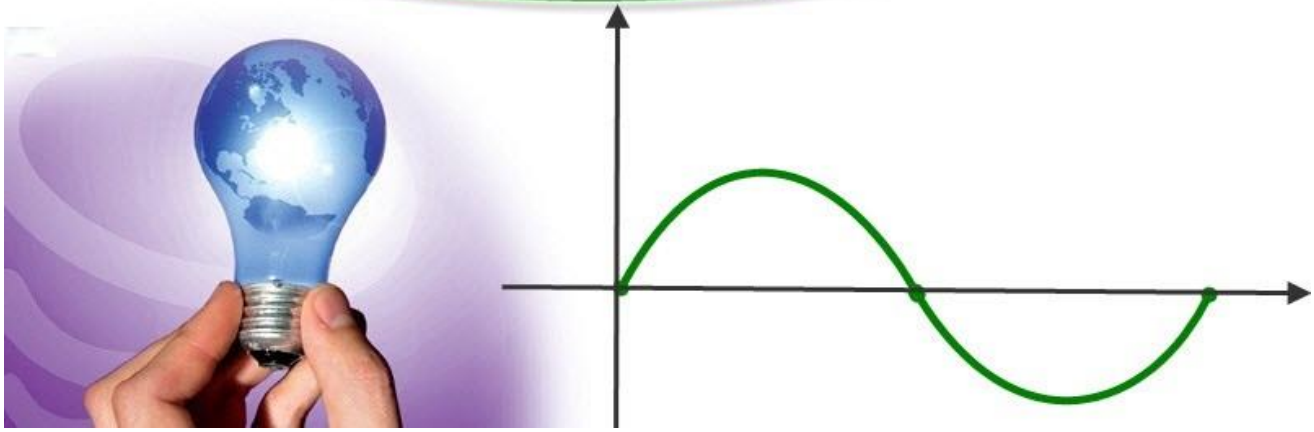
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بسم الله الرحمن الرحیم

www.WikiPower.ir



برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موضوع پروژه:

بررسی رفتار ماشین القایی روتور سیم بندی شده کنترل شده با PWM

WikiPower.ir

برای خرید فایل word این پروژه اینجا کلیک کنید.
(شماره پروژه = ۲۶۰)
پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فهرست مطالب

فصل اول :

الکترونیک قدرت

۱-۱مقدمه

۱-۲عناصر الکترونیک قدرت

۱-۳انواع مدارهای الکترونیک قدرت

فصل دوم :

موتورهای القایی

۲-۱مقدمه۱۴

۲-۲مدار معادل موتور القایی

۲-۳مشخصه کارایی

۲-۴مشخصه گشتاور و سرعت موتورهای القایی

۲-۵روشهای کنترل دور موتور القایی

۲-۵-۱کنترل ولتاژ استاتور

۲-۵-۲کنترل ولتاژ روتور

۲-۵-۳کنترل فرکانس

۲-۵-۴کنترل ولتاژ و فرکانس

فصل سوم :

سیکلوکانورتر (مبدل فرکانس)

۳-۱مقدمه

۳-۲نحوه عملکرد مبدل کاهنده فرکانس

۳-۳سیکلوکانورتر تکفاز

۳-۴عملکرد گروه مسدود

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳-۵انواع سیکلوکانورتر
۳-۵-۱سیکلوکانورتر پوش
۳-۶ویژگیهای سیکلوکانورتر
۳-۷بررسی عملکرد یک موتور القایی روتور سیم بندی شده دو سو تغذیه ای در اتصال با سیکلوکانورتر
۳-۷-۱بازده و ضریب توان wrim بر حسب ولتاژ بار
۳-۷-۲ شکل موجهای ولتاژ و جریان
۳-۸خصوصیات سیکلو کانورتر در شرایط هدایت ناپیوسته
۳-۹اثرات اندوکتانس منبع بر عملکرد سیکلو کانورتر
۳-۱۰واکنش شبکه در برابر سیکلوکانورتر
۳-۱۰-۱ضریب توان
۳-۱۱روابط مداری سیکلو کانورتر
۳-۱۲مزایا و معایب سیکلو کانورتر

فصل چهارم :

اینورترهای با مدولاسیون پهنای پالس
۴-۱مقدمه
۴-۲دسته بندی اینورترها
۴-۲-۱ اینورتر تکفاز با سر وسط
۴-۲-۲اینورتر پل تکفاز
۴-۲-۳اینورتر پل سه فاز
۴-۳قدرت برگشتی اینورتر
۴-۴مقایسه سیکلوکانورتر با اینورتر

فصل پنجم :

شبیه سازی کنترل موتور سرعت متغیر
۵-۱ مقدمه
۵-۲ ساخت و شبیه سازی درایو موتور PWM
۵-۳ بارگذاری و محرکه گذاری موتور

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵-۴ کنترل پل اینورتر با استفاده از Pulse Generator

۵-۵ نمایش سیگنال ها و مولفه های اندازه گیری شده ولتاژ و جریان

۵-۶ شبیه سازی درایو کنترل موتور PWM با الگوریتم انتگرال گیری پیوسته

۵-۷ استفاده از بلوک مولتی متر

۵-۸ استفاده از انتگرال گیری گسسته برای درایو موتور

۵-۹ انجام آنالیز هارمونیکی با استفاده از ابزار FFT

منابع و ماخذ

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

چکیده:

با توجه به توسعه روز افزون کاربرد الکتورنیک در بحث قدرت ، در فصل اول به بررسی عملکردعناصر الکترونیک قدرت می پردازیم.با توجه به اینکه یکی از مباحث مهم،کنترل توان الکتریکی سیستم های گرداننده موتور الکتریکی است ، لازم است که ابتدا به بررسی موتور القایی و نحوه عملکرد و خصوصیات آن بپردازیم.

در فصل سوم در مورد سیکلو کانورترها بحث می کنیم که قسمت مهمی از این پروژه را در بر می گیرد.اگر به طور خلاصه بخواهیم یک سیکلو کانورتر را معرفی کنیم بهترین و کوتاهترین توصیف ممکن، تبدیل فرکانس منبع به یک فرکانس دیگر(معمولا کوچکتر) است و کاربرد عمده آن در مورد کنترل دور موتورهای القایی و درایور های آن می باشد.

با توجه به کاربرد وسیع اینورترها در صنعت و بویژه در درایوهای کنترل دور،در فصل چهارم سعی خواهیم کرد یک شناخت جامعی را در مورد اینورتر ها به خوانندگان گرامی ارائه دهیم.در واقع اینورتر ها و سیکلو کانورتر ها دو جزء اصلی و بسیار مهم صنعت الکترونیک قدرت را تشکیل می دهند.امید است مطالب مفید واقع شوند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مقدمه :

با توجه به توسعه روز افزون کاربرد الکترونیک در بحث قدرت ، در فصل اول به بررسی عملکردعناصر الکترونیک قدرت می پردازیم.با توجه به اینکه یکی از مباحث مهم،کنترل توان الکتریکی سیستم های گرداننده موتور الکتریکی است ، لازم است که ابتدا به بررسی موتور القایی و نحوه عملکرد و خصوصیات آن بپردازیم.

در فصل سوم در مورد سیکلو کانورترها بحث می کنیم که قسمت مهمی از این پروژه را در بر می گیرد.اگر به طور خلاصه بخواهیم یک سیکلو کانورتر را معرفی کنیم بهترین و کوتاهترین توصیف ممکن، تبدیل فرکانس منبع به یک فرکانس دیگر(معمولا کوچکتر) است و کاربرد عمده آن در مورد کنترل دور موتورهای القایی و درایور های آن می باشد.

با توجه به کاربرد وسیع اینورترها در صنعت و بویژه در درایوهای کنترل دور،در فصل چهارم سعی خواهیم کرد یک شناخت جامعی را در مورد اینورتر ها به خوانندگان گرامی ارائه دهیم.در واقع اینورتر ها و سیکلو کانورتر ها دو جزء اصلی و بسیار مهم صنعت الکترونیک قدرت را تشکیل می دهند.

و اما بخش مهم این پروژه به درایوهای کنترل توان لغزشی و بازیافت آن اختصاص دارد که از جمله این درایوها می توان به درایور کرامر و شربیوس اشاره نمود و هر کدام از این درایوها مزایا و معایب خودشان را دارند،وسعی خواهیم کرد که تا حد امکان معایب آنها را با استفاده از تغییراتی در اجزای تشکیل دهنده آنها بر طرف کنیم.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل اول :

الکترونیک قدرت

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱-۱ مقدمه :

سالهاست که نیاز به کنترل توان الکتریکی سیستمهای گرداننده موتور الکتریکی و کنترل صنعتی وجود داشته است.این امر مهم نیاز به توسعه سیستم دارد،لئونارد منجر گشت تا ولتاژ dc متغیری برای کنترل گرداننده های موتورهای dc بدست آید.

الکترونیک قدرت ترکیبی از قدرت،الکترونیک و کنترل است.کنترل به بررسی مشخصه های دینامیک و حالت پایدار سیستم های با حلقه بسته می پردازد.قدرت وسایل قدرت استاتیک و گردنده که در تولید،انتقال و توزیع توان الکتریکی به کار گرفته می شود بررسی می کند.الکترونیک،مدارها و وسایل پردازشگر یا پردازنده سیگنال ها را بررسی می کند که برای بدست آوردن هدف های کنترلی مطلوب مورد استفاده قرار می گیرند.الکترونیک قدرت را می توان به صورت کاربرد های الکترونیک حالت جامد در کنترل و تبدیل توان الکتریکی نیز تعریف کرد.

الکترونیک قدرت بر اساس خاصیت کلید زنی عناصر نیمه هادی قدرت پایه گذاری شده است.با پیشرفت تکنولوژی نیمه هادی های قدرت،قابلیت کار با توان و سرعت کلید زنی وسایل قدرت بطور قابل ملاحظه ای بهبود یافته است.پیشرفت در تکنولوژی میکروپروسسورها تاثیر زیادی در کنترل و ایجاد روش های کنترلی برای عناصر نیمه هادی قدرت داشته است.

امروزه الکترونیک قدرت جای مهمی در تکنولوژی مدرن یافته است و در محصولات توان بالای گوناگونی به کار گرفته می شود.به عنوان نمونه می توان از کنترل کننده های دما،کنترل کننده های روشنایی،کنترل کننده های موتور،منابع تغذیه و سیستم های ولتاژ بالا با جریان مستقیم (HVDC) نام برد.

در سال های اخیر در کاربرد موتورهای الکتریکی انقلابی رخ داد.ساخت بسته های حالت جامد راه اندازی موتور به جایی رسیده که عملا هر مسئله کنترلی را می توان با استفاده از آنها حل کرد.با این راه انداز

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

های حالت جامد می توان موتورهای dc را با منابع تغذیه dc راه انداخت.حتی می توان ac را به توان ac با فرکانس دیگر تبدیل کرد.

این فصل به معرفی مختصری از اجزای الکترونیکی توان بالا و مدارهایی که در آنها بکار گرفته می شوند، می پردازد.علت قرار گرفتن این معرفی ، کاربرد این مطالب بر مباحث مربوط به کنترل کننده های موتورهای ac و dc است.

۲-۱ عناصر الکترونیک قدرت:

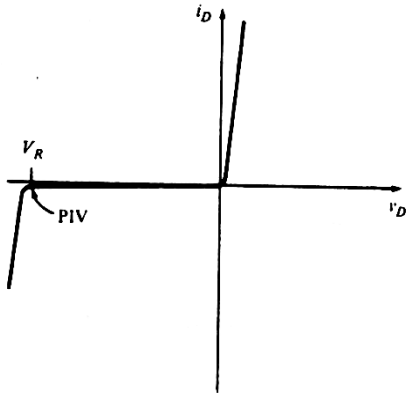
در مدارهای کنترل موتور چند نوع وسیله نیمه هادی مورد استفاده قرار می گیرد که مهمترین آنها عبارتند از:

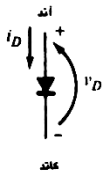
۱- دیود
۲- تریستور دو سیمه (با دیود PNPN)
۳- تریستور سه سیمه (یکسو ساز کنترل شده سیلیسیومی SCR)
۴- تریستور با گیت خاموش شونده (GTO)
۵- دایاک
۶- ترایاک
۷- ترانزیستور قدرت (PTR)
۸- ترانزیستور دو قطبی با گیت مجزا شده (IGBT)

- **دیود** : یک عنصر نیمه هادی است که برای عبور جریان در یک جهت (آند به کاتد) طراحی شده است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- ✓ با اعمال یک ولتاژ مستقیم به دیود جریان بزرگی از آن می گذرد.
- ✓ اگر ولتاژ در جهت معکوس به آن اعمال شود جریان گذرنده بسیار کوچک خواهد بود.
- ✓ اگر ولتاژ معکوس اعمالی به حد کافی بزرگ باشد سر انجام دیود می شکند و اجازه عبور جریان در جهت عکس را هم می دهد.





مشخصه ولتاژ-جریان دیود

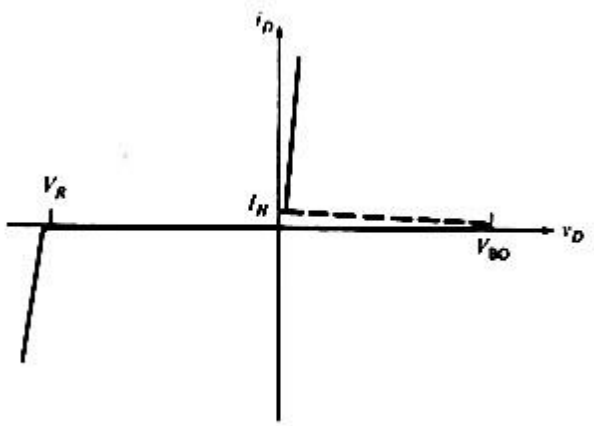
WikiPower.ir

- ✓ دیود ها با توجه به مقدار توانی که مصرف می کنندو ماکزیمم ولتاژ معکوس که می توانند بدون شکستن تحمل کنند دسته بندی می شوند.
- ✓ توانی که دیود هنگام عمل در جهت مستقیم مصرف می کند، با حاصلضرب افت ولتاژ مستقیم روی آن و جریانی که از دیود می گذرد برابر است.
- ✓ ماکزیمم ولتاژ معکوس دیود با PIV مشخص می شود و باید آنقدر بزرگ باشد که دیود هنگام کار نشکند.
- ✓ تمام دیود های قدرتی آنقدر سریع هستند که می توان از آنها در مدارهای60Hz,50Hzبعنوان یکسو کننده استفاده کرد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- **تریستور دو سیمه یا دیود** *PNPN* :

تریستور نامی است که به خانواده ای از عناصر نیمه هادی متشکل از چهار لایه نیمه هادی داده شده است. نام این تریستور در استاندارد *IEEE* برای نمادهای ترسیمی (تریستور دیودی یا سد کردن معکوس) است.



مشخصه ولتاژ-جریان دیود PNPN

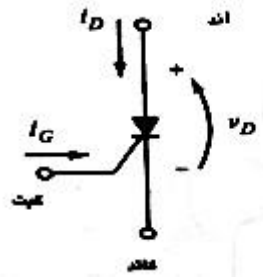
- ✓ دیود *PNPN* یک یکسوساز یا دیود است که مشخصه ولتاژ- جریانی غیر عادی در ناحیه مستقیم دارد.
- ✓ منحنی مشخصه از سه ناحیه (1- ناحیه سد کردن معکوس 2- ناحیه سد کردن مستقیم 3- ناحیه هدایت) تشکیل می شود.
- ✓ در ناحیه سد کردن معکوس، دیود *PNPN* مثل یک دیود معمولی عمل می کند
- ✓ در ناحیه هدایت باز هم دیود *PNPN* مثل یک دیود معمولی عمل می کندو به ازای یک افت ولتاژکوچک اجازه عبور جریان بزرگی را می دهد.
- ✓ وقتی دیود *PNPN* درباياس مستقیم قرار گیرد از آن جریانی نمی گذرد،مگر اینکه ولتاژ مستقیم روی دیود از ولتاژ شکست بگذرد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

وقتی ولتاژ مستقیم از V_{BO} فراتر رفت، دیود روشن می گردد و روشن می ماند مگر اینکه جریانی که از آن می گذرد از یک مقدار مینیمم مشخص پایین تر بیایید (I_H یا جریان نگهدارنده) در اینصورت دیود $PNPN$ خاموش شده و دیگر هدایت نمی کند .

- **تریستور سه سیمه یا** SCR : نام دیگر آن یکسوساز کنترل شده سیلیسیومی است.

چیزی که SCR را برای کاربرد های کنترل مفید می سازد این است که ولتاژ روشن شدن یا شکست آن را می توان با جریانی که از گیت می گذرد کنترل کرد. هر چه این جریان بزرگتر باشد V_{BO}کوچکتر می شود.



نماد یک تریستور سه سیمه SCR

وقتی SCR روشن می شود روشن می ماند تا اینکه جریانش ازI_H کمتر شود لذا بعد از روشن شدن SCR می توان جریان گیت آن را برداشت بدون اینکه اثری بر کار آن گذاشته شود.

SCRاز محدوده های مجاز از چند آمپر تا حدود 3000kA موجود ند.

- **تریستور با گیت خاموش شونده (یا GTO):**

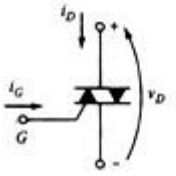
نوعی SCR است که می توان آن را با اعمال یک پالس منفی به حد کافی بزرگ به گیت، خاموش کرد حتی موقعی کهi_dازI_H بزرگتر است.

- ✓ این عناصر در بسته های کنترل موتور متداولتر شده اند، زیرا دیگر برای خاموش کردن SCR در مدارهای dc به عناصر اضافی احتیاجی نیستند.
- ✓ برای روشن شدن نسبت به SCR معمولی جریان گیت بزرگتری می خواهد.

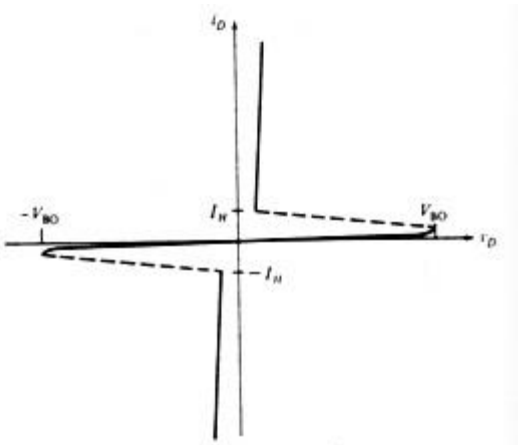
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- **دایاک:**

عنصری با پنج لایه نیمه هادی (*PNPN*) است که مانند دو دیود *PNPN* که پشت به پشت به هم وصل شده باشند ، عمل می کند.



نماد تریاک

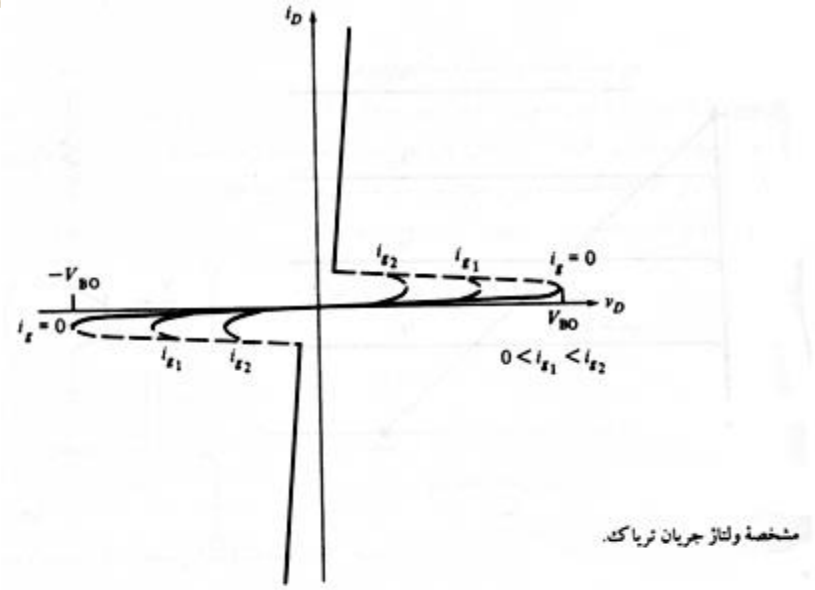


مشخصهٔ ولتاژ - جریان DIAC.

- ✓ دایاک می تواندر هر دو جهت هدایت کند به شرط اینکه ولتاژ روی آن از ولتاژ روشن شدن بگذرد.
- ✓ وقتی دایاک روشن شود، روشن می ماند تا اینکه جریانش از I_H پایین تر بیاید.
- ✓ از دایاک نا متقارن (*un.sym*) برای کنترل تحریک ژنراتورها در نیروگاه ها استفاده می شود.

- **تریاک:** تریاک مانند دو *SCR* پشت به پشت بسته شده عمل می کند و یک گیت مشترک دارد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



مشخصهٔ ولتاژ جریان تریاک.

- ✓ در هر دو جهت هدایت می کند، به شرطی که ولتاژ روی آن از V_{BO} بگذرد.
- ✓ ولتاژروشن شدن تریاک هم درست مانند SCR با افزایش جریان گیت کم می شود با این تفاوت که تریاک هم به پالسهای مثبت و هم به پالسهای منفی اعمال شده به گیتش پاسخ می دهد.
- ✓ چون تریاک در هر دو جهت نمی تواند هدایت کند، در بسیاری از کاربرد های کنترلac می توان آن را به جای دو SCR پشت به پشت به کاربرد.
- ✓ سرعت خاموش و روشن شدن تریاک ها عموما کمتر از SCR است و قابلیت توانی کمتری نیز دارند. لذا کاربرد آنها عمدتاً به مدارهای توان پایین یا متوسط HZ50 تا 60 مثل مدارهای روشنایی محدود می شود.

Short frequency ($f_{s.f}$) :

فرکانسی که در آن فرکانس عنصر دو سر مورد نظر خاصیت قطع و وصل شدن خود را از دست می دهد و بصورت اتصال کوتاه کامل در می آید فرکانس اتصال کوتاه آن عنصر نامیده می شود. هر چه این فرکانس

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بزرگتر باشد عنصر مورد نظر گرانتر خواهد بود. معمولا در مهندسی برق حداکثر فرکانسی از عنصر دو سر مورد نظر استفاده می شود از فرکانس اتصال کوتاه آن است و برای فرکانس های بالاتر مناسب نیست.

۳-۱ انواع مدارهای الکترونیک قدرت:

جهت کنترل توان الکتریکی یا تغییر توان ، تبدیل توان الکتریکی از یک شکل به شکل دیگر لازم است و مشخصات کلید زنی عناصر قدرت اجازه چنین تبدیلاتی را می دهد. مبدلهای استاتیک قدرت این تبدیلات توان را انجام می دهند.

مدارهای الکرونیک قدرت را می توان در شش گروه طبقه بندی کرد:

۱- یکسو کننده های دیودی

۲- مبدلهای ac بهdc (یکسوکننده های کنترل شونده)

۳- مبدلهای ac بهac (کنترل کننده های ولتاژ ac)

۴- مبدلهای dc بهdc (چاپرهای dc)

۵- مبدلهای dc بهac (اینورتر)

۶- کلید های استاتیک

WikiPower.ir

- **یکسو کننده ها:** ولتاژ ac را بهdc ثابت تبدیل می کند. ولتاژورودی یکسو کننده می تواند تکفاز یا سه فاز باشد.

- **مبدلهای ac بهdc :** یک مبدل تکفاز است که از دو تریستور کموتاسیون طبیعی استفاده می کند. مقدار متوسط ولتاژ خروجی با تغییر زمان هدایت تریستورها یا زاویه تاخیرش α، کنترل می شود. ورودی می تواند یک منبع تکفاز یا سه فاز باشد. این مبدلها با نام یکسو کننده های کنترل شونده نیز شناخته می شوند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- **مبدل های ac به ac** :اگر یک کلید تریستوری بین منبع و بار وصل شود می توان با تغییر مقدار موثر ولتاژ متناوب اعمال شده به بار،انتقال توان را کنترل نمود.چنین مدار قدرتی به عنوان کنترل کننده ولتاژ متناوب شناخته می شود.گرم کننده های صنعتی،تغییر ولتاژ ترانسفورماتور متصل به بار،کنترل روشنایی،کنترل سرعت موتور القایی چند فاز و کنترل آهن رباهای ac تعدادی از کاربردهای معمول کنترل کننده های ولتاژ متناوب هستند.
- **مبدل های dc به dc** :در بسیاری از کاربرد های صنعتی نیاز به تبدیل یک منبع dc ولتاژ ثابت به یک منبع dc ولتاژ متغیر می باشد.چاپر dc وسیله ای است که مستقیما dc را به dc تبدیل می کند و با نام مبدل dc به dc نیز شناخته می شود.
- **اینورتر**:مبدل های جریان مستقیم به متناوب با نام اینورتر شناخته می شود.وظیفه یک اینورتر تبدیل یک ولتاژ ورودی مستقیم به یک ولتاژ خروجی متناوب و متقارن با دامنه و فرکانس مورد نظر است.ولتاژ خروجی می تواند در فرکانس ثابت یا متغیر،مقداری ثابت یا متغیر داشته باشد.
- **کلیدهای استاتیک** : تریستورهایی که در چند میکروثانیه می توانند خاموش و روشن شوند ممکن است به عنوان کلیدهای سریع العمل به جای قطع کننده های مکانیکی یا الکترومکانیکی به کار روند.البته برای کاربرد های dc توان پایین ترانزیستورهای قدرت هم می توانند به عنوان کلید به کار روند.کلیدهای استاتیک دارای مزایای زیادی هستند (برای مثال : سرعت کلید زنی بسیار بالا،عدم وجود قطعات متحرک و عدم وجود جهش در هنگام اتصال)

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

WikiPower.ir

فصل دوم:

موتورهای القایی

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲-۱ مقدمه

موتورهای ac دارای چند مزیت هستند:

سبک بودن (20 تا 40 درصد سبک تر از موتورهای dc معادل)، ارزان بودن و در مقایسه با موتورهای dc به مراقبت کمتری نیاز دارند. در کاربردهای با سرعت متغیر، آنها با کنترل فرکانس،به کنترل ولتاژ وجریان نیاز ندارند. مبدلهای قدرت، اینورترها و کنترل کننده های ولتاژ ac قادر هستند که فرکانس، ولتاژ و جریان را برای برآورده کردن نیازهای درایو کنترل کنند. این کنترل کننده های قدرت که نسبتا پیچیده و گرانتر هستند، نیاز به روشهای پیشرفته مفید یک همانند مرجع نمونه، کنترل تطبیقی ، کنترل حالت لغزشی و کنترل میدان گرا دارند. با این حال مزیت های درایو ac بیش از معایب آن است. موتورهای القایی سه فاز معمولا در درایوهای با قابلیت تنظیم سرعت بکار می روند.

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲-۲ مدار معادل موتورهای القایی

سیم پیچهای سه فاز در روتور و استاتور وجود دارند. سیم پیچ استاتور با یک ولتاژ ac سه فاز متعادل تغذیه می شود که بنابر خاصیت ترانسفورماتوری موجب القا ولتاژ در سیم پیچ موتور می شوند. این امکان وجود دارد که با توزیع مناسب سیم پیچ های استاتور اثر چند قطبی بوجود آورد که نتیجه آن ایجاد چند سیکل mmf در اطراف شکاف هوایی می باشد. این میدان موجب توزیع فضایی چگالی شار سینوسی در فاصله هوایی می شود. سرعت چرخش این میدان سرعت سنکرون نامیده می شود و از رابطه زیر بدست می آید.

$$\omega_S = \frac{2\omega}{P} \quad (۲-۱)$$

که در آن P تعداد قطب ها و ω فرکانس منبع بر حسب $\frac{rad}{s}$ می باشد.

اگر $v_S = \sqrt{2}V_S Sin\omega t$ ، ولتاژ فاز استاتور باشد، درروتور شاری بوجود می آورد که از رابطه زیر بدست می آید:

$$\phi(t) = \phi_m Cos(\omega t + \delta - \omega_S t)$$

ولتاژ القا شده در هر فاز سیم پیچ روتور برابر است با:

$$e_r = N_r \frac{dq}{dt} = N_r \frac{d}{dt}[\phi_m Cos(\omega t + \delta - \omega_S t)] \quad (۲-۲)$$

$$= -N_r \phi_m (\omega_S - \omega_m) Sin[(\omega_S - \omega_m)t - \delta] = -SE_m Sin(S\omega_S - \delta)$$
$$= -S\sqrt{2}E_r Sin(S\omega_S - \delta)$$

که درآن N_r تعداد دورها در هر فاز روتور، ω_m سرعت زاویه ای روتور، δ موقعیت نسبی روتور، E_r مقدار موثر ولتاژ القاء شده در هر فاز روتور و S مقدار لغزش می باشد که بصورت زیر تعریف می شود:

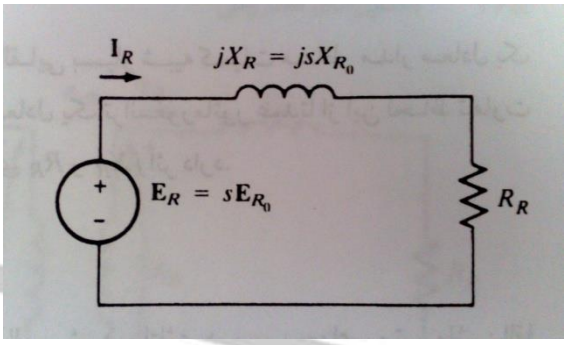
$$S = \frac{\omega_S - \omega_m}{\omega_S} \quad (۲-۳)$$

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

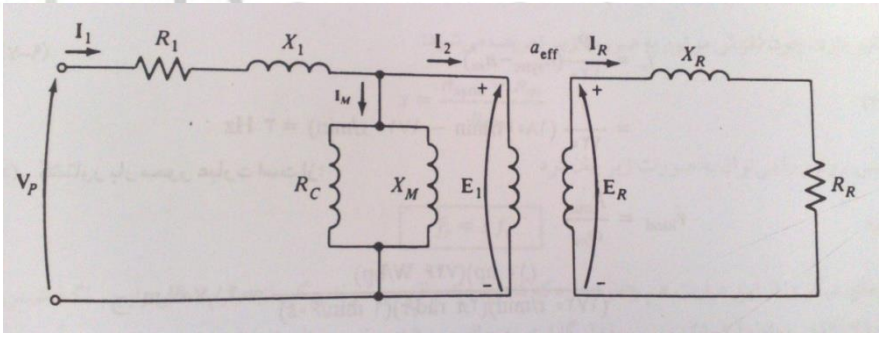
و از آن سرعت موتور بصورت $\omega_m = \omega_s(1-S)$ بدست می آید. مدار معادل برای یک فاز روتور در شکل(۱-۲الف) نشان داده شده است که در آن R_r مقاومت هر فاز سیم پیچ روتور، Xr راکتانس نشتی هر فاز در فرکانس تغذیه و E_r مقدار موثر ولتاژ فاز القا شدهدر سرعت صفر(یا $S=1$) می باشد. جریان روتور از رابطه زیر بدست می آید:

$$I'_r = \frac{SE_r}{R'_r + jSX'_r} = \frac{E_r}{\frac{R'_r}{s} + jX'_r} \quad (۲-۴)$$

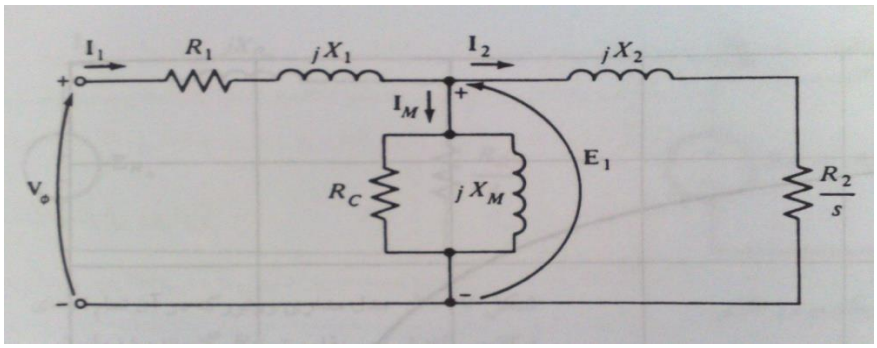
که R_r و X_r مربوط به سیم پیچ روتور می باشند.



شکل(۱-۲ الف)



شکل(۱-۲ ب)



شکل(۱-۲ ج)

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مدل مداری ترانسفورمری موتورهای القایی برای هر فاز در شکل(۱-۲ ب) نشان داده شده است که درآن R1 وX1 مقاومت هر فاز و راکتانس نشتی سیم پیچی استاتور هستند. مدار معادل کامل با تمام پارامتر های رجوع شده به استاتور، در شکل(۱-۲ج) آمده است، که Rc معرف مقاومت تلفات تحریک(یا هسته) و X_m راکتانس مغناطیس کننده می باشد. وقتی که منبع وصل می شود، تلفات هسته استاتور وجود خواهد داشت و تلفات هسته روتور بستگی به مقدار لغزش دارد. تلفات ناشی از اصطکاک و سیم پیچ، P_{noload}هنگامی که ماشین در حال چرخش است وجود دارند. تلفات هسته P_C ، را نیز می توان جزئی از تلفات چرخش، P_{noload} محسوب کرد.

۲-۳ مشخصات کارایی:

جریان روتور I_2 و جریان استاتور I_1، از مدار معادل شکل(۱-۲ ج)بدست می آیند که R_2 و X_2 به سیم پیچ استاتور ارجاع داده شده اند. با بدست آمدن مقادیر I_r و I_S، پارامتر های کارایی یک موتور سه فاز به صورت زیر بدست می آیند:

تلفات مسی استاتور $P_{scu} = 3I_S{}^2 R_S$ (۲-۵)

تلفات مسی روتور : $P_{rcu} = 3I_r{}^2 R_r$ (۲-۶)

تلفات هسته: $P_C = \frac{3V_m{}^2}{R_c} \approx \frac{3V_S{}^2}{R_c}$ (۲-۷)

توان شکاف هوایی (توانی که از استاتور به روتور از طریق شکاف هوایی انتقال می یابد):

$$P_g = 3I_r{}^2 \frac{R_r}{s} \quad (۲-۸)$$

توان حاصل خروجی : $P_d = P_g - P_{rcu} = 3I_r{}^2 \frac{R_r}{S}(1-S) = P_g(1-S)$ (۲-۹)

گشتاور حاصل : $T_d = \frac{P_d}{\omega_m}$ (۲-۱۰)

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$T_d = \frac{P_g(1-S)}{\omega_s(1-S)} = \frac{P_g}{\omega_s} \quad (۲-۱۱)$$

توان ورودی: $P_i = 3V_S I_S Cos\theta_m = P_C + P_{scu} + P_g$ (۲-۱۲)

که θ_m زاویه بین I_S و V_S می باشد: توان خروجی برابر $P_o = P_d - P_{noload}$ است.

بازده : $\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_d - P_{noload}}{P_C + P_{scu} + P_g}$ (۲-۱۳)

اگر $P_g >> (P_C + P_{scu})$ و $P_d >> P_{noload}$ باشند بازده تقریبا برابر است با :

$$\eta = \frac{P_d}{P_g} = \frac{P_g(1-S)}{P_g} = 1 - S \quad (۲-۱۴)$$

X_m عموما مقدار بزرگی است و R_m که بسیار بزرگتر است را می توان برای سادگی محاسبات از مدل مداری حذف کرد .اگر $X_m{}^2 >> (X_S{}^2 + R_S{}^2)$ باشد، $V_S = V_m$ خواهد بود و همچنین راکتانس مغناطیس کننده X_m را می توان برای ساده تر کردن بیشتر به سمت سیم پیچ استاتور منتقل کرد.

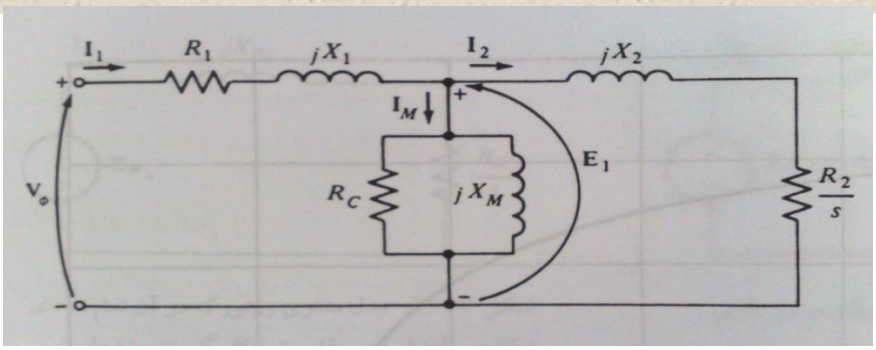
WikiPower.ir

۲-۴مشخصه گشتاور-سرعت موتور القایی

با توجه به شکل(۲-۱ ج) مقدار موثر جریان روتور برابر است با:

$$I_r = \frac{V_S}{[(R_S + \frac{R_r}{S})^2 + (X_S + X_r)^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (۲-۱۵)$$

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

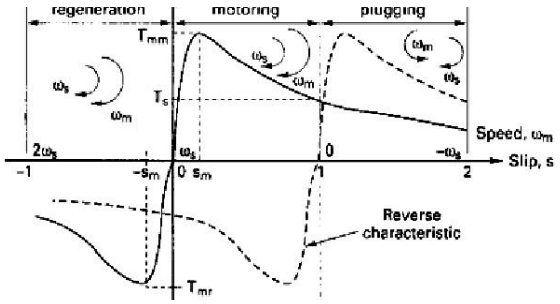


شکل(۱-۲ ج)

با جایگزین کردن I_r از رابطه (۶-۲) در رابطه (۸-۲) و سپس P_g در رابطه (۱۱-۲) خواهیم داشت:

$$T_d = \frac{3R_r V_s^2}{S\omega_s[(R_s + \frac{R_r}{S})^2 + (X_s + X_r)^2]} \quad (۱۶-۲)$$

اگر موتور با ولتاژ ثابتی در یک فرکانس ثابت تغذیه شود ، گشتاور بوجود آمده تابعی از لغزش خواهد بود و مشخصه سرعت گشتاور را می توان از رابطه (۱۶-۲) بدست آورد. نمونه ای از تغییرات گشتاور بوجود آمده نسبت به سرعت یا لغزش در شکل (۲-۲) آمده است:



مشخصه گشتاور- سرعت موتور القایی شکل(۲-۲)

عملکرد معکوس موتوری و ترمز در حالت مولدی با معکوس کردن ترتیب فازهای ترمینال موتور صورت می گیرد. مشخصه سرعت گشتاور معکوس با خط چین نشان داده شده اند. سه ناحیه کارکرد وجود دارد:

۱- حالت موتوری $0 \le S \le 1$

۲- حالت مولدی $S < 0$

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳- پلاگینگ یا ترمزی $1 \le S \le 2$. در حالت موتوری، موتور هم جهت با میدان می چرخد و با افزایش لغزش، گشتاور نیز افزایش می یابد، در حالی که شار فاصله هوایی ثابت می ماند. هنگامیکه گشتاور به مقدار نهایی خود T_m در $S = S_m$ میرسد، به علت افزایش لغزش ناشی از کاهش شار فاصله هوایی ، گشتاور کاهش می یابد.

در حالت مولدی سرعت ω_m از سرعت سنکرون ω_S بیشتر است و این در حالی است که ω_m و ω_S در یک جهت هستند و مقدار لغزش منفی است. بنابراین $\frac{R_r}{S}$ منفی است . این بدان معنی است که توان از محور به داخل مدار روتور بر می گردد و موتور بصورت ژنراتور عمل می کند. موتور توان را به منبع برمی گرداند. مشخصه سرعت- گشتاور همانند حالت موتوری است با این تفاوت که مقدار گشتاور منفی می باشد.

در پلاگینگ معکوس، سرعت خلاف جهت میدان است و لغزش بزرگتر از یک می باشد. این حالت وقتی اتفاق می افتد که در وضعیت موتوری مستقیم ترتیب منبع تغذیه معکوس شود ، بطوریکه جهت میدان نیز معکوس شود. گشتاور بوجود آمده که هم جهت میدان است، با حرکت مخالفت می کند و مانند یک گشتاور ترمزکننده عمل می کند.

از آنجایی که $S > 1$ است،جریان های موتور زیاد می باشند، ولی گشتاور بوجود آمده کم خواهد بود.انرژی تولید شده درترمز پلاگینگ، باید درون موتور تلف شود و این ممکن است موجب گرم شدن بیش از حد موتور گردد. این نوع ترمز معمولا توصیه نمی شود.

در شروع حرکت ، سرعت ماشین برابر $\omega_m = 0$ و $S = 1$ است. گشتاور راه اندازی با قرار دادن $S = 1$ در رابطه (۱۶-۲) به صورت زیر بدست می آید:

(۱۷-۲)

$$T_S = \frac{3R_r V_S^{\,2}}{\omega_S[(R_S + R_r)^2 + (X_S + X_r)^2]}$$

لغزش برای گشتاور ماکزیمم، S_m، از رابطهبدست می آید:

برای دریافت فایل word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$S_m = \pm \frac{R_r}{\omega_s [R_s^2 + (X_s + X_r)^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (۲-۱۸)$$

با قرار دادن $S = S_m$ در رابطه (۲-۱۶) حداثر گشتاور تولیدی در حالت موتوری بدست می آید که اصطلاحا به آن گشتاور شکست نیز گفته می شود.

$$T_{mm} = \frac{3V_s^2}{2\omega_s [R_s + \sqrt{R_s^2 + (X_s + X_r)^2}]} \quad (۲-۱۹)$$

همچنین ماکزیمم گشتاور حالت مولدی از رابطه (۲-۱۶) بصورت زیر بدست می آید: $S = -S_m$

(۲-۲۰)

$$T_{mr} = \frac{3V_s^2}{2\omega_s [-R_s + \sqrt{R_s^2 + (X_s + X_r)^2}]}$$

اگر R_s در مقایسه با سایرامپدانسهای مدارهای کوچک فرض شود که برای موتورهای با توان نامی بیشتر از $1KW$ تقریب خوبی است ، روابط مربوطه تبدیل می شوند به :

$$T_d = \frac{3R_r V_s^2}{S\omega_s [(\frac{R_r}{S})^2 + (X_s + X_r)^2]} \quad (۲-۲۱)$$

$$T_s = \frac{3R_r V_s^2}{\omega_s [(R_r)^2 + (X_s + X_r)^2]} \quad (۲-۲۲)$$

$$S_m = \pm \frac{R_r}{X_s + X_r} \quad (۲-۲۳)$$

$$T_{mm} = -T_{mr} = \frac{3V_s^2}{2\omega_s (X_s + X_r)} \quad (۲-۲۴)$$

اگر $S < 1$ باشد، $S^2 << S_m^2$ خواهیم داشت:

$$\frac{T_d}{T_{mm}} = \frac{2S}{s_m} = \frac{2(\omega_s - \omega_m)}{S_m \omega_s} \quad (۲-۲۵)$$

که سرعت را بصورت تابعی از گشتاور می دهد:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\omega_m = \omega_S(1-\frac{S_m}{2T_{mm}}T_d) \quad (۲-۲۶)$$

از روابط (۲-۲۵) و (۲-۲۶) نتیجه می گیریم که اگر موتور با لغزش کم کار کند، گشتاور بوجود آمده متناسب با لغزش خواهد بود و سرعت با افزایش گشتاور کاهش می یابد. جریان روتور، که در سرعت سنکرون برابر صفر است با کاهش سرعت در اثر کاهش مقدار $\frac{R_S}{s}$ ، افزایش می یابد. گشتاور بوجود آمده تا هنگامی که به مقدار ماکزیمم خود، $S = S_m$ نرسیده است، افزایش می یابد. برای $S < S_m$ ، موتور به صورت پایدار در قسمتی از مشخصه گشتاور سرعت ،کار می کند، اگر مقاومت روتور کم باشد ، S_m نیز کم می شود. در نتیجه مقدار تغییرات سرعت موتور از حالت بی باری تا گشتاور نامی ، درصد کوچکی می باشد. موتور اساسا در یک سرعت ثابت کار می کند. هنگامی که گشتاور بار از گشتاور شکست فزونی می یابد، موتور متوقف می شود و مدار محافظ اضافه بار بایستی بلافاصله منبع را قطع کند تا از آسیب ناشی از افزایش حرارت جلوگیری شود. باید توجه داشت که برای $S > S_m$ ، علیرغم افزایش جریان روتور ، گشتاور کاهش می یابد و عملکرد اکثر موتورها در این وضعیت ناپایدار است.

WikiPower.ir

۲-۵ روشهای کنترل دور موتور القایی

سرعت و گشتاور موتورهای القایی را می توان به یکی از روشهای زیر تغییر داد:

۱-کنترل ولتاژ استاتور

۲- کنترل ولتاژ روتور

۳- کنترل فرکانس

۴- کنترل فرکانس و ولتاژ استاتور

۵-کنترل جریان استاتور

۶- کنترل ولتاژ، جریان ،فرکانس

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱-۵-۲ کنترل ولتاژ استاتور:

رابطه (۲-۱۶)نشاندهنده آن است که گشتاور با مربع ولتاژ تغذیه استاتور متناسب است و کاهش ولتاژ استاتور موجب کاهش سرعت می گردد. اگر ولتاژ ترمینال به مقدار bV_S کاهش یابد، رابطه (۲-۱۶) گشتاور بوجود آمده را می دهد:

$$T_d = \frac{3R_r(bV_S)^2}{S\omega_S[(R_S+\frac{R_r}{S})^2+(X_S+X_r)^2]} \quad b\le 1 \text{ که در آن} \qquad (۲-۱۶)$$

(شکل ۳-۲) تغییرات گشتاور-سرعت را بازای مقادیر مختلف b نشان می دهد. محلهای تلاقی با خط بار معرف نقاط کار پایدار هستند. در هر مدار مغناطیسی ، ولتاژ القایی با مقدار شار شکاف هوایی را می توان بصورت زیر بیان کرد:

$$V_a = bV_S = k_m.\omega.\varphi \qquad (۲-۲۸)$$

که k_m یک مقدار ثابت است که بستگی به تعداد دور سیم پیچ استاتور دارد. وقتی که ولتاژ استاتور کاهش می یابد، شار فاصله هوایی و گشتاور هم کم می شوند.در یک ولتاژ پایین تر،ماکزیمم جریان در لغزش برابر $S_a = \frac{1}{3}$ اتفاق می افتد. محدوده کنترل سرعت بستگی به لغزش در گشتاور ماکزیمم، S_m دارد. در موتورهای با لغزش کم، محدوده تغییرات سرعت بسیار کم است. این نوع کنترل ولتاژ برای بارهای با گشتاور ثابت مناسب نیست و معمولاً در مواردی بکار می رود که در ابتدای حرکت نیاز به گشتاور کم و محدوده تغییر سرعت کوچک در لغزش نسبتاً کم است.

ولتاژ استاتور را می توان با استفاده از

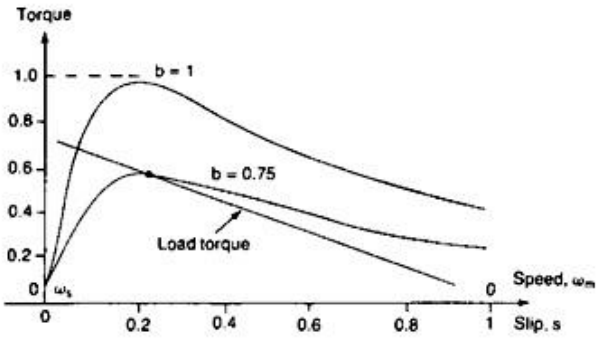
۱- کنترل کننده های ولتاژ ac سه فاز

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲- اینورترهای اتصال dc متغیر تغذیه شونده با ولتاژ سه فاز

۳- اینورترهای *PWM* سه فاز

تغییر داد.گرچه، بخاطر وجود وجود محدودیت در محدوده سرعت مورد نیاز، معمولاً از کنترل کننده های ولتاژ ac استفاده می شود. این مدارها ساختمان ساده ای دارند،ولی مولفه های هارمونیک بزرگ و ضریب توان ورودی آنها پایین است. از آنها عمدتاً در کاربردهای توان پایین مانند پنکه ها ، فن ها و پمپ های گریز از مرکز که در آغاز، نیاز به گشتاور کوچکی دارند، استفاده می شود. همچنین برای محدود کردن جریان در راه اندازی موتورهای القایی توان بالا از آنها استفاده می شود.



(شکل ۳-۲) مشخصه گشتاور-سرعت با ولتاژ

۵-۲-۲ کنترل ولتاژ روتور:

در یک موتور روتور سیم پیچی شده می توان یک مقاومت سه فاز خروجی به حلقه های هادی لغزان آن وصل کرد. گشتاور بوجودآمده با تغییر مقاومت R_X،تغییر داده می شود. اگر R_X به سیم پیچ استاتور ارجاع شود و به R_r اضافه گردد، می توان از رابطه (۲-۱۶) برای به دست آوردن گشتاور استفاده کرد. مشخصه سرعت –گشتاور با تغییرات مقاومت روتور ،گشتاور راه اندازی را افزایش داده، در حالی که جریان راه اندازی را محدود می کند. البته این روش کارآمد نیست و اگر مقاومتهای مدار روتور برابر نباشند، باعث عدم تعادل در ولتاژ ها و جریانها می شود. یک موتور القایی روتور سیم پیچی شده طوری طراحی می شود که مقاومت روتور آن کوچک باشد بطوریکه راندمان بالا و مقدار لغزش در بار کامل

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کوچک باشد.افزایش مقاومت روتور تاثیری روی مقدار ماکزیمم گشتاور نمی گذارد، اما مقدار لغزش را در ماکزیمم گشتاور افزایش می دهد. موتورهای روتور سیم پیچی بطور وسیعی در کاربردهایی استفاده می شوند که نیاز به حرکت و توقف های متناوب با گشتاورهای زیاد (مثل جرثقیلها) .این موتورها بخاطر در دسترس بودن سیم پیچ روتور برای تغییر مقاومت روتور، قابلیت انعطاف بیشتری از نظر کنترل دارند. اما هزینه نگهداری بخاطر حلقه های لغزان و جاروبکها افزایش می یابد.موتورهای روتور سیم پیچی شده در مقایسه با موتورهای قفس سنجابی کمتر مورد استفاده قرار می گیرند.

می توان مقاومت سه فاز را با یک یکسو کننده دیودی سه فاز و یک چاپر جایگزین کرد.

WikiPower.ir

۳-۵-۲کنترل فرکانس:

گشتاور و سرعت موتورهای القایی را با تغییر فرکانس منبع می توان کنترل کرد.از رابطه (۲۶-۲) مشخص می شود که در ولتاژ و فرکانس نامی، شار برابر مقدار نامی خود خواهد بود. اگر ولتاژ در مقدار نامی خود ثابت نگهداشته شود و فرکانس به مقدار کمتر از فرکانس نامی خود کاهش یابد، شار افزایش می یابد. این حالت باعث اشباع شدن شار فاصله هوایی می شود و در نتیجه پارامترهای موتور دیگر برای تعیین مشخصه سرعت- گشتاور قابل استفاده نخواهند بود. در فرکانسهای کم ، راکتانس کاهش می یابد و جریان موتور افزایش چشمگیری می یابد.این نوع کنترل فرکانسی معمولاً استفاده نمی شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اگر فرکانس بالاتر از مقدار نامی باشد، شار و گشتاور کاهش می یابد .اگر سرعت سنکرون متناظر با فرکانس نامی، سرعت پایه نامیده شود، سرعت سنکرون در سایر فرکانسها برابر $\omega_S = \beta\omega_b$ خواهد بود.

و

$$S = \frac{\beta\omega_b - \omega_m}{\beta\omega_b} \quad (۲-۲۹)$$

معادله گشتاور بصورت زیر در می آید.

$$T_d = \frac{3R_r V_a^{\,2}}{S\beta\omega_b[(R_S + \frac{R_r}{S})^2 + (\beta X_S + \beta X_r)^2]} \quad (۲-۳۰)$$

مشخصه تغییرات سرعت-گشتاور برای مقادیر مختلف β در (شکل ۴-۲) نشان داده شده است .اینورتر سه فاز توانایی تغییر فرکانس در یک ولتاژ ثابت را دارد. اگر از R_S صرفنظر کنیم، از رابطه (۲-۲۴) ماکزیمم گشتاور در سرعت پایه بصورت زیر به دست می آید:

$$T_{mb} = \frac{3V_a^{\,2}}{2\omega_b(X_S + X_r)} \quad (۲-۳۱)$$

مقدار ماکزیمم گشتاور در فرکانس دیگری برابر است با:

(۲-۳۲)

و از رابطه (۲-۲۳) ، مقدار لغزش متناظر با آن بدست می آید:

$$S_m = \frac{R_r}{\beta(X_S + X_r)} \quad (۲-۳۳)$$

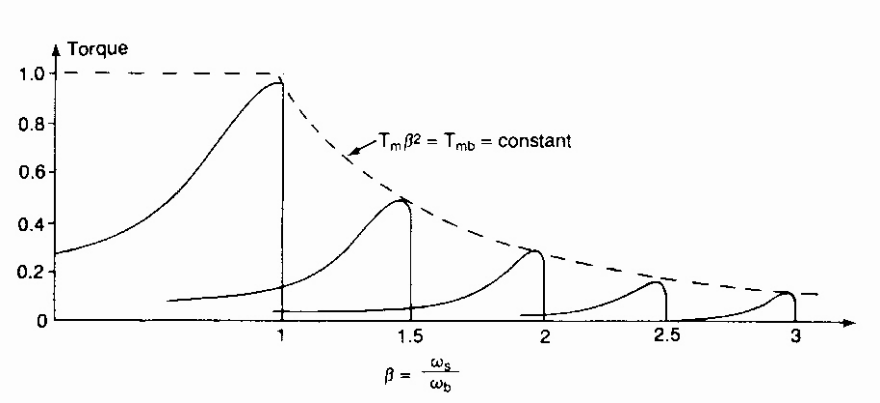
از نرمالیزه کردن رابطه (۲-۳۲) نسبت به رابطه (۲-۳۱) نتیجه می شود:

$$\frac{T_m}{T_{mb}} = \frac{1}{\beta^2} \quad (۲-۳۴)$$

از رابطه (۲-۳۴) می توان نتیجه گرفت که مقدار حداکثر گشتاور با مجذور فرکانس نسبت عکس دارد و $T_m\beta^2$ ثابت می ماند ،همانند رفتار موتور dc سری. در این نوع کنترل، موتور در حالت تضعیف میدان

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کار می کند. برای $\beta > 1$ ، ولتاژ ترمینال موتور ثابت مانده و شار کاهش می یابد، که در نتیجه قابلیتهای گشتاوری محدود می شود. برای $1 > \beta > 1/5$ ، رابطه بین β و T_m را می توان تقریباً خطی فرض کرد. برای $\beta < 1$ با کاهش ولتاژ ترمینال V_a و فرکانس، طوری که شار ثابت بماند، موتور معمولاً با یک شار ثابت کار می کند.



(شکل ۴-۲) مشخصه گشتاور با کنترل فرکانسی

WikiPower.ir

۴-۵-۲ کنترل ولتاژ و فرکانس:

اگر نسبت ولتاژ به فرکانس ثابت نگه داشته شود شار در رابطه (۲-۲۸) ثابت می ماند. رابطه (۲-۳۲) نشان می دهد که ماکزیمم گشتاوررا که مستقل از فرکانس است، می توان تقریباً ثابت نگه داشت. البته در فرکانسهای پایین، شار فاصله هوایی به خاطر کاهش امپدانس استاتور، کم می شود و در نتیجه ولتاژ باید افزایش یابد تا بتوان گشتاور را ثابت نگه داشت. به این روش کنترل اصطلاحاً ولت/ هرتز گفته می شود.

اگر $\omega_S = \beta\omega_b$ باشد و نسبت ولتاژ به فرکانس ثابت باشد بطوریکه:

$$\frac{V_a}{\omega_S} = d \quad (۲-۳۵)$$

نسبت d که از ولتاژ نامی ترمینال V_S و سرعت پایه ω_b تعیین می شود، از رابطه زیر بدست می آید:

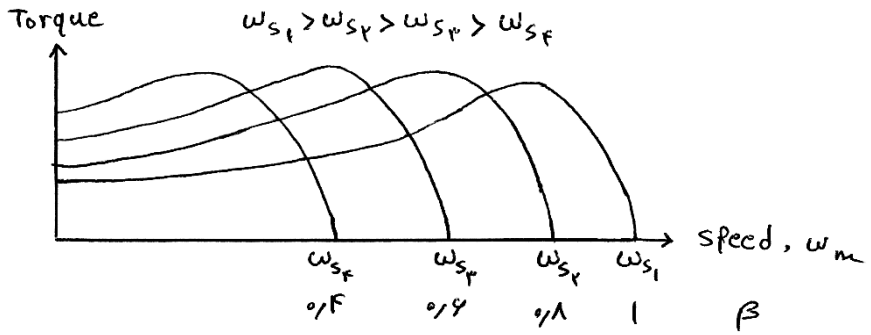
برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$d = \frac{\omega_s}{\omega_b} \quad (۲-۳۶)$$

جایگزینی V_a از رابطه (۲-۲۹) در رابطه (۲-۳) ، گشتاور T_d را می دهد و مقدار لغزش برای حداکثر گشتاور برابر خواهد بود با:

$$S_m = \frac{R_r}{\left[R_S{}^2 + \beta^2 (X_S + X_r)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \quad (۲-۳۷)$$

تغییر گشتاور نسبت به سرعت در (شکل ۵-۲) نشان داده شده است. با کاهش فرکانس، β کاهش و لغزش در گشتاور ماکزیمم افزایش می یابد. در یک گشتاور مشخص ، با توجه به رابطه (۲-۳۶) ، با تغییر فرکانس، سرعت قابل کنترل می باشد. بنابراین با تغییر ولتاژ و فرکانس می توان گشتاور و سرعت را کنترل کرد. معمولاً گشتاور ثابت نگه داشته شده و سرعت تغییر داده می شود. ولتاژ در فرکانسهای مختلف با استفاده از اینورترهای سه فاز و یا سیکلوکانورترها بدست می آید. سیکلوکانورترها در کاربردهایی با توان بسیار بالا(لکوموتیوهاو کارخانه سیمان) که فرکانس لازم، نصف و یا یک سوم فرکانس خط می باشد، استفاده می شوند.



(شکل ۵-۲) مشخصه گشتاور-سرعت با کنترل ولت/هرتز

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل سوم :

سیکلوکانورتر (مبدل فرکانس)

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳-۱ مقدمه

در یک سیکلوکانورتر(مبدل فرکانس) ولتاژ متناوب در فرکانس منبع به ولتاژ خروجی با فرکانس متفاوتی نسبت به فرکانس منبع(معمولاً کمتر) تبدیل می شود .این تبدیل بدون هیچ واسطه میانی انجام می شود. اولین بار سیکلوکانورتر درکشور آلمان بکار گرفته شد.در این سیکلوکانورتر منبع ac سه فاز با فرکانس 50Hz به ac تکفاز در فرکانس $16\frac{2}{3}HZ$ تبدیل شد و در ریل راه آهن استفاده شد. سپس یک سیکلوکانورتر برای راه اندازی و کنترل سرعت یک موتور سنکرون 400 اسب بخار استفاده شد که دارای 18 تریستور بود.

اصول عملکرد سیکلوکانورتر برپایه کنترل فاز است که شامل دو یکسو کننده مستقل کنترل شده با فاز است که بطور پشت به پشت به یک منبع ورودی ac متصل شده اند.

خاصیت ذاتی عناصر نیمه هادی قدرت یعنی سد کردن ولتاژ بایاس مستقیم و بایاس معکوس هنگامیکه پالس آتش به آن اعمال نشده در سیکلوکانورتر خیلی مفید است .این ویژگی منحصر بفرد تریستورها باعث توسعه مبدلهای کموتاسیون خط کنترل شده با فاز شده است. یک مبدل تمام کنترل شده می تواند با کنترل زاویه α، ac را به dc یکسو کند و با کنترل زاویه α، dc را به ac وارون کند. در یک سیکلوکانورتر، کنترل هدایت تریستورها منجر به تبدیل فرکانس منبع به یک فرکانس خروجی دلخواه در پایانه های بار می شود.

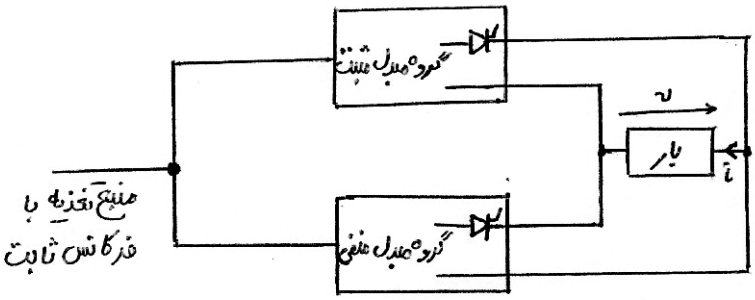
در واقع مبدل، یک فرکانس متغیر را برای کنترل سرعت موتور ac ایجاد می کند. بدلیل محدودیت های ذاتی که مبدلهای فرکانس دارند، منبع فرکانس متغیر سیکلوکانورتر برای سرعتهای پایین استفاده می

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

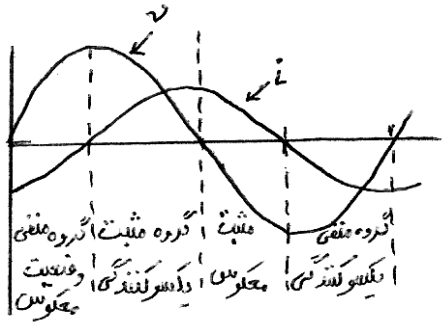
شود که یک نمونه آن نورد سیمان است که سرعت کوره 50 تا 100RPM طراحی شده است. سیکلوکانورتر بطور وسیعی در هواپیماها استفاده می شود، جاییکه فرکانس مولد صرفنظر از تغییرات سرعت موتور ثابت نگه داشته می شود.همچنین ، سیکلوکانورتر بعنوان یک منبع فرکانس ثابت در سیستمهایی که فرکانس ثابت –سرعت متغیر نامیده می شوند(VSCF) کاربرد دارند.

۳-۲ نحوه عملکرد مبدل کاهنده فرکانس

یک مبدل کاهنده فرکانس مرکب از دو مبدل پشت به پشت مانند (شکل ۱-۳ الف) به هم متصل شده اند.



(الف)



(ب)

(شکل۱-۳)نقشه عمومی مبدل کاهنده فرکانس

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

الف)نمایش بلوک دیاگرامی ب)شکل موج ایده آل بار

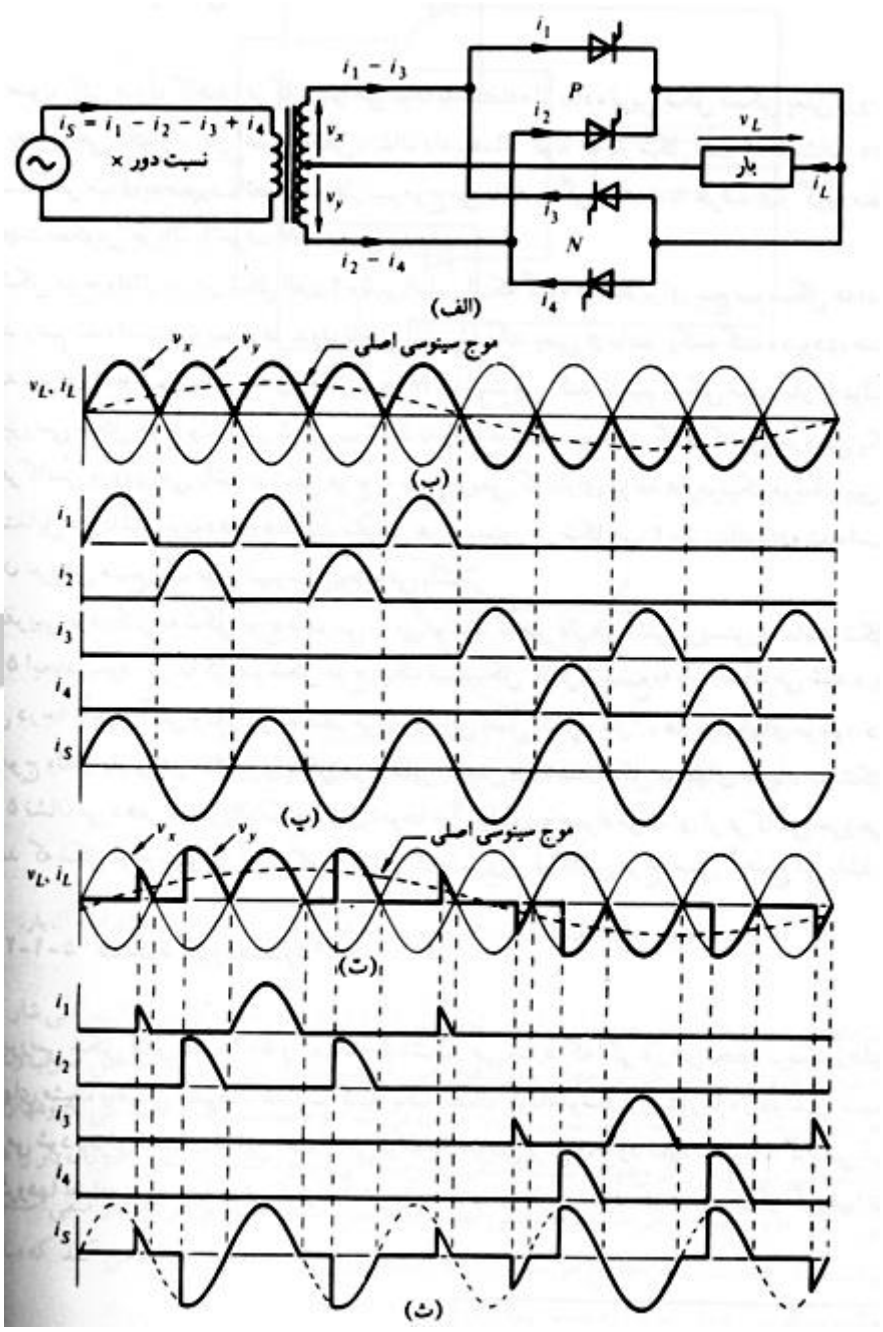
شکل موجهای بار در شکل (۱-۳ ب) نشان می دهد که در حالت کلی شار قدرت لحظه ای درون بار در یکی از چهار پریود قرار می گیرد. در دو پریودی که حاصلضرب ولتاژ در جریان بار مثبت است.شار قدرت درون بار جذب می شود و وضعیت یکسوکنندگی گروههای مبدل را مشخص می کند گروههای مثبت و منفی به ترتیب در پریودهای مثبت ومنفی جریان بار را هدایت می کنند. دو پریود دیگر مربوط به زمانی است که حاصل ضرب ولتاژ در جریان بار منفی است. به این ترتیب شار قدرت از بار خارج می شود(بار قدرت تحویل می دهد)و ایجاب می کند که مبدل در حالت معکوس عمل نماید(وضعیت اینورتری).

اصول کلی مبدل کاهنده فرکانس را می توان با استفاده از ساده ترین شکل ممکن یعنی ورودی تکفاز به خروجی تکفاز با بار اهمی خالص نشان داد.همان گونه که در (شکل ۲-۳ الف) نشان داده شده است، هر مبدل بصورت اتصال دوفاز نیم موج می باشد و گروه مثبت با حرف p و گروه منفی برای جهت معکوس جریان با حرف N مشخص شده اند.

شکل موج ولتاژ بار در (شکل الف۲-۳) براساس اینکه گروه p فقط برای پنج نیم سیکل هدایت می کند رسم شده است و تریستورها بدون تاخیر آتش شده اند یعنی p مانند یکسوکننده دیودی عمل می کند . برای پنج نیم سیکل بعدی ،فقط گروه N هدایت می کند تا نیم سیکل منفی بار را تولید کند.بررسی شکل موج ولتاژ در(شکل ب۲-۳) به وضوح نشان می دهد که فرکانس خروجی یک پنجم فرکانس ورودی می باشد و شکل موج به موج مربعی که دارای مولفه هارمونیک مرتبه پایین است متمایل می باشد. پریودهای هدایت مختص هر تریستور در (شکل پ۲-۳) نشان داده شده است و جریان خروجی منبع یک موج سینوسی پیوسته می باشد.تقریبی نزدیکتر به شکل موج سینوسی را می توان با تاخیر فاز در آتش تریستورها مانند (شکل ت۲-۳) ایجاد نمود. در ماکزیمم شکل موج ،یک نیم سیکل کامل از منبع به بار اعمال می شود و با افزایش درجه تاخیر آتش ولتاژ بار به صفر می رسد. این عمل کنترل فاز، هارمونیکهای موجود در شکل موج ولتاژ بار را در مقایسه با شکل موج قبلی کاهش می دهد. شکل

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موجهای جریان در (شکل ث۲-۳) نشان می دهد که جریان منبع دارای اعوجاج زیادی به همراه مولفه ای از فرکانس خروجی می باشد که شکل موج سینوسی است که فرکانس آن کسری از فرکانس موج اصلی منبع می باشد.



(شکل ۲-۳) مبدلهای تکفاز دو فاز متصل به بار مقاومتی خالص.الف) مدار.ب) ولتاژ بار با هدایت کامل هر تریستور . پ) شکل موجهای جریان مربوط به حالت ب ت)ولتاژ بار با کنترل فاز هر تریستور ث) شکل موجهای جریان مربوط به حالت ت.

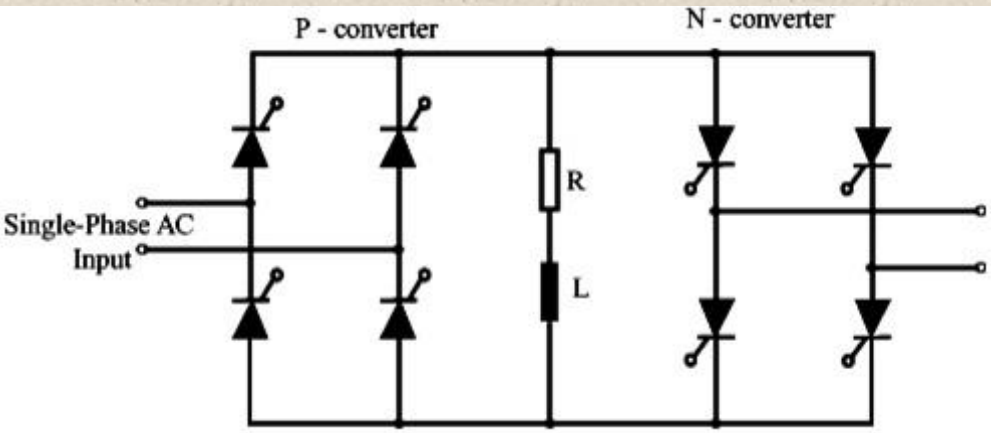
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳-۳ سیکلوکانورتر تکفاز:

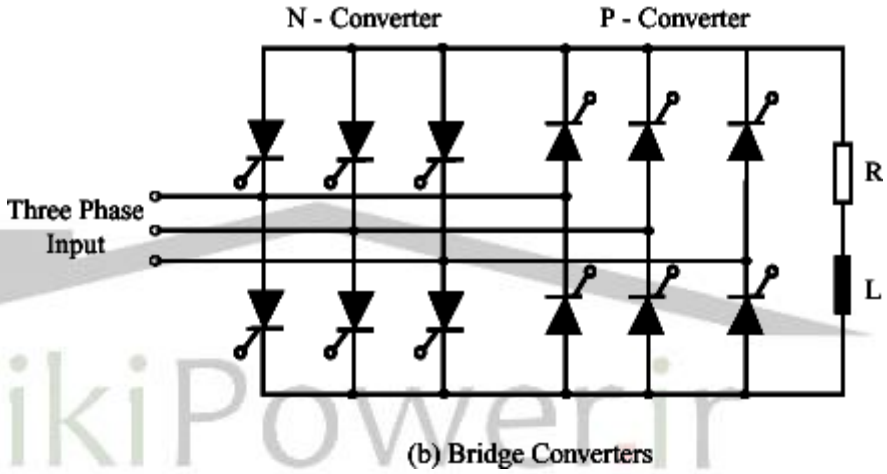
مبدلها قادرند خروجی هر منبع m فاز را در فرکانس داده شده به خروجی n فاز با فرکانس دیگری تبدیل کند. سیکلوکانورتر می تواند ولتاژ متغیر- فرکانس متغیر را در خروجی ایجاد کند. از آنجاییکه منبع فرکانس کتغیر و ولتاژ متغیر در کنترل سرعت موتور a.c استفاده می شود ، سیکلوکانورتر اجازه عبور توان را در هر دو جهت می دهد. محدودیت اساسی سیکلوکانورتر این است که کنترل فاز منجر به ضریب توان پایین می شود. بنابراین بحث اساسی در یکسیکلوکانورتر، اصلاح ضریب قدرت آن، هم در بار و هم در منبع می باشد.در محدوده صفر تا $\frac{1}{3}$فرکانس نامی خط، شکل موجهای ولتاژ خروجی هارمونیک خیلی کمی دارند بنابراین سیکلوکانورتر ، اعوجاج هارمونیکی کمی در خروجی دارد.کموتاسیون طبیعی و کیفیت بالای شکل موجهای خروجی از ویژگیهای بارز سیکلوکانورتر است.

سیکلوکانورتر را می توان با توجه به کیفیت خروجی مورد نظر و تعداد فازهای مورد نیاز، برای خروجی تکفاز یا سه فاز طراحی کرد. خروجی تکفاز را می توان از یک ورودی تکفاز مانند (شکل ۳-۳ الف) یا از یک ورودی سه فاز مانند (شکل ۳-۳ ج) بدست آورد. اما سیکلوکانورتر سه فاز به تکفاز در مقایسه با سیکلوکانورتر تکفاز به تکفاز هارمونیک کمتری دارد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



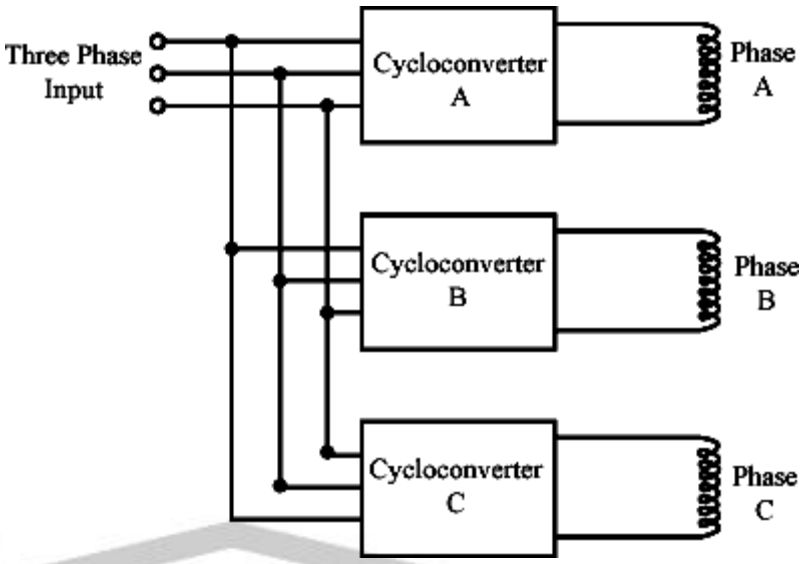
(شکل ۳-۳ الف) سیکلوکانورتر تکفاز به تکفاز



(شکل ۳-۳ ج) سیکلوکانورتر سه فاز به تکفاز

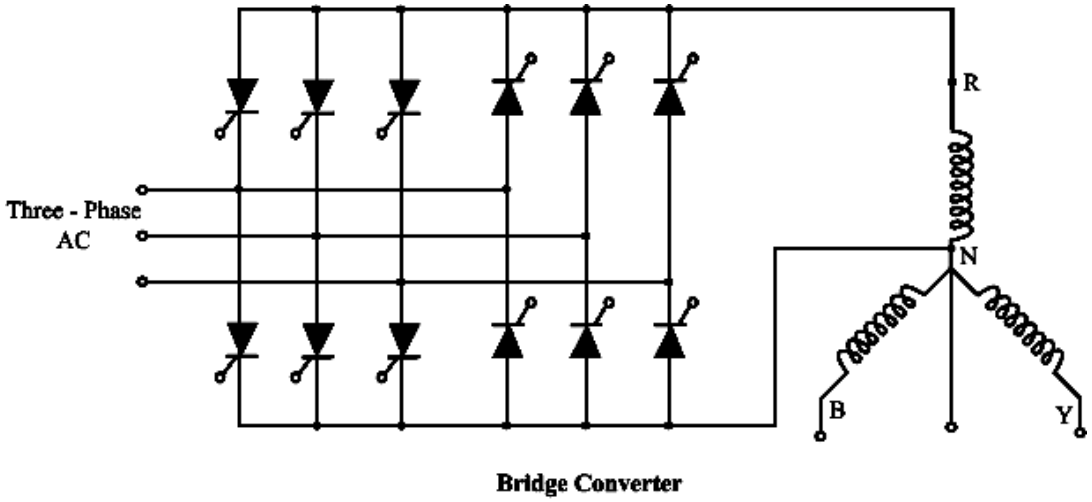
همچنین خروجی سه فاز در ترمینالهای سیکلوکانورتر را می توان از یک منبع ورودی سه فاز با اتصال مناسب هر یک از سه فاز به مبدلهای تکفاز همراه با ترانسفورماتور، همانند (شکل ۴-۳ الف) بدست آورد. مبدلهایی که بصورت پشت به پشت متصل شده اند می توانند مبدل پل تکفاز باشند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



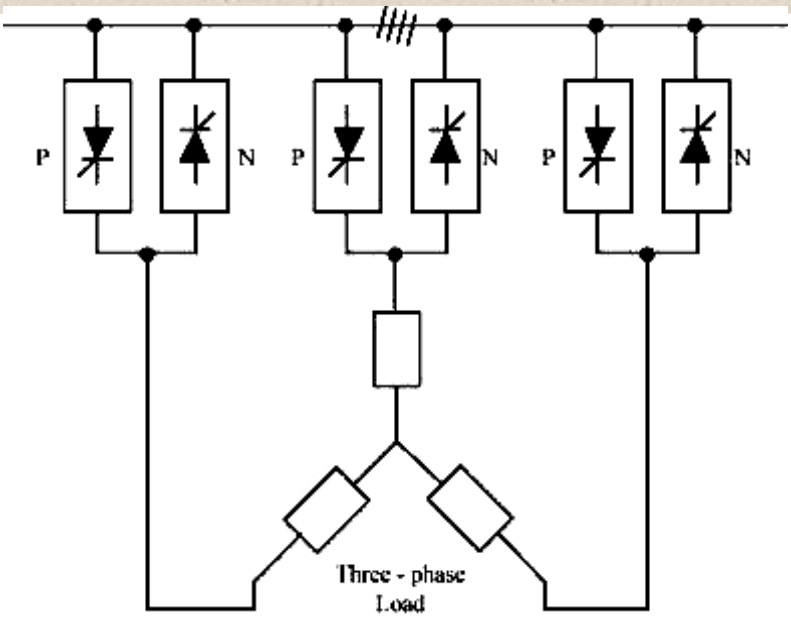
(شکل ۴-۳ الف) مدار معادل سیکلوکانورتر سه فاز به سه فاز

WikiPower.ir



(شکل ۴-۳ ب) شماتیک سیکلوکانورتر سه فاز به سه فاز

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(شکل ۴-۳ ج) مدار پل سیکلوکانورتر سه فاز به سه فاز

فرکانس خروجی یک سیکلوکانورتر با کموتاسیون خط، مضربی از فرکانس ورودی است که معمولاً به $\frac{1}{3}$ فرکانس ورودی محدود می شود. بعبارت دیگر فرکانس خروجی از 0 تا $\frac{1}{3}$فرکانس ورودی متغیر است تا هارمونیکهای ولتاژ خروجی را در حد معقولی نگه دارد.با این حال، اگر از یک سیکلوکانورتر برای افزایش فرکانس استفاده شود ، شکل موجهای خروجی دارای اعوجاج زیادی می شوندکه این مشکل با کموتاسیون اجباری قابل حل است اما معمولاً از آن خودداری می کنند زیرا بازده مبدل با کموتاسیون اجباری کاهش می یابد. لذا یک سری مدارهای اصلاح کننده برای بهبود شکل موج و بازده نیاز است.

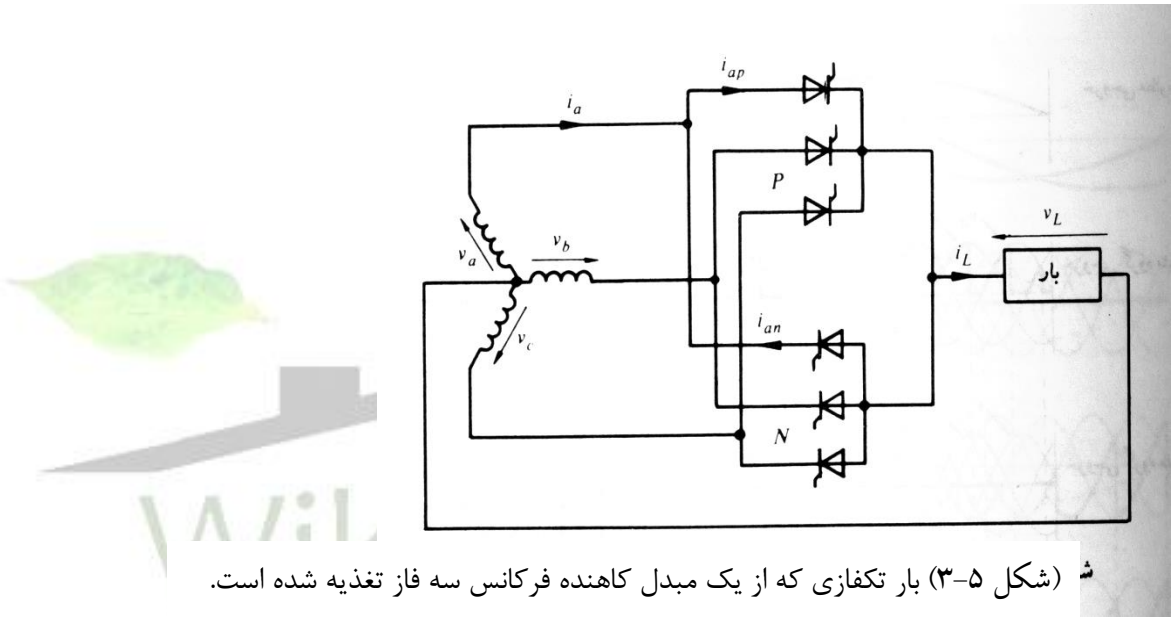
۴-۳ عملکرد گروه مسدود

بررسی شکل های (شکل ۱-۳ الف) و (شکل ۲-۳ الف) آشکار می سازدکه اگر در هر لحظه تریستورهای گروههای مثبت و منفی همزمان هدایت کنند یک اتصال کوتاه توسط تریستورها در دو سر منبع ایجاد می شود. برای اجتناب از این احتمال می توان یک بوبین برای محدود نمودن جریان گردشی در بین گروهها اضافه نمود و یا مدار کنترل آتش را به گونه ای طرح نمود که هیچ یک از گروهها تا زمانی که

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

جریان در گروه دیگر برقرار است آتش نشود. این عملکرد بدون جریان گردشی(یا گروه مسدود) مستلزم آن است که تا جریان در یک گروه برقرار است گروه دیگر آتش نشود.

عملکرد مبدل کاهنده فرکانس گروه مسدود با بارهای مختلف را با رجوع به اتصال سه پالس نشان داده شده در (شکل ۵-۳) و شکل موجهای مربوط به آن در شکلهای (شکل ۶-۳) تا(شکل ۷-۳) به سادگی می توان توضیح داد.



(شکل ۵-۳) بار تکفازی که از یک مبدل کاهنده فرکانس سه فاز تغذیه شده است.

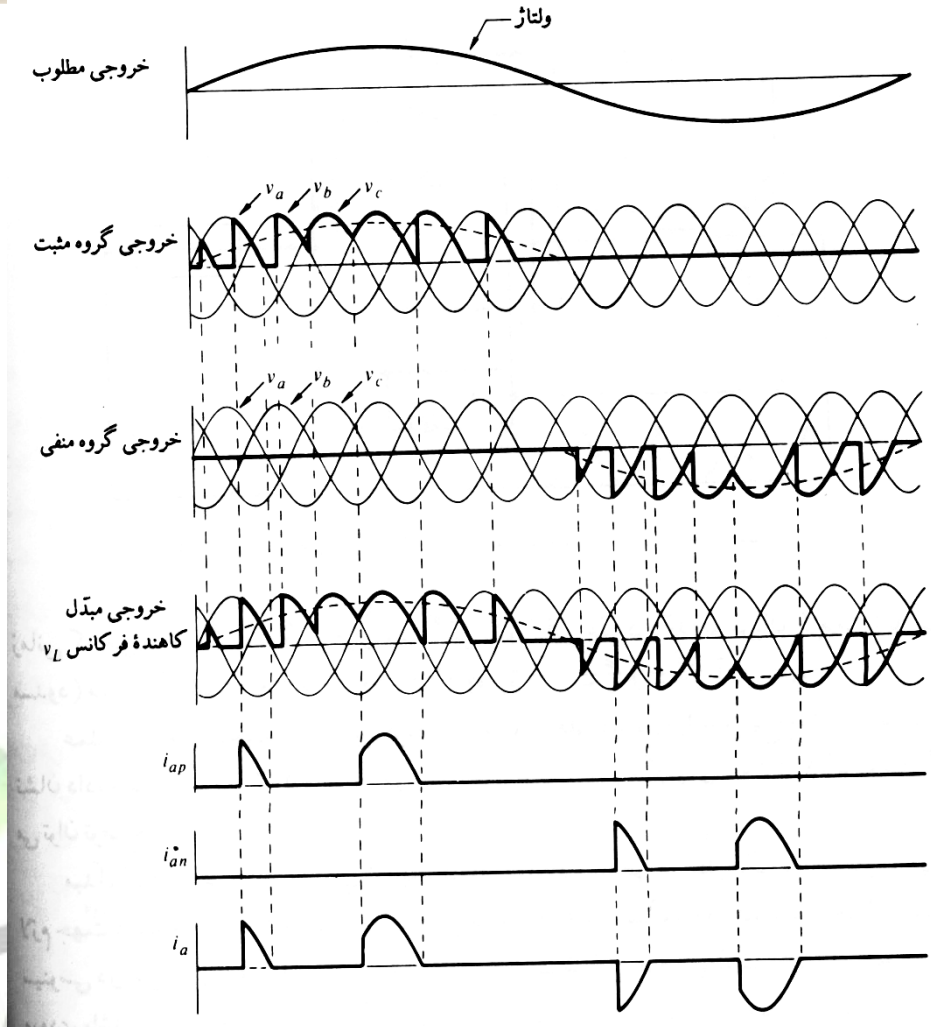
مبدل کاهنده فرکانس را برای تغذیه یک بار مقاومتی خالص در نظر بگیرید. شکل موجهای لازم جهت دستیابی به ماکزیمم ولتاژ خروجی در (شکل ۶-۳) نشان داده شده است. ولتاژ مطلوب سینوسی در خروجی با فرکانسی رسم شده است که یک سیکل خروجی دقیقا کمتر از پنج سیکل ورودی باشد. تریستورها در زوایایی آتش می شوند که نزدیکترین شکل موج ممکن به موج سینوسی اصلی ایجاد شود.چون بار مقاومتی است، شکل موجهای ولتاژ دارای پریودهای صفر می باشد.شکل موج خروجی گروه منفی با خروجی گروه مثبت تفاوت دارد. زیرا موج خروجی شامل تمام سیکلهای موج ورودی نمی باشد و نیم سیکلهای متوالی خروجی در لحظات متفاوتی نسبت به سیکل ورودی شروع می شود. شکل موجهای جریان عدم تقارن قابل ملاحضه ای که به منبع تحمیل می شود را نشان می دهد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای حالت بار سلفی شکل موجها در (شکل ۶-۳) نشان داده شده است. این شکل موجها برای وضعیت ماکزیمم ولتاژ می باشند. جریان بار نسبت به ولتاژ عقب افتادگی دارد و چون جهت جریان بار تعیین می کند که کدام گروه هدایت کند پریودهای روشن شدن هر گروه نسبت به ولتاژ مطلوب خروجی تاخیر داده شده است.تریستورهای هر گروه در زوایایی آتش می شوند که خروجی به شکل موجی که تا حد امکان به سینوسی نزدیک است برسد اما عقب افتادگی جریان بار هر گروه را در حالت اینورتری قرار می دهد.وقتی که جریان بار معکوس می شود هدایت گروه حامل جریان قطع می گردد. شکل موج ولتاژ بار نشان می دهد که انتقال هدایت بین گروهها بطور پیوسته و یکنواخت انجام می شود. اما در عمل قبل از آنکه گروه ورودی (بعدی) آتش شود فاصله کوتاهی برای اطمینان از قطع جریان و دوباره به دست آمدن حالت قطع در گروه قبلی وجود خواهد داشت. شکل موجها با فراض اینکه جریان بار در هر نیم سیکل پیوسته باشد رسم شده است.در عمل باید اثرات همپوشانی که در بخش ۱-۳ توضیح داده شده است نیز در شکل موجها در نظر گرفته شود.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



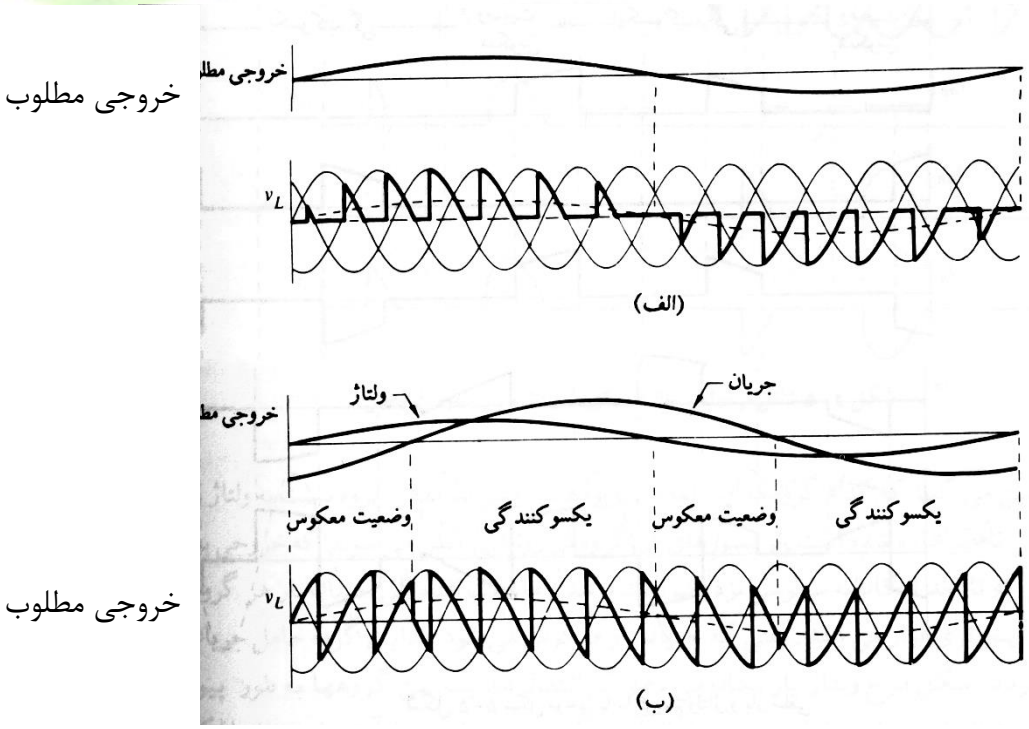
(شکل ۶-۳) شکل موجها در حالت ماکزیمم ولتاژ و بار مقاومتی خالص

(شکل ۷-۳) ، شکل موجهای خروجی مبدل کاهنده فرکانس را برای تغذیه یک بار سلفی و در حالت ماکزیمم ولتاژ نشان می دهد. در این حالت وقتی $0^\circ < \beta < 180^\circ$ تغییر کند، نیم سیکل مثبت ولتاژ خروجی ایجاد می شود و برای ایجاد نیم سیکل بعدی باید $180^\circ < \beta < 360^\circ$ باشد. زاویه β بطور پیوسته برای ایجاد ولتاژ خروجی متوسط سینوسی تغییر می کند با کنترل مناسب زاویه هدایت تریستورها ، می توان به شکل موج خروجی با فرکانس کم رسید. فرکانس این موج بستگی به تغییرات β دارد و هیچ وابستگی به فرکانس منبع ندارد.کنترل مبدل برای داشتن شکل موج ولتاژی نزدیک به سینوسی موجب کاهش هارمونیک در ولتاژ خروجی می شود و این خواسته با افزایش تعداد فازها و در

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

نتیجه تعداد پالسها در ولتاژ خروجی انجام می شود. اگر نسبت فرکانس خروجی به ورودی خیلی کوچک باشد شکل موج خروجی به سینوسی نزدیک می شود.

شکل موج جریان در (شکل ۷-۳) به صورت سینوسی فرض شده است اگر چه در عمل این شکل موج حاوی ریپلهایی است که نسبت به ریپل شکل موج ولتاژ کمتر می باشد. یک بار با اندوکتانس کم منجر به جریانی ناپیوسته ونیز پریودهای صفر کوتاه در ولتاژ می شود. برای داشتن جریان شاخه های نشان داده شده هر تریستور قسمت مناسبی از جریان بار را هدایت خواهد کرد.اگر فرض کنیم که تغذیه توسط ترانسفورمری با اتصال اولیه مثلث صورت گیرد جریان خط ورودی ترانسفورمر با i_a-i_b نشان داده خواهد شد. شکل موج جریان ورودی نشان می دهد که از هر سیکل به سیکل دیگر تغییر شکلی ایجاد می شود اما در مواردی که فرکانس ورودی دقیقا مضرب صحیحی از فرکانس خروجی باشد شکل موج در هر پریود خروجی تکرار می گردد.



(شکل ۷-۳) شکل موجها وقتی که ولتاژ بار در نصف ماکزیمم می باشد الف)بار مقاومتی خالص ب) بار سلفی، جریان پیوسته

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

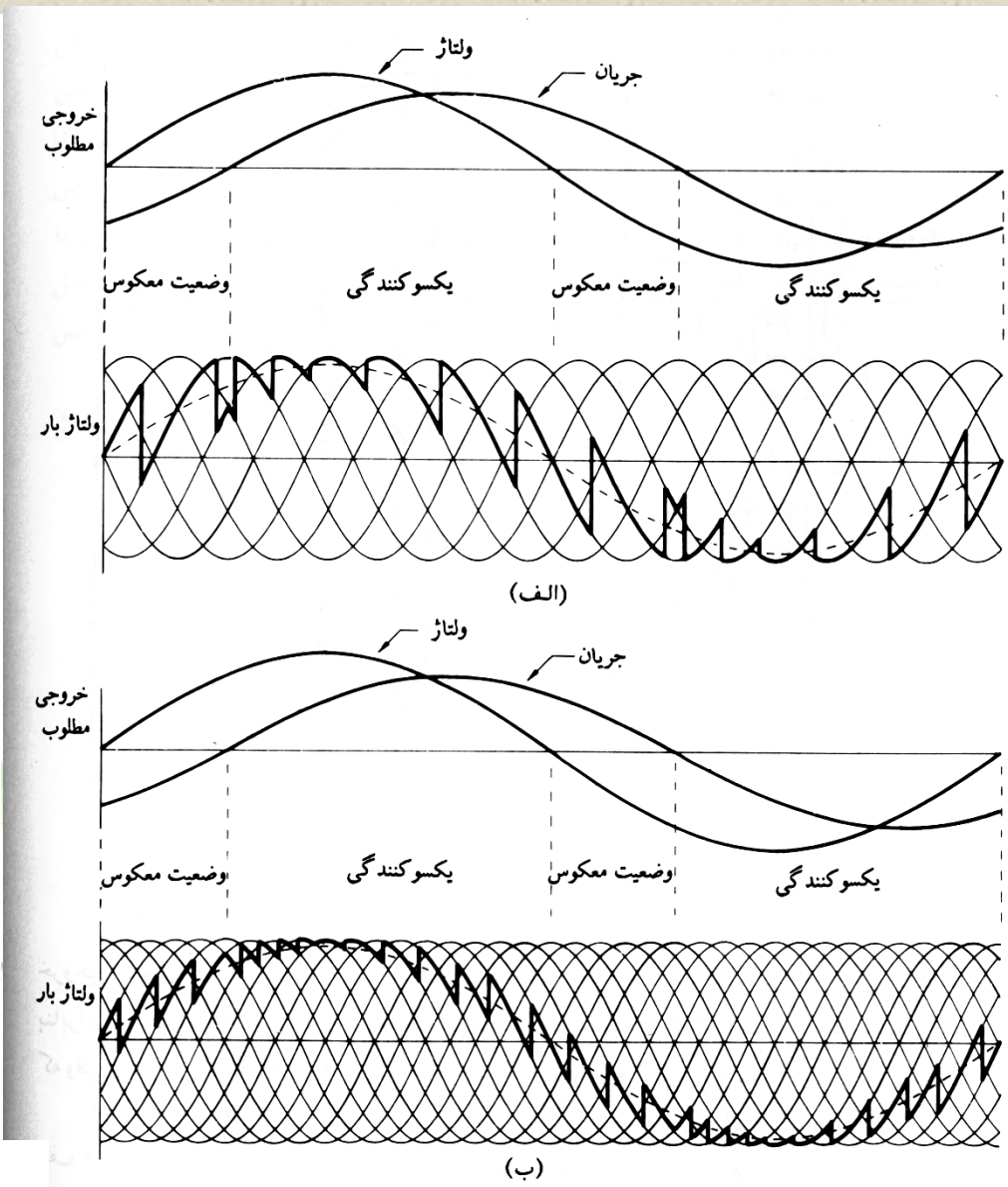
اما همانگونه که در (شکل ۷-۳) نشان داده شده است با تاخیر زاویه آتش می توان در ولتاژ خروجی کاهشی ایجاد نمود. در اینجا چون زاویه آتش حتی در نوک ولتاژ خروجی تاخیر یافته است بنابراین کنترل دامنه ولتاژ خروجی ممکن می باشد. مقایسه (شکل ۷-۳) با (شکل ۶-۳) نشان می دهد که وقتی ولتاژ خروجی کاهش یابد ریپل موجود در شکل موج افزایش می یابد.

مبدل کاهنده فرکانس سه پالسه برای تغذیه یک بار سه فاز را می توان جمعا با ۱۸ تریستور ساخت.

مثالهایی از شکل موجهای خروجی مبدل کاهنده فرکانس برای تعداد پالس بیشتر با فرکانس یک سوم فرکانس ورودی در (شکل ۸-۳) نشان داده شده است. از این شکل موجها به وضوح پیداست که با تعداد پالس بیشتر شکل موج خروجی به شکل موج سینوسی مطلوب نزدیکتر می شود.فرکانس خروجی در حالت کلی بین $\frac{1}{2}$ و $\frac{1}{3}$ فرکانس ورودی محدود می شود.اتصالهای با تعداد پالس بیشتر محدوده وسیعتری را مجاز می سازند.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(شکل ۸-۳) شکل موجهای ولتاژ بار مبدل کاهنده فرکانس با ضریب قدرت پس فاز الف) اتصال شش پالس ب) اتصال دوازده پالس

حداکثر مقدار ولتاژ خروجی متوسط سطح ولتاژ مستقیمی است که هر گروه می تواند تغذیه نماید. این عبارت را می توان با بررسی شکل موجها وقتی که در حداکثر ولتاژ خروجی هدایت گروهها مانند حالت یکسو کننده دیودی می باشد توجیه نمود.

بنابراین برای یک مبدل کاهنده فرکانس p پالسه حداکثر مقدار ولتاژ خروجی عبارتست از :

$$V_o(\max) = \frac{p}{\pi} Sin \frac{\pi}{p} V_s(\max)$$

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بطوری که $V_{s(max)}$ حداکثر ولتاژ منبع می باشد. وقتی که دامنه ولتاژ خروجی با تاخیر آتش α کاهش می یابد خواهیم داشت:

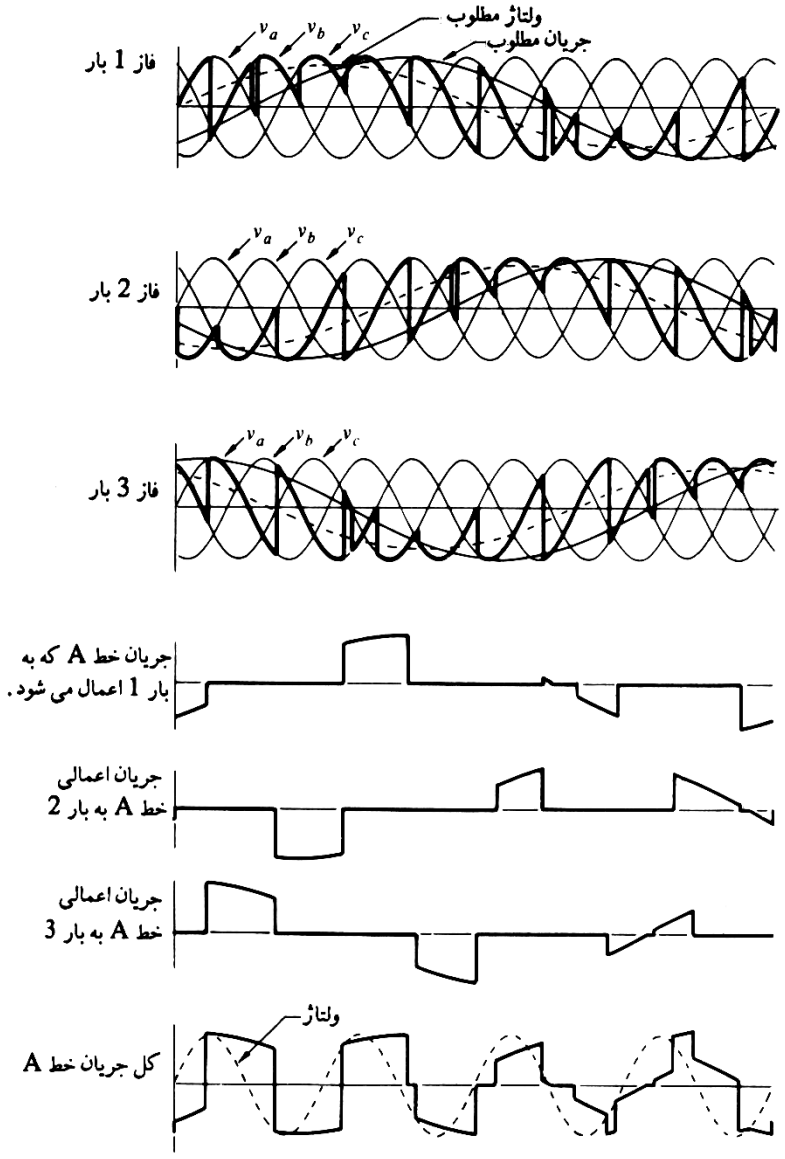
$$V_o(\max) = \frac{p}{\pi} Sin\frac{\pi}{p} V_s(\max) Cos\alpha$$

وقتی که مبدل کاهنده فرکانس سه پالسه مانند (شکل ۷-۳) بار متعادلی را تغذیه نماید جریان خروجی منبع به صورت یکنواخت تری متقارن می باشد. شکل موجهایی که این موضوع را نشان می دهند در (شکل ۹-۳) برای نسبت فرکانس $\frac{4}{1}$ و باری با ضریب قدرت پس فاز 0/707 رسم شده است. گر چه در عمل جریان دارای ریپلهایی می باشد اما در اینجا فرض شده است که جریان بار سینوسی است. کل جریان بار از یک سیکل به سیکل دیگر یکسان نمی باشد به طور وضوح شامل هارمونیکهایی می باشد و مولفه اصلی آن بیشتر از زاویه ضریب قدرت بار با ولتاژ منبع تاخیر فاز دارد.

تریستورهای مبدل کاهنده فرکانس به طور طبیعی کموتاسیون می کنند و خواه بار مقاومتی سلفی و یا خازنی باشد برای دستیابی به خروجی تریستورها بایستی با تاخیر آتش شوند. در نتیجه جریان ورودی منبع ac همیشه نسبت به ولتاژ مطلوب تاخیر فاز خواهد داشت.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل (شکل ۹-۳) نمایش کل جریان ورودی با مبدل کاهنده فرکانس سه پالسه و بار سه فاز با ضریب قدرت پس فاز

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳-۵ انواع سیکلو کانورتر:

سیکلوکانورترها را می توان بر اساس چگونگی کنترل زاویه آتش آنها به دو دسته طبقه بندی کرد:

- سیکلو کانورتر پوش
- سیکلوکانورتر کنترل شده با فاز

۳-۵-۱ سیکلوکانورتر پوش:

سیکلوکانورتر را می توان به گونه ای کنترل کرد که هر گروه را مانند حالتی که همه عناصر دیودی هستند به طور کامل هدایت نمایند. به این طریق، کنترل آتش تریستورها باید دریک نیم سیکل بار پیوسته روشن و در نیم سیکل دیگر کاملاً قطع باشد. یک مبدی چند پالسه می تواند ترکیبی از دیودها و تریستورها درخطوط ورودی ac باشد که عمل سوئیچ خاموش/روشن را در هر نیم سیکل بار، انجام دهند. واضح است که مدارهای کنترل برای تولید خروجی توسط یک سیکلوکانورتر پوش بسیار ساده تر از مبدل با کنترل فاز می باشد اما این حالت دارای محدودیتهایی می باشد. شکل موج خروجی به سمت مربع شدن میل می نماید بنابراین حاوی هارمونیک بیشتری می باشد. باری که ضریب قدرت پس فاز (یا پیش فاز) دارد ایجاب می کند که پریودهایی از عملکرد هر گروه در وضعیت اینورتری باشد. مبدل کاهنده فرکانس پوش اساساً فقط می تواند یکسو کننده باشد. بنابراین کاربرد ان به بارهایی با ضریب قدرت واحد یا نزدیک آن محدود می شود.

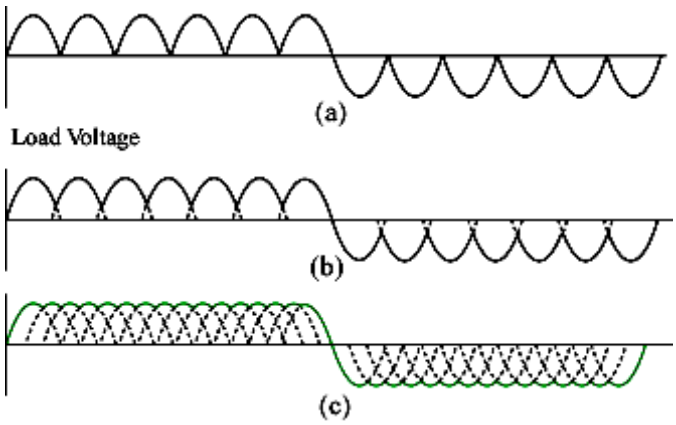
در مبدلهای پوش زاویه β مبدلها تغییر نمی کند و معمولاً طی نیم سیکل مثبت ولتاژ، برای مبدل مثبت، در مقدار ثابت $\beta = 0$ و برای مبدل منفی $\beta = 180^\circ$ ثابت نگه داشته می شود. طی نیم سیکل منفی، $\alpha_P = 180^\circ$ و $\alpha_N = 0$ است. رابطه فرکانس خروجی برحسب فرکانس ورودی در مبدل پوش بصورت زیر است:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{1}{1+\frac{2(n+1)}{P}}$$

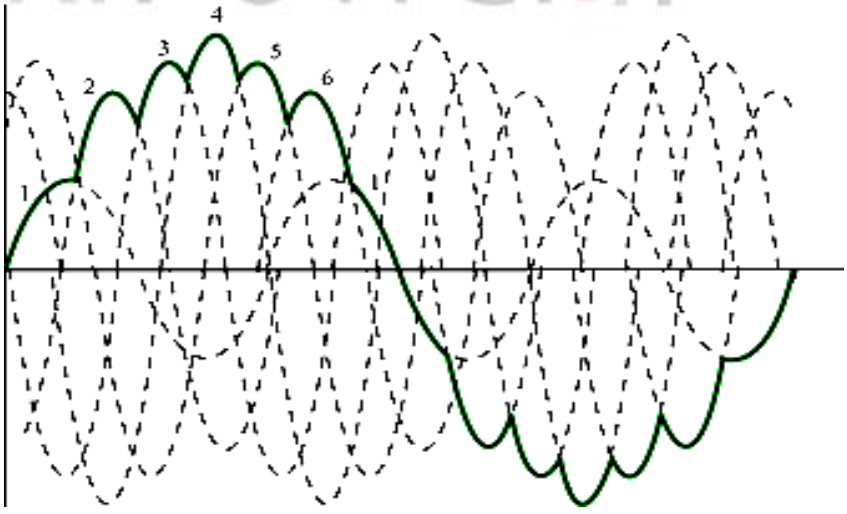
که p تعداد پالسها و n تعداد نیم سیکلهایی است که مبدل آتش می شود.

وقتی مقدار n افزایش می یابد نسبت فرکانس کاهش می یابد. نسبت فرکانس برای مبدلهایی که تعداد پالس کمتری دارند کوچکتر است.



(شکل ۱۰-۳) شکل موجهای مربعی مبدل کاهنده فرکانس پوش (a)2 پالسه. (b)3 پالسه. (c)6 پالسه.

WikiPower.ir



(شکل ۱۱-۳) مبدل کاهنده فرکانس پوش با نوسان کم

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۶-۳ ویژگیهای سیکلوکانورتر:

شکل موجهای ولتاژ:

لازم است متذکر شویم که کیفیت شکل موجهای خروجی سیکلوکانورتر برحسب مولفه های هارمونیکی، قابلیت سیکلوکانورتر برای بکارگیری هر نوع بار با هر ضریب توانی، قابلیت جاری ساختن توان در هر دو جهت و در نتیجه بازیافت انرژی به خط اصلی باعث بکارگیری آنها در درایوهای ac سرعت پایین و درایوهای موتور القایی دوسو تغذیه ای می شود.

اشکال عمده سیکلوکانورتر ضریب توان خیلی کم آنها ، مخصوصاً در ولتاژهای خروجی پایین است. به منظور بهبود شکل موج خروجی و ضریب توان سیکلوکانورتر، مطالعه سیکلوکانورتر از دیدگاه نحوه کنترل آنها ضروری است.

دیدگاههای مورد بررسی بصورت زیر می باشند:

- هدایت پیوسته و ناپیوسته جریان
- نسبت فرکانس خروجی به فرکانس ورودی
- اثرات امپدانس منبع و تعداد پالسهای خروجی

شکل موجهای یک سیکلوکانورتر به فاکتورهای زیر بستگی دارد:

- نسبت فرکانس خروجی به فرکانس ورودی: این مقدار وقتی که شکل موج نزدیک سینوسی است،کوچکتر است.
- هدایت جریان، پیوسته یا ناپیوسته بودن جریان: با هدایت ناپیوسته، جریان عبوری از بار، بحث هارمونیکها مطرح می شود.
- اگر عملکرد سیکلوکانورتر با عبور جریان گردشی همراه باشد هارمونیک در شکل ولتاژ کاهش می یابد.

نکات بالا به تفصیل در زیر توضیح داده می شوند:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- نسبت فرکانس خروجی به ورودی: محدودیتهای عملی سیکلوکانورتر، یقیناً اعوجاج هارمونیکی ولتاژ خروجی است. اگر نسبت فرکانس خروجی به فرکانس ورودی بزرگ باشد ولتاژ خروجی اعوجاج هارمونیکی بیشتری خواهد داشت. اگر این نسبت به ۱/۳ محدود شود، شکل موج ولتاژ خروجی بهتر می شود. اگر سیکلوکانورتر بعنوان یک افزاینده فرکانس بکار رود، اعوجاج خیلی زیاد شده و برای بهبود شکل موج استفاده از فیلترها ضروری می شود.
- هدایت ناپیوسته جریان: در این مورد اعوجاج ولتاژ بیشتر است. طی هدایت ناپیوسته ،هم ولتاژ بار و هم جریان بار صفر است. این پدیده ، اعوجاج به دلیل همگذری(تقاطع) جریانها را افزایش می دهد. اما اثر اعوجاج بر ولتاژ به علت هدایت ناپیوسته را می توان بوسیله حلقه بسته کنترلی مبدل کاهش داد. لازم به یادآوری است که اعوجاج گفته شده در لحظه تقاطع جریانها را نمی توان حذف کرد. بنابراین اگر احتمال هدایت ناپیوسته وجود داشته باشد، مد جریان گردشی سیکلوکانورتر مقدم است.
- با تعداد پالسهای خروجی بیشتر، هارمونیکها کوچکتر می شوند.
- اندوکتانس منبع باعث کوچک شدن اندازه هارمومنیکها می شود. همچنین اندوکتانس منبع در مقابل همپوشانی کموتاسیون عمل کرده و شکل موج ولتاژ خروجی را اصلاح می کند. دامنه هارمونیکهای شکل موج ولتاژ خروجی هم با اندازه اندوکتانس منبع اصلاح می شود. ضریب توان بار با روشهای کنترل لحظه های اتش بر اعوجاج ولتاژ خروجی تاثیر می گذارد. تکنیکهای مدولاسیون زاویه آتش در کنترل مبدلهایی که فقط برای بهبود شکل موج ولتاژ طراحی شده اند، استفاده می شود. هر رابطه غیر خطی ولتاژ که ممکنه بعلت عملکرد غیر عادی مبدل اتفاق بیافتد باعث انحراف ولتاژ از موج سینوسی دلخواه می شود. بارهای به شدت سلفی موجب هدایت پیوسته می شوند. هر جا که روابط ولتاژ خطی هستند اعوجاج کمتر است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳-۷ بررسی عملکرد یک موتور القایی روتور سیم پیچی شده دو سو تغذیه ای(WRIM) در اتصال با سیکلوکانورتر:

در این بخش عملکرد یک موتور القایی روتور سیم پیچی شده دوتغذیه ای *WRIM* را به عنوان یک درایو با سرعت قابل تنظیم (*ASD*) برای پمپ و کمپرسورها بررسی می کنیم. سیم پیچی استاتور از یک ولتاژ متغیر اینورتر *PWM* با فرکانس متغیر تغذیه شده است.از آنجاییکه روتور از یک سیکلوکانورتر با قابلیت انتقال توان در دو جهت تغذیه شده است، بنابراین توان می تواند به مدار روتور جاری شود یا بخشی از توان روتور می تواند بعنوان توان بازیافتی به منبع تغذیه AC جاری شود.

سیکلوکانورتر عملکرد یک موتور القایی دو تغذیه ای را کنترل می کند.

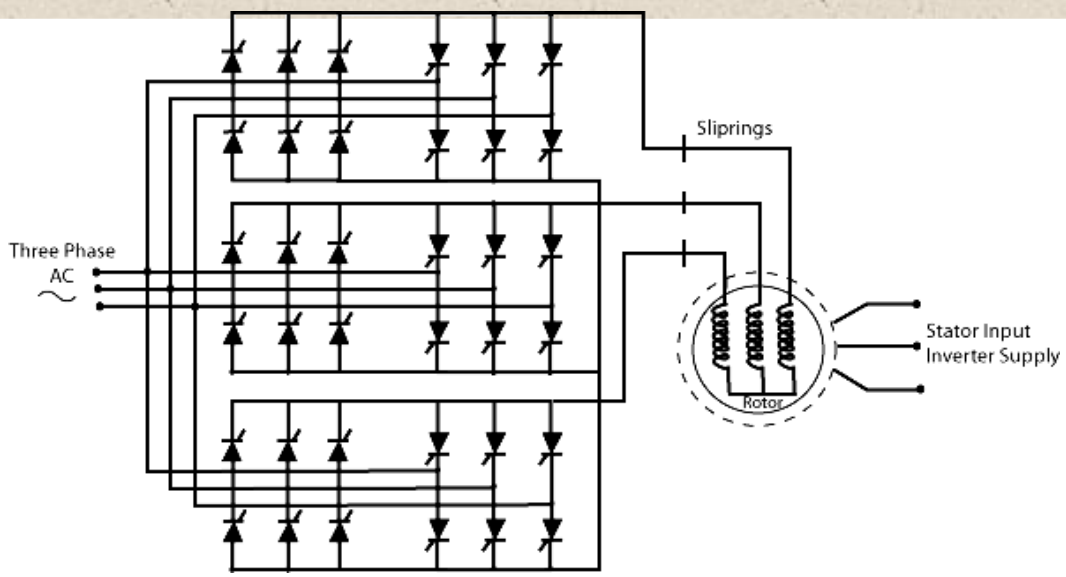
(شکل ۱۲-۳) یک موتور القایی روتور سیم پیچی شده و یک سیکلوکانورتر سه فاز به سه فاز که به سیم پیچی روتور متصل شده است را نشان می دهد. استاتور موتور از یک اینورتر *PWM* تغذیه شده است.

(شکل ۱۳-۳) دیاگرام لغزش بر حسب توان جاری را نشان می دهد. عملکرد در نواحی سرعت زیر سنکرون و فوق سنکرون و چگونگی تقسیم توانهای الکتریکی و مکانیکی روتور را نشان می دهد. در ناحیه زیر سنکرون بخشی از توان ورودی استاتور در روتور تلف می شود، بخش دیگر به توان مکانیکی تبدیل می شود و باقیمانده توان بعنوان انرژی لغزش بازیافت شده به خط اصلی جاری می شود.

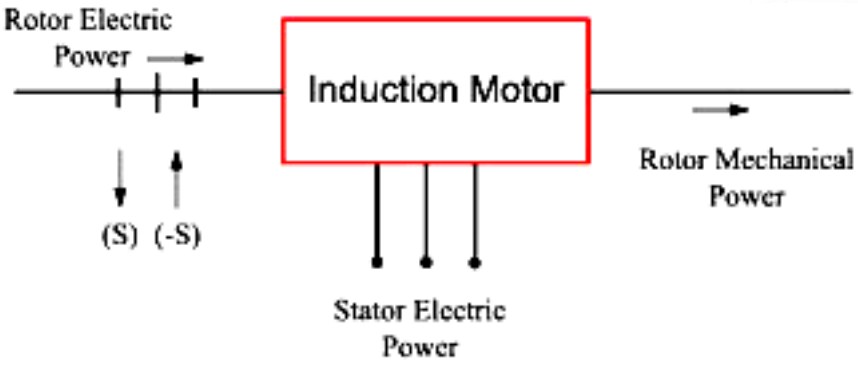
از طرف دیگر در ناحیه فوق سنکرون ، توان از خط AC در پایانه حلقه های لغزان موتور جاری می شود.

(شکل ۱۲-۳) بیانگر این موضوع است(شکل ۱۳-۳) نشان می دهد که چطور ولتاژ و فرکانس روتور *WRIM* با تغییر سرعت(لغزش) تغییر می کند. بنابراین ، این اطلاعات برای طراحی یک سیکلوکانورتر ویژه که توسط حلقه های لغزان به ماشین القایی روتور سیم پیچی شده *WRIM* وصل شده است، خیلی مفید است.

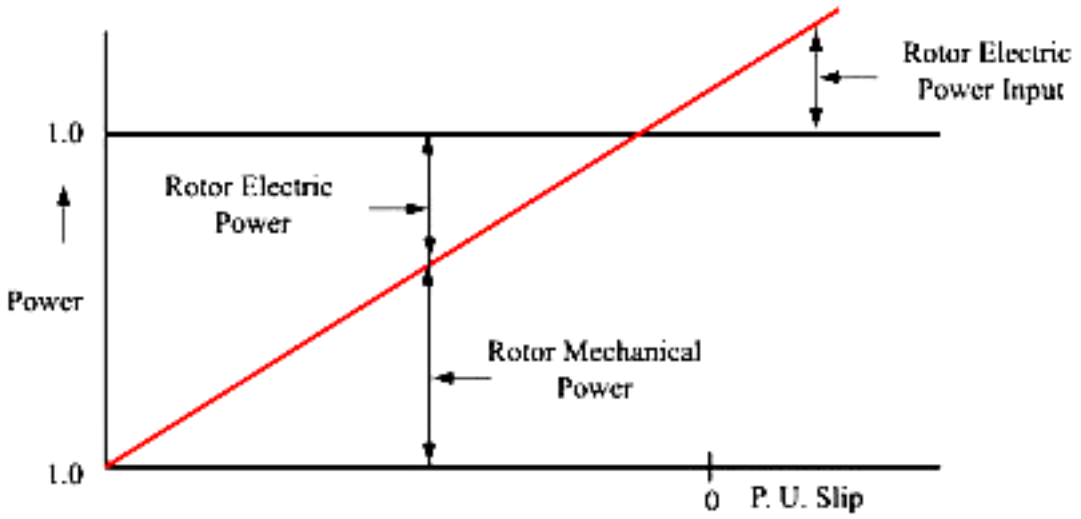
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



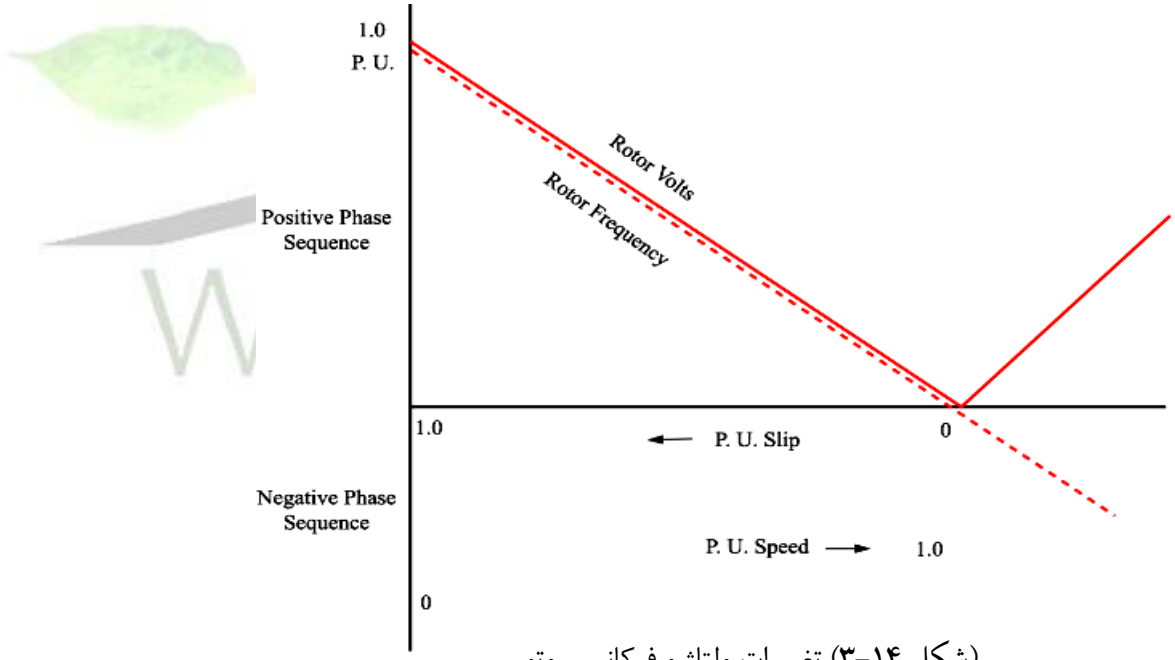
(شکل ۱۲-۳) مدار سیکلوکانورتر باموتور القایی دوتغذیه ای



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

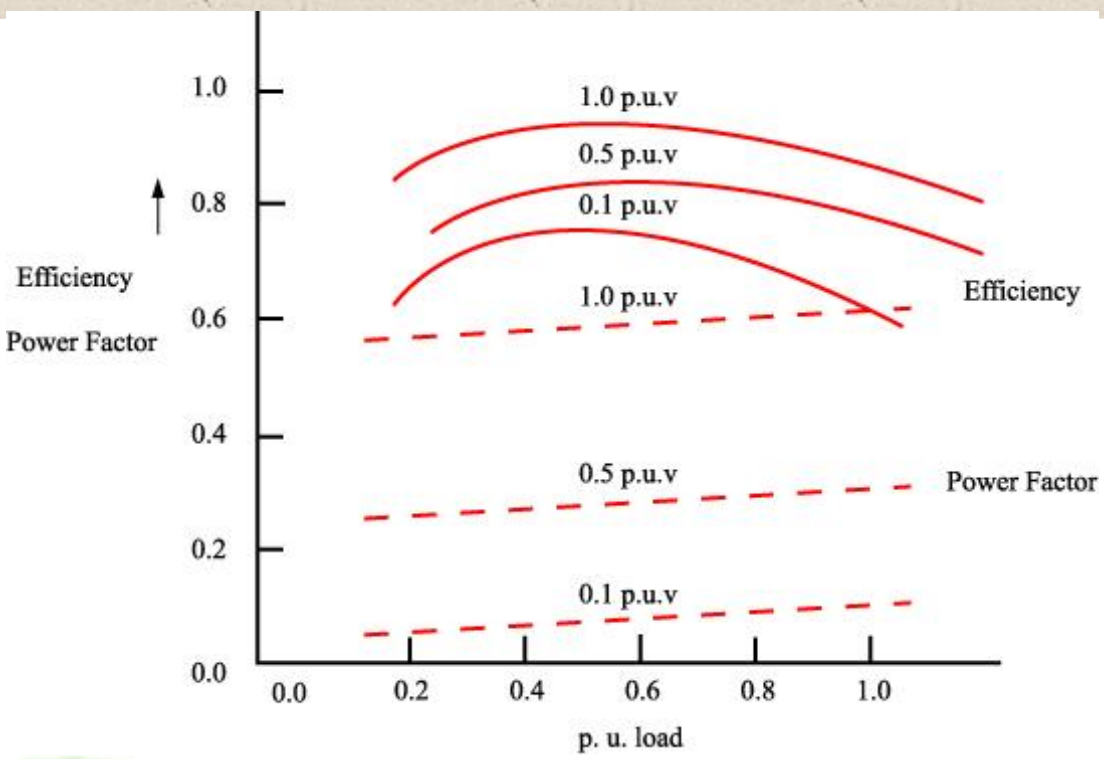


(شکل ۱۳-۳) دیاگرام عبور توان موتور القایی روتور سیم پیچی شده دو تغذیه ای



(شکل ۱۴-۳) تغییرات ولتاژ و فرکانس روتور

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(شکل ۱۵-۳) تغییرات بار بر حسب ضریب توان و بازده

WikiPower.ir

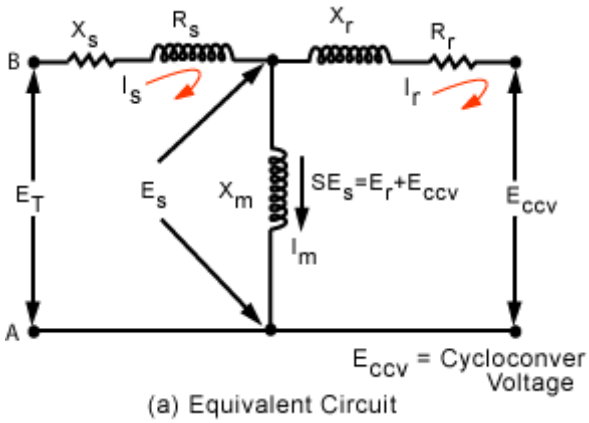
۱-۷-۳ بازده و ضریب توان *WRIM* برحسب ولتاژ بار:

منحنی های بار- بازده و ضریب توان برای یک *WRIM* دو تغذیه ای، برای مقادیر مختلف ولتاژ پریونیت در (شکل ۱۵-۳) رسم شده است. این منحنی ها نشان می دهند که هم ضریب توان و هم بازده با افزایش ولتاژ از 0.1 pu تا 1pu ، افزایش می یابد.واضح است که تلفات در ضریب توان بی بار و ضریب توان موتور القایی بعلت جریان بالای مغناطیسی خیلی پایین است اما با طرح دوتغذیه ای، ضریب توان شدیداً بهبود می یابد، در نتیجه نه تنها تلفات بی باری ،بلکه تلفات بار کامل هم کاهش می یابد و ضریب توان کل خیلی بهتر از حالتی می شود که موتور یک تغذیه ای باشد.

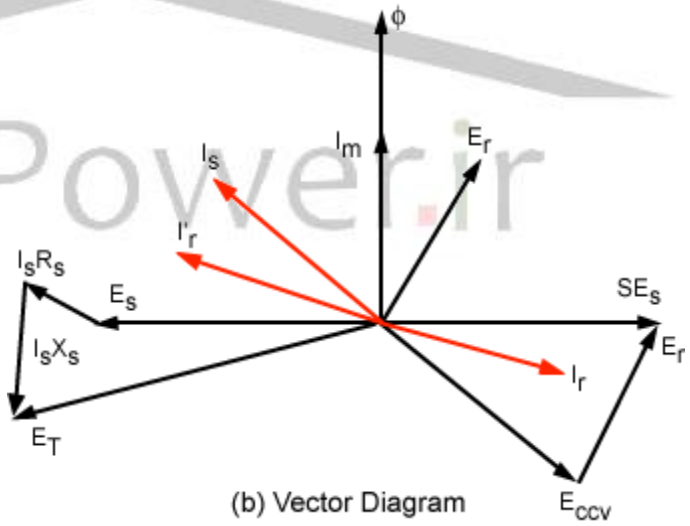
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- تلفات بی باری کمتر از 1% قدرت نامی
- تلفات بار کامل کمتر از 4/5% قدرت نامی

مدار معادل بر فاز و همچنین دیاگرام فازوری موتور القایی دو تغذیه ای در شکلهای (۱۶-۳) نشان داده شده است.



(شکل ۱۶-۳) مدار معادل موتور القایی دو تغذیه ای



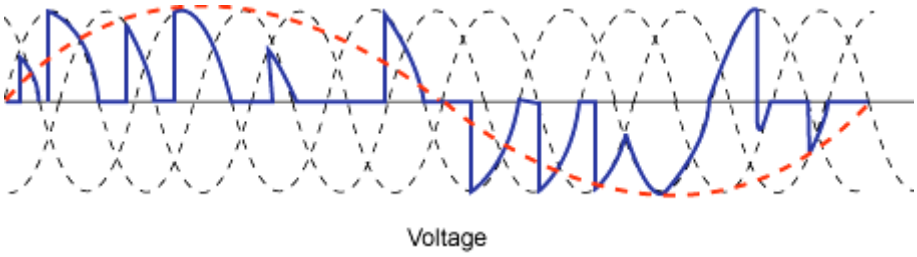
(شکل ۱۷-۳) دیاگرام فازوری مدار معادل

- تفاضل بین بردار ولتاژ روتور (SE_S) و ولتاژ سیکلوکانورتر (E_{ccv}) در شکل فوق ترسیم شده که برابر E_r است. که E_r جریان I_r در مدار روتور ایجاد می کند. با کنترل اندازه E_{ccv}، اندازه وفاز E_r و در نتیجه I_r کنترل می شود. جریانی که از سمت روتور به سمت استاتور ارجاع می شود (I_r') به سمت

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

استاتور بصورت برداری با جریان مغناطیس کنندگی I_m جمع می شود و برآیند جریان استاتور نتیجه می شود. یعنی همان جریان I_S که از منبع رسم شده است که اندازه و ضریب توان مناسبی دارد.

- با تحریک بزرگ روتور یعنی با کنترل اندازه E_{ccv} که از طریق سیکلوکانورتر به سیم پیچیروتور اعمال می شود ، نه تنهای تغییر لغزش بلکه بهبود ضریب توان نیز ممکن می شود. که اینرا منحنی های ضریب توان بر حسب ولتاژ پریونیت نشان می دهد.



WikiPower.ir

(شکل ۱۸-۳) موجهای پایانه سیکلوکانورتر در ضریب توان واحد

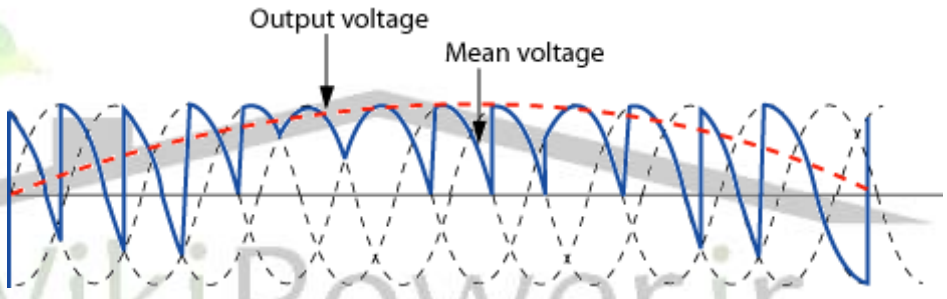
۲-۷-۳ شکل موجهای ولتاژ و جریان:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

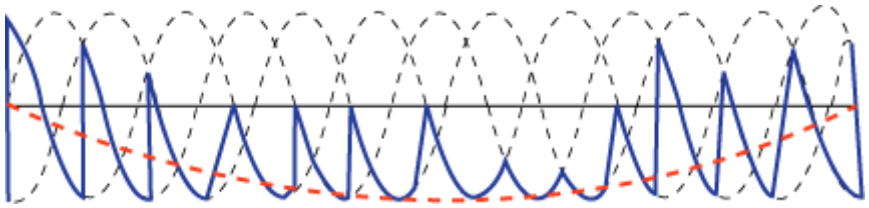
(شکل ۱۸-۳) موجهای ولتاژ و جریان را در پایانه های سیکلوکانورتر یا حلقه های لغزان *WRIM* را در ضریب توان واحد نشان می دهد. با توجه به اینکه معمولاً ضریب توان واحد در درایو موتور القایی یک تغذیه ای وجود ندارد صریحاً می توان ثابت کرد که سیکلوکانورتر با اعمال ولتاژ E_{CCV}، تا حدی که ضریب توان در ترمینالهای استاتور واحد باشد، به روتور آنرا تحریک می کند.

با توجه به شکل موجهای ولتاژ و جریان، مشاهده می شود که کیفیت خروجی در ضریب توان واحد مناسب است.

(شکل ۱۹-۳) تغییر سینوسی ولتاژ خروجی متوسط در طی یکسو کنندگی و اینورتری را نشان می دهد . در این شکل، شکل موجهای ولتاژ عملکرد گروه مثبت و منفی سیکلوکانورتر و ولتاژ خروجی رسم شده است.(شکل ۲۱-۳) مدار قدرت سه فاز به تکفاز سیکلوکانورتر را نشان می دهد.

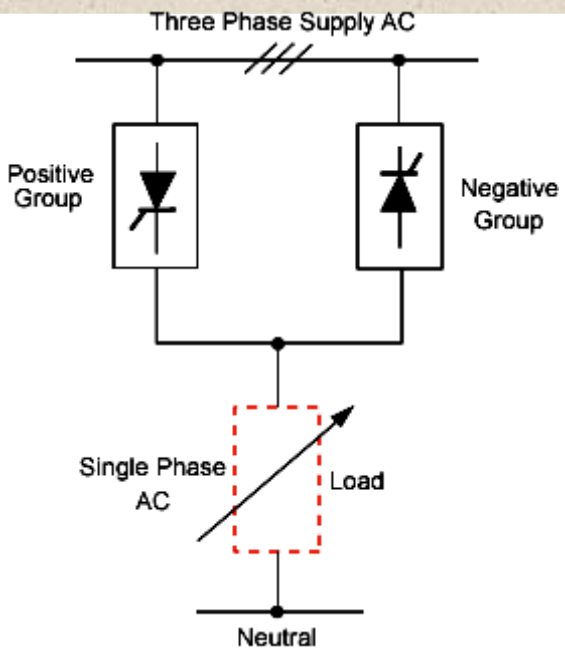


(شکل ۱۹-۳) تغییر سینوسی ولتاژ خروجی متوسط در طی یکسوکنندگی



(شکل ۲۰-۳) تغییر سینوسی ولتاژ خروجی متوسط در طی اینورتری

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(شکل ۲۱-۳) منبع ac سه فاز

با تحریک بزرگ روتور یعنی با کنترل اندازه E_{ccv} کهاز طریق سیکلوکانورتر به سیم پیچی روتور اعمال می شود نه تنها تغییر لغزش بلکه بهبود ضریب توان نیز ممکن می شود.

WikiPower.ir

شکل موج های ولتاژ و جریان

(شکل ۱۸-۳) شکل موج های ولتاژ و جریان در پایانه های سیکلوکانورتر یا حلقه های لغزان *WRIM* را در ضریب توان واحد نشان می دهد. با توجه به اینکه معمولا ضریب توان واحد در درایو موتور القایی یک تغذیه ای وجود ندارد صریحا می توان ثابت کرد سیکلوکانورتر با اعمال ولتاژ E_{ccv} تا حدی که ضریب توان در ترمینال های استاتور واحد باشد، به روتور آن را تحریک می کند.

با توجه به شکل موج های ولتاژ و جریان رسم شده در بالا مشاهده می شود که کیفیت خروجی در ضریب توان واحد مناسب است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

و (شکل ۱۹-۳) و (شکل ۲۰-۳) تغییر سینوسی ولتاژ خروجی متوسط در طی یکسو کنندگی و اینورتری را نشان می دهد. این شکل موجهای ولتاژ عملکرد گروههای مثبت و منفی سیکلوکانورتر و ولتاژ خروجی را نشان می دهد. (شکل ۲۱-۳) مدار قدرت سه فاز به تکفاز سیکلوکانورتر را نشان می دهد.

۸-۳خصوصیات سیکلوکانورتر در شرایط هدایت ناپیوسته:

هر سیکلوکانورتر که یک بار مقاومتی را تغذیه می کند باعث برقراری جریان ناپیوسته می شود.

- طی دوره جریان ناپیوسته، ولتاژ خروجی مبدل تابع غیر خطی از زاویه اش α است (این معمولا در مورد سیکلوکانورتر کنترل شده با فاز می باشد) لازم به یادآوری است که رابطه غیر خطی بین زاویه آتش α با ولتاژ خروجی و درجه ناپیوستگی، کیفیت اندازه متوسط ولتاژ خروجی را تعیین می کند. بنابراین ولتاژ خروجی متوسط طی جریان باز ناپیوسته بزرگتر از زمانی است که جریان پیوسته است.
- نقطه صفر موج جریان بار باید بدرستی و بدون اشتباه از صفر جریان ناپیوسته تشخیص داده شود.

مشکلات ناشی از هدایت ناپیوسته که در بالا ذکر شد در مورد بارهای خازنی بیشتر است. خازن بعلت برگشت (معکوس) فاز ولتاژ ورودی، تغییرات تندی در شکل ولتاژ ایجاد می کند. شکل موج ولتاژ خروجی شامل هارمونیک نسبت بالایی است.

گاهی اوقات یک سیکلوکانورتر که بار L-C هم دارد ممکن است ایجاد جریان ناپیوسته کند.

اعوجاج ولتاژ بعلت جریان ناپیوسته را می توان با یک حلقه کنترلی بسته کاهش داد. این عمل بطور موثر این نوع اعوجاج را حذف می کند اما نمی تواند جریان ناپیوسته را در ناحیه همگذر(تقاطع) جریان حذف کند. در چنین مواقعی برای داشتن شکل موج ولتاژ خروجی بهتر، مبدل در حد جریان گردشی عمل می کند.

۹-۳ اثرات اندوکتانس منبع بر عملکرد سیکلوکانورتر:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موارد زیر اثرات مهم وجود اندوکتانس منبع را در عملکرد سیکلوکانورتر بیان می کند.

- اندوکتانس منبع باعث تاخیر شدید کموتاسیونمی شود . تعیین اثر این تاخیر در انتقال جریان از یک جفت تریستور به جفت تریستو دیگر مهم است. این تاخیر فقط به اندوکتانس منبع بستگی ندارد بلکه به زاویه آتش α و همچنین به اندازه جریان کموتاسیون هم وابسته است.
- در مقایسه با سیکلو کننده این تاخیر با تاخیری که که در سیکلوکا نورتر است یکسان نیست زیرا در سیکلوکانورتر زاویه α را میتوان مدوله کرد.
- ماکزیمم زمان کموتاسیون باید کمتر از زمان بین دو کموتاسیون متوالی باشد. معمولا این کموتاسیون ها گسسته هستند.
- همپوشانی کموتاسیون محدود کنترل زاویه آتش سیکلوکانورتر را تغییر می دهد. بنابراین، با همپوشانی کموتاسیون، مقدار متوسط ولتاژ خروجی کاهش می یابد. بعلاوه کموتاسیون، توان راکتیو مورد نیاز مبدل را بیشتر می کند.
- بدین لحاظ ضریب جابجایی افزایش می یابد و در ولتاژ خروجی شکاف های کموتاسیون ایجاد می شود گرد کردن لبه های شکل موج جریان ورودی، هارمونیکهای جریان مربوط به جریان ورودی را اصلاح می کند.

۳-۱۰ واکنش شبکه در برابر سیکلوکانورتر:

سیکلوکانوتر یک مبدل تک مرحله ای است که بین منبع و بار متصل شده است. برای ایجاد شکل موج خروجی دلخواه از ورودی داده شده از کنترل مبدل های دو تایی استفاده می کنیم. بدلیل اینکه در اینجا

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بحث کنترل فاز پیش می آید، توان همیشه از منبع به بار جاری می شود. بنابراین، عکس العمل بار سیکلوکانورتر بر روی ضریب توان ورودی و اعوجاج جریان خط خیلی جالب و مهم است.

۱-۱۰-۳ ضریب توان:

توان راکتیو مورد نیاز سیکلوکانورتر ، بعلاوه توان راکتیو مورد نیاز ، ۳ جزء دارد

- کنترل توان راکتیو
- اعوجاج توان راکتیو
- کموتاسیون توان راکتیو

کنترل توان راکتیو و توان راکتیو بار مسول تغییر مکان (جابجایی) بین مولفه اصلی جریان ورودی و ولتاژ منبع است . وقتی همپوشانی کموتاسیون مطرح می شود، زاویه جابجایی، بعلت توان راکتیو مورد نیاز کموتاسیون، بیشتر می شود. هرچند، ممکنه بار کاملا مقاومتی باشد و ضریب مدولاسیون 1 باشد، توان راکتیو مورد نیاز سیکلوکانورتر با زاویه آتشα متوسط تعیین می شود. بعلاوه، با کاهش ضریب توان بار ، توان راکتیو افزایش می یابد. حتی با ضریب توانها پیش فاز بازها، سیکلوکانورتر توان راکتیو پس فاز جذب می کند. بدین جهت، ضریب توان کم می شود، که در سیلوکانورتر یک اشکال بزرگ است.

بعلاوه، بعلت توان راکتیو مورد نیاز، بطور کلی جریان ورودی دارای اعواج است. ضریب توان کل با رابطه $\lambda = g\cos\phi$ بیان می شود. همپوشانی کموتاسیون تمایل به افزایش ϕ_1 و نگهداری توان راکتیو دارد. در یک سیکلوکانورتر ، جابجایی متوسط بین جریان و ولتاژ ورودی در نسبتهای ولتاژ پایین، بزرگ است و این منجر به ضریب جابجایی پایین می شود.

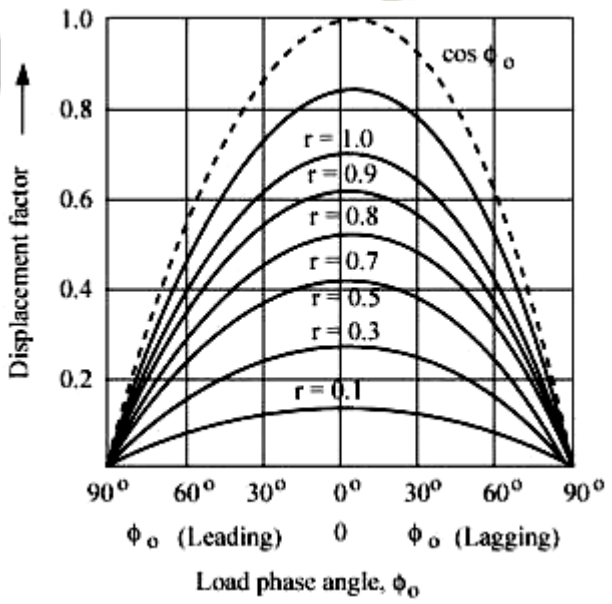
صرفنظر از پس فاز یا پیش فاز بودن ضریب توان بارها، سیکلوکانورتر فقط به به ضریب توان پس فاز نیاز دارد، بنابراین، جریان خط نسبت به ولتاژ تاخیر (عقب ماندگی) دارد. در نتیجه، توان راکتیو مورد نیاز مبدل همیشه از توان راکتیو بار است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ضریب جابجایی در ضریب توان واحد ماکزیمم است. بعلاوه، همچون افزایش زاویه جابجایی بار، زاویه جابجایی ورودی هم صرفنظر از پس فاز یا پیش فاز بودن ضریب توان بار افزایش می یابد. ضریب جابجایی یا کاهش در ولتاژ مبدل کاهش می یابد . ضریب جابجایی در ورودی بعنوان تابعی از زاویه امپدانس بار در (شکل ۲۲-۳) و برای نسبت های مختلف ولتاژ نشان داده شده است. ضریب جابجایی در ورودی به سطح ولتاژ و زاویه جابجایی بار بستگی دارد نه به تعداد پالسها.

ضریب توان سیکلوکانورتر را می توان با کنترل ترتیب مبدلها بهبود بخشید. بعنوان مثال یک کنترل مرسوم برای گروههای مثبت و منفی از ی مبدل برای هر گروه تشکیل شده است. در کنترل ترتیب به جای مبدلهای تکی از مبدلهایی که بطور سری به هم متصل شده اند، استفاده می شود که موجب بهبود ضریب توان سیستم می شود.

در روش کنترل ترتیبی مولفه های راکتیو جریان کاهش می یابند، مخصوصا در نسبتهای پایین ولتاژ . یک استراتژی برای انجام کنترل ترتیبی این است که یک مبدل در ولتاژ ماکزیممش (نسبت واحد)کار کند . نسبت ولتاژ مبدل دیگر از مقدار ماکزیمم تا صفر و از صفر تا ماکزیمم با پلاریته تغییر می کند.



(شکل ۲۲-۳) تغییر ضریب جابجایی ورودی برای یک سیکلوکانورتر کنترل شده با فاز

۳-۱۱ روابط مداری سیکلوکانورتر:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

روابط ضریب توان و جابجایی:

روابط ریاضی ضریب جابجایی سیکلوکانورتر بصورت زیر است:

ضریب توان $\lambda =$ توان اکتیو ورودی / توان ظاهری کل

ضریب جابجایی $Cos\phi$ بعنوان ضریب توان اساسی بیان و به صورت زیر نوشته می شود.

ضریب جابجایی $\mu =$ جریان موثر اساسی / جریان موثر کل

$$\lambda = \mu Cos\phi$$

- اگر از همپوشانی بین فازهای سیکلوکانورتر صرفنظر شود، $Cos\phi = Cos\alpha$ که α زاویه آتش است.
- وقتی $\alpha = 90^{\circ}$ باشد، ضریب جابجایی صفر است. عملاً همپوشانی کموتاسیون ، مقدار ϕ را افزایش می دهد. بنابراین، ضریب جابجایی و ضریب توان را کاهش می دهد.
- هنگامیکه کنترل ولتاژ سیکلوکانورتر با زاویه آتش انجام می شود، ضریب جابجایی و در نتیجه ضریب توان کم می شود.
- توان راکتیو پس فاز جذب شده از منبع ac همیشه بزرگتر از توان راکتیو تحویل داده شده به بار می باشد.
- ضریب جابجایی وقتی بار کاملاً مقاومتی باشد، بزرگتر خواهد بود.
- بار خازنی با ضریب توان پیش فاز ،ضریب جابجایی را درست به اندازه همان بار القایی با ضریب توان پس فاز کاهش می دهد.

WikiPower.ir

۱۲-۳ مزایا و معایب سیکلوکانورتر:

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

مزیت هایی که در ذیل به آنها اشاره می شود، برای وقتی است که سیکلوکانورتر برای کاهش فرکانس استفاده می شود نه بعنوان افزاینده فرکانس.

- تبدیل فکانس فقط از طریق یک مرحله تبدیل صورت می گیرد و این موجب افزایش بازده تبدیل می شود.
- براساس کموتاسیون خط عمل می کند ، بنابراین ،این عیب کموتاسیون اجباری را که تلفات آن می باشد ، را ندارد.
- سیکلوکانورتر می تواند توان را از منبع به بار و بالعکس منتقل کندو بنابراین می تواند برای تامین توان درایو ac سرعت متغیر استفاده شود.
- عملکرد چهار ربعی درایو را امکان پذیر می کند که برای درایوهایی که استارت و استپ پی در پی دارند، خیلی کارآمد است.
- برای عملکرد و کنترل موتور القایی دوتغیه ای بسیار مناسب است.استاتور می تواند از طریق یک اینورتر ولتاژ متغیر-فرکانس متغیر و روتور از طریق یک سیکلوکانورتر کم فرکانس تغذیه شود.
- در درایوها Ac سرعت متغیر با توان بالا که از طریق سیکلوکانورتر تغذیه شده است در مقایسه با اینورترهای با کموتاسیون اجباری پاسخ دهی سریعتری دارند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

- با از بین رفتن یک تریستور، خاموش کردن کامل سیستم ضروری نیست. با جرا کردن پایه معیوب تریستور، سیکلو کانورتر می تواند با کمی اعجاج به کار خود ادامه دهد ولو اینکه خروجی نامتعادل باشد.
- سیکلوکانورتر می تواند شکل موج سینوسی با کیفیت بالا را در فرکانس خروجی پایین تولید کند و این بعلت این است که خروجی از تعداد زیادی از بخشهای شکل موج ورودی ساخته شده است و بطور کلی برای عملکرد سرعت پایین ، فرکانس پایین ،مثل درایوهای کارخانه سیمان استفاده می شود.

معایب:

- سیکلوکانورتر ضریب توان پایینی را می دهد.
- تریستورهای بیشتری در مدار آنها وجود دارد که موجی پیچیدگی بیشتری می شود.
- با توجه به نیاز به ولتاژ خروجی سینوسی، فرکانس خروجی قابل دسترس به کسری از فرکانس ورودی محدود می شود.

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل چهارم:

اینورترهای با مدولاسیون پهنای پالس

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۴-۱ مقدمه :

مبدلهای جریان مستقیم به متناوب با نام اینورتر شناخته می شوند.وظیفه یک اینورتر تبدیل یک ولتاژ ورودی مستقیم به یک ولتاژ خروجی متناوب و متقارن با دامنه و فرکانس موردنظر است. ولتاژ خروجی می تواند در فرکانس ثابت یا متغیرمقداری ثابت یا متغیر داشته باشد.ولتاژ خروجی را می توان با تغییر ولتاژ ورودی مستقیم و ثابت نگهداشتن بهره اینورتر بدست آورد.اگر ولتاژ ورودی مستقیم ثابت بوده و قابل کنترل نباشد،می توان با تغییر بهره ، یک ولتاژ متغیر را در خروجی به دست آورد که این عمل معمولا بوسیله کنترل مدولاسیون پهنای پالس (PWM) در داخل اینورتر صورت می گیرد.بهره اینورتر را می توان برابر با نسبت ولتاژ متناوب خروجی به ولتاژ مستقیم ورودی تعریف کرد.

شکل موجهای ولتاژ خروجی در اینورترهای ایده آل باید سینوسی باشدبا این حال در اینورترهای عملی این شکل موجها غیر سینوسی بوده و دارای یک سری هارمونیکهای مشخص می باشد. در کاربردهای توان متوسط و توان پایین ،ولتاژهای مربعی و یا تقریبا مربعی ممکن است قابل قبول باشد،ولی در کاربردهای توان بالا ،به موجهای سینوسی با اعوجاج بسیار کم نیاز است. با در اختیار داشتن قطعات نیمه هادی قدرت سریع، می توان با استفاده از روشهای کلیدزنی،هارمونیکهای ولتاژ خروجی را بطورچشمگیری کاهش داد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اینورترها بطور گستردهای در صنعت بکار می روند(مثل گرداننده های موتورهای ac با دورمتغیر، گرم کننده های القایی ، منابع تغذیه کمکی و منابع تغذیه بدون وقفه) .ورودی اینورتر ممکن است یک باتری ، سلول زغالی، سلول خورشیدی و یا هر منبع مستقیم دیگر باشد.خروجی اینورتر تکفاز معمولا برابر۱) 120 ولت در فرکانس 60 هرتز 220 ولت در فرکانس 50 هرتز و 115 ولت در فرکانس 400 هرتز اس.در سیستمهای سه فاز توان بالا ،خروجیهای 380/220 ولت در فرکانس 60 هرتز و 115/200 ولت در فرکانس 400 هرتز است.

۴-۲ دسته بندی اینورترها:

اینورترها را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد:

1) اینورترهای تکفاز2)اینورترهای سه فاز

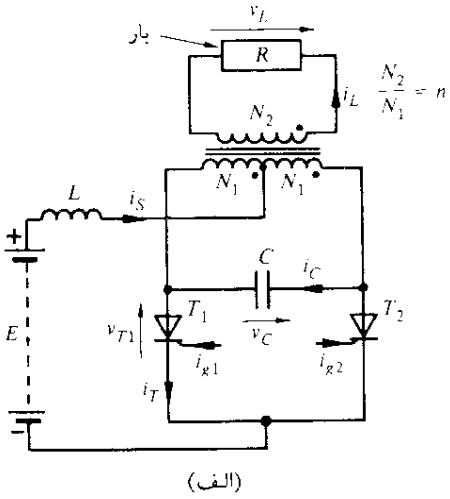
هر دسته می تواند بسته به نوع کاربرد از عناصر روشن کننده و خاموش کننده کنترل شده مثل BJT ها ،MOSFET ها،IGBT ها،GTO ها و یا تریستورهای با کموتاسیون اجباری استفاده کند. این اینورترها معمولا از سیگنالهای کنترل (*PWM*) برای تولید ولتاژ خروجی متناوب استفاده می کنند.اگر ولتاژ ورودی اینورتر ثابت باشد اینورتر به نام اینورتر تغذیه شونده با ولتاژ و درصورتیکه جریان ورودی ثابت نگهداشته شود، بنام اینورتر تغذیه شونده با جریان خوانده می شود واگر ولتاژ ورودی قابل کنترل باشد،اینورتر با اتصال dc متغیر نامیده می شود.

۴-۲-۱ اینورتر تکفاز باسر وسط:

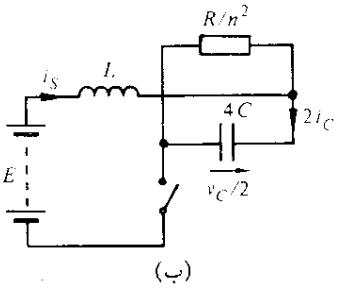
ولتاژ متناوب بار را می توان از یک منبع dc با استفاده از ترانسفورمر با سر وسط مانند (شکل ۴-۱) بدست آورد. با قطع و وصل متناوب دو تریستور، منبع dc متناوبا به دو نیمه اولیه ترانسفورمر متصل می شود و بنابراین یک ولتاژ مربعی روی دو سر بار در ثانویه القا می شود. خازن برای کموتاسیون مورد نیاز

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

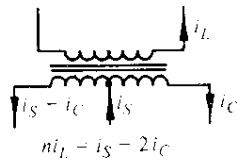
می باشد. اما چون توسط ترانسفورمر با بار موازی شده است برای جلوگیری از دشارژ ناگهانی خازن در منبع هنگام سوئیچ شدن تریستورها نیاز به اندوکتانس L سری شده با منبع dc می باشد.وقتی یک تریستور روشن است منبع ولتاژ dc با مقدار E در دو سر نیمه اول ترانسفورمر ظاهر می شود به این معنی که ولتاژ کل اولیه برابر با 2E می باشد بنابراین خازن باندازه 2E شارژ می شود. حال با آتش کردن تریستور دیگر، براساس کموتاسیون موازی خازن،تریستور اولی خاموش می شود. برای تحلیل مدار، الف بصورت ب خلاصه می شود که در آن خازن برابر 4C می باشد تا نسبت 2:1 دورهای کل اولیه به نصف سیم پیچهای آن در نظر گرفته شود.برای اصلاح شکل موج بگونه ای که تقریب نزدیکتری از شکل موج سینوسی باشد باید مقادیر عناصر را طوری تعیین کرد که قسمت مسطح شکل موج ولتاژ بار حذف شود یعنی کمی پس از آنکه ولتاژ بار در اثر سوئیچ تریستور قبلی به حداکثر مقدار خودش برسد تریستور دیگر آتش شود.



(الف)

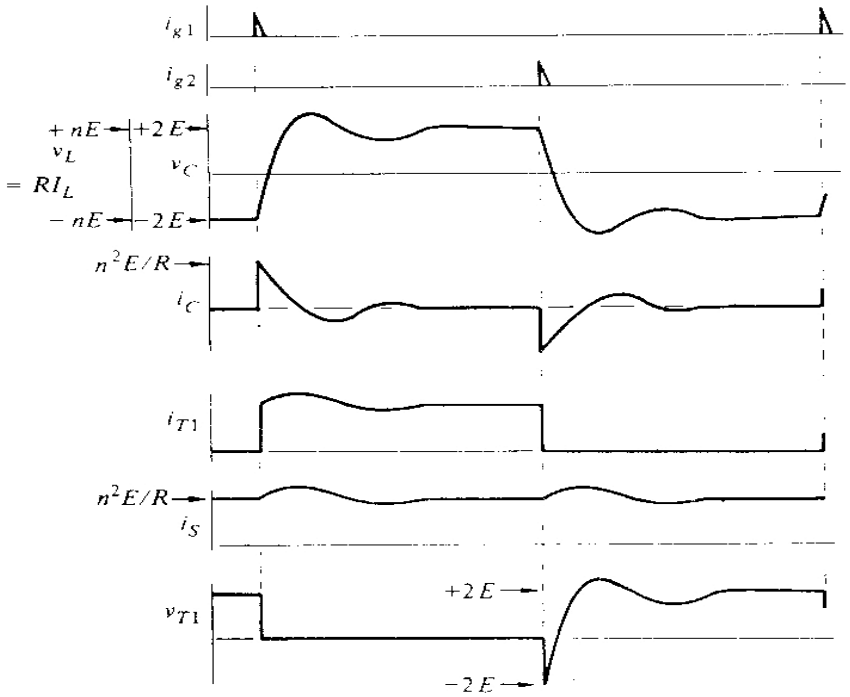


(ب)



(پ)

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



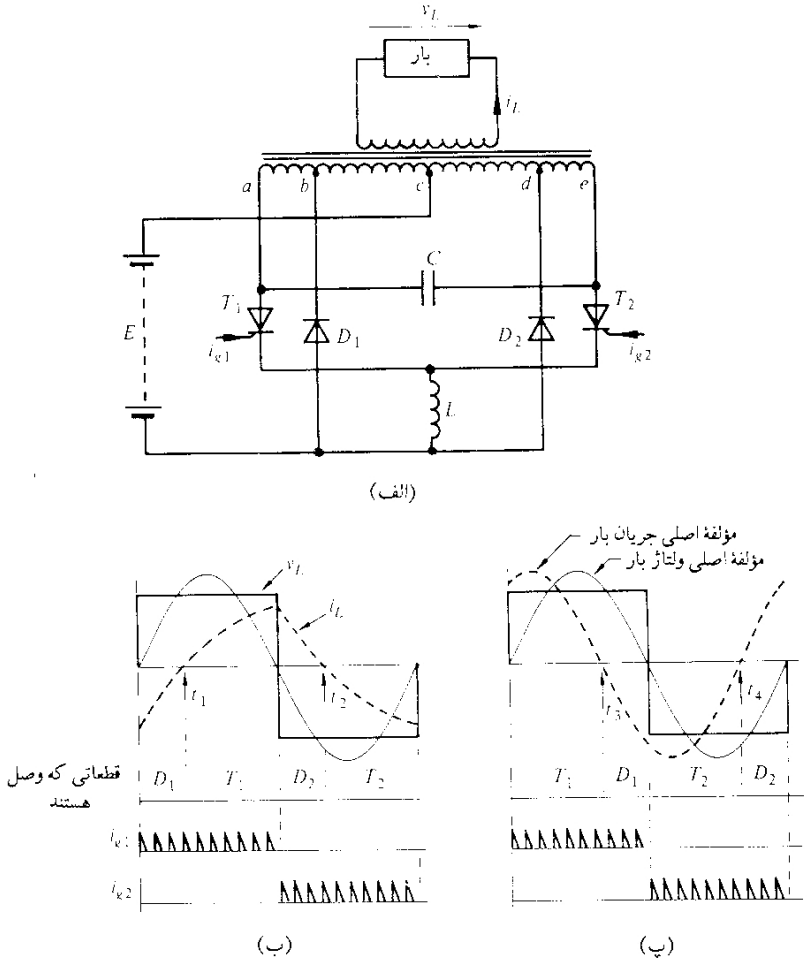
(ت)

(شکل ۱-۴) :اینورتر تکفاز با سر وسط الف)اتصال ب)مدارمعادل برای حالتی که T_1 آتش شده است پ)توزیع جریان در ترانسفورمر هنگامیکه T_1 روشن است ت)شکل موجها

برای بارهایی غیر از مقاومتی خالص جریان بار با ولتاژش اختلاف فاز خواهد داشت.در این شرایط برای فیدبک کردن انرژی ذخیره شده در بار در مدتی که جریان نسبت به ولتاژ معکوس می شود از دیودهای فیدبک استفاده می شود. وقتی بار سلفی است مطابق شکل جریان داری صعود و نزول است.وقتی T_1 روشن است جریان از c به a برقرار می شودیعنی c نسبت به a مثبت بوده و قدرت به بار تحویل داده می شود.وقتی T_2 برای معکوس شدن ولتاژ بارآتش شود تریستور T_1 خاموش می شود اما جریان بار بطور ناگهانی نمی تواند معکوس شود بنابراین جهت جریان در اولیه ترانسفورمر تغییر نمی کند.چون تریستور T_1 خاموش است تنها مسیر جریان در سیم پیچ از نقطه d به c و از طریق دیود D_2 و منبع dc می باشد. در حین هدایت D_2،کموتاسیون روی داده و T_2 خاموش می شودو ولتاژ d نسبت به c منفی شده و

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

قدرت از بار به منبع dc برمی گردد. جهت اطمینان از آتش شدن T_2در زمان t_2 یک رشته پالسهای آتش برای تریگر کردن گیت تریستور مورد نیاز است.



(شکل ۲-۴) :عملکرد بارهای راکتیو الف)اینورتر با سر وسط با دیودهای فیدبک ب) بار با ضریبقدرت پس فاز پ)باربا ضریب قدرت پیش فاز

۲-۲-۴ اینورتر پل تکفاز:

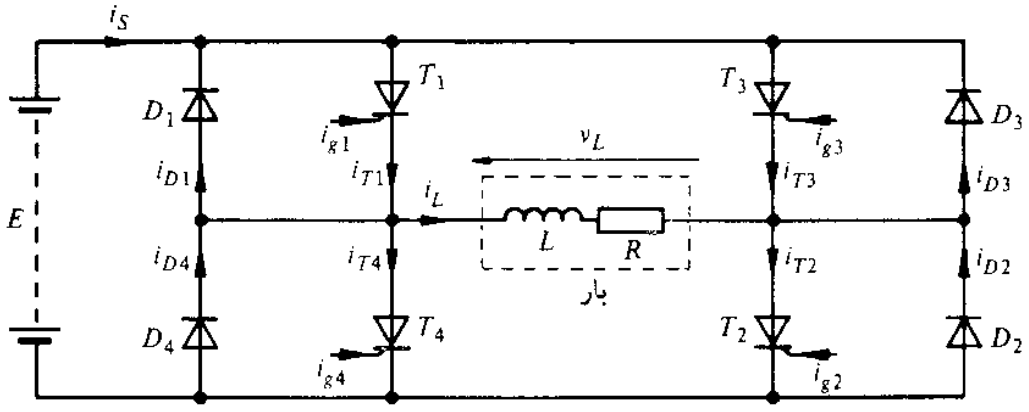
مدار اصلی اینورتر پل تکفاز بدون عناصر کموتاسیون کننده در (شکل ۳-۴) رسم شده است. با آتش کردن تریستور مکمل T_4تریستور T_1 خاموش می گردد.اگر بار سلفی باشد جریان بار بلافاصله معکوس نمی شود،بنابراین وقتی کموتاسیون کامل می گردد هدایت T_4 قطع و جریان بار به دیود D_4 منتقل می گردد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

تولید ولتاژ بار بصورت موج مربعی با یک بار سلفی در شکل موجهای ب نشان داده شده است.وقتی T_3 وT_4 برا خاموش کردن T_1 و T_2 آتش می شوند، ولتاژ بار معکوس می شود ولی جریان بار بدون تغییر می ماند و از طریق دیودهای D_3 و D_4 منبع dc را به بار متصل می نماید و ولتاژ معکوس شده و تا زمانیکه جریان به صفر برسد انرژی ذخیره شده در بار به منبع بازگردانده می شود.باقطع جریان بار T_3 و T_4 می توانند هدایت کنند. چون در لحظه ای که جریان بار صفر می شودتریستورها نیاز به آتش مجدد دارند. یک رشته از پالسهای آتش برای گیتها نیاز می باشد.

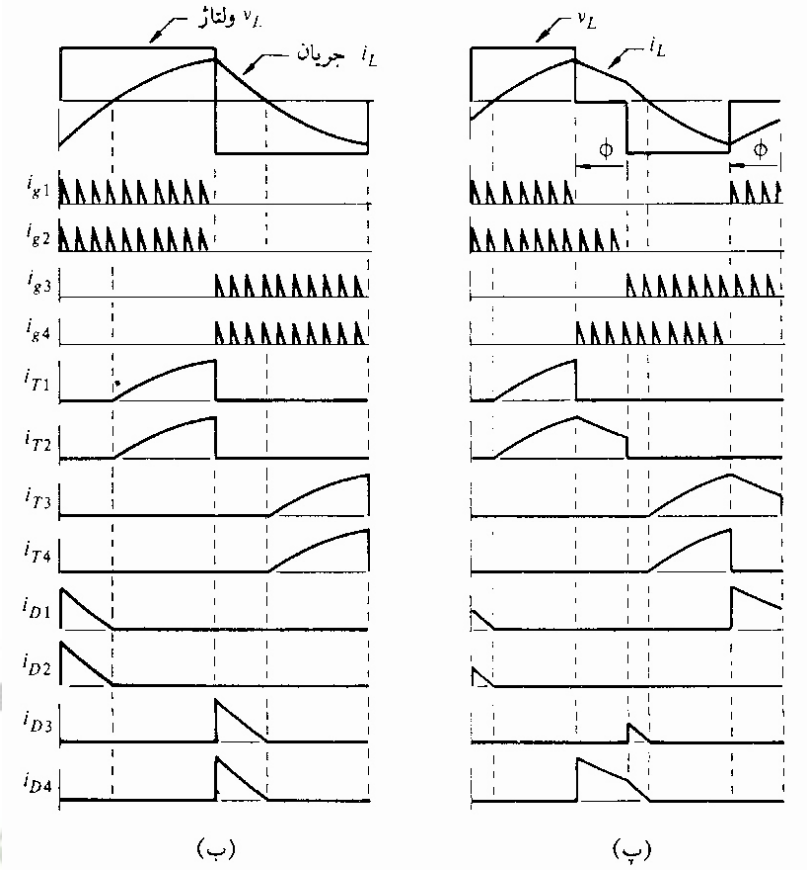
کنترل ولتاژ را می توان با ایجاد پریودهای صفر در یک موج مربعی از یک منبع dc با سطح ولتاژ ثابت بدست آورد.شکل موج حاصل بصورت شبه مربعی می باشد. موج شبه مربعی را می توان با جلو بردن زاویه آتش جفت تریستورهای T_1 وT_4 نسبت به T_3 وT_2 تولید نمود.این جلوافتادگی در شکل با زاویه Φ نشان داده شده است.یعنی رشته پالس آتش تریستور T_1 وT_4Φ درجه قبل از رشته پالس مربوط به T3 وT_2 شروع می شود.

درلحظه ای کهT_4برای خاموش کردن T_1 آتش شده است جریان بار به D_4 منتقل می شود اما چون T_2 هنوز روشن است جریان بار در مسیر D_4 و T_2 جاری می شود و بار اتصال کوتاه می گردد و ولتاژ بار صفر می گردد. حال وقتی T_3 برای خاموش کردن T_2 آتش شود، جریان بار از طریق D_3 عبور کرده و منبع dc در جهت منفی به بار متصل می شود. و تریستورهای T_3 و T_4 بلافاصله پس از صفر شدن جریان بار هدایت را بعهده می گیرند.



(الف)

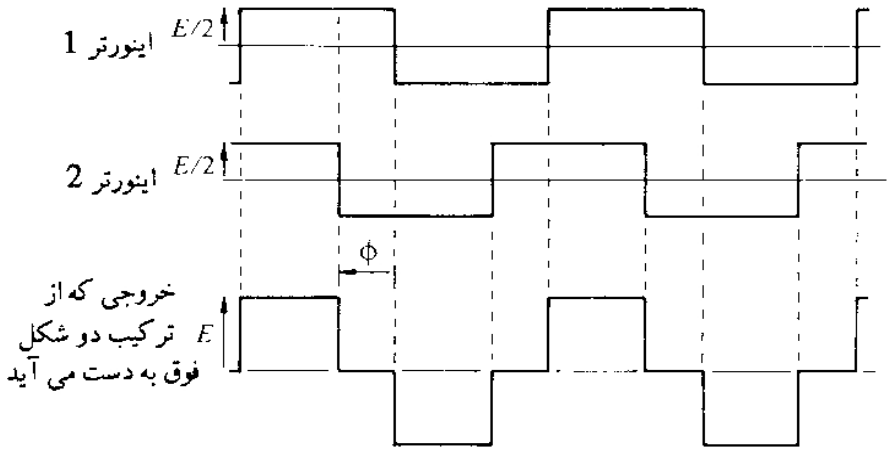
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(شکل ۳-۴) مدار اصلی اینورتر پل تکفاز الف)مدار ب) موج خروجی مربعی شکل پ) خروجی شبه مربعی

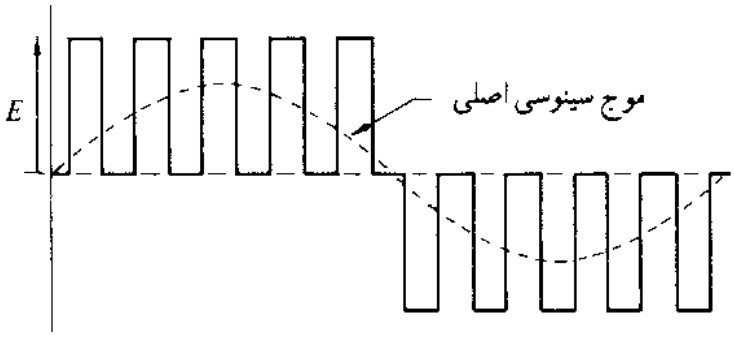
روش دیگر تولید موج شبه مربع با پهنای قابل کنترل ،ترکیب(جمع) خروجیهای مربعی شکل دو اینورتر که نسبت به هم باندازه Φ شیفت داده شده اند می باشد، سطح ولتاژ موج شبه مربعی با پهنای پالس ثابت را می توان بوسیله کاهش ولتاژ منبع dc کنترل نمود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(شکل ۴-۴) : ترکیب خروجی دو اینورتر با اختلاف فاز تولید موج شبه مربعی

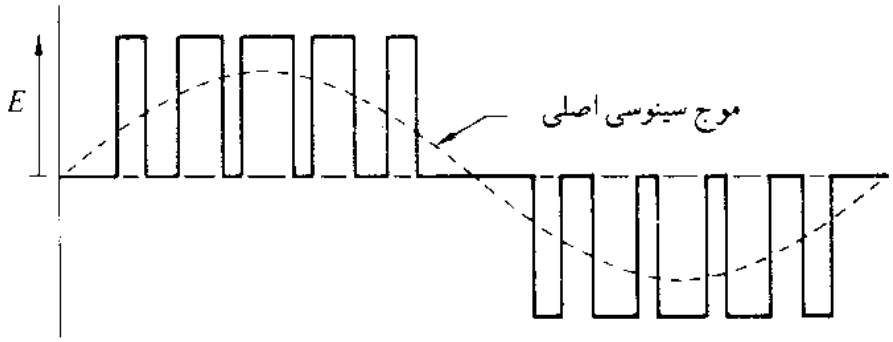
روش دیگر کنترل ولتاژ، شکاف دار کردن شکل موج مربعی است. تریستورهای مدار اینورتر بطور متناوب روشن و خاموش می شوند تا پریودهای صفر با طول یکسان ایجاد شود. منبع dc با سطح ولتاژ ثابت E می باشد.



(شکل ۵-۴) : اینورتر با کنترل جهت تولید شکل موجهای شکاف دار

یک راه بهبود شکل موج شکاف دار مانند (شکل ۶-۴) تغییر پریودهای روشن و خاموش بودن وسیله است بگونه ای که در نوک برج، پریود روشن بودن طولانی تر باشد.این شکل کنترل، مدولاسیون پهنای پالس نامیده می شود. هارمونیکهای مرتبه پایین موجود در شکل مدوله شده پهنای پالسی بسیار کمتر از شکل موجهای دیگر است.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

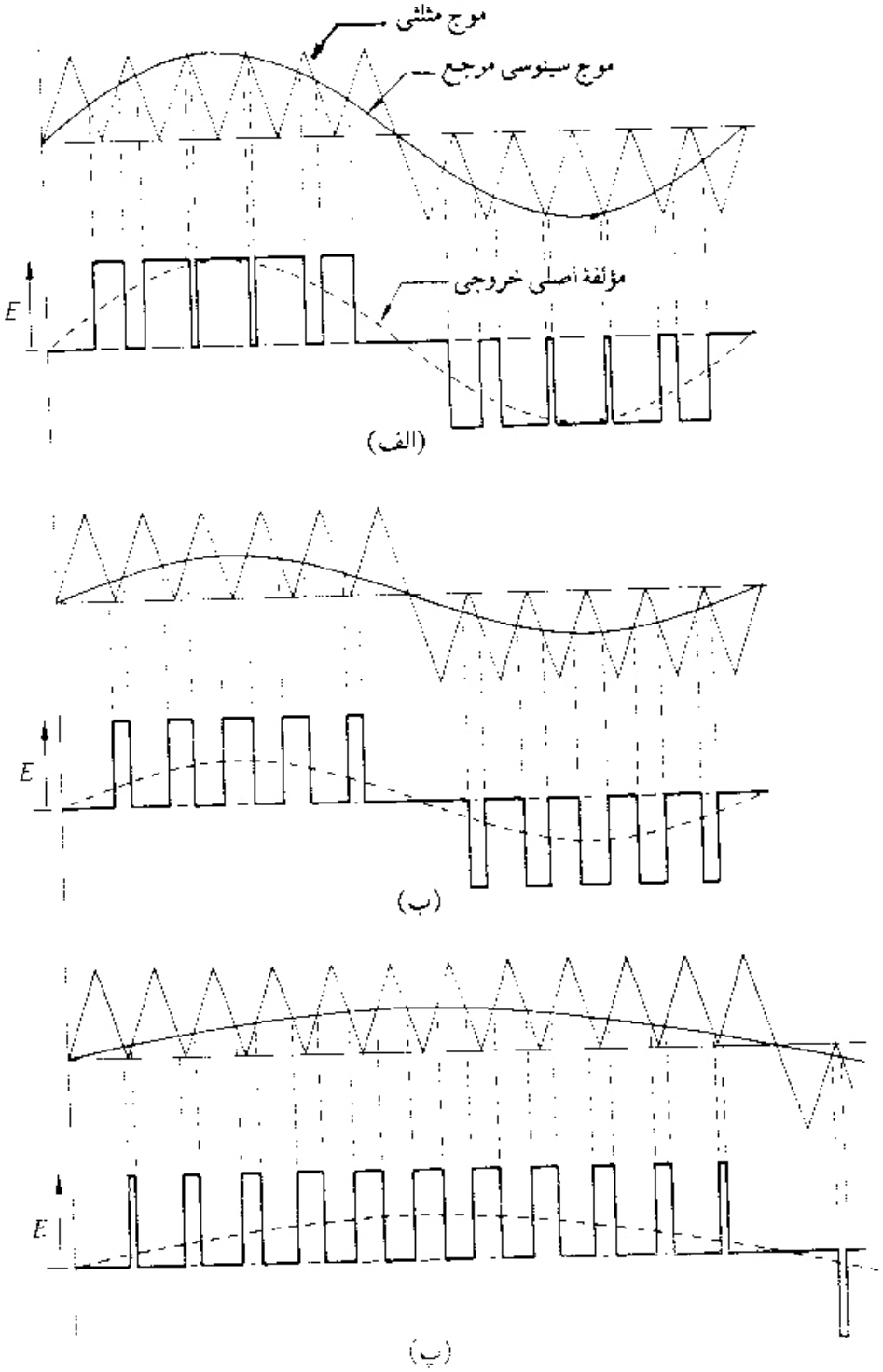


(شکل ۶-۴): اینورتر کنترل شده جهت تولید شکل موج مدوله شده پهنای پالسی

برای تعیین لحظات آتش مورد نیاز جهت ساخت صحیح موج مدوله شده پهنای پالسی یکی از روشهای مورد استفاده، تولید یک موج سینوسی مرجع با فرکانس مطلوب در مدار کنترل و سپس مقایسه این موج سینوسی با موج مثلثی مانند (شکل ۷-۴) می باشد.

محل تقاطع دو موج لحظات آتش را تعیین می کند. شکل الف مقدار ماکزیمم خروجی را نشان می دهد و با کاهش دامنه موج سینوسی مرجع به نصف مقدار آن مانند شکل ب دامنه خروجی نصف می شود. شکل پ نشان می دهد که چگونه با کاهش فرکانس موج سینوسی مرجع ،تعداد پالسهای موجود در هر نیم سیکل افزایش می یابد.تعداد پالسهای زیاد در یک سیکل خروجی موجب افزایش بیشتر تعداد هارمونیکهای مرتبه بالا می شود اما این هارمونیکها بسیار ساده تر از هارمونیکهای مرتبه پایین فیلتر می شود. یک بار سلفی هارمونیکهای شکل موج جریان را شدیدا تضعیف می کند.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



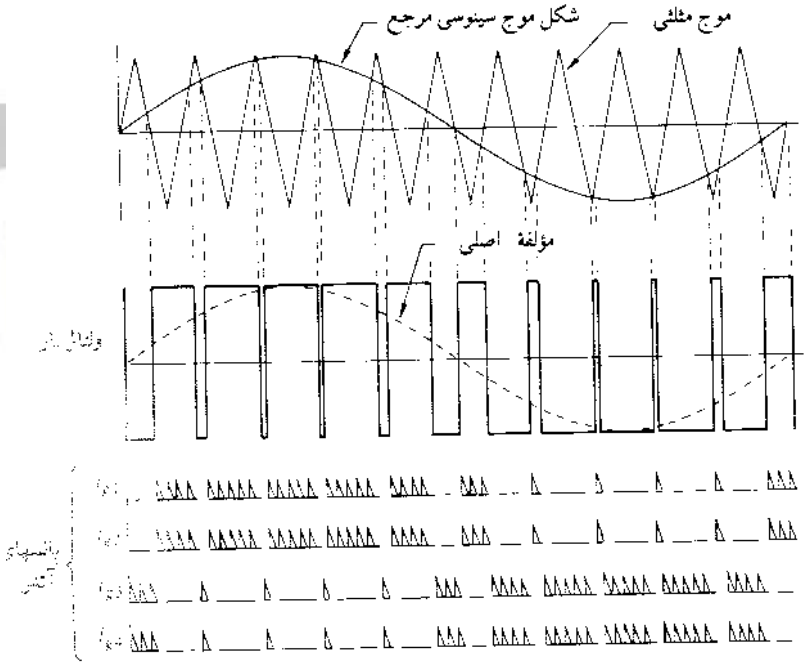
(شکل ۷-۴): تعیین لحظات آتش برای موج مدوله شده با مدولاسیون پهنای پالس

الف)در ماکزیمم ولتاژ خروجی ب) نصف ماکزیمم پ) نصف ولتاژ و نصف فرکانس

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

با روشی متفاوت با روش کنترل مدولاسیون پهنای پالس می توان اینورتر را همواره با آتش کردن T_1 و T_2 بعندان یک زوج و T_3 وT_4 بعنوان زوج دیگر منبع را به بار متصل نمود باین ترتیب پریودهای صفر حذف می شود.از این طریق موج مدوله شده طی نیم سیکل خروجی دارای پریودهای معکوس کوچکی می باشد.برای تعیین لحظات آتش تریستورها موج مثلثی با فرکانس بالا توسط موج سینوسی مرجع مدوله شده است.

در اینجا موج سینوسی مقدار dc ندارد. تعداد زیاد کموتاسیون در هر سیکل در شکل موجهای شکافدار و مدوله شده پهنای پالسی منجر به تلفات کموتاسیون بسیار زیاد در تریستورهای اینورتر می شود.



شکل ۹ مدولاسیون پهنای پالس با تناوب منبع

روشی که مانع کموتاسیون های بیش از حد در سیکل خروجی شده ولی باعث کاهش هارمونیکهای مرتبه پایین می شود در (شکل ۹-۴) نشان داده شده است.با معکوس کردن ولتاژ خروجی برای فاصله زمانی کوتاه در هر نیم سیکل و در زوایای خاص□حذف دو هارمونیک مانند هارمومنیک سوم و پنجم ممکن می

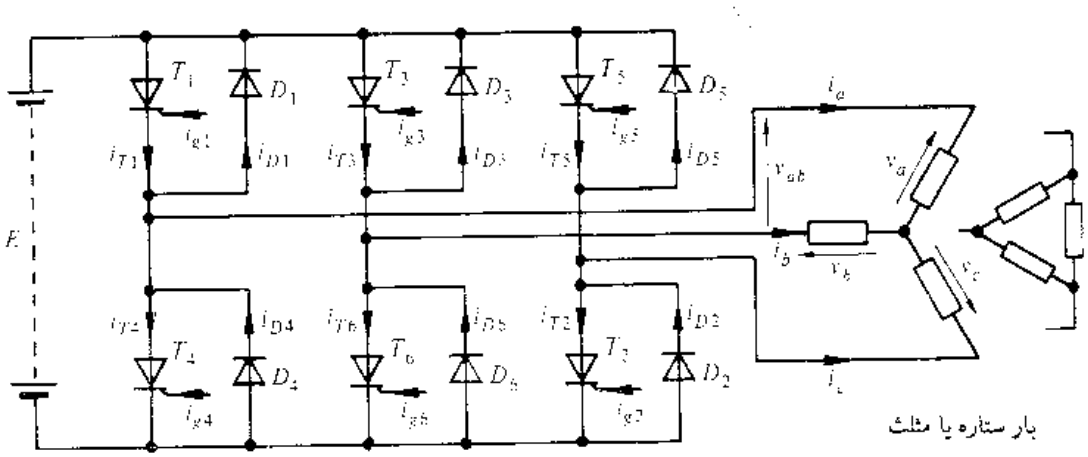
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

باشد.با یک منبع dc ثابت، با ترکیب دو شکل موج مانند (شکل ۹-۴) با اختلاف فاز و اصول نشان داده شده در (شکل ۴-۴) می توان سطح این ولتاژ خروجی را کنترل نمود.

۳-۲-۴ اینورتر پل سه فاز:

مدار اصلی اینورتر پل سه فاز در (شکل ۱۰-۴) نشان داده شده است. اینورتر را می توان بگونه ای کنترل کرد که مانند مدار یکسوکننده پل سه فاز ، بمدت 120° از سیکل خروجی را هدایت نماید. شکل موجهای مربوط با بار مقاومتی خالص در (شکل ۱۱-۴) رسم شده است. فرض شده در انتهای پریود 120° مدار کموتاسیون برای خاموش کردن تریستور مناسب، شروع بکار می نماید. شکل موجهای (شکل ۱۱-۴ ب) نشان می دهد که جریانهای بار بصورت موج شبه مربعی می باشد و هر تریستور جریان بار را به مدت یک سوم سیکل هدایت می نماید. منبع dc در شش مرحله سوئیچ شده تا خروجی سه فاز حاصل شود. فرکانسی که تریستورها سوئیچ می شوند فرکانس بار را تعیین می کند. اگر بار مقداری سلفی باشد شکل موج پله ای ولتاژ خط تغییر خواهد یافت زیرا انتقال جریان بار به دیودها باعث می شود که کلیدها برای مدتی بیش از 120° بسته بمانند.

معمولا اینورتر طوری کار می کند که هر تریستور بتواند بیش از 180° هدایت کند. در این حالت منبع dc توسط یک تریستور در یک طرف و دو تریستور در طرف دیگر به بار متصل می شود.



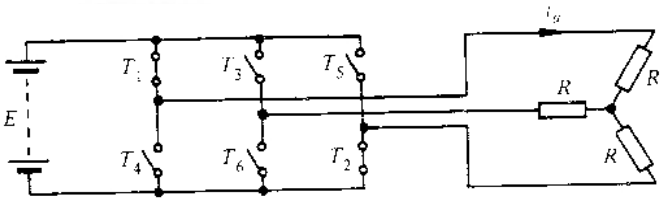
(شکل ۱۰-۴) مدار اصلی اینورترپل سه فاز

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل موجهای (شکل ۱۲-۴) هدایت 120° را نشان می دهدولتاژ خط بصورت موج شبه مربعی می باشد.جریان بار پله ای می باشد و هر تریستور بمدت 180° هدایت می کند.

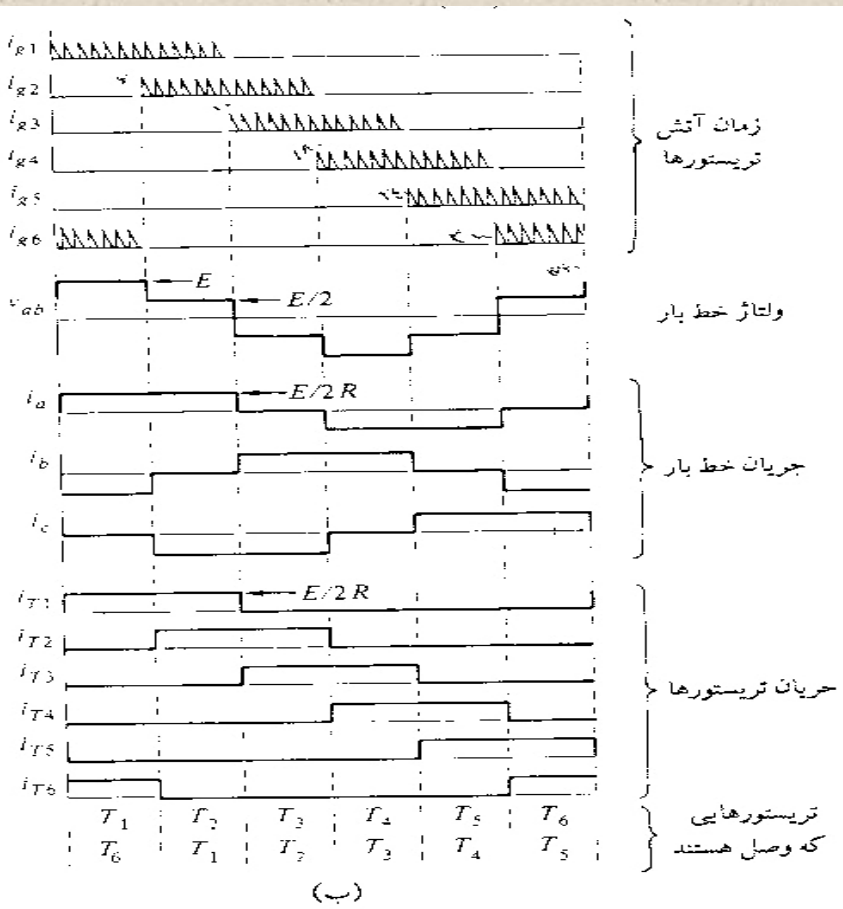
اگر باری که توسط تریستور تغذیه می شود سلفی باشد ،جریان در هر شاخه از بار نسبت به ولتاژ تاخیر فاز دارد.وقتی T_1 آتش می شود T_4 خاموش می شود اما چون جریان بار نمی تواند معکوس گردد تنها مسیر این جریان دیود D_1 می باشد.بنابراین فاز بار به سر مثبت منبع dc متصل شده است اما تا لحظه t_1 که جریان بار معکوس می شود T_1 نمی تواند هدایت را بعهده گیرد.

کنترل ولتاژ اینورتر پل سه فاز را می توان برای جمع نمودن خروجیهای دو اینورتر تکفازی که نسبت به هم تاخیر دارند انجام داد.همچنین روش مدولاسیون پهنای پالس را می توان بکار برد بگونه ای که برای تعیین لحظات آتش هر تریستور 3 موج سینوسی مرجعموج مثلثی فرکانس بالا را مدوله می کند.توضیح شکل موجها مانند توضیحی که در مورد اینورترهای تکفاز داده شده ،می باشد.



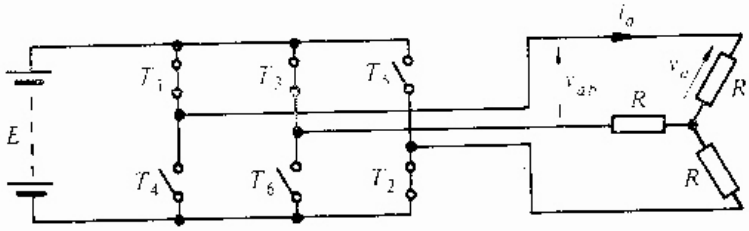
(الف)

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



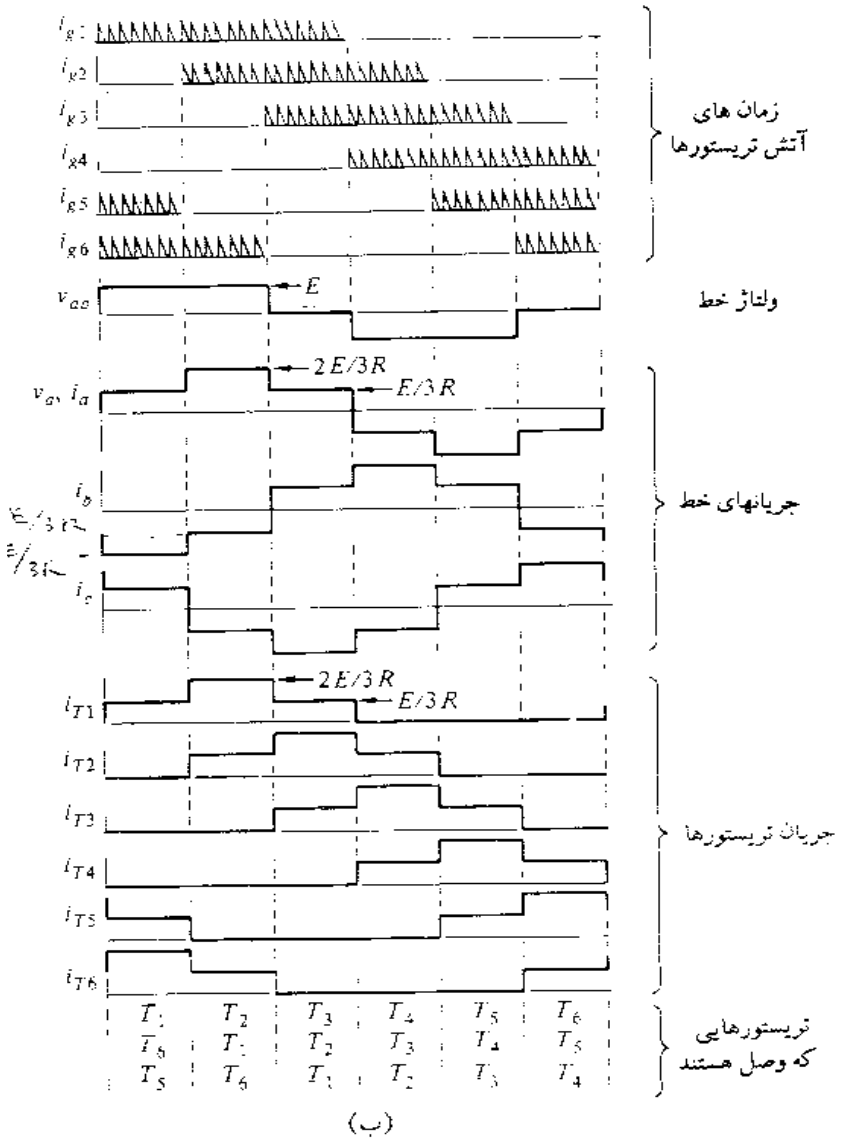
(ب)

شکل 4-11 اینورتر پل سه فاز با بارمقاومتی و زاویه آتش 120° الف)نمایش ترتیب کلیدزنی□تریستورهایT_1 وT_2 روشن هستند



(الف)

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(شکل ۱۲-۴) اینورتر پل سه فاز با زاویه آتش 180° و بار مقاومتی الف)نمایش ترتیب کلیدزنی تریستورهای T_1 وT_2 و T_3 روشن می باشند ب)شکل موجها

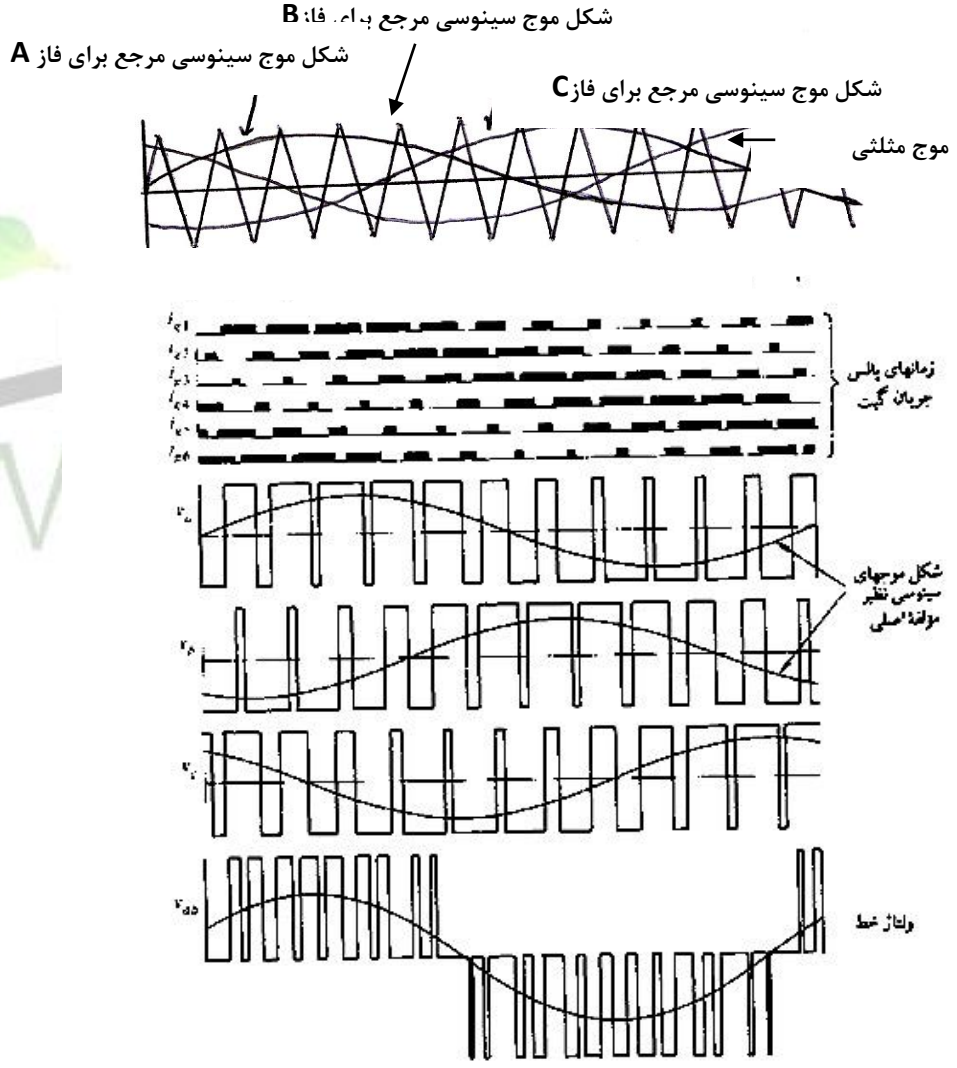
با روش کنترلی مانند (شکل ۱۳-۴) همواره یکی از عناصر در هر شاخه هدایت می کند، و خط بار را به یکی از سرهای مثبت یا منفی منبع d.c متصل می نماید. برای مثال شاخه A در (شکل ۱۰-۴)با المانهای شماره 1و4 را در نظر بگیرید. اگر i_a مثبت باشد تریستور T_1 هدایت می کند و وقتی که تریستور T_4 آتش می شود بلافاصله هدایت جریان بار را به عهده می گیرد و در چنین وضعیتی، نیازی به خاموش کردن تریستور T_1 نمی باشد چرا که در هر حال T_1 خاموش بوده است.

www.wikipower.ir

برای دریافت فایل word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

با توجه به (شکل ۱۳-۴) ، وقتی که جریان از شاخه ها عبور می کند باید پالسهای آتش به صورت پیوسته به گیت تریستورها اعمال گردد بنابراین وقتی که در بار سلفی جریان معکوس می شود تریستور می تواند هدایت جریان بار را بعهده گیرد. اگر جریان لحظه ای بار و ولتاژ آن عکس هم باشند دیود موازی با تریستوری که پالسهای آتش را دریافت می کند، روشن است. بنابراین در پریود نشان داده شده وقتی که مثلاً i_{g1} وجود دارد یکی از المانهای T_1 یا D_1 روشن می باشد.

``



(شکل ۱۳-۴) شکل موجهای مدوله شده پهنای پالس برای اینورتر پل سه فاز

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳-۴قدرت برگشتی اینورتر:

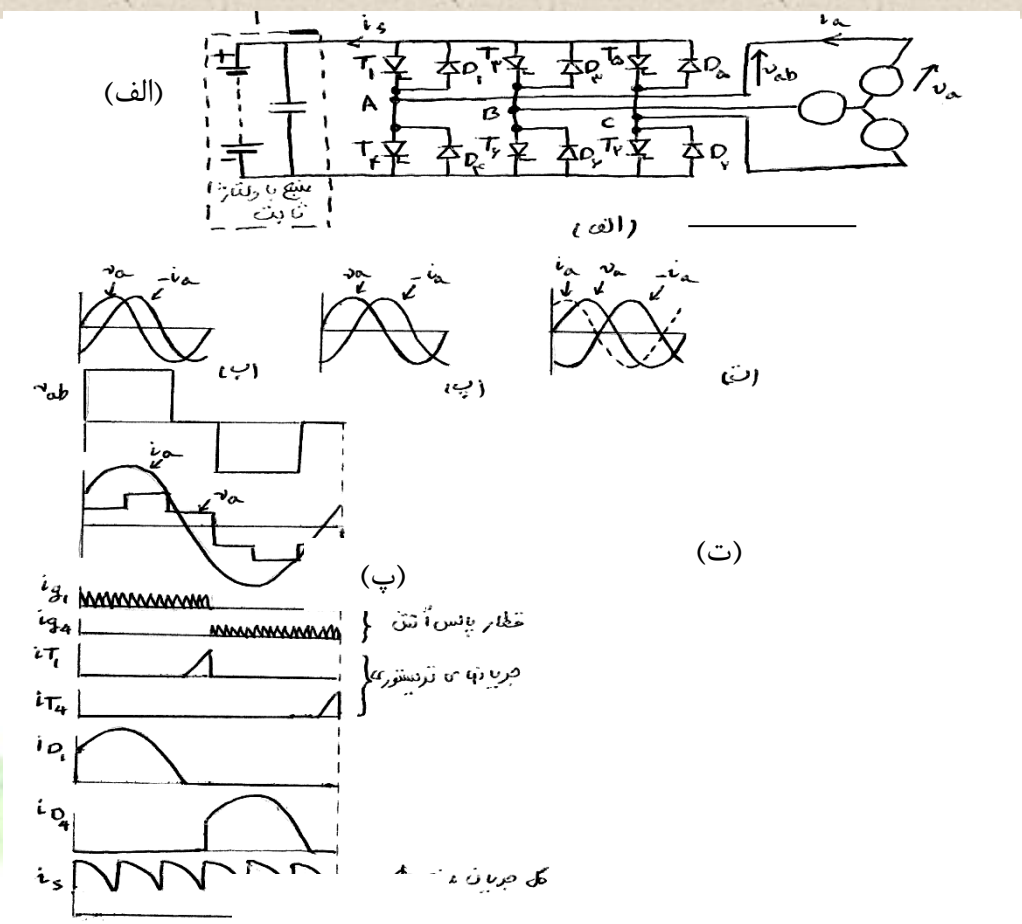
برای معکوس نمودن جهت قدرت در یک اینورتر می توان طرف a.c اینورتر را به عنوان مولد در نظر گرفت که یک بار d.c را توسط یکسو کننده تغذیه می نماید. اگر تریستورها حذف شوند، اینورترها به صورت یک یکسوکننده ساده در می آید که با محدودیتهای مربوط به طرز کار مدار یکسو کننده ای که در بخش 2 بحث شد تفاوت دارد. با توجه به

(شکل ۱۳-۴) مشاهده می شود که ولتاژ d.c مقدار ثابتی می باشد و خازن تاکید بیشتری بر ثابت بودن ولتاژ می نماید. در مدارهای یکسوکننده ولتاژ d.c بار شامل ریپلهای زیادی می باشد ولی در اینجا ریپلها در شکل موجهای جریان وجود دارند.

در عمل یک بار a.c که بتواند مانند ژنراتور باشد یک موتور القایی است که با یک گشتاور مکانیکی با سرعتی بیش از سرعت سنکرون شتاب می گیرد. جریان چنین ژنراتوری با ضریب قدرت پیش فاز می باشد. شکل ب تا ت (شکل ۱۴-۴) مراحل جریان بار تا بیش از90 تاخیر فاز که جریان برای حالت ژنراتوری می تواند معکوس شود را نشان می دهد.

شکل موجهای(شکل ۱۴-۴ ث) نشان می دهد که تریستورها بایستی به گونه ای آتش شوند که جریان بار در هر فاز به طور پیوسته هدایت می کنند و بنابراین قدرت به عنصر d.c داده می شود. برای سهولت شکل موجهای a.c به صورت موج سینوسی نشان داده شده است اما در عمل دارای مولفه های هارمونیکی می باشند. وقتی که المان a.c بدون هیچ گونه تغییری در ترتیب یا مدت زمان 180 درجه ای رشته پالسهای آتش با ژنراتور تعویض گردد جهت قدرت اینورتر به طور اتوماتیک معکوس می شود.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(شکل ۱۴-۴) نمایش قدرت برگشتی از اینورتر سه فاز الف) مدار مرجع ب) قدرت در یک بار ac با ضریب قدرت پس فاز پ)جریان بار ac با عقب افتادگی 90 درجه و ضریب قدرت صفرت) جریان بار با عقب افتادگی بیش از 90 درجه یعنی ژنراتوری با ضریب قدرت پیش فاز ث) شکل موجها با فرض جریان سینوسی

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

فصل پنجم:

شبیه سازی کنترل موتور سرعت متغیر

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵-۱ مقدمه :

در این فصل :

- از ماشین های الکتریکی و ادوات الکترونیک قدرت برای شبیه سازی درایو ساده استفاده خواهیم کرد.
- چگونگی استفاده از Universal bidge را بررسی خواهیم کرد.
- مدل را راه اندازی کرده و روش های محاسبات شبیه سازی پله ثابت و پله متغیر را مقایسه خواهیم کرد.
- چگونگی استفاده از بلوک مولتی متر را بررسی خواهیم کرد.
- از ابزار FFT برای بررسی هارمونیکی استفاده خواهیم کرد.

کنترل سرعت ماشینهای القایی AC با استفاده از درایوهایی که در ساخت آنها از سوییچ های الکترونیک کموتاسیون اجباری از جمله IGBT,MOSFET,GTO استفاده شده است امکان پذیر است.

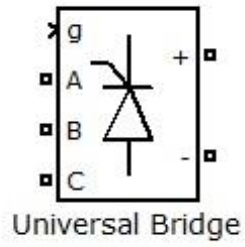
ماشین های آسنکرون تغذیه شده با اینورتر مدولاسیون پهنای پالس به تدریج جایگزین جایگزین موتورهای dc و پل های تریستوری می شوند.به همراه در هم آمیختن PWM با تکنیک های کنترل مدرن مثل کنترل میدان گرا یا کنترل گشتاور مستقیم به دست آوردن همان انعطاف ماشین های dc در کنترل سرعت و گشتاور امکان پذیر شده است.

کتابخانه ماشینها حاوی چهار ماشین سه فاز که استفاده آنها معمول هستند ، است.ماشین های سنکرون کامل و ساده شده ، ماشین القایی و ماشین سنکرون آهنربای دایم.هر کدام از ماشین ها می توانند در مد ژنراتوری و یا موتوری استفاده شوند. همچنین این ماشینها می توانند با عنصرهای خطی و غیر خطی مثل ترانسفرمرها ، خط انتقال ، بارها ،کلیدهای قدرت و ... ترکیب شوند. از آنها می توان برای شبیه سازی ناپایداری الکترومکانیکی در شبکه الکتریکی مورد استفاده قرار گیرند. همچنین می توان از آنها برای ترکیب شدن با درایوهای کنترل استفاده کرد.

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کتابخانه الکترونیک قدرت حاوی بلوک هایی است که ما را در شبیه سازی دیودها ، تریستورها ، تریستورهای GTO ، ماسفت ها و IGBT ها توانا می سازد. شما برای ساختن پل سه فاز می توانید بلوک های زیادی را به هم متصل کنید.

برای مثال پل اینورتر IGBT به شش IGBT و شش دیود موازی احتیاج خواهد داشت. البته برای تسهیل راه اندازی پل بلوک Universal bidge به طور خودکار این اتصالات را برای شما مهیا می کند.



شکل بلوک Universal bidge

۲-۵ ساخت و شبیه سازی درایو موتور PWM :

مراحل زیر را برای ساخت یک درایو کنترل PWM موتور دنبال خواهیم کرد :

ایجاد پیکربندی و اتصال بلوک های مربوط به موتور:

۱- یک پنجره شبیه سازی باز کرده و آن را با نام circuite ذخیره می کنیم.

۲- کتابخانه الکترونیک قدرت را باز کرده و بلوک Universal bridge را داخل مدل circuite خود وارد می کنیم.

۳- پنجره محاوره ای Universal bridge را باز کرده و پارامتر های آن را مطابق زیر تنظیم می کنیم :

Power electronic device : IGBT/Diods

Port configuration : ABC

Snubber:

Rs = 1e5 , Cs = inf , Ron = 1e-3

Forward voltages:

Vf = 0v , Vfd = 0v

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

Tf = 1e-6 , Tt = 1e-6

توجه کنید که مدار سد کننده در پنجره محاوره ای Universal bidge به صورت صحیح تعریف شده باشد. برای مثال مقدار Cs خازن سد کننده در بی نهایت تنظیم شده است (اتصال کوتاه) ما از سد کننده کامل مقاومتی استفاده می کنیم.

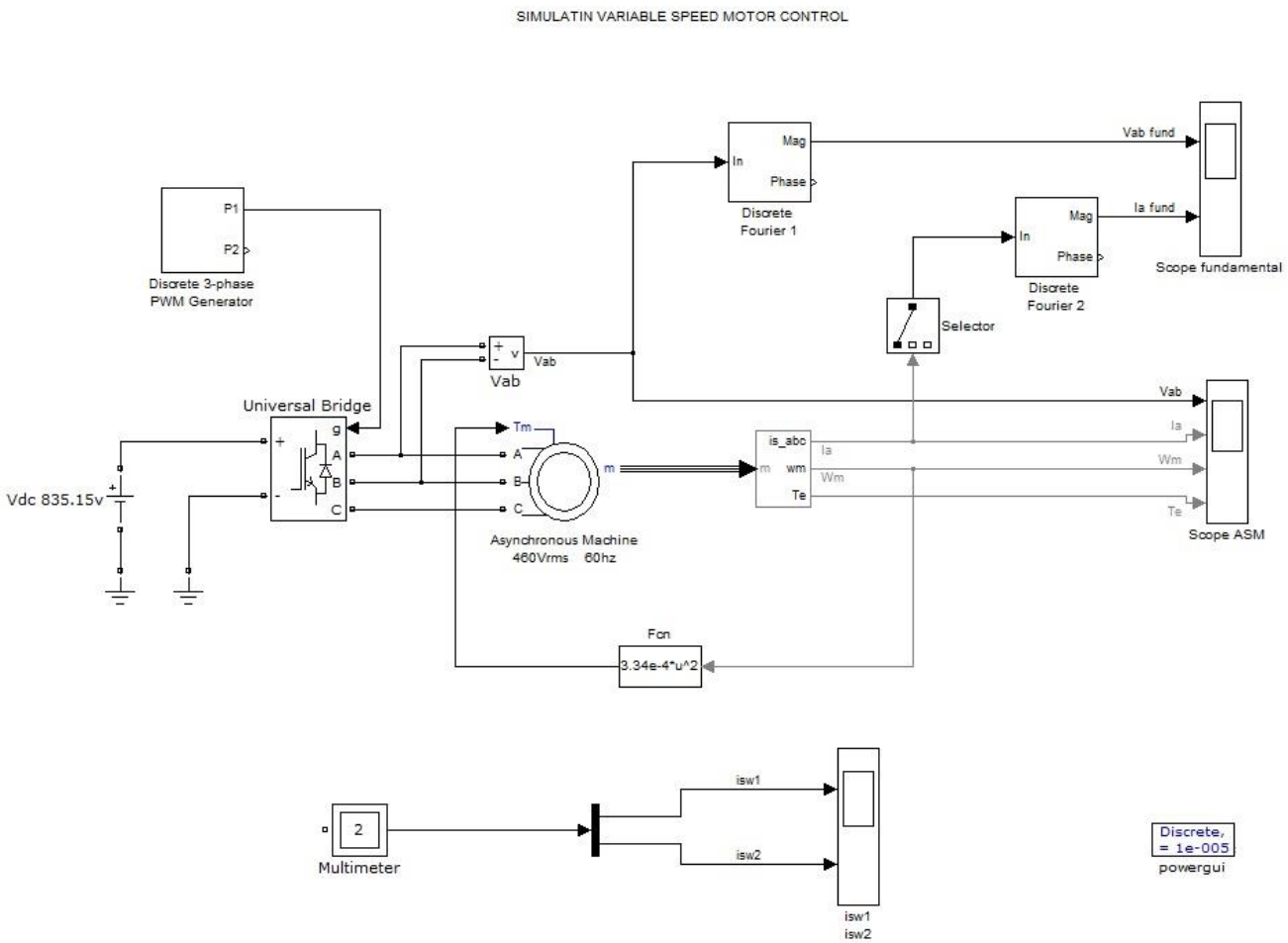
۴- کتابخانه ماشین ها را باز می کنیم بلوک ماشین القایی واحد استاندارد و machine measurement demux را داخل مدل circuite کپی می کنیم.

۵- پنجره محاوره ای ماشین القایی را باز می کنیم و یکی از ماشین های نمونه را انتخاب می کنیم. 5HP,460V,1750rpm سرعت نامی موتور اندکی کمتر از سرعت سنکرون 1800rpm خواهد بود.

۶- توجه داشته باشید که ترمینال های a,b,c روتور در دسترس هستند. در حالت عملکرد موتوری نرمال این ترمینال ها باید با هم اتصال کوتاه شوند، برای این منظور منوی ماشین نوع روتور را به قفس سنجابی تغییر می دهیم.توجه داشته باشید که پس از انجام این تغییر اتصالات روتور قابل دسترسی نخواهند بود.

۷- منوی بلوک machine measurement demux را باز می کنیم ، زمانی که این بلوک به قسمت خروجی اندازه گیری های ماشین متصل است به ما امکان دسترسی به سیگنال های خاص داخلی ماشین را می دهد. ابتدا نوع ماشین را Asynchronous انتخاب می کنیم ، همه سیگنال ها به استثنای سیگنال های three stator currents , rotor speed,electro magnetic tourqe را غیر فعال می کنیم.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل کنترل موتور با استفاده از روش PWM

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳-۵ بارگذاری و محرکه گذاری موتور :

برای ساختن مشخصه گشتاور-سرعت به صورت زیر عمل خواهیم کرد.یک مشخصه گشتاور-سرعت درجه دوم مثل پنکه یا پمپ را فرض کنید. گشتاور T با مربع سرعت ωمتناسب است.

$$T = k\omega^2$$

گشتاور نامی موتور برابر است با :

$$T_n = \frac{5 * 746}{188.5} = 11.87\ N.M$$

بنابرین ثابت k برابر خواهد بود با :

$$k = \frac{T_n}{{\omega_s}^2} = \frac{11.87}{188.5^2} = 3.34 * 10^{-4}$$

۱- کتابخانه توابع سیمولینک را باز می کنیم و بلوک FCN را داخل مدل خود کپی می کنیم. منوی بلوک را باز می کنیم و عبارت تابع گشتاور را به صورت مقابل وارد می کنیم : 3.34e-4*u^2

۲- ورودی بلوک FCN را به قسمت خروجی machine measurement demux که با ω_m نامگذاری شده است، متصل و خروجی آن را به قسمت گشتاور ورودی موتور که با Tm نامگذاری شده است متصل می کنیم.

۳- کتابخانه electrical source را باز کرده و بلوک DC voltage source را داخل مدل خود وارد می کنیم ، منوی بلوک را باز کرده و مقدار آن را به 400v تنظیم می کنیم.

۴- کتابخانه measurement را باز کرده و بلوک voltage measurement را داخل مدل خود کپی می کنیم و نام بلوک را به Vab تغییر می دهیم.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵- با استفاده از بلوک Ground از کتابخانه Elements عناصر قدرت و اتصالات سنسور ولتاژ را همانطوری که در شکل نشان داده شده است کامل می کنیم.

۵-۴ کنترل پل اینورتر با استفاده از Pulse Generator :

برای کنترل پل اینورتر به **Pulse Generator** نیاز داریم. چنین ژنراتوری در قسمت کتابخانه Extras موجود می باشد.

۱- کتابخانه Extras/discrete control blocks را باز می کنیمو بلوک Discrete 3-phase pwm Generator را داخل مدل خود کپی می کنیم.این بلوک می تواند برای تولید پالس پلهای دو مرحله ای یا سه مرحله ای مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این ، این بلوک می تواند دو دسته از پالسهای (خروجی P1,P2(که میتواند به دو پل سه فاز که به صورت دو قلو استفاده می شوند، تولید کند. در این قسمت از آن به عنوان سیگنال ژنراتور دو مرحله ای تک پل استفاده می کنیم. مبدل به صورت مدار باز عمل میکند و سیگنال های مدل شده PWM به صورت داخلی مدل می شوند.

قسمت خروجی P1 را به قسمت ورودی پالس Universal bridge متصل می کنیم.

۲- صفحه محاوره ای بلوک Discrete three-phase pwm Generator را باز می کنیم و پارامترهای آن را مطابق ادامه تنظیم می کنیم:

Type = 2 level

Mode of operation = un-synchronized

Carrier frequency = 18*60hz (1080hz)

Internal Generation of modulation signals = selected

Modulation index m = 0.9

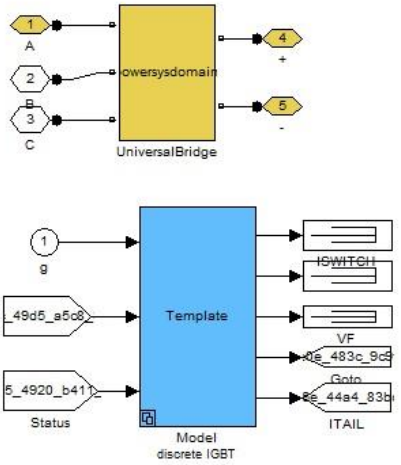
Output voltage frequency = 60hz

Output voltage phase = 0 degrees

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

Sample time = 10e-6 s

۳- با استفاده از منوی edit/look under mask در مدل مشاهده کنید که چگونه pwm این کار را انجام می دهد. این سیستم کنترلی کاملا با استفده از بلوک های سیمولینک ساخته شده است.



یکی از راه های متداول برای تولید پالس های pwm مقایسه ولتاژ خروجی برای همزمانی (در ای قسمت ۶۰ هرتز) همراه موج مثلثی در فرکانس سوئیچینگ (در این قسمت ۱۰۸۰هرتز) می باشد. این روشی هست که در بلوک Discrete 3-phase pwm Generator ایفای نقش می کند. مقدار موثر ولتاژ خروجی خط به خط تابع ولتاژ ورودی DC و شاخص مدولاسیون m که از فرمول زیر بدست می آید است :

$$V_{l-l_{rms}} = \frac{m}{2} * \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} * V_{dc} = m * 0.612 * V_{dc}$$

از اینرو ولتاژ 835.15v و شاخص مدولاسیون 0.9 ولتاژ خروجی 460Vrms خط به خط را بدست می دهد که ولتاژ نامی موتور آسنکرون می باشد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵-۵ نمایش سیگنالها و مولفه های اندازه گیری شده ولتاژ و جریان :

۱- حالا بلوک های اندازه گیری مولفه های اصلی 60hz برای ولتاژ Vab را به مدار اضافه می کنیم. کتابخانه Extras/Dicrete measurement باز کنید و بلوک Discrete fourier را داخل مدل کپی می کنیم. صفحه محاوره ای بلوک discrete fourier را باز می کنیم و پارامتر های آن را مطابق ادامه چک می کنیم:

Fundamental frequency f1 : 60hz

Harmonic number : 1

Initial input : [0 0]

Sample time : 10e-6

این بلوک را به خروجی ولتاژ Vab متصل می کنیم.

۲- بلوک discrete fourier را تکثیر می کنیم. برای اندازه گیری جریان فاز A ما باید عنصر اول خروجی is_abc از Asm measurement demux را انتخاب بکنیم. بلوک selector را از کتابخانه signal & system کپی می کنیم. منوی آن را باز کرده و element را به عدد ۱ تنظیم می کنیم. خروجی selector به خروجی دومین بلوک is_abc ، machine measurement demux همانگونه که در شکل نشان داده شده است متصل می کنیم.

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳- در پایان اسکوپ ها را به مدل خود اضافه خواهیم کرد. بلوک یک اسکوپ را به مدل خود کپی می کنیم. این اسکوپ برای نشان دادن ولتاژ و جریان و گشتاور الکترومکانیکی لحظه ای موتور استفاده می شود. در قسمت منوی scop prpperties/general پارامتر ها را به صورت ادامه تنظیم می کنیم.

Number of axies = 4

Time range = 0.05 s

Tick lables = bottom axis only

چهار ورودی را متصل و خطوط را نامگذاری می کنیم. هنگامی که شما مدل خود را استارت می کنید این نامگذاری ها مفید خواهند بود.

برای این که بتوانیم پردازش های بر روی سیگنال های نمایش داده شده توسط اسیلوسکوپ انجام دهیم، شما باید آنها را در یک متغیر ذخیره کنید. در قسمت منوی scop properties/data history پارامترهای زیر را تنظیم می کنیم :

Limit data point to last = deselected

Save data to workspace = selected

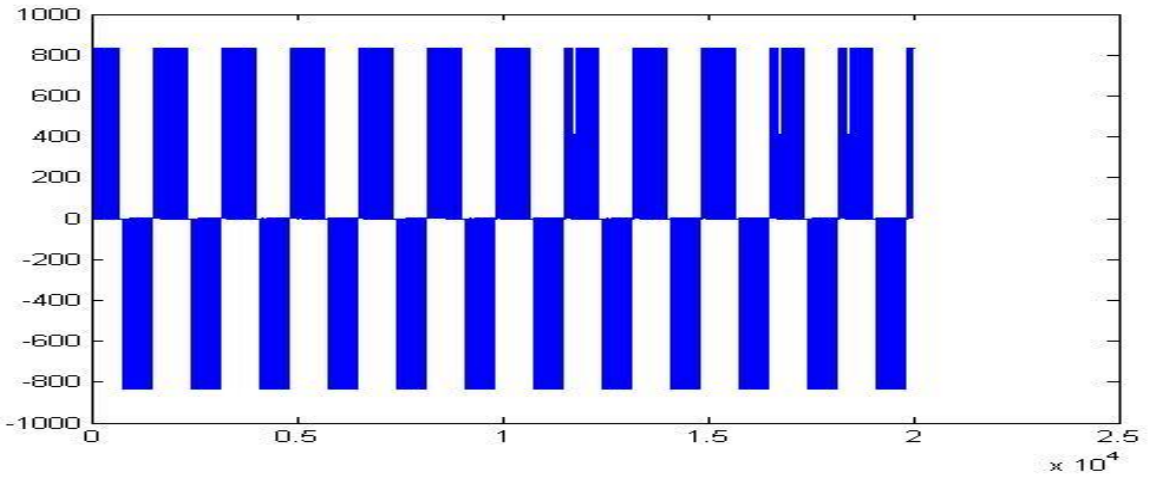
Variable name = Asm

Format = structure with time

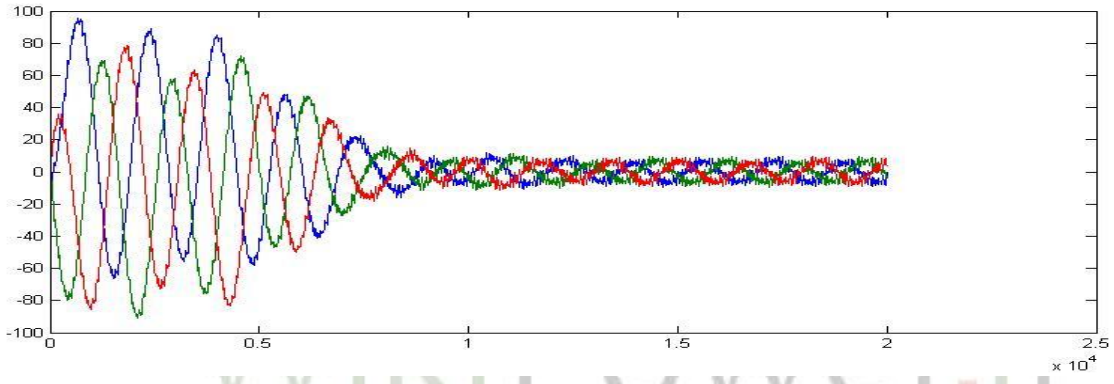
به این ترتیب بعد از شروع شبیه سازی چهر سیگنال نشان داده شده در اسکوپ با نام ASM با ساختار آرایه ای در دسترس خواهند بود.

۴- از اسکوپ چهار ورودی تکثیر کرده و تعداد ورودی های آن را به ۲ تغییر می دهیم. این اسکوپ برای نمایش دادن مولفه اصلی ولتاژ Vab و جریان استفاده می شود. ورودی های اسکوپ مورد نظر را به خروجی های بلوک های fourier متصل می کنیم. ما الان آماده شبیه سازی موتور می باشیم.

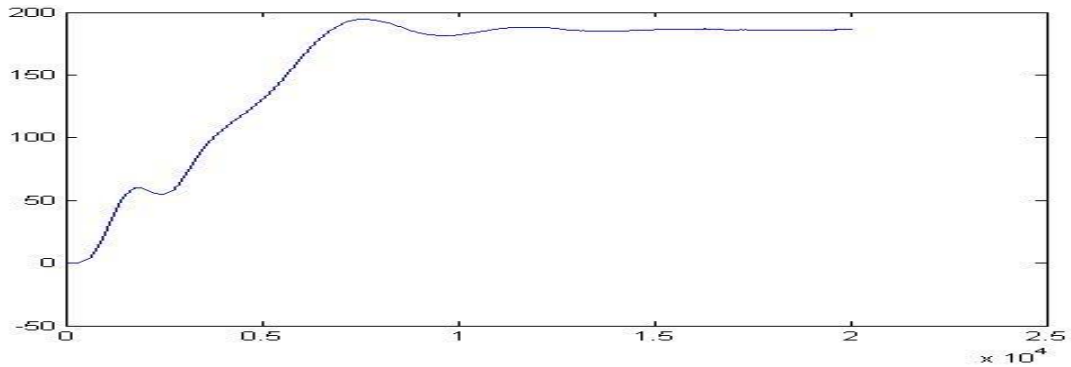
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ولتاژ Vab

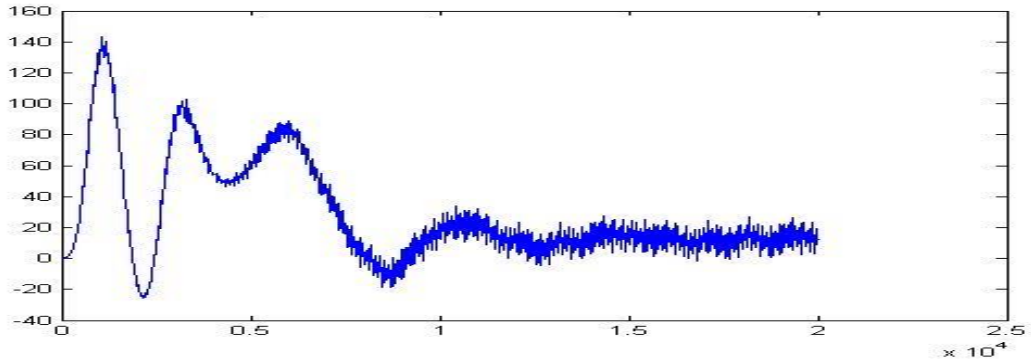


شکل جریان های سه فاز استاتور

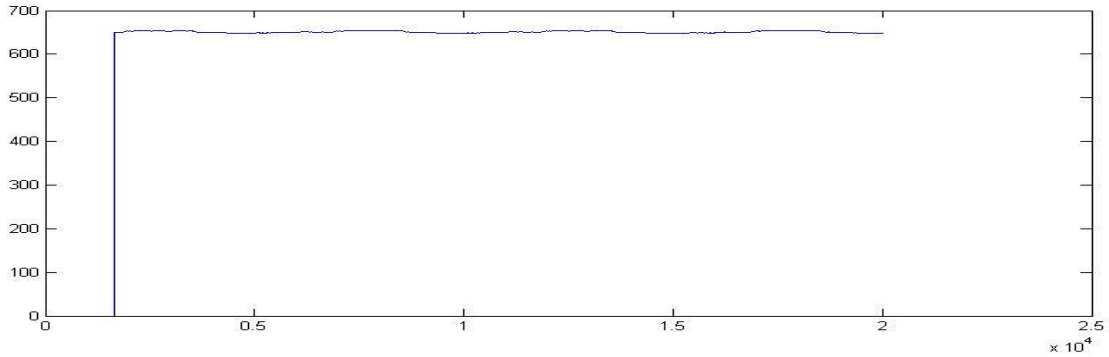


شکل سرعت موتور بر حسب rad/s

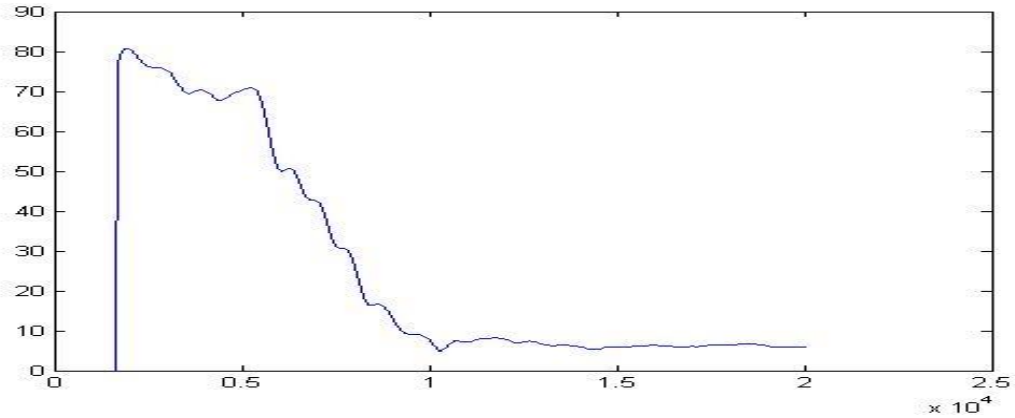
برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل گشتاور الکترو مکانیکی



شکل مولفه اصلی ولتاژ استاتور بلوک discrete fourier



شکل مولفه اصلی جریان استاتور بلوک discrete fourier

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۵-۶ شبیه سازی درایو کنترل موتور PWM با الگوریتم انتگرال گیری پیوسته:

منوی simulation/simulation parameters را باز می کنیم.الگوریتم انتگرال گیری ode23tb را انتخاب می کنیم و پارامتر relative telorance را به 1e-4 تنظیم می کنیم و absolute telorance,max step size را به auto و stop time را به عدد ۱ تغییر می دهیم و شبیه سازی را آغاز می کنیم.

موتور روشن می شود و سرعت نهایی و حالت ماندگار آن بعد از ۰/۱ ثانیه به 187rad/s یا 1785.7rpm می رسد.در لحظه استارت مقدار جریان تا پیک خود یعنی 95A افزایش می یابد که در حقیقت مقدار حالت پایدار و نهایی آن 6Aمی باشد.

همانطور که انتظار می رفت مقدار ولتاژ ۶۰ هرتز در مقدار $460\sqrt{2}$ ثابت می ماند. گذشته از این به میزان نوسان زیاد گشتاور الکترومکانیکی در لحظه استارت توجه داشته باشید.

اگر در جریان سه فاز استاتو زوم کنیم می توانیم همه هارمونیک ها را مشاهده کنیم که همگی مضرب صحیحی از فرکانس سوئیچینگ ۱۰۸۰ هرتز می باشند.

۵-۷ استفاده از بلوک مولتی متر:

برای اینکه بتوانیم ولتاژ و جریان زیر سیستم های پل یونیورسال (سوئیچ ها) را اندازه گیری کنیم باید از بلوککمولتی متر استفاده بکنیم. به عبارتی بلوک مولتی متر دسترسی به سیگنال های داخلی پل یونیورسال را میسر می سازد.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۱- صفحه محاوره ای Universal bridge را باز می کنیم و پارامتر measurement را به device currents تنظیم می کنیم.

۲- بلوک مولتی متر را از کتابخانه measurement داخل مدل خود کپی می کنیم. روی بلوک مولتی متر دابل کلیک می کنیم یک پنجره که نشانگر جریان های شش کلید است نمایانگر می شود.

۳- دو جریان بازو های پل متصل به فاز A را انتخاب می کنیم که با عبارتهای زیر مشخص شده اند:

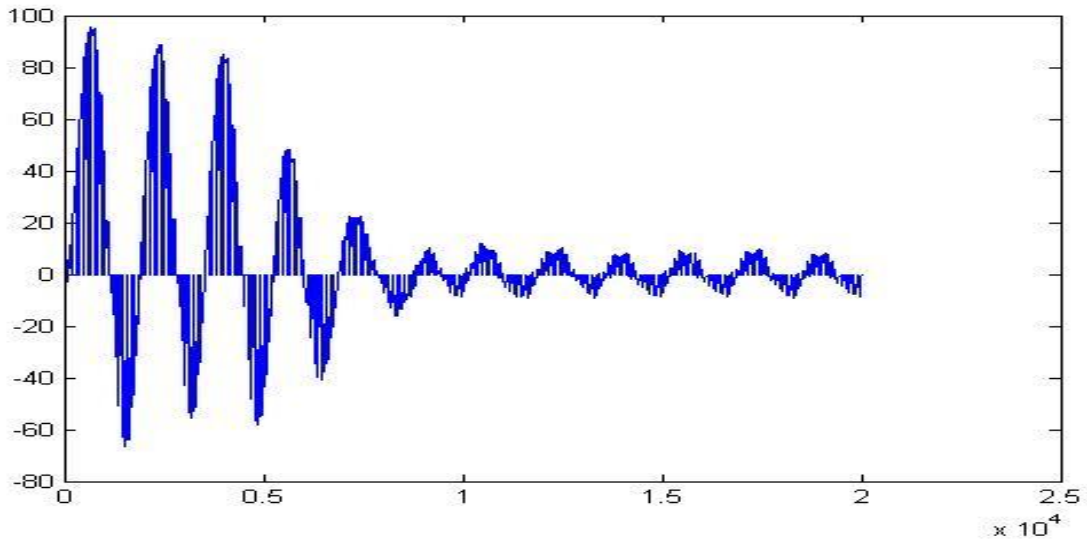
Isw1

Isw2

۴- بر روی ok کلیک می کنیم روی آیکون مولتی متر عدد ۲ که نشانگر تعداد سیگنال است، نشان داده می شود.

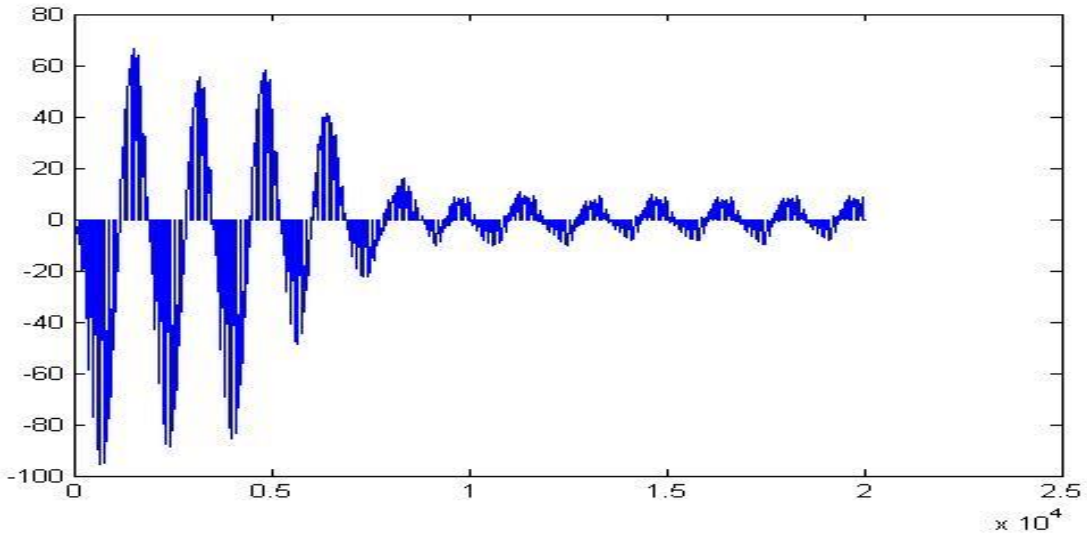
۵- با استفاده از بلوک demux دو خروجی مولتی متر را به دو پایه اسکوپ به صورت جداگانه متصل می کنیم.

۶- شبیه سازی را دوباره راه اندازی می کنیم ، شکل موج های گرفته شده برای 20ms ابتدایی در شکل زیر مشخص شده اند.



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل موج گرفته شده توسط مولتی متر که مربوط به جریان سوییچ های پل می باشد



شکل موج گرفته شده توسط مولتی متر که مربوط به جریان سوییچ های پل می باشد

WikiPower.ir

۸-۵ استفاده از انتگرال پله ثابت برای درایو موتور PWM :

باید توجه داشته باسید که شبیه سازی بوسیله انتگرال پله متغیر نسبتا طولانی هست. بسته به کامپیوتر شما ممکن است برای شبیه سازی هر ۱ثانیه ۱۰ ثانیه زمان لازم داشته باشد. برای کوتاه کرئن زمان شبیه سازی ما می توانیم مدار خود را با انتگرال گیری پله ثابت انجام بدهیم.

قسمت powergui را بازمی کنیم و بر روی configure parameters کلیک می کنیم، در پنجره محاوره ای باز شده قسمت simulation type را به discrete تنظیم می کنیم. همچنین مقدار sample time را به 10e-6 تنظیم میکنیم. اگر شبیه سازی را دوباره ران کنیم سیستم قدرت ماشین آسنکرون با زمان مرجع 10us پردازش خواهد شد. برای مثال در اینجا لزوم پیوستگی زیادی در سیستم الکتریکی وجود ندارد و بنا براین نیازی برای استفده از روش پله متغیر نیست.

برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در قسمت simulation/simulation parameters/solver گزینه Fixed-step یا discrete را انتخاب می کنیم. مدار شبیه سازی را دوباره ران می کنیم. مشاهده خواهید کرد که شبیه سازی سه برابر سریعتر از انتگرال گیری پیوسته انجام خواهد شد. نتیجه ها در مقایسه با حالت پیوسته دقت خوبی دارند.

۹-۵ انجام آنالیز هارمونیکی با استفاده از ابزار FFT :

بلوک های discrete fourier اجازه محاسبه مولفه های اصلی ولتاژ و جریان در طول شبیه سازی را می دهند. اگر تمایل به دیدن جزییات هارمونیک را داشته باشیم می توانیم برای هر هارمونیک از یک discrete fourier استفاده کنیم که البته این راه مناسبی نیست.

حال برای مشاهده طیف فرکانسی موج های ولتاژ و جریان از ابزار FFT واقع در Power GUI استفاده می کنیم.برای این منظور به شکل زیر عمل خواهیم کرد :

Powergui را باز می کنیم و FFT analysis را انتخاب می کنیم که پنجره جدیدی باز می شود ، پارامتر ها را برای نمایش دادن سیگنال را مطابق ادامه تنظیم می کنیم :

Structure : ASM

Input : Vab

Signal number : 1

Start time : 0.7s

Number of cycle : 2

Fundamental frequency : 60hz

Max frequency : 5000hz

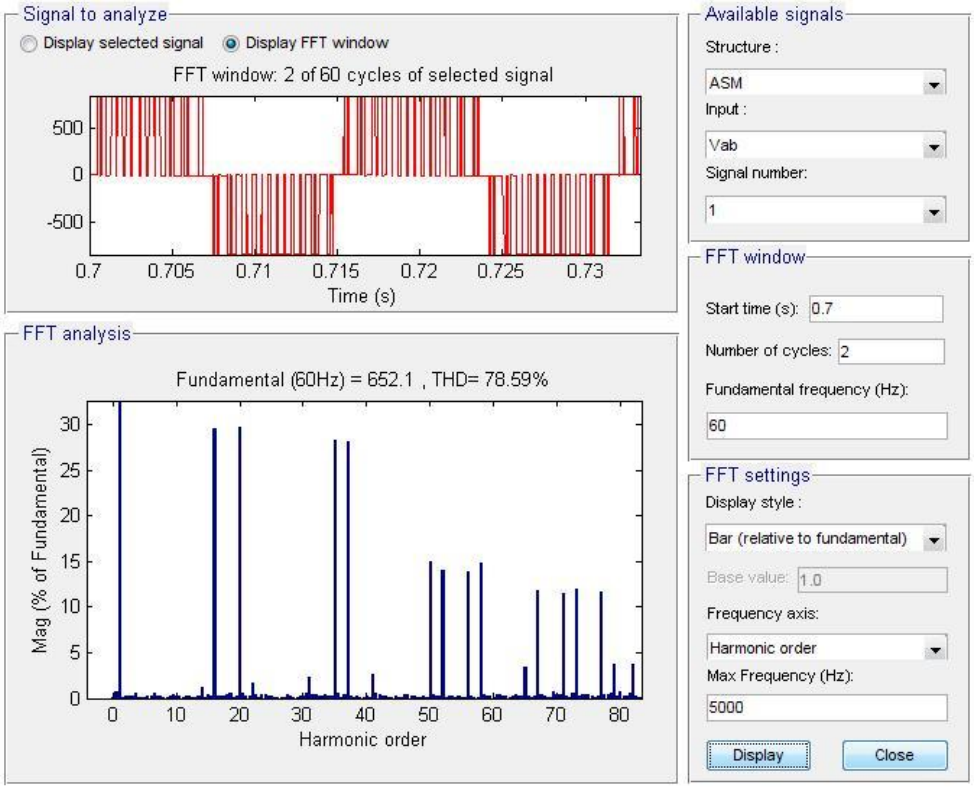
Frequency axis : harmonic order

Display style : bar(relative to fund or dc)

و در نهایت گزینه display FFT window را علامت می زنیم ، به این ترتیب طیف فرکانسی در پنجره پایینی نشان داده می شود.

برای دریافت فایل wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

اجزاء اصلی و اغتشاش هارمونیک کل ولتاژ Vab بالای پنجره طیف نشان داده شده است. اندازه اصلی ولتاژ اینورتر 652.1v تناسبی منطقی با مقدار تئوری 460v برای m=0.9 دارد. هارمونیک ها درصد مولفه اصلی را نشان می دهند. همانگونه که انتظار می رفت هارمونیک ها بین فرکانس های مختلف اتفاق می افتند. بیشترین هارمونیک ها در هارمونیک ۱۶ (۲-۱۸) و۲۰ (۲+۱۸) به مقدار ۳۰٪ ظاهر می شود. توجه داشته باشید که مقدار اغتشاش کل 78.59%در فرکانس بین ۰ تا ۵۰۰۰ محاسبه شده است.



برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

منابع و ماخذ:

۱) Cycloconverter Design and Application (book) W. McMurry M. I. T. press 1972

۲) Cycloconverter Control of Doubly Fed Induction Motor IEEE Transactions IGA, Vol. IGA-7 Jan/Feb 1971.

۳) Thyristor control of AC motors by J M D Murphy

۴) Ac drive by bose, B,K

۵) ECE 8830-Electeric Drives-Slip Recovery Drives for Wound-Field Induction Motors Spring 2004

۶) Principal of cycloconverter circuits (book) B. R. Palley

۷) Matlab help

۸) الکترونیک صنعتی – سریل لندر

۹) الکترونیک صنعتی- رشید

۱۰) ماشینهای الکتریکی چاپمن