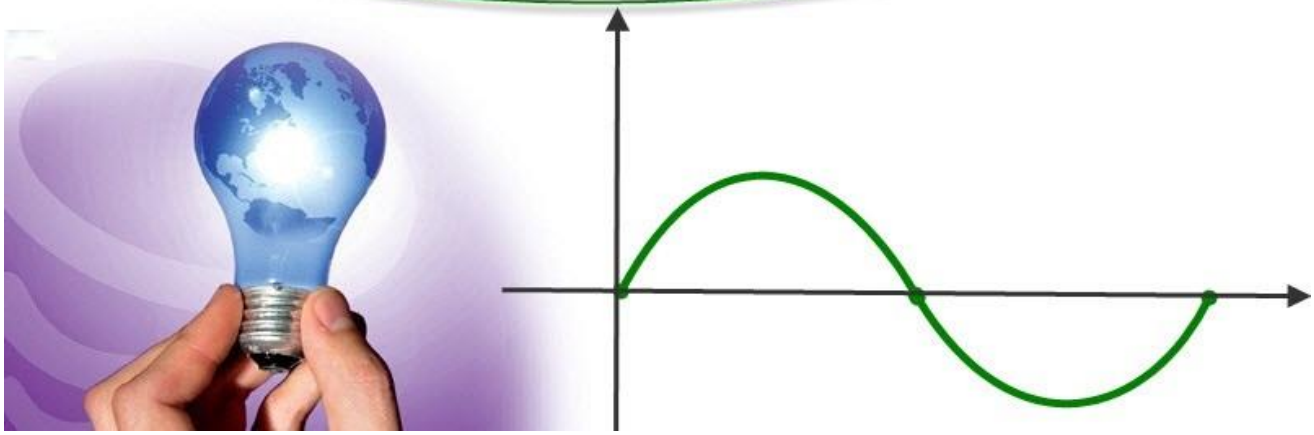
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بسم الله الرحمن الرحیم



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 پیچی شده کنترل شده با سیکلوکانورتر

WikiPower.ir

برای خرید فایل wordاین پروژه اینجا کلیک کنید.
(شماره پروژه = ۴۸۰)
پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

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

پیشگفتار

فصل1: الکترونیک قدرت

1-1مقدمه---------- 7
2-1 عناصر الکترونیک قدرت---------- 8
3-1انواع مدارهای الکترونیک قدرت---------- 14

فصل2 : موتورهای القایی

1-2مقدمه---------- 17
2-2مدار معادل موتورهای القایی---------- 18
3-2مشخصات کارایی---------- 20
4-2 مشخصه گشتاور-سرعت موتور القایی---------- 21
5-2 روشهای کنترل دور موتور القایی---------- 25
5-2-1کنترل ولتاژ استاتور---------- 26
5-2-2کنترل ولتاژ روتور---------- 27
5-2-3کنترل فرکانس---------- 28
5-2-4کنترل ولتاژ و فرکانس---------- 31
6-2مدار معادل هارمونیک موتور القایی---------- 32
7-2مدارهای معادل تقریبی برای محاسبات جریان هارمونیکی---------- 35
8-2جریانهای هارمونیک---------- 36

فصل 3 : سیکلوکانورتر(مبدل فرکانس)

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

1-3 مقدمه---------- 41
2-3 نحوه عملکرد مبدل کاهنده فرکانس---------- 42
3-3سیکلوکانورتر تکفاز---------- 46
4-3 عملکرد گروه مسدود---------- 49
5-3انواع سیکلو کانورتر---------- 58
1-5-3سیکلوکانورتر پوش---------- 59
6-3 ویژگیهای سیکلوکانورتر---------- 62
7-3بررسی عملکرد یک موتور القایی روتور سیم پیچی شده دو سو تغذیه ای(WRIM) در اتصال با سیکلوکانورتر---------- 66
1-7-3بازده و ضریب توان WRIM برحسب ولتاژ بار---------- 68
2-7-3شکل موجهای ولتاژ و جریان---------- 71
8-3خصوصیات سیکلوکانورتر در شرایط هدایت ناپیوسته---------- 72
9-3اثرات اندوکتانس منبع بر عملکرد سیکلوکانورتر---------- 73
10-3واکنش شبکه در برابر سیکلوکانورتر---------- 73
1-10-3ضریب توان---------- 76
11-3روابط مداری سیکلوکانورتر---------- 77
12-3مزایا و معایب سیکلوکانورتر----------

فصل4 : اینورترهای با مدولاسیون پهنای پالس

1-4 مقدمه---------- 80
2-4دسته بندی اینورترها---------- 82
1-2-4اینورتر تکفاز باسر وسط---------- 82
2-2-4اینورتر پل تکفاز---------- 86

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

3-2-4اینورتر پل سه فاز---------- 93
3-4قدرت برگشتی اینورتر---------- 98
4-4مقایسه سیکلوکانورتر با اینورتر---------- 101
-

فصل 5 : درایوهای کنترل کننده توان لغزش

1-5مقدمه:---------- 103
کنترل دور موتور القایی روتور سیم پیچی شده 2-5
بکمک سیستم بازیافت انرژی لغزشی:---------- 105
3-5درایو کرامر استاتیک---------- 112
4-5دیاگرام فازوری عملکرد درایو---------- 115
1-4-5بهبود ضریب توان درایو کرامر استاتیک---------- 119
5-5درایو شربیوس استاتیک---------- 121
1-5-5 مد 1: حالت موتوری زیر سنکرون---------- 121
2-5-5 مد2: حالت موتوری فوق سنکرون---------- 122
3-5-5 مد3: حالت مولدی زیر سنکرون---------- 122
4-5-5 مد 4: حالت مولدی فوق سنکرون---------- 123
6-5هارمونیک و گشتاورهای هارمونیکی---------- 124

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

پیشگفتار:

با توجه به توسعه روزافزون کاربرد الکترونیک در بحث قدرت ، در فصل اول ، به بررسی عملکرد عناصر الکترونیک قدرت می پردازیم. با توجه به اینکه یکی از مباحث مهم، کنترل توان الکتریکی سیستمهای گرداننده موتور الکتریکی است، لازم است که ابتداً به بررسی موتور القایی و نحوه عملکرد و خصوصیات آن بپردازیم.در فصل سوم در مورد سیکلوکانورترها بحث می کنیم که قسمت مهمی از این پروژه را در برمی گیرد.اگر بطور خلاصه بخواهیم یک سیکلوکانورتر را معرفی کنیم ،بهترین و کوتاهترین توصیف ممکن ، تبدیل فرکانس منبع به یک فرکانس دیگر(معمولا کوچکتر)است و کاربرد عمده آن درمورد کنترل دور موتورهای القایی و درایوهای آن می باشد. با توجه به کاربرد وسیع اینورترها در صنعت و بویژه در درایوها کنترل دور ،در فصل چهارم سعی خواهیم کرد یک شناخت جامعی را در مورد اینورترها به خوانندگان گرامی ارائه دهیم. در واقع اینورترها و سیکلوکانورترها 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 هرکدام از این درایوها

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

مزایا و معایب خاص خودشان را دارند و سعی خواهیم کرد که تا حد امکان معایب آنها را با استفاده از تغییراتی در اجزای تشکیل دهنده آنها برطرف کنیم.

WikiPower.ir

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

فصل 1:

الکترونیک قدرت:

WikiPower.ir

1-1مقدمه:

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

الکترونیک قدرت ترکیبی از قدرت،الکترونیک و کنترل است. کنترل به بررسی مشخصه های دینامیک و حالت پایدار سیستمهای با حلقه بسته می پردازد. قدرت، وسایل قدرت استاتیک و گردنده که در تولید، انتقال و توزیع توان الکتریکی بکار گرفته می شود بررسی می کند. الکترونیک، مدارها و وسایل پردازشگر یا پردازنده سیگنالها را بررسی می کندکه برای بدست

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

آوردن هدفهای کنترلی مطلوب مورد استفاده قرار می گیرند. الکترونیک قدرت را می توان بصورت کاربرد های الکترونیک حالت جامد در کنترل و تبدیل توان الکترکی نیز تعریف کرد. الکترونیک قدرت بر اساس خاصیت کلید زنی عناصر نیمه عادی قدرت پایه گذاری شده است. با پیشرفت تکنولوژی نیمه هادیهای قدرت ،قابلیت کار با توان و سرعت کلیدزنی وسایل قدرت بطور قابل ملاحظه ای بهبود یافته است. پیشرفت در تکنولوژی میکروپروسسورها تاثیر زیادی در کنترل و ایجاد روشهای کنترلی برای عناصر نیمه هادی قدرت داشته است.

امروزه الکترونیک قدرت جای مهمی در تکنولوژی مدرن یافته است و در محصولات توان بالای گوناگونی بکار گرفته می شود. بعنوان 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 سالهای اخیر در کاربرد موتور های الکتریکی انقلابی رخ داد. ساخت بسته های حالت جامد راه انداز موتور به جایی رسیده که عملا هر مسئله کنترلی را می توان با استفاده از آنها حل کرد. با این راه اندازهای 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 معرفی مختصری از اجزا الکترونیکی توان بالا و مدارهایی که در آنها بکار گرفته می شوند است. علت قرار گرفتن این معرفی، کاربرد این مطالب بر مباحث مربوطه به کنترل کننده های موتورهای ac و dcاست.

2-1 عناصر الکترونیک قدرت:

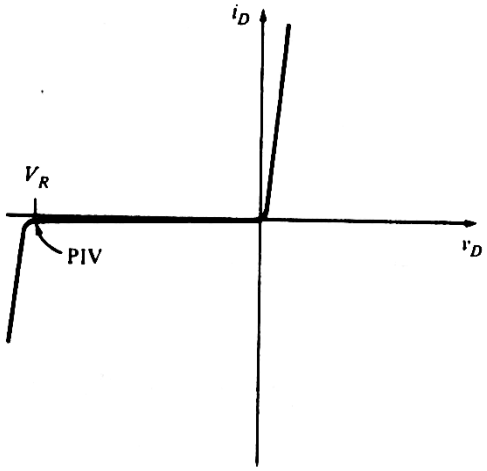
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

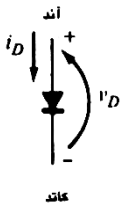
در مدارهای کنترل موتور چند نوع وسیله نیمه هادی مورد استفاده قرار می گیرد مهمترین اینها عبارتند از:

1- دیود 2-تریستوردو سیمه(یا دیود PNPN) 3- تریستورسه سیمه(یکسوساز کنترل شده سیلیسیومی (SCR)) 4- تریستوربا گیت خاموش شونده(GTO) 5- داياک 6- تریاک 7- ترانزیستور قدرت (PTR) 8- 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.

- 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، سرانجام دیود می شکند و اجازه عبور جریان در جهت عکس را هم می دهد.

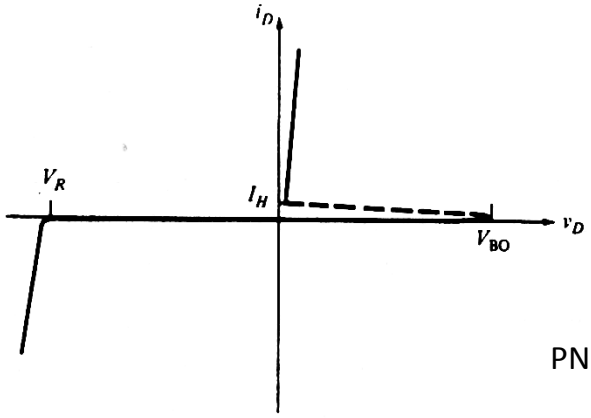




مشخصه ولتاژ – جریان دیود

- دیود ها با توجه به مقدار توانی که مصرف می کنند و 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 مدارهای 60Hz,50Hzبعنوان یکسو کننده استفاده کرد.

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

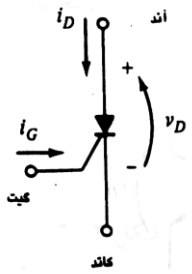
- دیود یک یکسوساز یا دیود است که مشخصه ولتاژ- جریانی غیر عادی در ناحیه مستقیم دارد.

- 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.

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)

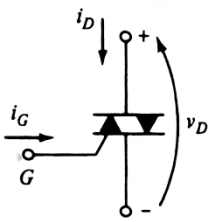
وقتی *SCR* روشن می شود روشن می ماند تا اینکه جریانش از I_H کمتر شود لذا بعد از روشن شدن *SCR* می توان جریان گیت آن را برداشت بدون اینکه اثری بر کار آن گذاشته شود.

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

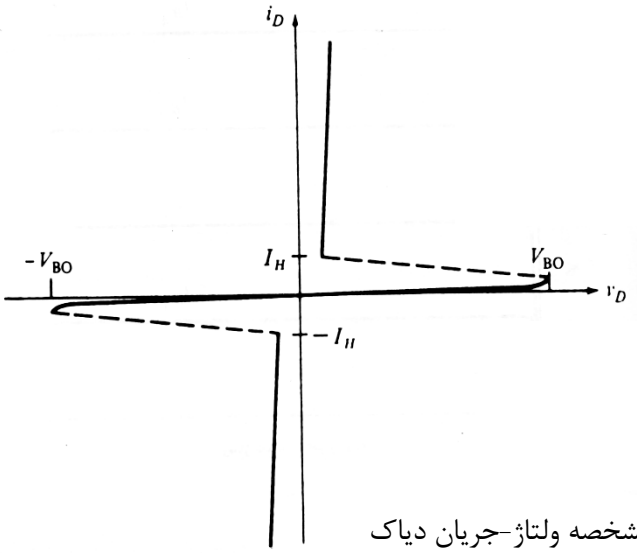
تریستور با گیت خاموش شونده (یا GTO):

- نوعی *SCR* است که می توان آن را با اعمال یک پالس منفی به حد کافی بزرگ به گیت خاموش کرد حتی موقعی که i_d از I_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.

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



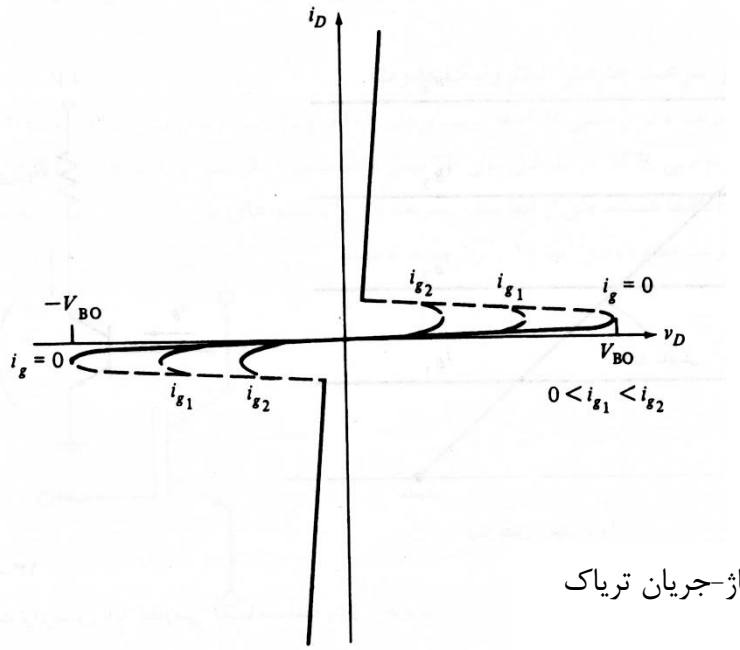
مشخصه ولتاژ-جریان دیاک

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

- 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.

دود می‌شود.



مشخصه 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 50 HZ 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 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.

3-1 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:

یکسو کننده های دیودی

مبدلهای ac بهdc (یکسوکننده های کنترل شونده)

مبدلهای ac بهac (کنترل کننده های ولتاژ ac)

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

مبدلهای dc به dc (چاپرهای dc)

مبدلهای dc به ac (اینورتر)

کلید های استاتیک

یکسو کننده ها: ولتاژ ac را به dc ثابت تبدیل می کند. ولتاژورودی یکسو کننده می تواند تکفاز یا سه فاز باشد.

مبدلهای ac به dc : 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.

WikiPower.ir

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

فصل 2 :

موتورهای القایی

WikiPower.ir

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

1-2 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 موتورهایdc به مراقبت کمتری نیاز دارند. در کاربردهای با سرعت متغیر، آنها به کنترل فرکانس، ولتاژ وجریان نیاز ندارند. مبدلهای قدرت، اینورترها و کنترل کننده های ولتاژac قادر هستند که فرکانس، ولتاژ وجریان 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 همانندمرجع 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.

WikiPower.ir

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

2-2 مدار معادل موتورهای القایی:

سیم پیچهای سه فاز در روتور و استاتور هستند. 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.

$$\omega_S = \frac{2\omega}{P} \qquad (2\text{-}1)$$

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، در (روتور) 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:

$$e_r = N_r \frac{dq}{dt} = N_r \frac{d}{dt}[\phi_m Cos(\omega t + \delta - \omega_S t)] \qquad (2\text{-}2)$$

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

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

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:

$$S = \frac{\omega_S - \omega_m}{\omega_S} \qquad (2\text{-}3)$$

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

$$I'_r = \frac{SE_r}{R'_r + jSX'_r} = \frac{E_r}{\frac{R'_r}{s} + jX'_r} \qquad (2,4)$$

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

مدل مداری موتورهای القایی برای هر فاز در شکل 1-2 ب نشان داده شده است که درآن R_S و X_S مقاومت هر فاز و راکتانس نشتی سیم پیچی استاتور هستند. مدار معادل کامل با تمام پارامتر های رجوع شده به استاتور، در شکل ج 1-2آمده است، که R_m 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 ا 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.

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

شکل 2-1 مدار معادل موتور القایی

3-2 مشخصات کارایی:

جریان روتور I_r و جریان استاتور I_S ، از مدار معادل شکل ج2-1 بدست می آیند که R_rو X_r به سیم پیچ استاتور ارجاع داده شده اند. با بدست آمدن مقادیر I و I_S ، پارامتر های کارایی یک موتور سه فاز به صورت زیر بدست می آیند:

تلفات مسی استاتور (2-5) $P_{scu} = 3I_s{}^2 R_S$

تلفات مسی روتور : (2-6) $P_{rcu} = 3I_r{}^2 R_r$

تلفات هسته: (2-7) $P_c = \frac{3V_m{}^2}{R_m} \approx \frac{3V_s{}^2}{R_m}$

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

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

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

توان حاصل خروجی $$P_d = P_g - P_{rcu} = 3I_r^2 \frac{R_r}{S}(1-S) = P_g(1-S) \quad (2\text{-}9)$$

گشتاور حاصل $$T_d = \frac{P_d}{\omega_m} \quad (2\text{-}10)$$

$$T_d = \frac{P_g(1-S)}{\omega_s(1-S)} = \frac{P_g}{\omega_s} \quad (2\text{-}11)$$

توان ورودی: $$P_i = 3V_s I_s Cos\theta_m = P_C + P_{scu} + P_g \quad (2\text{-}12)$$

که θ_mزاویه بین I_s و V_s می باشد: توان خروجی برابر $P_o = P_d - P_{noload}$ است.

بازده : $$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \frac{P_d - P_{noload}}{P_C + P_{scu} + P_g} \quad (2\text{-}13)$$

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

$$\eta = \frac{P_d}{P_g} = \frac{P_g(1-S)}{P_g} = 1 - S \quad (2\text{-}14)$$

X_mعموماً مقدار بزرگی است و R_mکه 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.

4-2 مشخصه گشتاور-سرعت موتور القایی

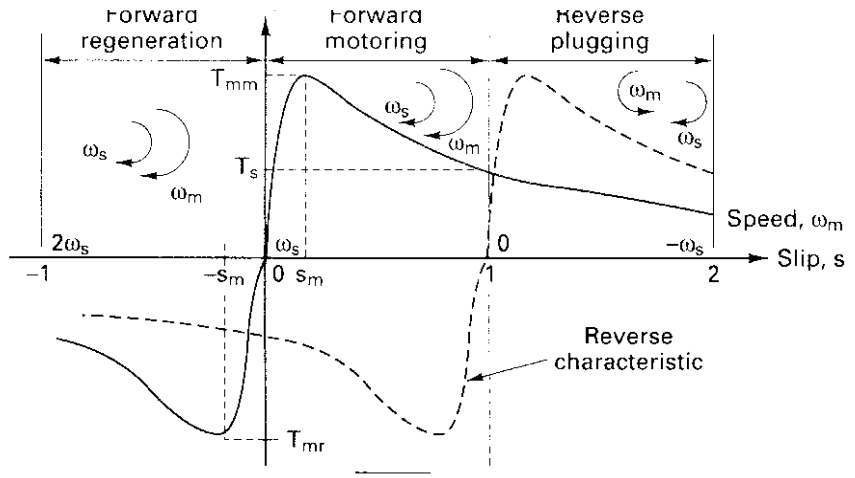
با توجه به شکل2-1 مقدار موثر جریان روتور برابر است با:

$$I_r = \frac{V_S}{[(R_S + \frac{R_r}{S})^2 + (X_S + X_r)^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (2\text{-}15)$$

با جایگزین کردن I_r از رابطه (2-6) در رابطه (2-8) و سپس P_gدر رابطه (2-11) خواهیم داشت:

$$T_d = \frac{3R_r V_S^{\,2}}{S\omega_S[(R_S + \frac{R_r}{S})^2 + (X_S + X_r)^2]} \qquad (2\text{-}16)$$

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 (2-16) بدست آورد. نمونه ای از تغییرات گشتاور بوجود آمده نسبت به سرعت یا لغزش در شکل 2-2 آمده است:



شکل 2-2 مشخصه گشتاور-سرعت موتور القایی

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: 1- حالت موتوری $0 \le S \le 1$ ، 2- حالت مولدی $S < 0$و 3- 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 $S = S_m$ می رسد، 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 ۱-۱۸ بصورت زیر بدست می آید:

$$T_S = \frac{3R_r V_S^{\,2}}{\omega_S[(R_S + R_r)^2 + (X_S + X_r)^2]} \qquad (2\text{-}17)$$

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

لغزش برای گشتاور ماکزیمم، S_m با قرار دادن ، از رابطه ۱-۱۸ بدست می آید:

$$S_m = \pm \frac{R_r}{\omega_S [R_S^{\,2} + (X_S + X_r)^2]^{\frac{1}{2}}} \qquad (2\text{-}18)$$

با قرار دادن $S = S_m$ در رابطه (2-16) حداثر گشتاور تولیدی در حالت موتوری بدست می آید که اصطلاحا به آن گشتاور شکست نیز گفته می شود.

$$T_{mm} = \frac{3V_S^{\,2}}{2\omega_S [R_S + \sqrt{R_S^{\,2} + (X_S + X_r)^2}]} \qquad (2\text{-}19)$$

همچنین ماکزیمم گشتاور حالت مولدی از رابطه (2-16) بصورت زیر بدست می آید:

$$S = -S_m$$

$$T_{mr} = \frac{3V_S^{\,2}}{2\omega_S [-R_S + \sqrt{R_S^{\,2} + (X_S + X_r)^2}]} \qquad (2\text{-}20)$$

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 :

$$T_d = \frac{3R_r V_S^{\,2}}{S\omega_S [(\frac{R_r}{S})^2 + (X_S + X_r)^2]} \qquad (2\text{-}21)$$

$$T_S = \frac{3R_r V_S^{\,2}}{\omega_S [(R_r)^2 + (X_S + X_r)^2]} \qquad (2\text{-}22)$$

$$S_m = \pm \frac{R_r}{X_S + X_r} \qquad (2\text{-}23)$$

$$T_{mm} = -T_{mr} = \frac{3V_S^{\,2}}{2\omega_S (X_S + X_r)} \qquad (2\text{-}24)$$

اگر $S < 1$ باشد، $S^2 << S_m^{\,2}$ خواهیم داشت:

$$\frac{T_d}{T_{mm}} = \frac{2S}{s_m} = \frac{2(\omega_S - \omega_m)}{S_m \omega_S} \qquad (2\text{-}25)$$

که سرعت را بصورت تابعی از گشتاور می دهد:

$$\omega_m = \omega_S(1-\frac{S_m}{2T_{mm}}T_d) \qquad (2\text{-}26)$$

از روابط (2-25) و (2-26) 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 اساساً 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.

5-2 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

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

۳- کنترل فرکانس

۴- کنترل فرکانس و ولتاژ استاتور

۵-کنترل جریان استاتور

۶- کنترل ولتاژ، جریان ،فرکانس

5-2-1 کنترل ولتاژ استاتور:

رابطه 2-16 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 2-16 گشتاور بوجود آمده را می دهد:

$$T_d = \frac{3R_r(bV_S)^2}{S\omega_S[(R_S + \frac{R_r}{S})^2 + (X_S + X_r)^2]} \qquad (2\text{-}27)$$

که در آن $b \le 1$

شکل 2-3 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:

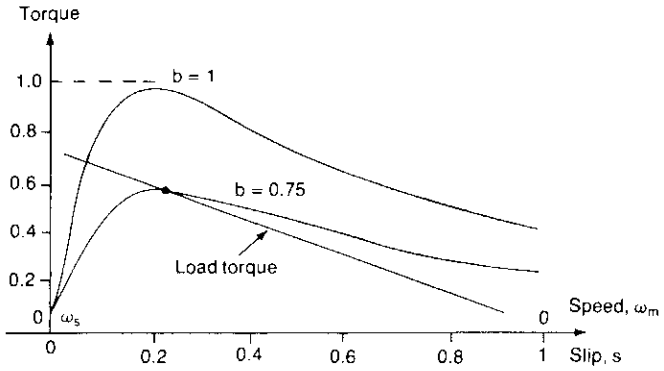
$$V_a = bV_S = k_m.\omega.\varphi \qquad (2\text{-}28)$$

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

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

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(1) کنترل کننده های ولتاژ ac سه فاز (2) اینورترهای اتصال dc متغیر تغذیه شونده با ولتاژ سه فاز یا (3) 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 2-3 مشخصه گشتاور-سرعت با ولتاژ

5-2-2 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 2-16 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 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.

5-2-3کنترل فرکانس:

گشتاور و سرعت موتورهای القایی را با تغییر فرکانس منبع می توان کنترل کرد.از رابطه (2-26) 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

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

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.

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

$$S = \frac{\beta\omega_b - \omega_m}{\beta\omega_b} \qquad (2\text{-}29)$$

معادله گشتاور بصورت زیر در می آید.

$$T_d = \frac{3R_r V_a^{\,2}}{S\beta\omega_b[(R_S + \frac{R_r}{S})^2 + (\beta X_S + \beta X_r)^2]} \qquad (2\text{-}30)$$

مشخصه تغییرات سرعت-گشتاور برای مقادیر مختلف β در شکل 2-4 نشان داده شده است .اینورتر سه فاز توانایی تغییر فرکانس در یک ولتاژ ثابت را دارد. اگر از R_S صرفنظر کنیم، از رابطه (2-24) ماکزیمم گشتاور در سرعت پایه بصورت زیر به دست می آید:

$$T_{mb} = \frac{3V_a^{\,2}}{2\omega_b(X_S + X_r)} \qquad (2\text{-}31)$$

مقدار ماکزیمم گشتاور در فرکانس دیگری برابر است با:

$$T_m = \frac{3}{2\omega_b(X_S + X_r)}(\frac{V_a}{\beta})^2 \qquad (2\text{-}32)$$

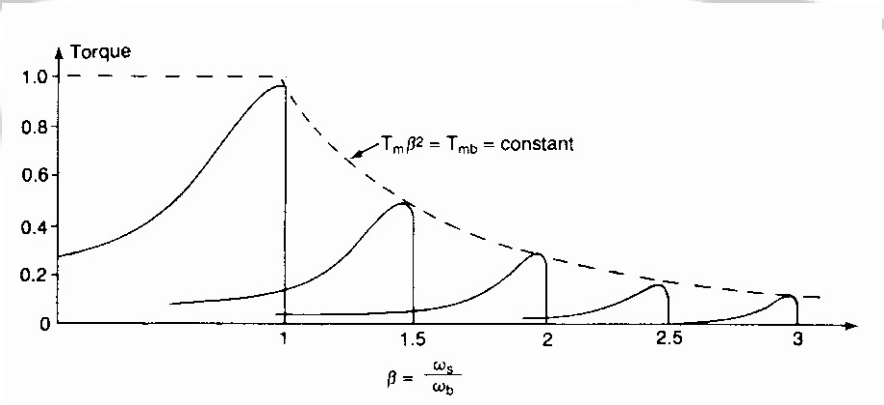
و از رابطه (2-23) ، مقدار لغزش متناظر با آن بدست می آید:

$$S_m = \frac{R_r}{\beta(X_S + X_r)} \qquad (2\text{-}33)$$

از نرمالیزه کردن رابطه (2-32) نسبت به رابطه (2-31) نتیجه می شود:

$$\frac{T_m}{T_{mb}} = \frac{1}{\beta^2} \qquad (2\text{-}34)$$

از رابطه (2-34) 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 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_mرا 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.



شکل2-4 مشخصه گشتاور با کنترل فرکانسی

5-2-4 کنترل ولتاژ و فرکانس:

اگر نسبت ولتاژ به فرکانس ثابت نگه داشته شود شار در رابطه (2-28) ثابت می ماند. رابطه 2-32 نشان می دهد که ماکزیمم گشتاوررا که مستقل از فرکانس است، می توان تقریباً

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

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:

$$\frac{V_a}{\omega_s} = d \qquad (2\text{-}35)$$

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

$$d = \frac{\omega_s}{\omega_b} \qquad (2\text{-}36)$$

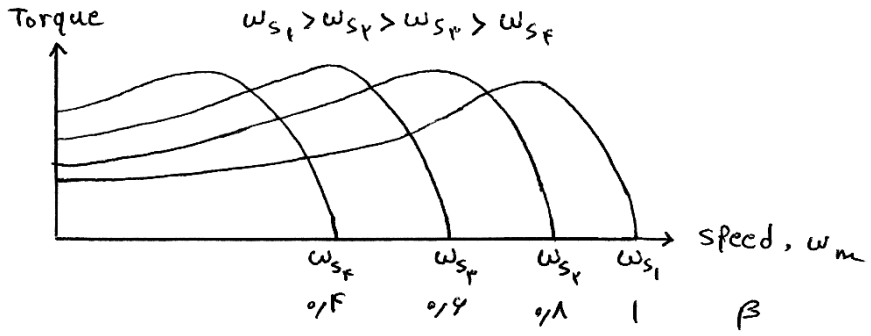
جایگزینی V_a از رابطه (2-29) در رابطه (2-30) ، گشتاور T_d را می دهد و مقدار لغزش برای حداکثر گشتاور برابر خواهد بود با:

$$S_m = \frac{R_r}{\left[R_s^{\,2} + \beta^2 (X_s + X_r)^2\right]^{\frac{1}{2}}} \qquad (2\text{-}37)$$

تغییر گشتاور نسبت به سرعت در شکل 2-5 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 (2-36) ، 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(

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

لکوموتیوهاو کارخانه سیمان) که فرکانس لازم، نصف و یا یک سوم فرکانس خط می باشد، استفاده می شوند.



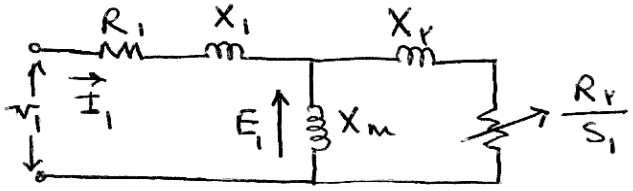
شکل 2-5 مشخصه گشتاور-سرعت با کنترل ولت/هرتز

6-2 مدار معادل هارمونیک موتور القایی:

مدار معادل فاز یک موتور القایی تغذیه شده از یک منبع سینوسی در شکل 2-6 نشان داده شده است. در این مداراز تلفات هسته و اثرهای اشباع صرفنظر شده است. در این شکل، X_2, X_1 راکتانس پراکندگی روتور و Xm راکتانس مغناطیسی است.لغزش روتور نسبت به میدان گردان اساسی در شکل با S_1 نشان داده شده است. بنابراین می توان نوشت:

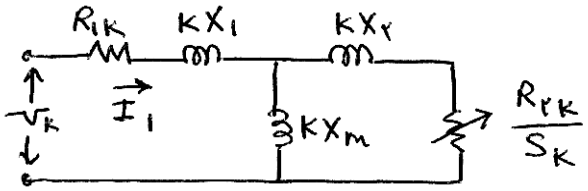
$$S_1 = \frac{n_1 - n}{n_1} \qquad (2\text{-}38)$$

که n_1 سرعت سنکرون میدان مغناطیسی گردان و د سرعت واقعی روتور است.



a) مدار معادل فرکانس اصلی

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



b) مدار معادل برای هارمونیک زمانی k

شکل 2-6 مدار معادل موتور القایی

هارمونیک kام در جریانهای فازیک نیرو محرکه مغناطیسی هارمونیکی که در سرعت kn_1 در جهت چپگرد یا راستگرد می گردد ،تولید می کند. لغزش روتور در میدان هارمونیکی راستگرد به صورت زیر است:

$$S_k = \frac{kn_1 - n}{kn_1} \qquad (2\text{-}39)$$

و برای یک میدان چپگرد:

$$S_k = \frac{kn_1 + n}{kn_1}$$

بطور کلی داریم:

$$S_k = \frac{kn_1 \mp n}{kn_1}$$

که علامت منفی مربوط به هارمونیکهای توالی مثبت و علامت مثبت مربوط به هارمونیکهای توالی منفی می باشد.

لغزش هارمونیک ، S_k، بر حسب S_1 با جایگذاری n بصورت زیر می باشد:

$$S_k = \frac{(kn \mp 1)S_1}{k} \qquad (2\text{-}40)$$

در مدار ، لغزش هارمونیک، S_k ، جایگزین لغزش اصلی ، S_1، می شود و همه راکتانس های القایی در ضریب k ضرب می شوند. مقاومت استاتور و روتور هم بعلت اثر سطحی فرکانس

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

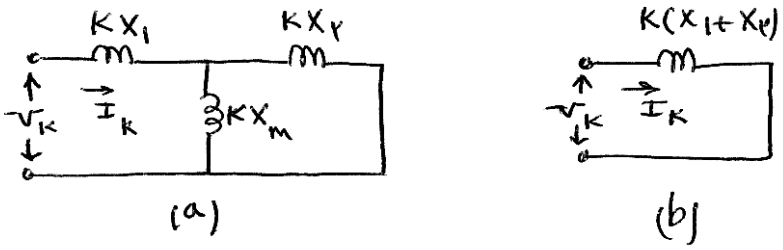
هارمونیک ، بزرگتر می شوند. اگر بخواهیم دقیق تر بنگریم اندوکتانس پراکندگی روتور هم از این اثر سطحی متاثر می شود و در k ضرب می شود. معادله (2-40) نشان می دهد که در عملکرد عادی موتور S_k تغییرات خیلی کوچکی دارد. اگر سرعت موتور از سرعت سنکرون تا صفر تغییر کند، لغزش اصلی، S_1، از 0 تا 1 تغییر می کند. اما هارمونیک پنجم لغزش ، S_5 ، فقط از 1/2 تا 1 تغییر می کند. تغییرات در S_7 از 0/857 تا 1 می باشد و برای هارمونیکهای بالاتر، S_k به 1 نزدیک می شود.ساده شده مدار معادل هارمونیک شکل2-6b با حذف مقاومت در شکل 2-7a نشان داده شده است. حذف مقاومت به این دلیل صورت گرفته که راکتانس های القایی بطور خطی با فرکانس افزایش می یابد، در حالیکه افزایش مقاومت روتور با فرکانس به علت اثر سطحی کمتر از خطی است. با توجه به اینکه S_k تقریباً برابر 1 است ،در فرکانسهای هارمونیک، مقاومت مدار در مقایسه با راکتانس قابل چشم پوشی است . شکل ساده تر دیگر در 2-7 b رسم شده است. با توجه به اینکه راکتانس مغناطیسی موازی ، خیلی بزرگتر از راکتانس پراکندگی روتور است، می توان آنرا حذف کرد.

بنابراین ، امپدانس موتور ،نشاندهنده جریانهای هارمونیک برابر با $k(X_1+X_2)$ می باشد که X_2, X_1 راکتانسهای پراکندگی در فرکانس اصلی منبع می باشند.

هارمونیکهای جریان توالی صفر استاتور، موج mmf گردان تولید نمی کنند.اما ممکنه در شکاف هوایی ، موجهای mmf هارمونیک فضایی ضربانی تولید کنند و هر موج ضربانی ممکنه موجب موج چپگرد یا راستگرد شود. این موجها جریانهای هارمونیکی نامساوی در

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

روتور گردان ایجاد می کنند و در نتیجه جریانهای توالی صفر موجود در استاتور می تواند بر گشتاور اثرگذار باشد.



شکل 7-2 مدارهای معادل تقریبی برای محاسبات جریان هارمونیکی

7-2مدارهای معادل تقریبی برای محاسبات جریان هارمونیکی:

راکتانس نشان دهنده هارمونیک توالی صفر k^{th} بصورت kX_0 است که X_0 راکتانس توالی صفر استاتور، در فرکانس اصلی می باشد. اگر X_0 کوچک باشد و ولتاژ بکار برده شده بزرگ باشد ، جریانهای توالی صفر ممکنه تلفات استاتور بزرگی را ایجاد کند و در نتیجه راندمان موتور کاهش می یابد.اما جریانهای توالی صفر فقط در سیستم هایی جاری می شوند که یک نیوترال بین منبع و بار وجود داشته باشد در غیر اینصورت مسیر برگشتی برای جریانهای توالی صفر وجود ندارد.

عملاً بیشتر مدارهای اینورتری، ولتاژهای توالی صفر تولید نمی کنند، اما اگر این مولفه ها وجود داشته باشند ، یک امپدانس توالی صفر بی نهایت با ایزوله کردن اتصالات نیوترال پیشنهاد می شود.

مدار معادل شکل 2-6a فقط برای موتور القایی چند فاز بکار می رود اما جریانهای هارمونیک بیان شده برای موتور سنکرون نیز صادق است، چون که این ماشینها نسبت به موجهای *mmf* هارمونیک زمانی، بصورت آسنکرون عمل می کنند. هنگام آنالیز عملکرد موتور در فرکانسهای خیلی پایین منبع، مدارهای معادل هارمونیک شکل 2-7 ممکنه صادق نباشند. چونکه مقاومت سیم پیچ یک عامل مهم در تجاوز فرکانس هارمونیک پایین به $10Hz$ می باشد.

2-8 جریانهای هارمونیک:

از آنجاییکه S_k تقریباً 1 است ،در تمام سرعتها از 0 تا سرعت سنکرون ، مدار معادل هارمونیک شکل 2-6b عملاً مستقل از سرعت موتور است و این منجر به شکل 2-7b شد. بنابراین، جریانهای هارمونیک در بی باری تا بار کامل موتور قابت می ماند.

مدار معادل تقریبی شکل 2-7b شبیه مدار موتور القایی روتور قفل شده است، که جریان موتور با راکتانس پراکندگی $X_1 + X_2$ محدود شده است. بنابراین، رفتار موتور القایی در مقابل یک منبع موج سینوسی در حالت توقف یا راه اندازی در واقع ارزیابی عملکرد هارمونیک است. اگر موتور یک جریان راه اندازی بالایی را بکشد لذا یک جریان هارمونیکی بزرگی به منبع تحمیل می کند. همچنین راکتانس پراکندگی یک موتور رلوکتانسی یا سنکرون، هم جریان هارمونیکی اش را تعیین می کند.

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

اگر موتور ، راکتانس پراکندگی خیلی کمی داشته باشد، ممکنه جریانهای هارمونیکی ، بیش از اندازه جاری شود و موتور را بیش از اندازه گرم کند. اگر V_k مولفه هارمونیک k ام ولتاژ منبع باشد، جریان هارمونیکی استاتور I_k است و داریم:

$$I_k = \frac{V_k}{Z_k}$$

که Z_k امپدانس ورودی هارمونیک kام است.برای هارمونیکهای توالی مثبت و منفی، مدار معادل تقریبی 2-7b صادق است و $Z_k = k(X_1 + X_2)$ پس:

$$I_k = \frac{V_k}{k(X_1 + X_2)} \qquad (2\text{-}41)$$

برای هارمونیک توالی صفر: $Z_k = kX_0$ و $I_k = \frac{V_k}{kX_0}$

معمولاً هارمونیک توالی صفر و هارمونیکهای زوج وجود ندارند، پس کل مقادیر موثر جریان هارمونیک بصورت زیر است:

$$I_{har} = \left[I_5^{\,2} + I_7^{\,2} + I_9^{\,2} + I_{13}^{\,2} + \cdots + I_k^{\,2} + \cdots\right] = \left[\sum I_k^{\,2}\right] \qquad (2\text{-}42)$$

اگر I_1 جریان موثر اساسی موتور باشد، کل جریان موثر استاتور بصورت زیر است:

$$I_{rms} = \left[I_1^{\,2} + I_5^{\,2} + I_7^{\,2} + \cdots + I_k^{\,2} + \cdots\right] = \left[I_1^{\,2} + I_{har}^{\,2}\right] \qquad (2\text{-}43)$$

برای یک شکل موج ولتاژ داده شده، مانده هارمونیک جریان استاتور با پریونیت راکتانس موتور در رابطه است.که X_p راکتانس پراکندگی در فرکانس اساسی است و با کسری از فرکانس پایه بیان می شود.

$$X_{base} = \frac{V_R}{I_{FL}} \qquad (2\text{-}44)$$

که V_R ولتاژ فاز نامی و I_{FL} جریان بار کامل نامی است . بنابراین داریم:

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

$$X_{pu} = \frac{(X_1 + X_2)}{X_{base}} = (X_1 + X_2)\frac{I_{FL}}{V_R} = \frac{I_F}{I_S}\sin\phi_s \qquad (2\text{-}45)$$

که I_S جریان راه اندازی موتور و ϕ_S زاویه ضریب توان موتور است.

در شکل موجهای 6و 12 پالسه، اندازه ولتاژ هارمونیک بصورت معکوس با هارمونیک رابطه دارد. بنابراین:

$$V_k = \frac{V_1}{k}$$

و معادله (2-41) جریان هارمونیک را بصورت زیر می دهد:

$$I_k = \frac{V_1}{k^2(X_1 + X_2)} \qquad (2\text{-}46)$$

اگر ولتاژ اساسی، V_1 برابر ولتاژ نامی V_R باشد خواهیم داشت:

$$V_1 = V_R(X_1 + X_2)\frac{I_{FL}}{X_{pu}}$$

با جایگذاری داریم:

$$I_{kpu} = \frac{I_{FL}}{X_{pu}} = \frac{1}{k^2.X_{pu}} \qquad (2\text{-}47)$$

که I_{kpu} جریان هارمونیک پریونیت بر اساس جریان بار کامل نامی می باشد.

مقاومت استاتور و در نتیجه تلفات مسی استاتور بعلت هارمونیکها کمی افزایش می یابد اما این مقدار افزایش برای موتورهای القایی ایده ال قابل صرفنظر است.افزایش مقاومت روتور همانطور که در شکل 2-6b نشان داده شده است، مشخص است.

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

فصل 3 :

سیکلوکانورتر

(مبدل فرکانس)

WikiPower.ir

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

مقدمه:1-3

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

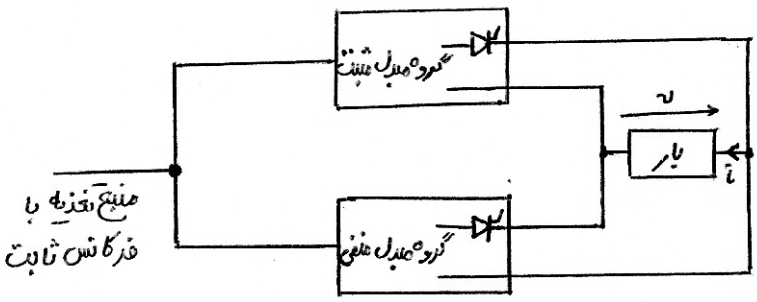
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

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 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.

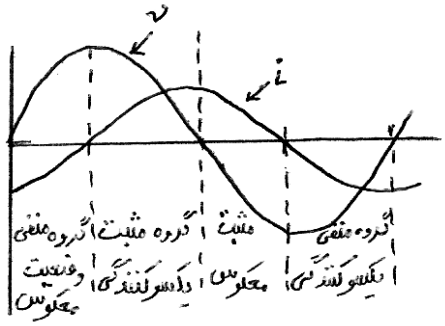
2-3 نحوه عملکرد مبدل کاهنده فرکانس

یک مبدل کاهنده فرکانس مرکب از دو مبدل پشت به پشت مانند شکل الف 1-3 به هم متصل شده اند.



(الف)

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



(ب)

شکل3-1 نقشه عمومی مبدل کاهنده فرکانس الف)نمایش بلوک دیاگرامی ب)شکل موج ایده آل بار

شکل موجهای بار در شکل ب3-1 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).

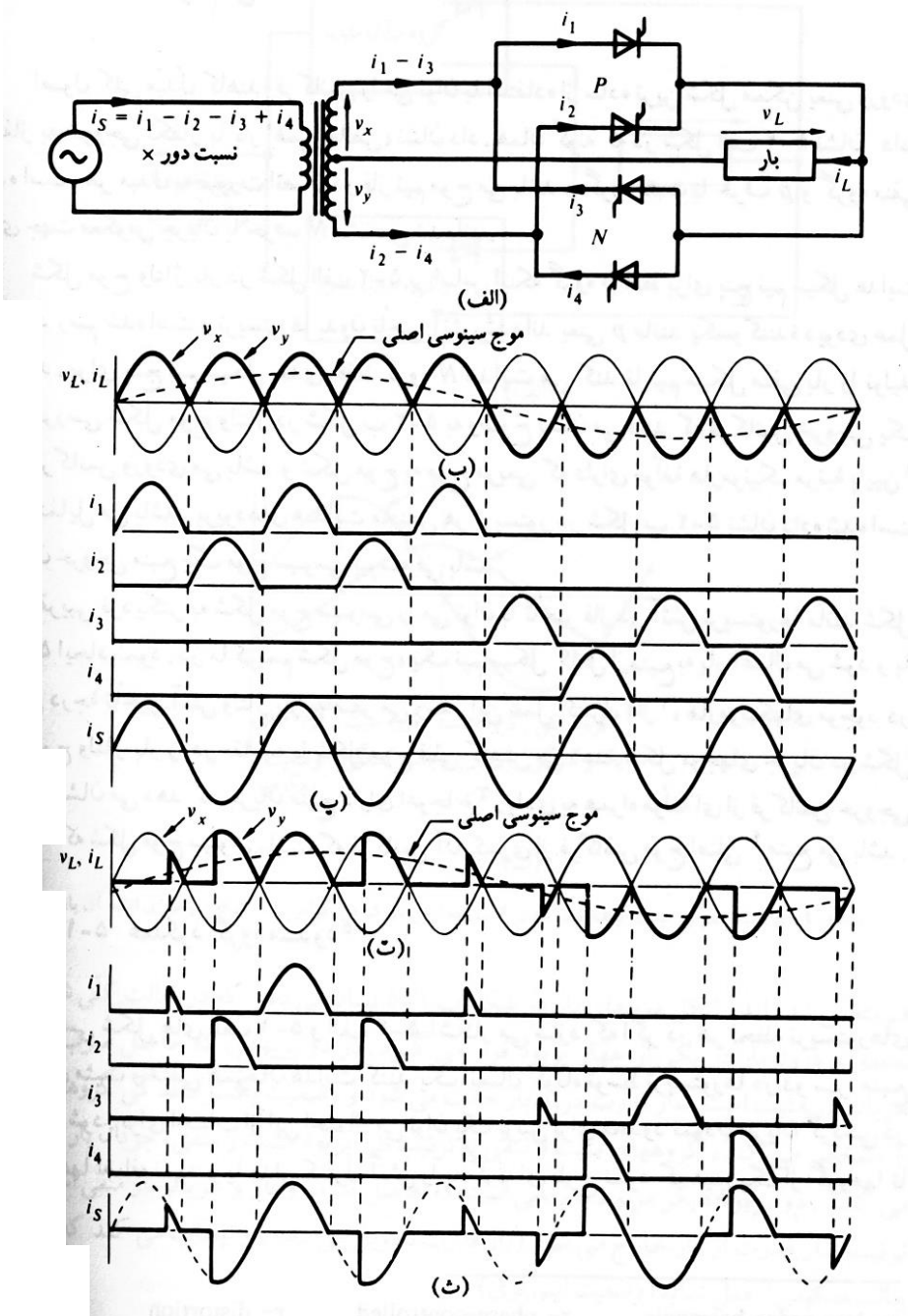
اصول کلی مبدل کاهنده فرکانس را می توان با استفاده از ساده ترین شکل ممکن یعنی ورودی تکفاز به خروجی تکفاز با بار اهمی خالص نشان داد. همان گونه که در شکل الف-3 2 نشان داده شده است هر مبدل بصورت اتصال دوفاز نیم موج می باشد و گروه مثبت با حرف p و گروه منفی برای جهت معکوس جریان با حرف N مشخص شده اند.

شکل موج ولتاژ بار در شکل الف3-2 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

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

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 ب2-3 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 پ2-3 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 ت2-3 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 موجهای جریان در شکل ث2-3 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.

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



شکل 3-2 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.

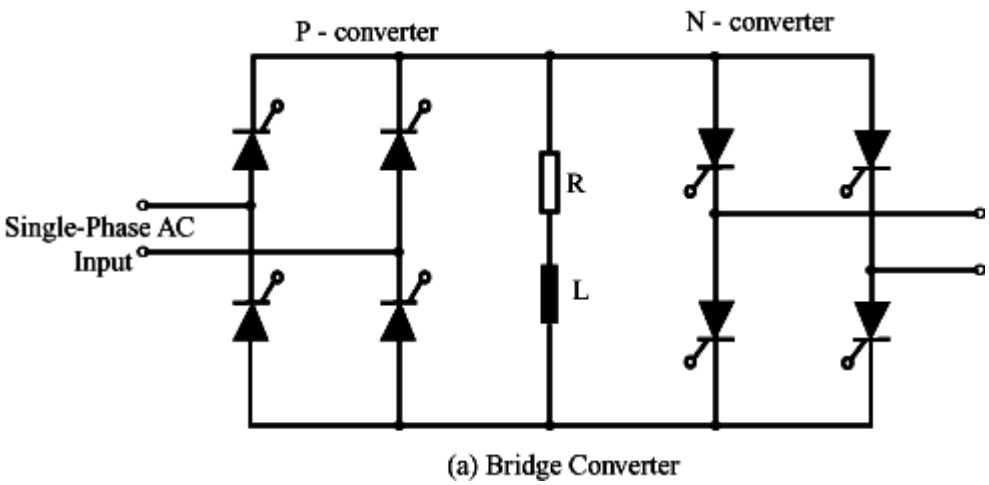
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

3-3سیکلوکانورتر 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 یک سیکلوکانورتر، 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.

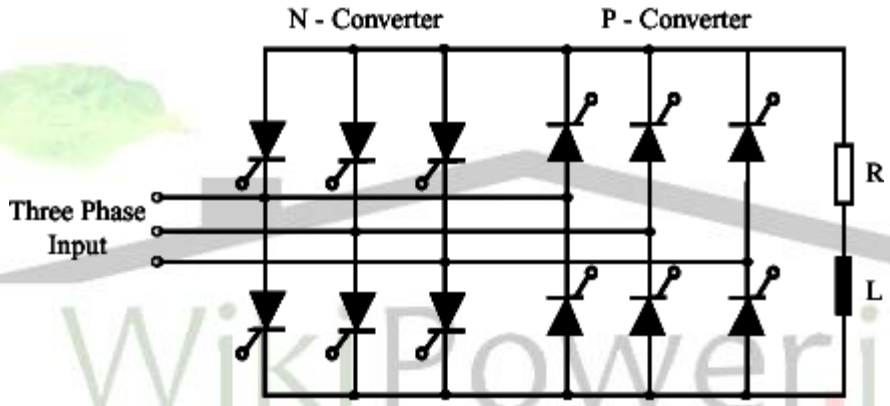
سیکلوکانورتر را می توان با توجه به کیفیت خروجی مورد نظر و تعداد فازهای مورد نیاز، برای خروجی تکفاز یا سه فاز طراحی کرد. خروجی تکفاز را می توان از یک ورودی تکفاز مانند شکل 3-3aیا از یک ورودی سه فاز مانند شکل 3-3c بدست آورد. اما سیکلوکانورتر سه فاز به تکفاز در مقایسه با سیکلوکانورتر تکفاز به تکفاز هارمونیک کمتری دارد.

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



(a) Bridge Converter

شکل3-3aسیکلوکانورتر تکفاز به تکفاز

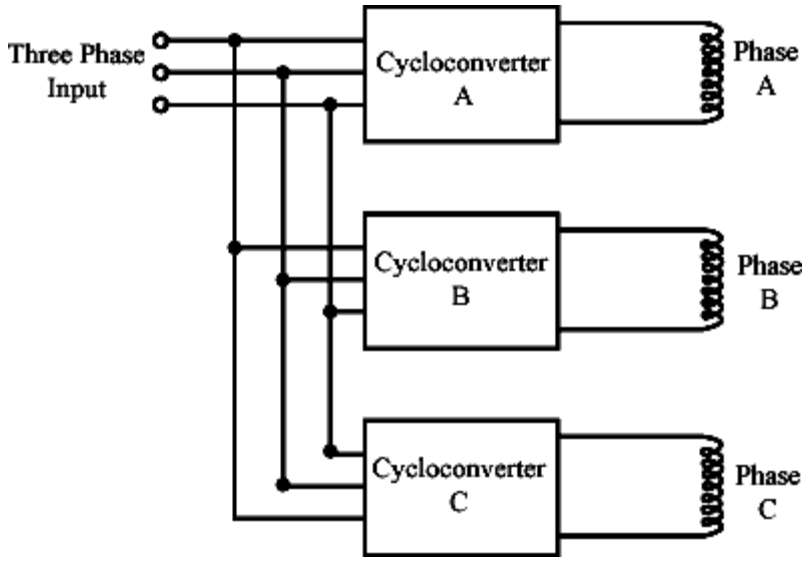


(b) Bridge Converters

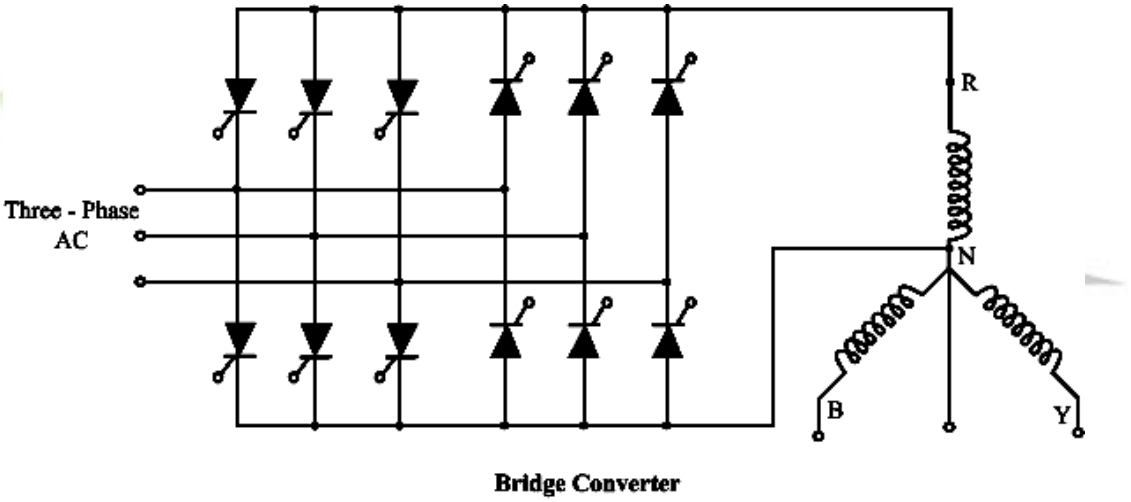
شکل3-3c سیکلوکانورتر سه فاز به تکفاز

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 3-4a 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

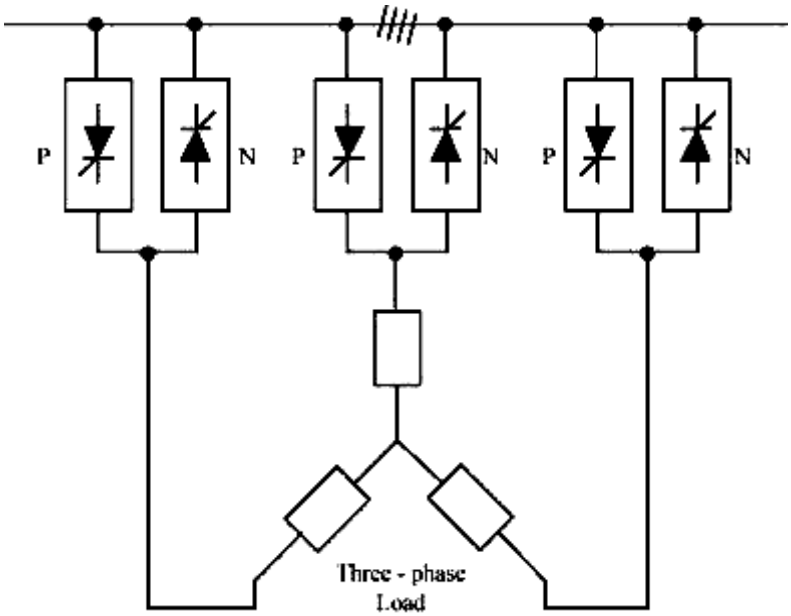


شکل 3-4a مدار معادل سیکلوکانورتر سه فاز به سه فاز



شکل 3-4b 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 3-4b مدار پل سیکلوکانورتر سه فاز به سه فاز

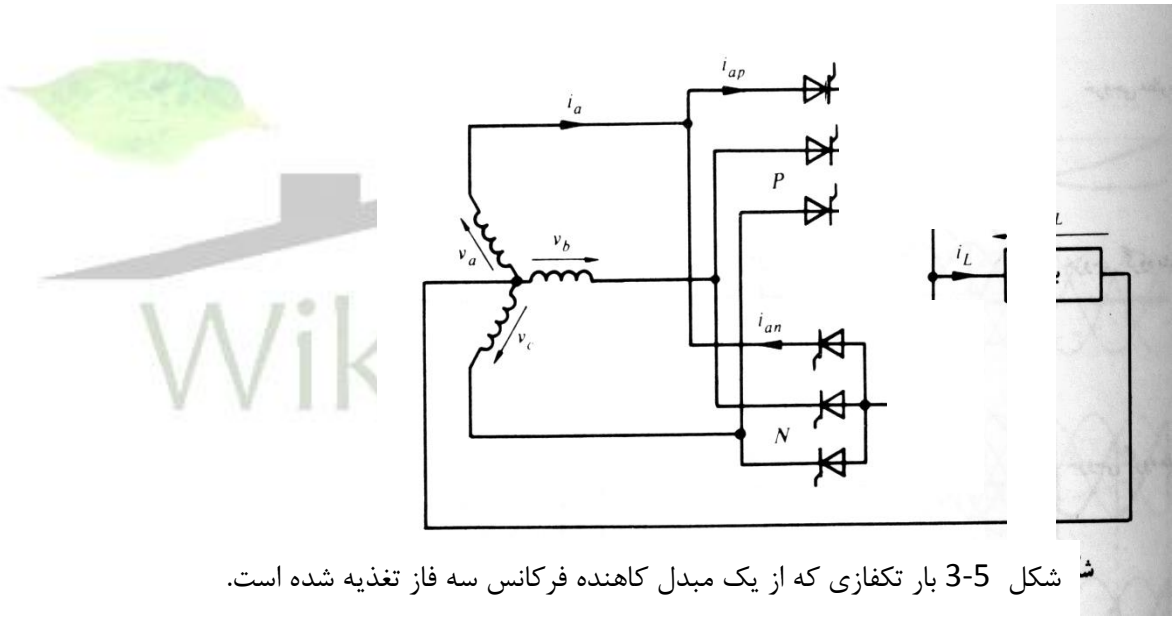
فرکانس خروجی یک سیکلوکانورتر با کموتاسیون خط، مضربی از فرکانس ورودی است که معمولاً به $\frac{1}{3}$ فرکانس ورودی محدود می شود. بعبارت دیگر فرکانس خروجی از 0 تا $\frac{1}{3}$ فرکانس ورودی متغیر است تا هارمونیکهای ولتاژ خروجی را در حد معقولی نگه دارد.با این حال، اگر از یک سیکلوکانورتر برای افزایش فرکانس 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.

4-3 عملکرد گروه مسدود

بررسی شکل های الف3-1 و الف3-2 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 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 3-5 و شکل موجهای مربوط به آن در شکلهای 3-6 تا3-7به سادگی می توان توضیح داد.



شکل 3-5 بار تکفازی که از یک مبدل کاهنده فرکانس سه فاز تغذیه شده است.

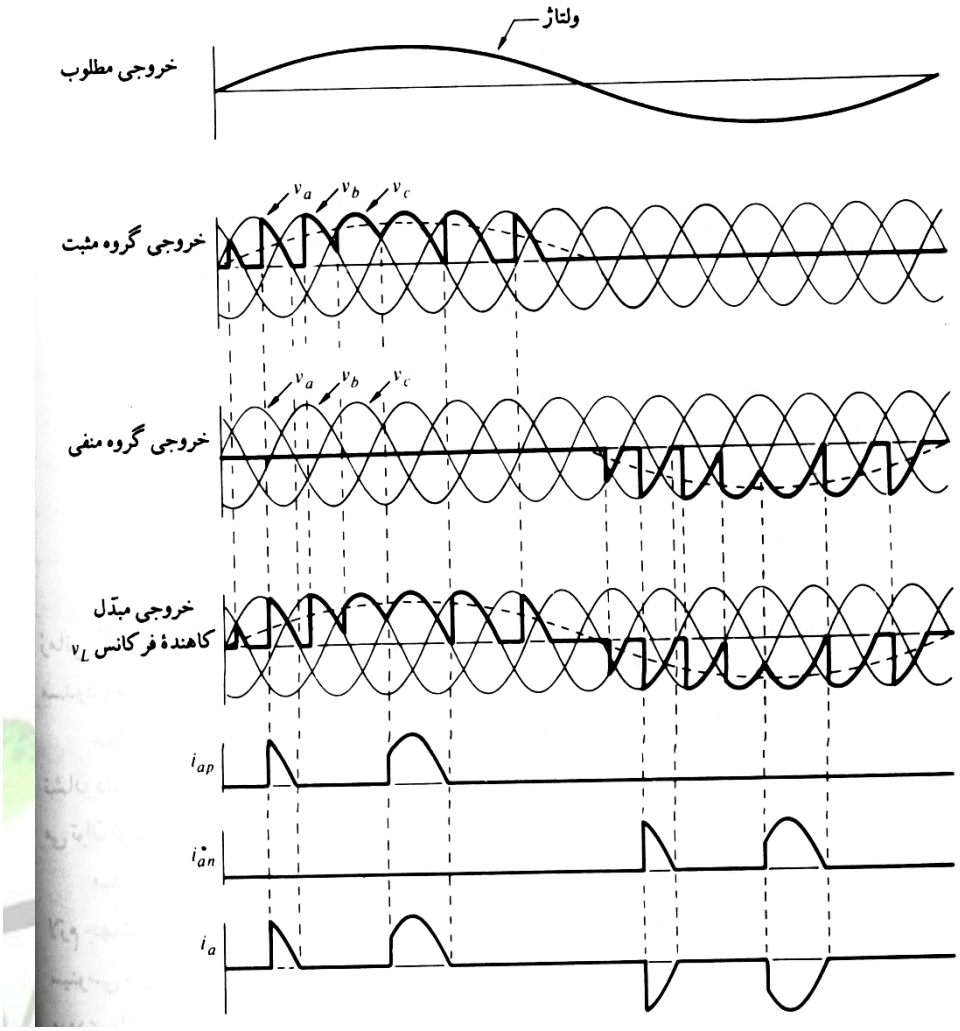
مبدل کاهنده فرکانس را برای تغذیه یک بار مقاومتی خالص در نظر بگیرید. شکل موجهای لازم جهت دستیابی به ماکزیمم ولتاژ خروجی در شکل 3-6 نشان داده شده است. ولتاژ مطلوب سینوسی در خروجی با فرکانسی رسم شده است که یک سیکل خروجی دقیقا کمتر از پنج سیکل ورودی باشد. تریستورها در زوایایی آتش می شوند که نزدیکترین شکل موج ممکن به موج سینوسی اصلی ایجاد شود.چون بار مقاومتی است شکل موجهای ولتاژ دارای

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

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 حالت بار سلفی شکل موجها در شکل 3-5 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 کندپریودهای 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 3-1 توضیح داده شده است نیز در شکل موجها در نظر گرفته شود.

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



شکل 3-6 شکل موجها در حالت ماکزیمم ولتاژ و بار مقاومتی خالص

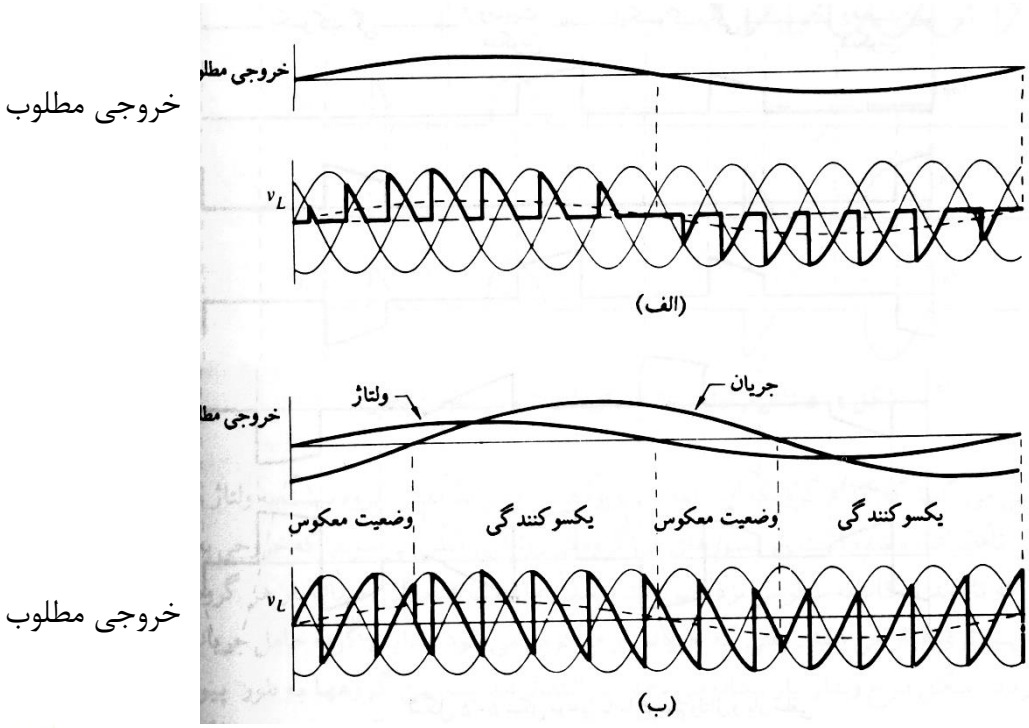
شکل 3-7 ، شکل موجهای خروجی مبدل کاهنده فرکانس را برای تغذیه یک بار سلفی و در حالت ماکزیمم ولتاژ نشان می دهد. در این حالت وقتی $0^\circ < \beta < 180^\circ$ تغییر کند، نیم سیکل مثبت ولتاژ خروجی ایجاد می شود و برای ایجاد نیم سیکل بعدی باید $180^\circ < \beta < 360^\circ$ باشد. زاویه β بطور پیوسته برای 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 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 3-7 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.

WikiPower.ir

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



شکل 3-7 شکل موجها وقتی که ولتاژ بار در نصف ماکزیمم می باشد الف)بار مقاومتی خالص ب) بار سلفی، جریان پیوسته

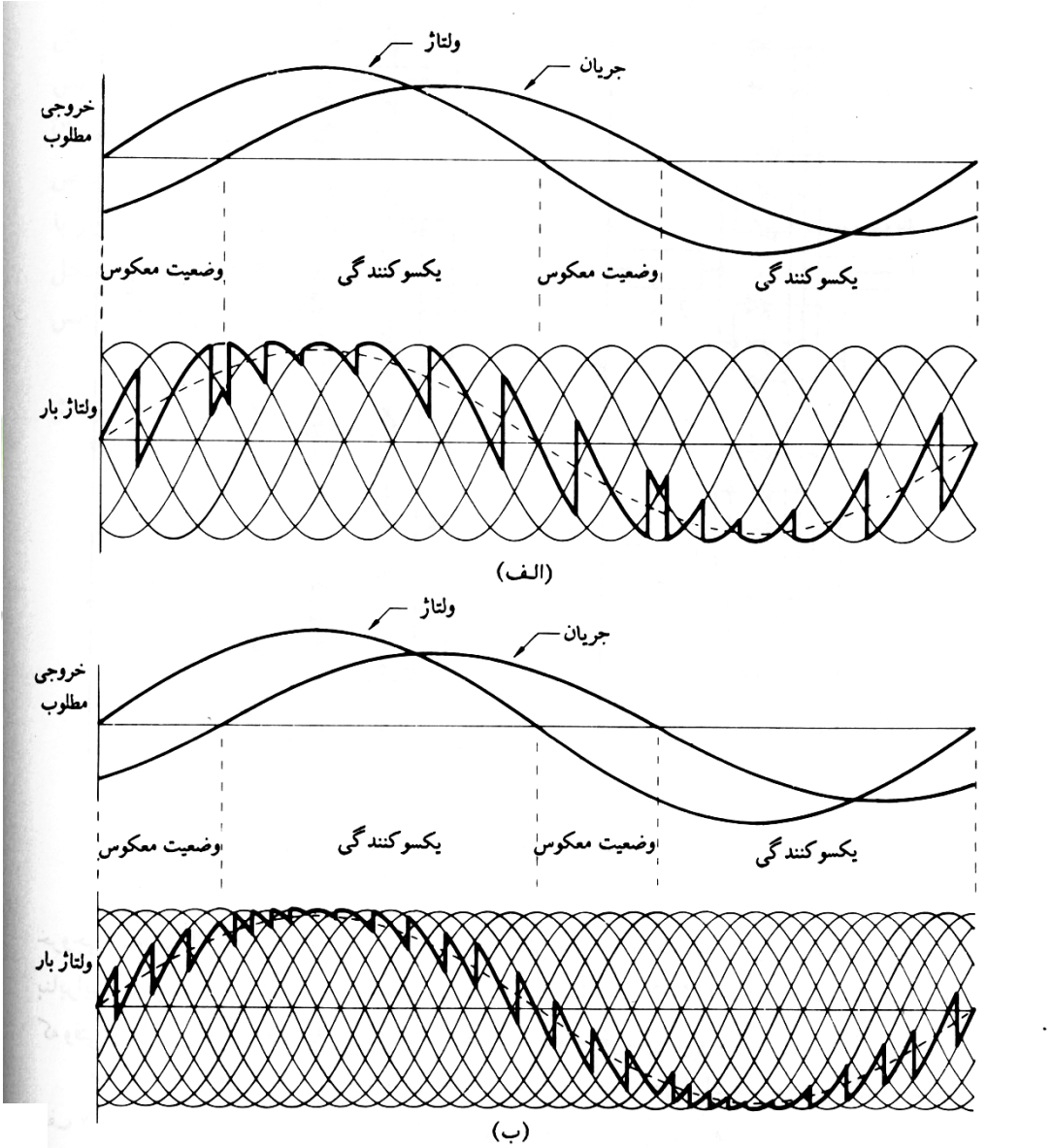
اما همانگونه که در شکل 3-7 نشان داده شده است با تاخیر زاویه آتش می توان در ولتاژ خروجی کاهشی ایجاد نمود. در اینجا چون زاویه آتش حتی در نوک ولتاژ خروجی تاخیر یافته است بنابراین کنترل دامنه ولتاژ خروجی ممکن می باشد. مقایسه شکل 3-7 با شکل 3-6 نشان می دهد که وقتی ولتاژ خروجی کاهش یابد ریپل موجود در شکل موج افزایش می یابد.

مبدل کاهنده فرکانس سه پالسه برای تغذیه یک بار سه فاز را می توان جمعا با 18تریستور ساخت.

مثالهایی از شکل موجهای خروجی مبدل کاهنده فرکانس برای تعداد پالس بیشتر با فرکانس یک سوم فرکانس ورودی در شکل 3-8 نشان داده شده است. از این شکل موجها

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

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.



شکل3-8 شکل موجهای ولتاژ بار مبدل کاهنده فرکانس با ضریب قدرت پس فاز الف) اتصال شش پالس ب) اتصال دوازده پالس

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

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 :

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

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

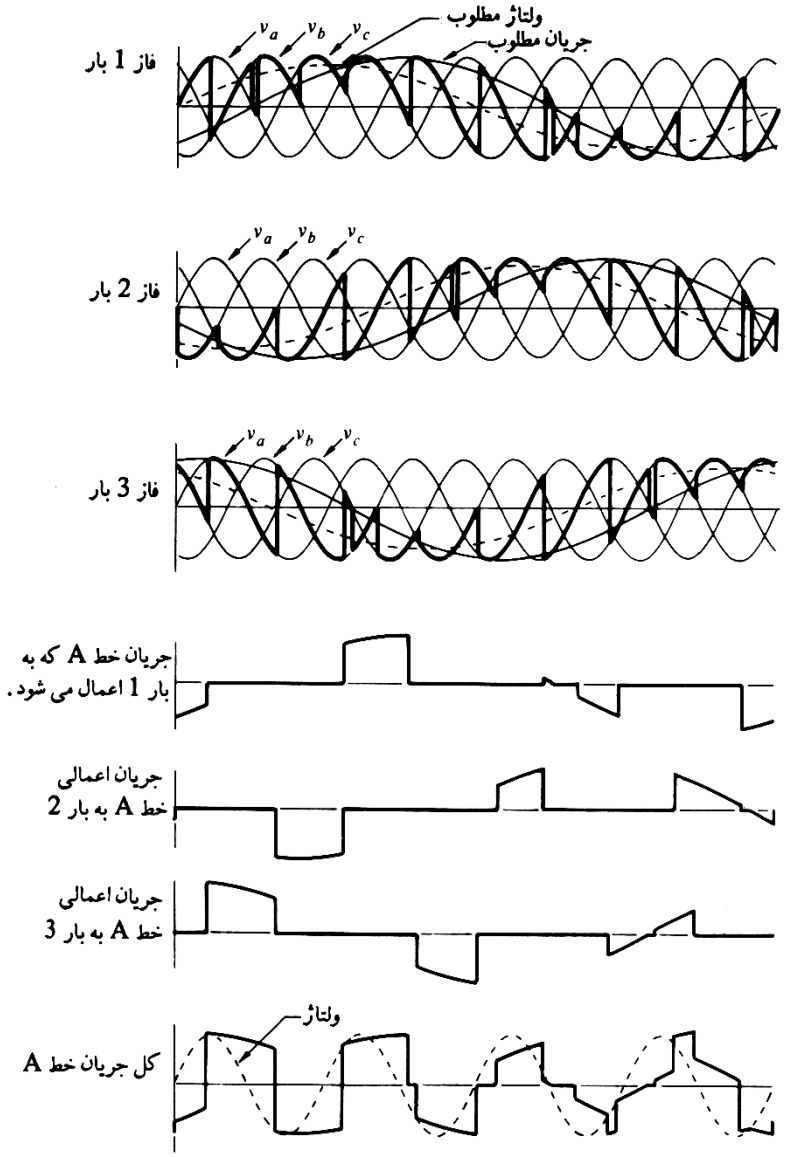
$$V_o(\max) = \frac{p}{\pi} Sin \frac{\pi}{p} V_s(\max) Cos\alpha$$

وقتی که مبدل کاهنده فرکانس سه پالسه مانند شکل 3-7 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 3-9 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 باشدبه 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

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

آتش شوند. در نتیجه جریان ورودی منبع ac همیشه نسبت به ولتاژ مطلوب تاخیر فاز خواهد داشت.



شکل ۱ شکل 9-3نمایش کل جریان ورودی با مبدل کاهنده فرکانس سه پالسه و بار سه فاز با ضریب قدرت پس فاز

5-3 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

1-5-3 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.

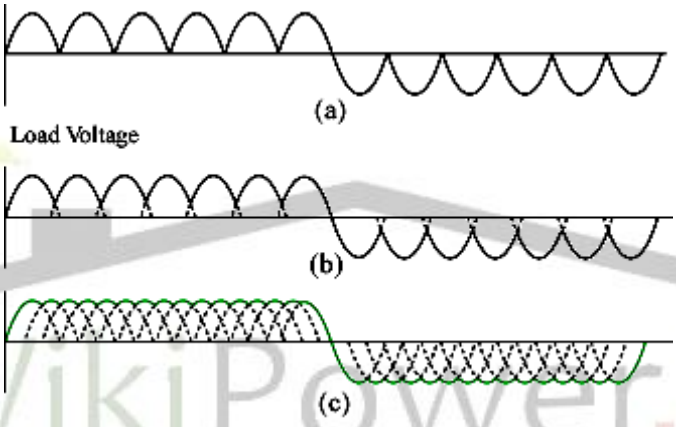
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

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:

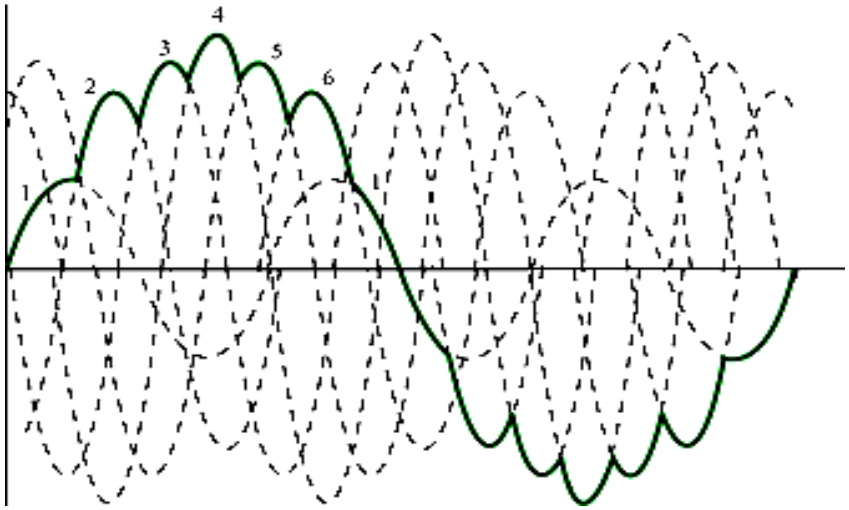
$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{1}{1+\frac{2(n+1)}{P}}$$

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.



شکل3-10 شکل موجهای مربعی مبدل کاهنده فرکانس پوش (a) 2 پالسه (b) 3 پالسه (c) 6 پالسه



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

شکل 11-3 مبدل کاهنده فرکانس پوش با نوسان کم

6-3 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:

- 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.

7-3 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.

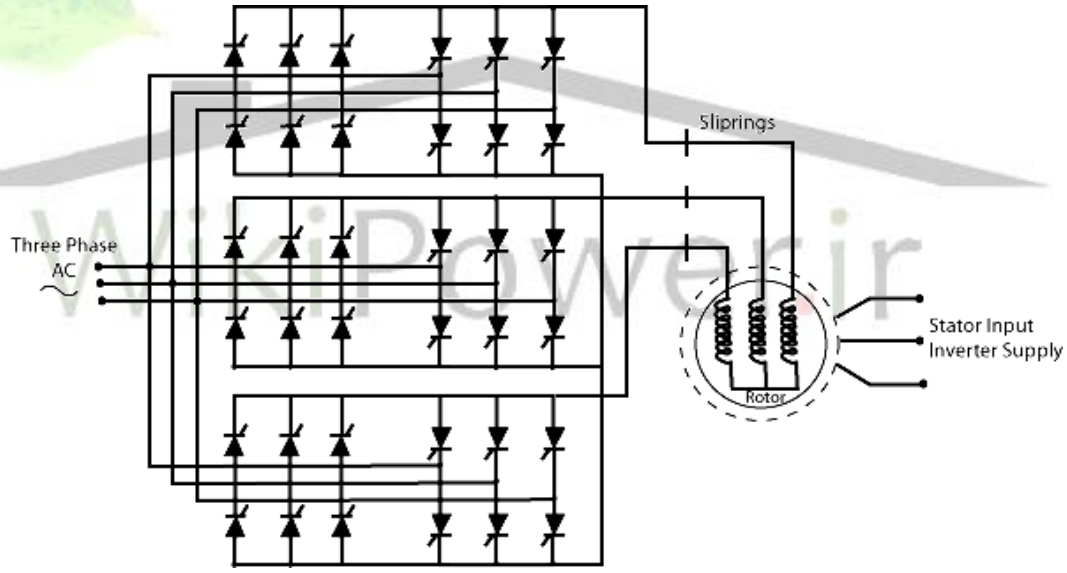
شکل 3-12 یک موتور القایی روتور سیم پیچی شده و یک سیکلوکانورتر سه فاز به سه فاز که به سیم پیچی روتور متصل شده است را نشان می دهد. استاتور موتور از یک اینورتر *PWM* تغذیه شده است.

شکل 3-13 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

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

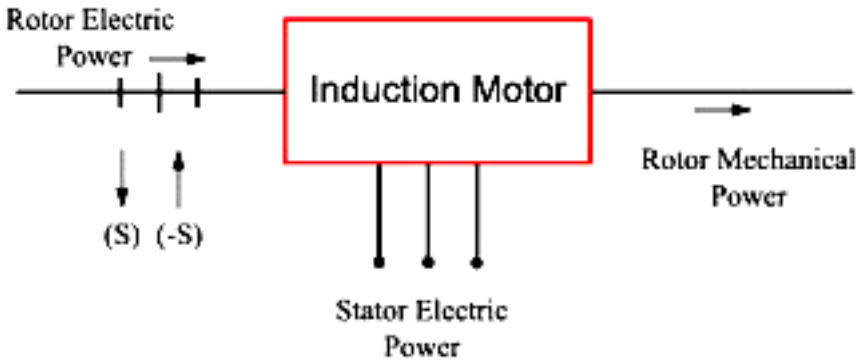
می دهد. در ناحیه زیر سنکرون بخشی از توان ورودی استاتور در روتور تلف می شود، بخش دیگر به توان مکانیکی تبدیل می شود و باقیمانده توان بعنوان انرژی لغزش بازیافت شده به خط اصلی جاری می شود.

از طرف دیگر در ناحیه فوق سنکرون ، توان از خط AC در پایانه حلقه های لغزان موتور جاری می شود. شکل 3-12 بیانگر این موضوع است. شکل 3-13 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.

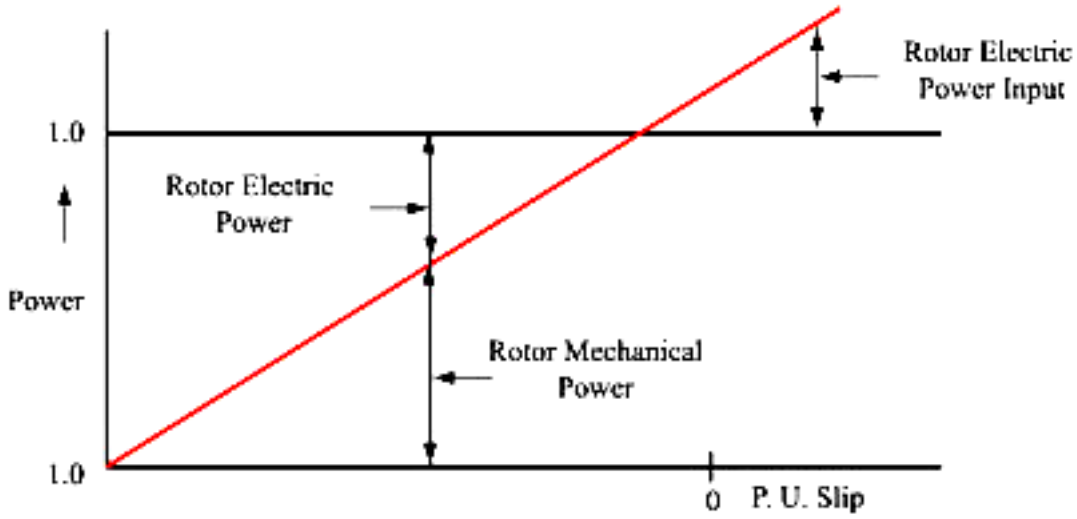


شکل 3-12مدار سیکلوکانورتر باموتور القایی دوتغذیه ای

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

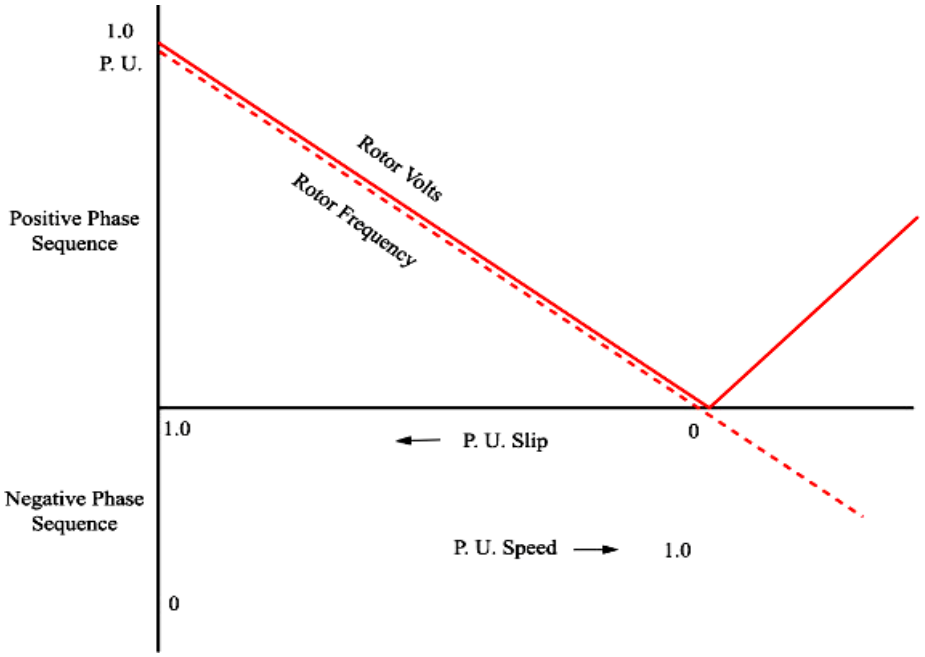


WikiPower.ir

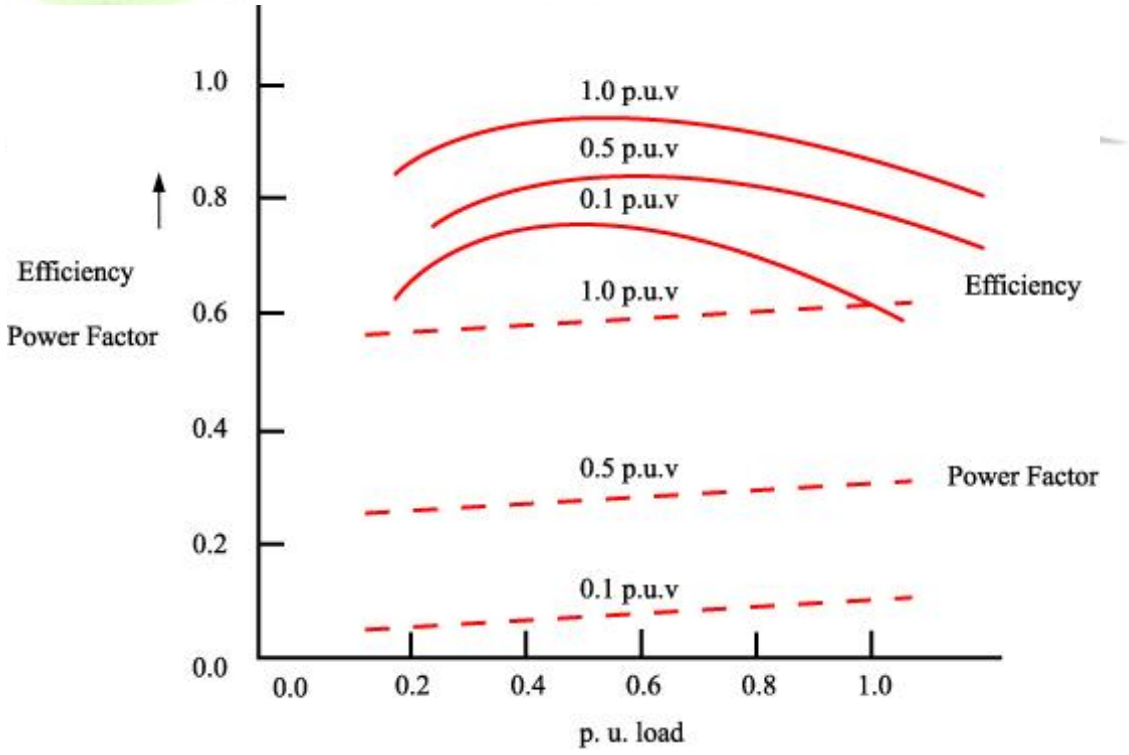


شکل 13-3دیاگرام عبور توان موتور القایی روتور سیم پیچی شده دو تغذیه ای

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



شکل 3-14تغییرات ولتاژ و فرکانس روتور



شکل 3-15 تغییرات بار بر حسب ضریب توان و بازده

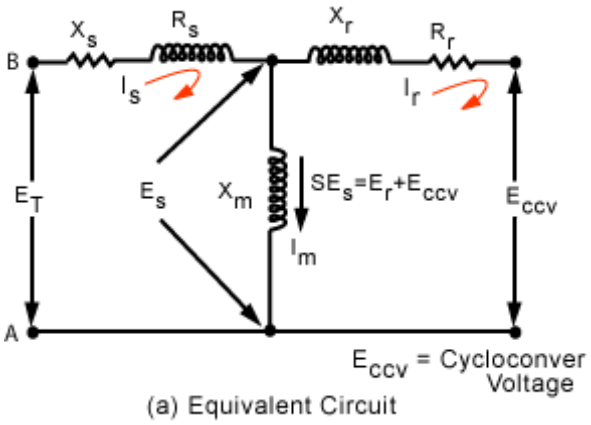
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

1-7-3 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 3-15 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.

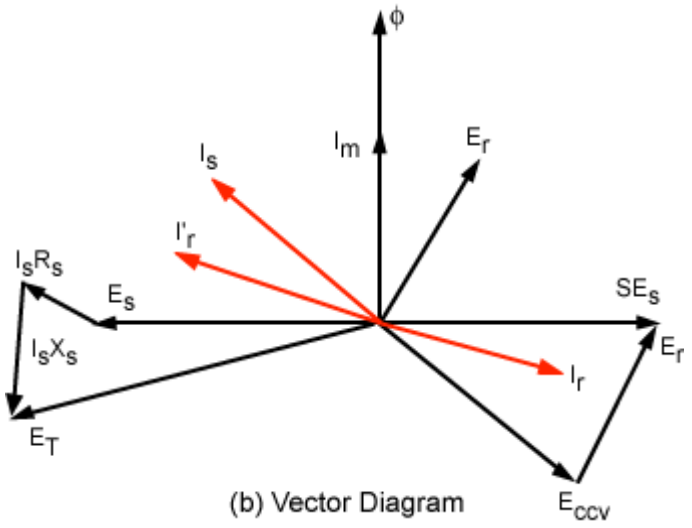
- تلفات بی باری کمتر از 1% قدرت نامی
- تلفات بار کامل کمتر از 4/5% قدرت نامی

مدار معادل بر فاز و همچنین دیاگرام فازوری موتور القایی دو تغذیه ای در شکلهای 3-16 نشان داده شده است.



شکل 3-16مدار معادل موتور القایی دو تغذیه ای

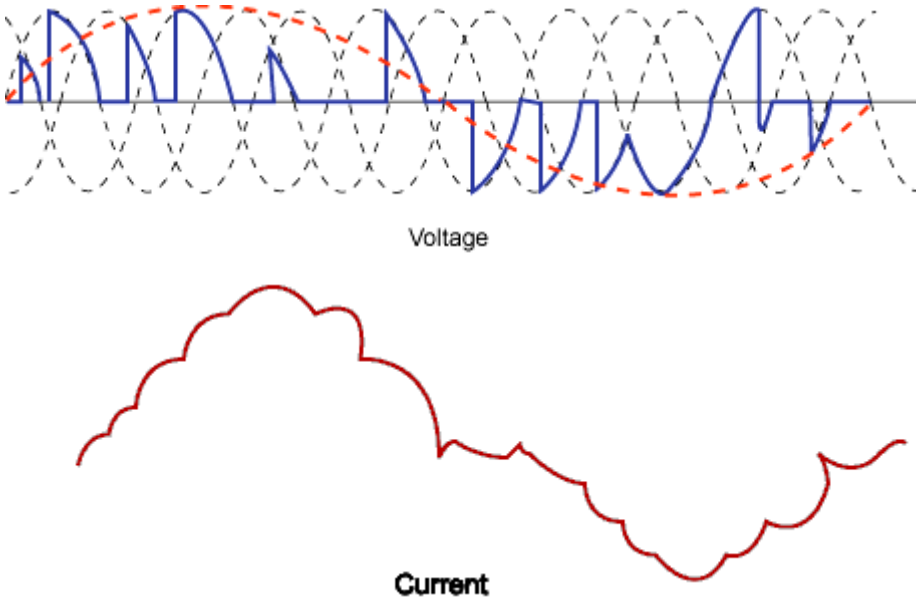
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل 3-17 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 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 پیچی روتور 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.

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



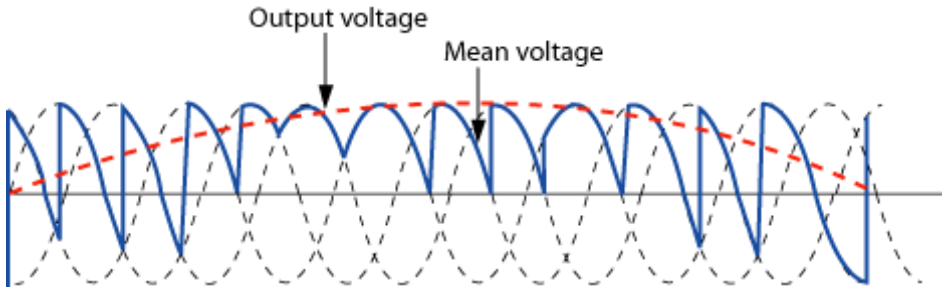
شکل 3-18 موجهای پایانه سیکلوکانورتر در ضریب توان واحد

3-7-2شکل موجهای ولتاژ و جریان:

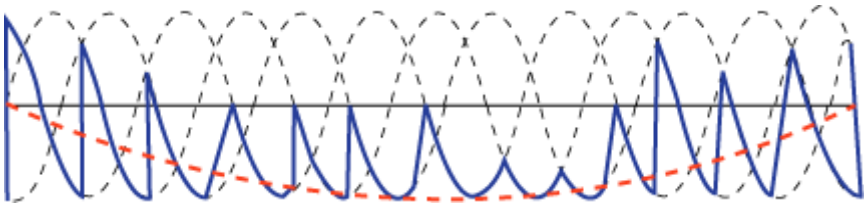
شکل 3-18 موجهای ولتاژ و جریان را در پایانه های سیکلوکانورتر یا حلقه های لغزان *WRIM* را در ضریب توان واحد نشان می دهد. با توجه به اینکه معمولاً ضریب توان واحد در درایو موتور القایی یک تغذیه ای وجود ندارد صریحاً می توان ثابت کرد که سیکلوکانورتر با اعمال ولتاژ E_{ccv} ، تا حدی که ضریب توان در ترمینالهای 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. شکل3-19 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.شکل3-21 مدار قدرت سه فاز به تکفاز سیکلوکانورتر را نشان می دهد.

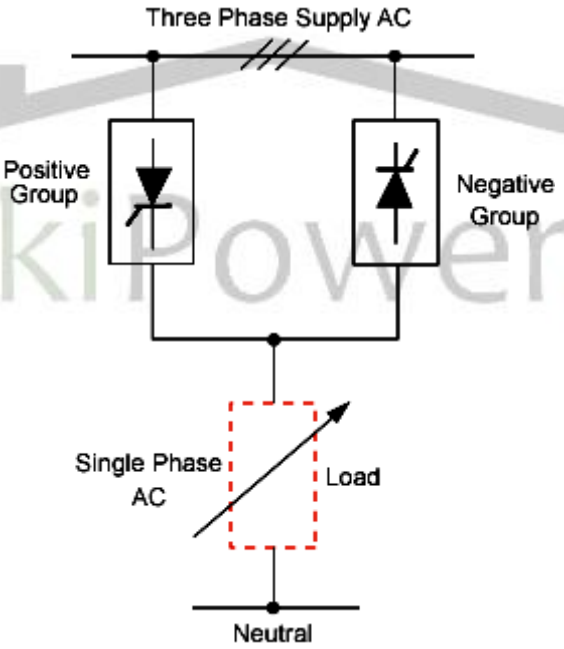
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل 3-19تغییر سینوسی ولتاژ خروجی متوسط در طی یکسوکنندگی



شکل 3-20تغییر سینوسی ولتاژ خروجی متوسط در طی اینورتری



شکل 3-21 منبع ac سه فاز

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

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

شکل موج های ولتاژ و جریان

شکل 3-18 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.

و شکل 3-19 و 3-20 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 3-21 مدار قدرت سه فاز به تکفاز سیکلوکانورتر را نشان می دهد.

3-8خصوصیات 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.

9-3 اثرات اندوکتانس منبع بر عملکرد سیکلوکانورتر

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

- اندوکتانس منبع باعث تاخیر شدید کموتاسیون می 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.

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

- 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.

10-3 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 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.

1-10-3 ضریب توان:

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

- کنترل توان راکتیو

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

- 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.

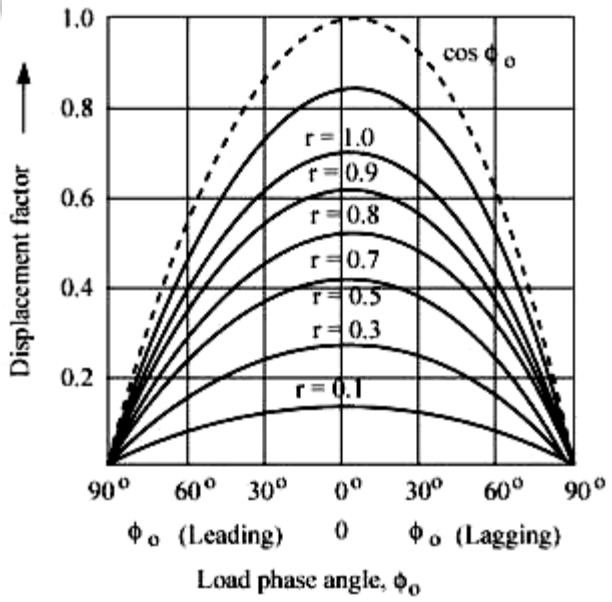
ضریب جابجایی در ضریب توان واحد ماکزیمم است. بعلاوه، همچون افزایش زاویه جابجایی بار، زاویه جابجایی ورودی هم صرفنظر از پس فاز یا پیش فاز بودن ضریب توان بار افزایش می یابد. ضریب جابجایی یا کاهش در ولتاژ مبدل کاهش می یابد . ضریب جابجایی در

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

ورودی بعنوان تابعی از زاویه امپدانس بار در شکل 3-22 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 3-22 تغییر ضریب جابجایی ورودی برای یک سیکلوکانورتر کنترل شده با فاز

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

11-3روابط مداری سیکلوکانورتر:

روابط ضریب توان و جابجایی:

روابط ریاضی ضریب جابجایی سیکلوکانورتر بصورت زیر است:

$$\text{ضریب توان } \lambda = \frac{\text{توان اکتیو ورودی}}{\text{توان ظاهری کل}}$$

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

$$\text{ضریب اعوجاج } \mu \equiv \frac{\text{جریان موثر اساسی}}{\text{جریان موثر کل}}$$

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

- 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.

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

12-3 مزایا و معایب سیکلوکانورتر:

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.
- 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.

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

- 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 4 :

اینورترهای با مدولاسیون پهنای پالس

WikiPower.ir

مقدمه:4-1

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 متغیر مقداری 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 نباشدمی 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 باشد با 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 باشدولی 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 کلیدزنیهارمونیکهای ولتاژ خروجی را بطورچشمگیری کاهش داد.

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 زغالیسلول 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.

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

4-2دسته بندی اینورترها:

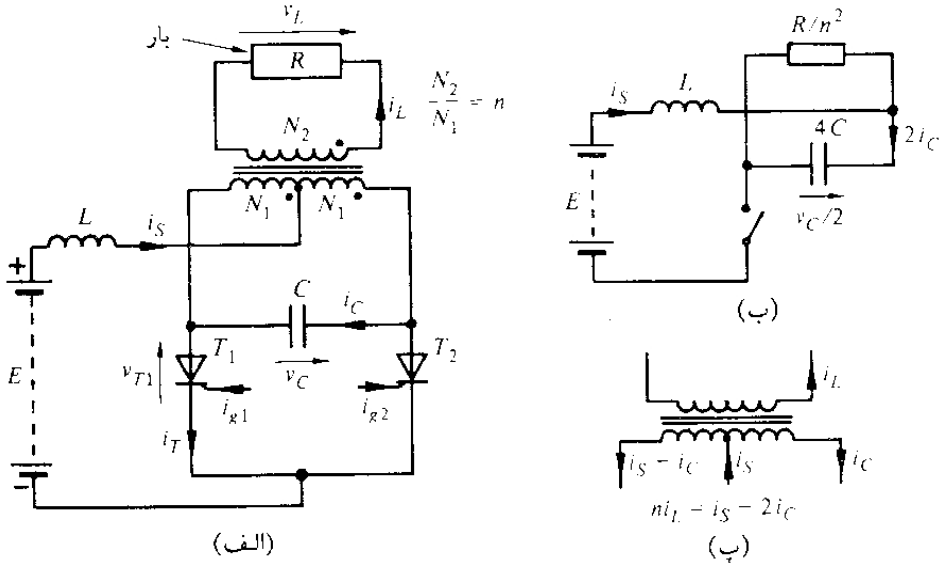
اینورترها را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: 1) اینورترهای تکفاز 2) اینورترهای سه فاز

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 باشداینورتر با اتصال dc متغیر نامیده می شود.

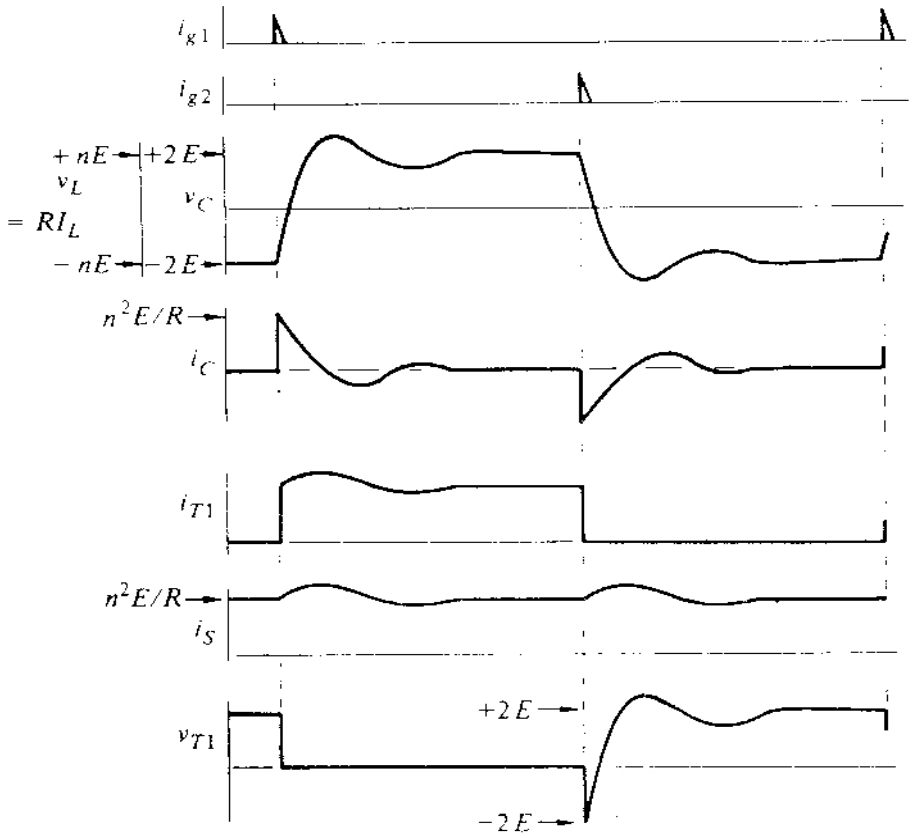
4-2-1 اینورتر تکفاز باسر وسط:

ولتاژ متناوب بار را می توان از یک منبع dc با استفاده از ترانسفورمر با سر وسط مانند شکل 4-1 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 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.



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



(ت)

شکل 4-1 :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

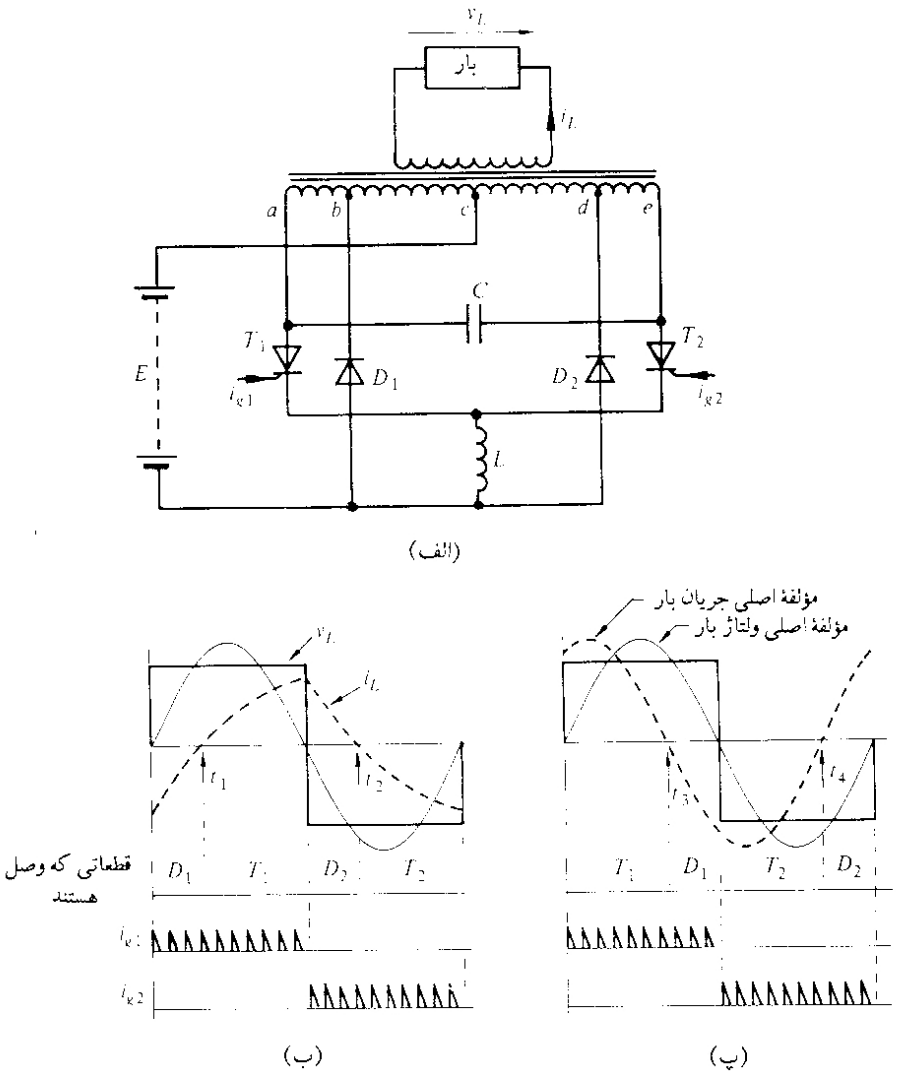
برای بارهایی غیر از مقاومتی خالص جریان بار با ولتاژش اختلاف فاز خواهد داشت.در این شرایط برای فیدبک کردن انرژی ذخیره شده در بار در مدتی که جریان نسبت به ولتاژ معکوس می شود از دیودهای فیدبک استفاده می شود. وقتی بار سلفی است مطابق شکل جریان داری صعود و نزول است.وقتی T_1 روشن است جریان از c به a برقرار می شودیعنی

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

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 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.

WikiPower.ir

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



شکل 2-4 :عملکرد بارهای راکتیو الف)اینورتر با سر وسط با دیودهای فیدبک ب) بار با ضریب قدرت پس فاز پ) باربا ضریب قدرت پیش فاز

2-2-4 اینورتر پل تکفاز:

مدار اصلی اینورتر پل تکفاز بدون عناصر کموتاسیون کننده در شکل 4-3 رسم شده است. با آتش کردن تریستور مکمل T_4 تریستور T_1 خاموش می گردد.اگر بار سلفی باشد جریان

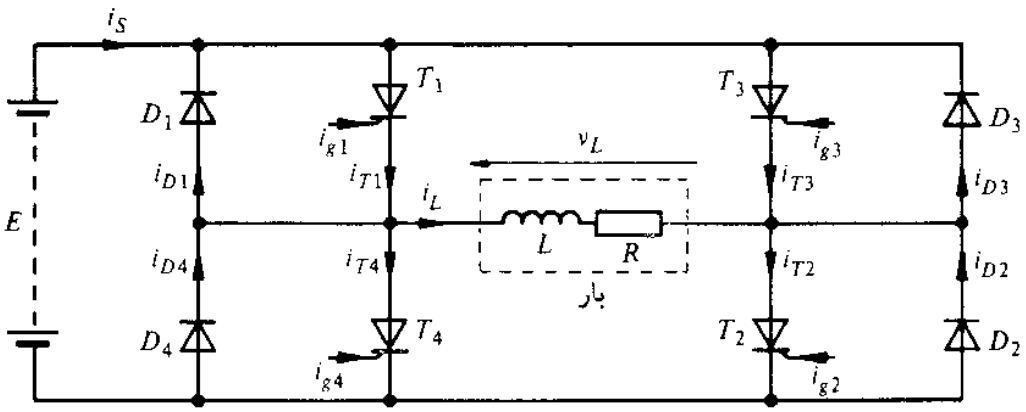
بار بلافاصله معکوس نمی شود بنابراین وقتی کموتاسیون کامل می گردد هدایت T_4 قطع و جریان بار به دیود D_4 منتقل می گردد.

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 ولتاز 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_4 Φ درجه قبل از رشته پالس مربوط به T3 وT_2 شروع می شود.

درلحظه ای کهT_4 برای 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.

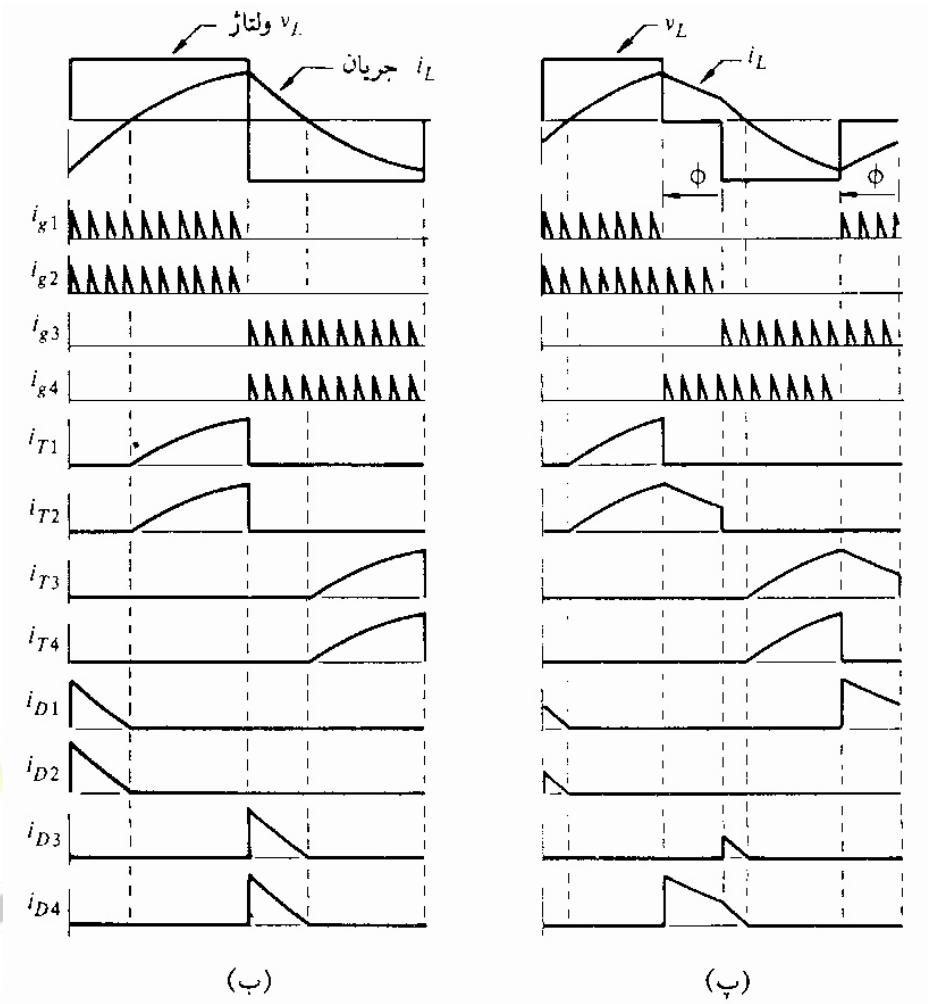
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(الف)

WikiPower.ir

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

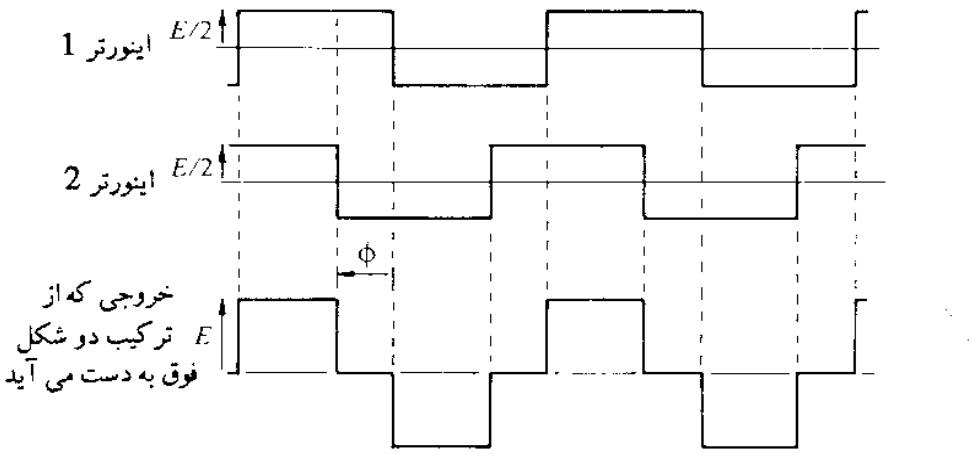


WikiPower.ir

شکل3-4 مدار اصلی اینورتر پل تکفاز الف)مدار ب) موج خروجی مربعی شکل پ) خروجی شبه مربعی

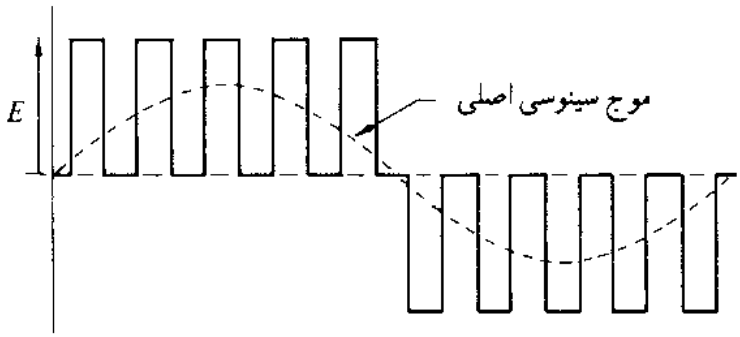
روش دیگر تولید موج شبه مربع با پهنای قابل کنترل ترکیب(جمع) خروجیهای مربعی شکل دو اینورتر که نسبت به هم باندازه Φ شیفت داده شده اند می باشد سطح ولتاژ موج شبه مربعی با پهنای پالس ثابت را می توان بوسیله کاهش ولتاژ منبع dc کنترل نمود.

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



شکل 4-4 : ترکیب خروجی دو اینورتر با اختلاف فاز تولید موج شبه مربعی

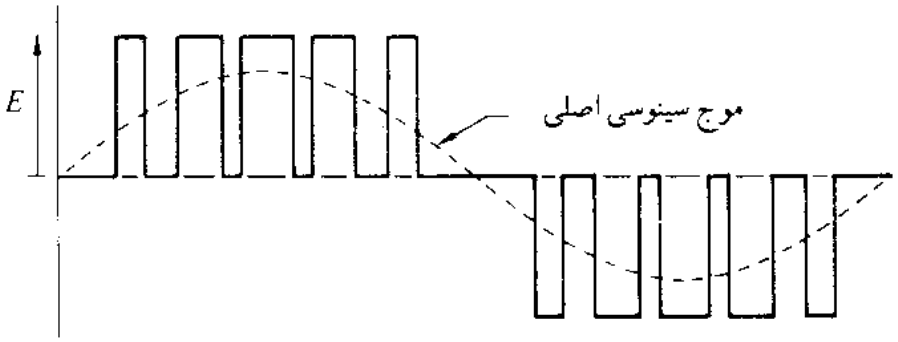
روش دیگر کنترل ولتاژ شکاف دار کردن شکل موج مربعی است. تریستورهای مدار اینورتر بطور متناوب روشن و خاموش می شوند تا پریودهای صفر با طول یکسان ایجاد شود. منبع dc با سطح ولتاژ ثابت E می باشد.



شکل 4-5 : اینورتر با کنترل جهت تولید شکل موجهای شکاف دار

یک راه بهبود شکل موج شکاف دار مانند شکل 4-6 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

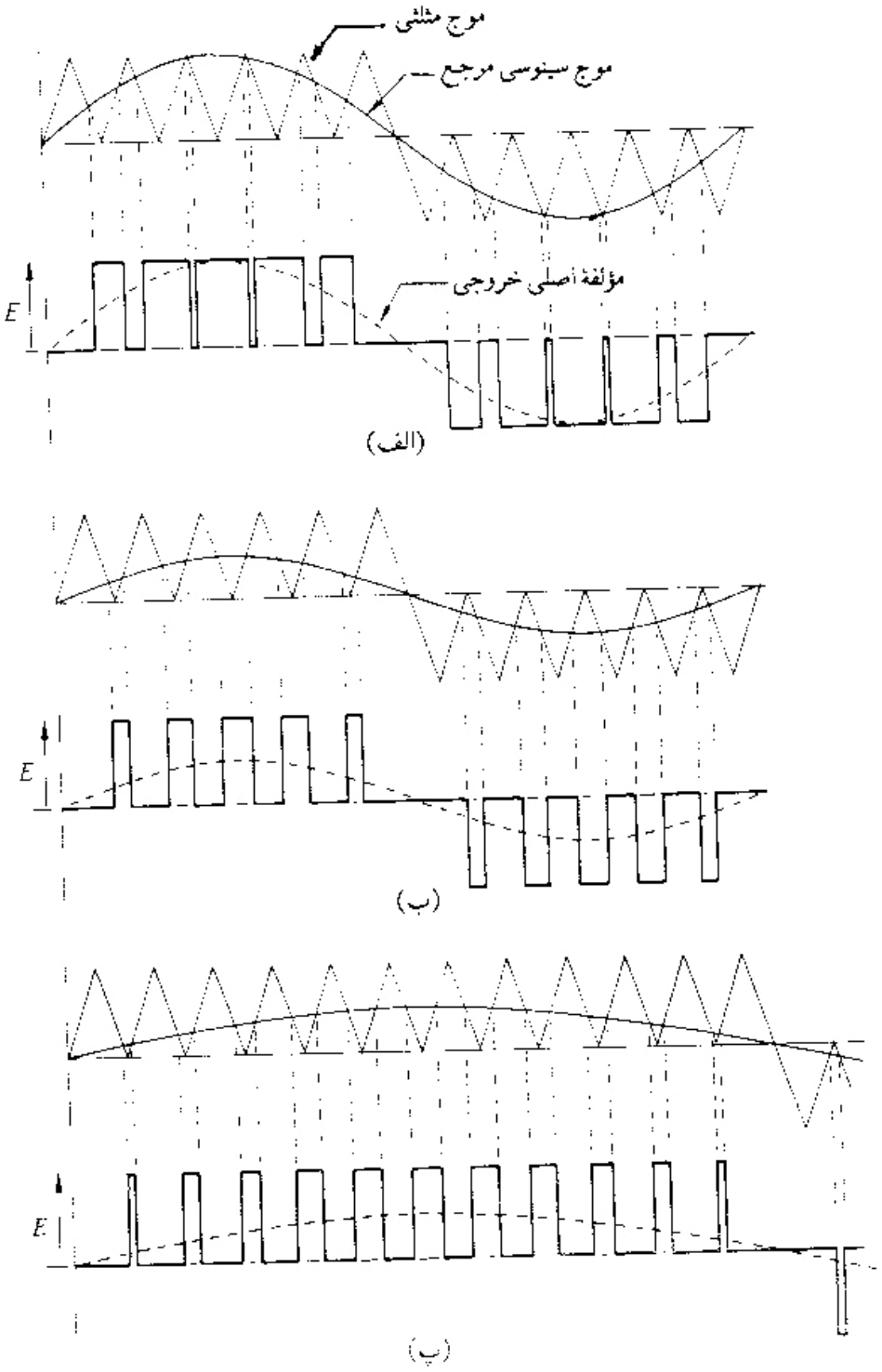


شکل 6-4: اینورتر کنترل شده جهت تولید شکل موج مدوله شده پهنای پالسی

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 7-4 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

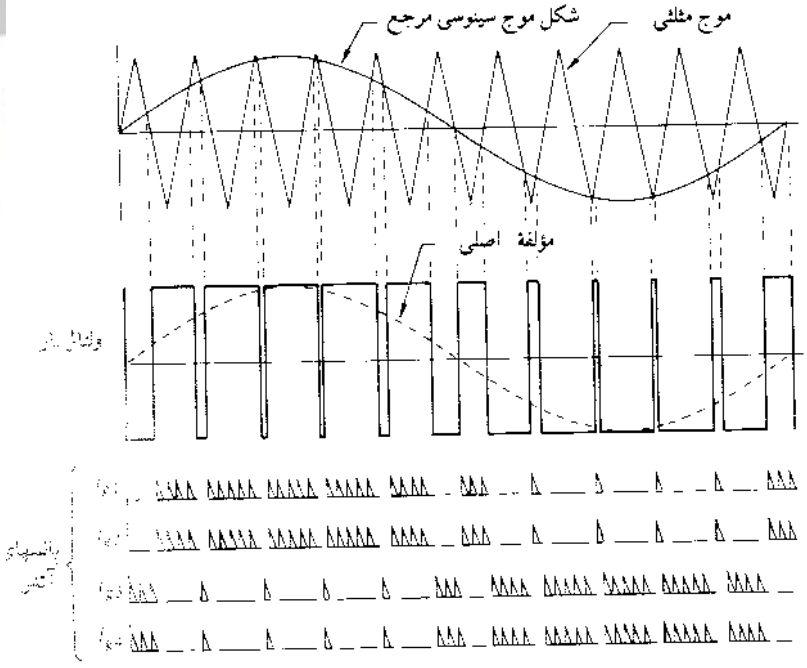


شکل 7-4: تعیین لحظات آتش برای موج مدوله شده با مدولاسیون پهنای پالس الف)در ماکزیمم ولتاژ خروجی ب) نصف ماکزیمم پ) نصف ولتاژ و نصف فرکانس

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 و T_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 ۶ مدولاسیون پهنای پالس با تناوب منبع

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

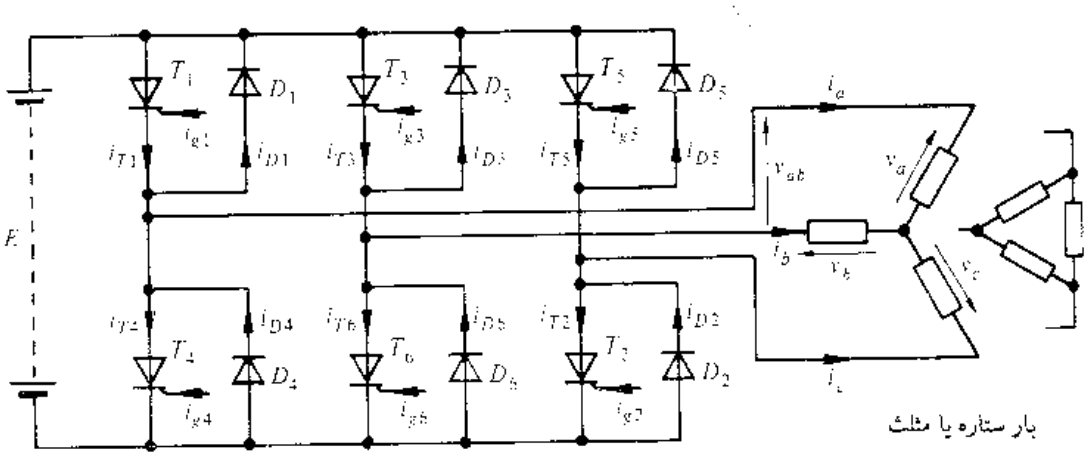
روشی که مانع کموتاسیون های بیش از حد در سیکل خروجی شده ولی باعث کاهش هارمونیکهای مرتبه پایین می شود در شکل4-9 نشان داده شده است.با معکوس کردن ولتاژ خروجی برای فاصله زمانی کوتاه در هر نیم سیکل و در زوایای خاص حذف دو هارمونیک مانند هارمومنیک سوم و پنجم ممکن می باشد.با یک منبع dc ثابت با ترکیب دو شکل موج مانند شکل 4-9 با اختلاف فاز و اصول نشان داده شده در شکل 4-4 می توان سطح این ولتاژ خروجی را کنترل نمود.

4-2-3اینورتر پل سه فاز:

مدار اصلی اینورتر پل سه فاز در شکل 4-10 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 4-11 رسم شده است. فرض شده در انتهای پریود 120° مدار کموتاسیون برای خاموش کردن تریستور مناسب شروع بکار می نماید. شکل موجهای شکل ب4-11 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.



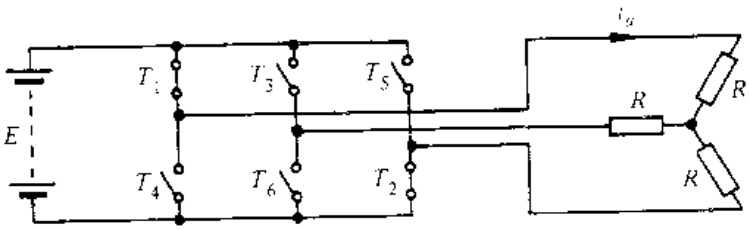
شکل 10-4 مدار اصلی اینورترپل سه فاز

شکل موجهای شکل 4-12 هدایت 120° را نشان می دهد ولتاژ خط بصورت موج شبه مربعی می باشد.جریان بار پله ای می باشد و هر تریستور بمدت 180° هدایت می کند.

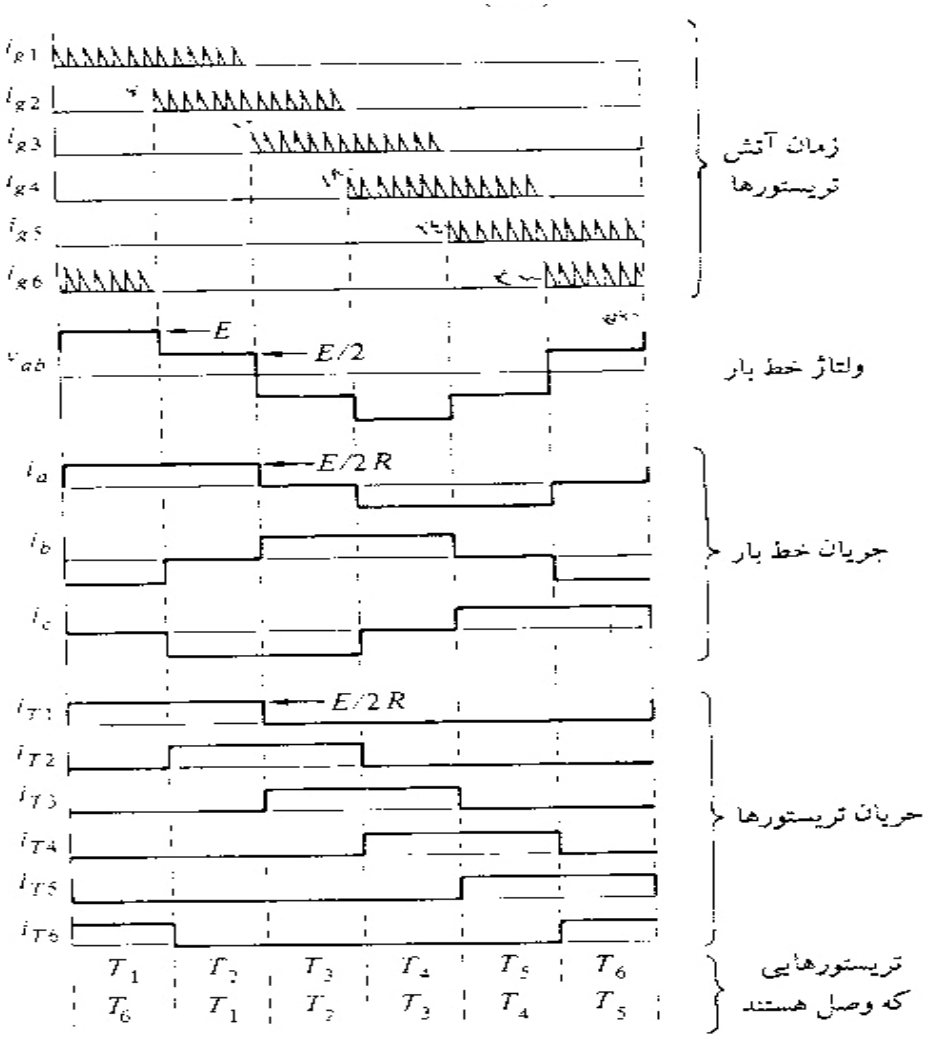
اگر باری که توسط تریستور تغذیه می شود سلفی باشد ،جریان در هر شاخه از بار نسبت به ولتاژ تاخیر فاز دارد.وقتی T_1 آتش می شود T_4 خاموش می شود اما چون جریان بار نمی تواند معکوس گردد تنها مسیر این جریان دیود D_1 می باشد.بنابراین فاز بار به سر مثبت منبع dc متصل شده است اما تا لحظه t_1 که جریان بار معکوس می 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 مرجع موج مثلثی فرکانس بالا را مدوله می کند.توضیح شکل موجها مانند توضیحی که در مورد اینورترهای تکفاز داده شده ،می باشد.

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



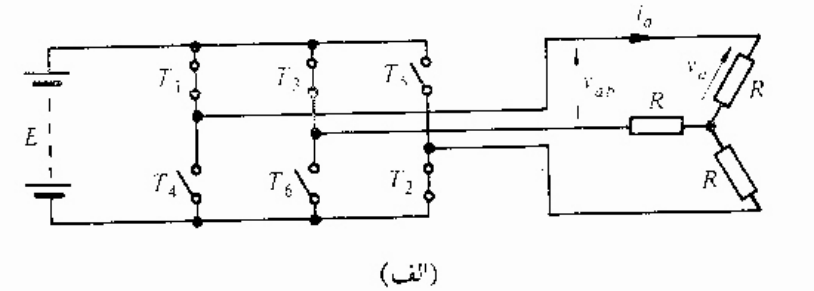
(الف)

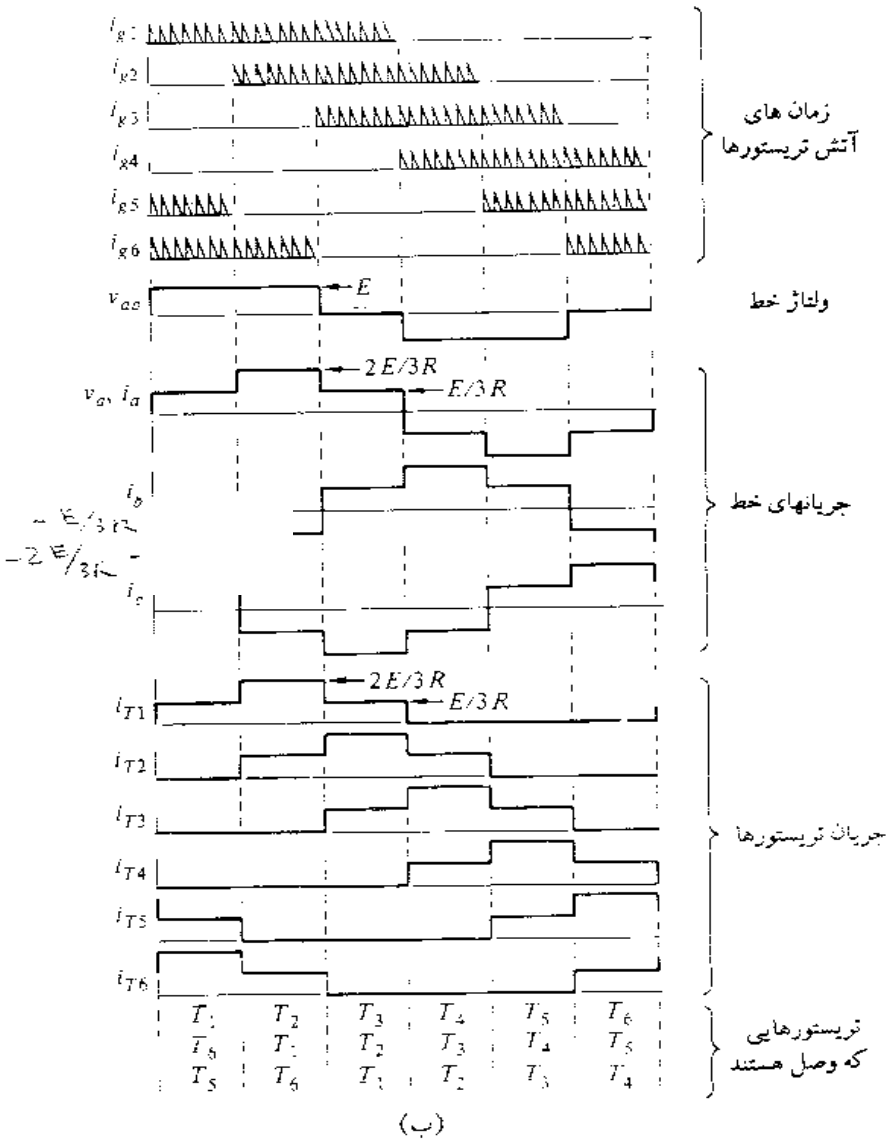


(ب)

شکل 4-11 اینورتر پل سه فاز با بارمقاومتی و زاویه آتش 120° الف)نمایش ترتیب کلیدزنی تریستورهای T_1وT_2 روشن هستند

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





شکل4-12 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

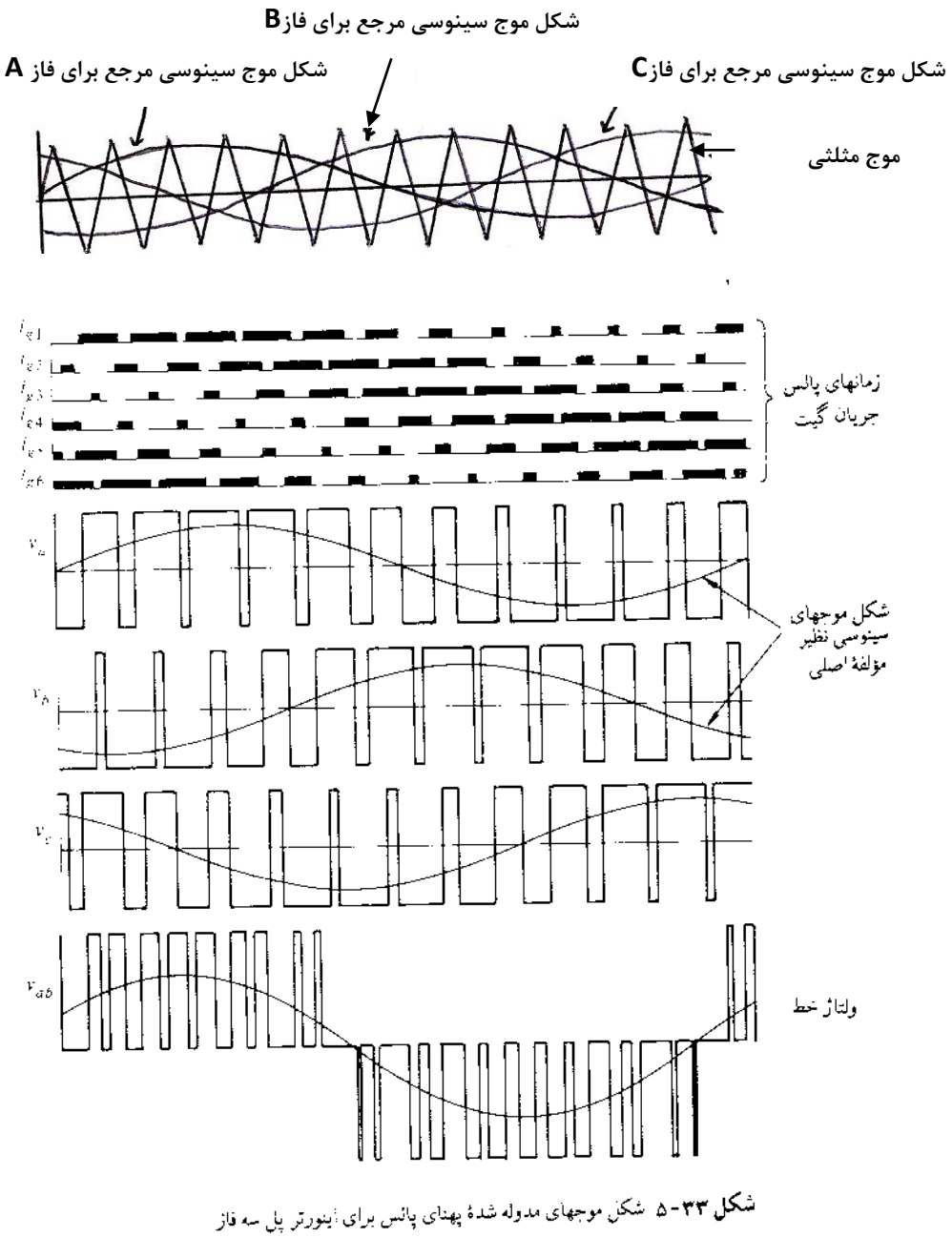
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

با روش کنترلی مانند شکل 4-13 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 4-10 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.

با توجه به شکل 4-13 ، 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.

WikiPower.ir

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



شکل ۳۳-۵ شکل موجهای مدوله شدهٔ پهنای پالس برای اینورتر پل سه فاز

شکل 13-4 شکل موجهای مدوله شده پهنای پالس برای اینورتر پل سه فاز

3-4 قدرت 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

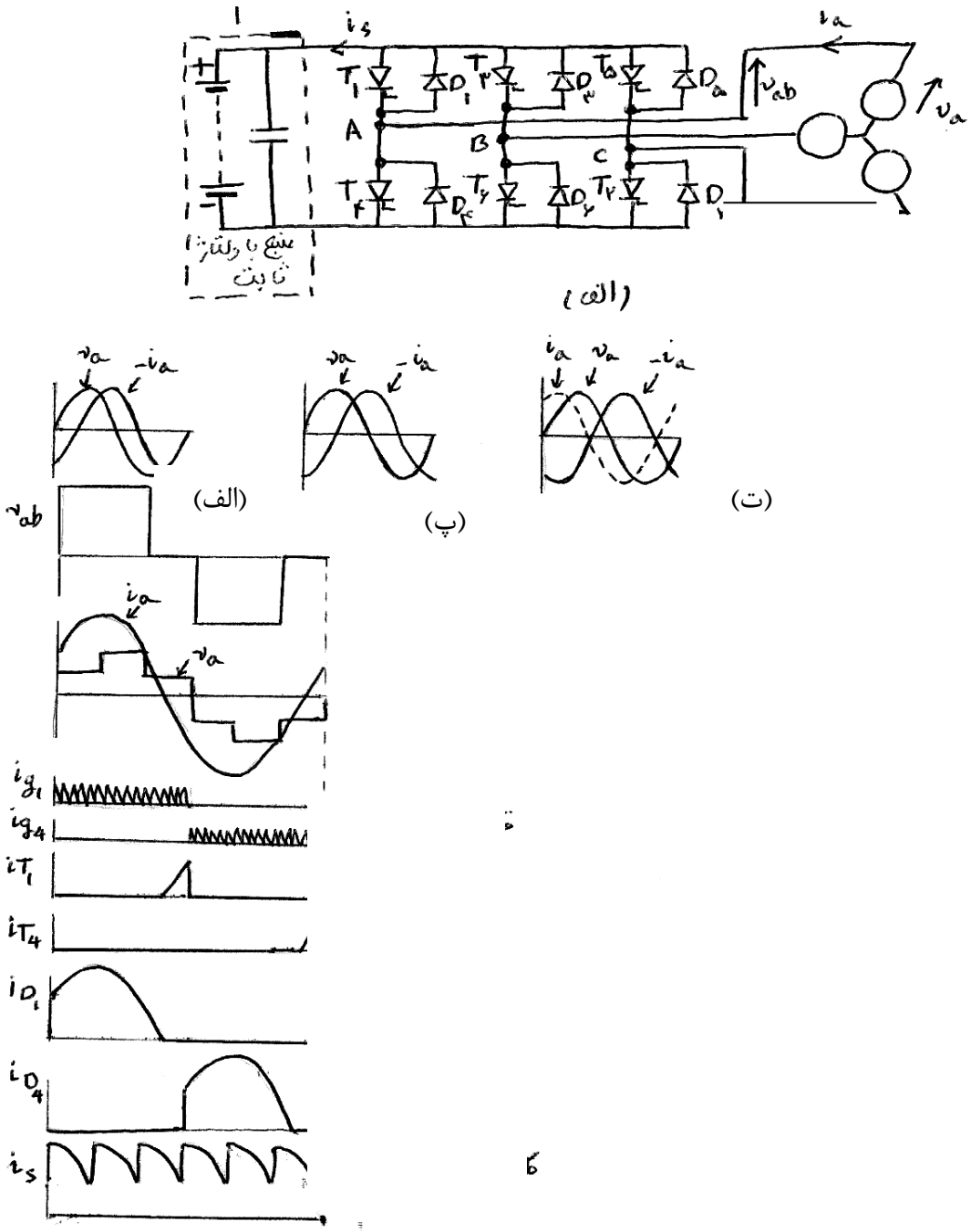
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

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 4-13 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 4-14 مراحل جریان بار تا بیش از90 تاخیر فاز که جریان برای حالت ژنراتوری می تواند معکوس شود را نشان می دهد.

شکل موجهای 4-14ث 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 4-14 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

4-4مقایسه سیکلوکانورتر با اینورتر:

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

در این بخش به مقایسه سیکلوکانورتر و اینورتر از لحاظ عملکرد، پیچیدگی و هزینه و ... می پردازیم

اینورتر	سیکلوکانورتر
• برای بدست آوردن ولتاژ خروجی از کموتاسیون اجباری استفاده می شود.	• بر اسا س کنترل فاز کار می کند بنابراین از کموتاسیون خط استفاده می کند.
• از دومبدل استفاده می شود. یک مبدل یکسو کننده و دیگری اینورتر	• از یک مبدل برای تبدیل ac به ac استفاده می کند
• مرحله میانی بین یکسوکننده و اینورتر وجود دارد	• مرحله میانی ندارد. فقط یک مبدل برای تبدیل فرکانس خروجی استفاده شده است.
• برعکس سیکلوکانورتر در مورد اینورتر برای بدست آوردن خروجی مناسب از طریق PWM چه فرکانس پایین و چه فرکانس بالا استفاده می شود.	• معمولاً برای تبدیل فرکانس خروجی ،کسری از فرکانس ورودی استفاده می شود که موجب پایین نگه داشتن هارمونیک در خروجی می شود.
• همیشه برای بدست آوردن خروجی ،کموتاسیون اجباری استفاده می شود، چه فرکانس پایین باشد	• برای به دست آوردن فرکانس خروجی بالاتر از ورودی، کموتاسیون خط استفاده می شود،
چه فرکانس بالا ،مخصوصاً در اینورترهای PWM	اما این باعث فرسودگی عناصر نیمه هادی و کاهش بازده خروجی می شود.
• در وارونسازی سه فاز به سه فاز کل عناصر نیمه هادی قدرت استفاده شده، در هر دو مبدل ۱۲ تا۱۴ می باشد	• تعداد زیادی تریستوراستفاده می کند، برای سیکلوکانورترهای سه فاز به سه فاز ۳۶ تریستور استفاده می شود.
• بعلت روش PWM اعوجاج هارمونیک در همه فرکانسها پایین است، اما در فرکانسهای خروجی کم مزیتی وجود دارد یعنی با افزایش تعداد پالسها در هر سیکل اعوجاج به مقدار بیشتری کاهش می یابد اما در این عمل ،بازده کل کاهش می یابد.	• در فرکانس پایین ۵HZ، برای برای یک ورودی ۵۰HZ ، اعوجاج هارمونیک کل در ولتاژ خروجی پایین است. بنابراین سیکلوکانورتر برای فرکانسهای خروجی پایین کاربرد بیشتری دارد.
• در مدارهای اینورتر استفاده از مکانیزم هرزگردی، هزینه های بالایی را تحمیل می کند	• سیکلوکانورتر بطور ذاتی عمل هرزه گرد را بعلت اساس کنترل فاز انجام می دهد.
• کنترل مقدار موثر ولتاژ خروجی از طریق مدولاسیون شاخص قابل انجام است که تغییر سینوسی ولتاژ خروجی را کنترل می کند..	• کنترل مقدار موثر ولتاژ خروجی با کنترل مدارα بطوریکه $\alpha_{p+} \alpha_{N=} 180^0$ انجام می شود.
• عناصر نیمه هادی با سوئیچینگ بالا نیاز است .به دو دلیل:۱- فرکانس خروجی بالا۲- تعداد سوئیچینگ بالا در PWM	• با توجه به اینکه اصولا سیکلوکانورتر برای فرکانسهای خروجی کم و کموتاسیون خط استفاده می شود سرعت سوئیچینگ کم مناسب است است.

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

فصل 5 :

درایوهای کنترل کننده توان لغزش

WikiPower.ir

5-1مقدمه:

تاکنون در باره درایوهای موتور القایی صحبت کردیم که توان فقط در مدار استاتور کنترل شده بود. در چنین سیستم هایی، مبدلها ، برای تغذیه ماشین طراحی می شوند. از بین دو کلاس ماشین القایی- قفس سنجابی و روتور سیم پیچی شده، اولی همیشه ترجیح داده می شود. زیرا ماشین روتور سیم پیچی شده خیلی بزرگ و گران است و اشکالات یک ماشین dc را در مورد حلقه های لغزان و ذغالها دارد. ماشینهای روتور سیم پیچی شده، برای کنترل ساده و ارزان سرعت ماشین، با استفاده از تغییر مقاومت روتورشان کنترل می شوند.

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

مزیت این نوع ماشین این است که دسترسی به توان لغزشی امکان پذیر می شودکه قابل کنترل با کنترل سرعت ماشین ، می باشد.

برای کاربردهای کنترل سرعت در رنجهای محدود، که توان لغزش فقط یک کسری از توان ماشین است ، هزینه مبدل کاهش می یابد. این مزیت تا حدودی معایب ماشینهای روتور سیم پیچی شده را جبران می کند. مزیت مهم دیگر این است که توان لغزشی را می توان به خارج یا داخل روتور هدایت کرد و بدین طریق سرعت را در نواحی فوق سنکرون یا زیر سنکرون و در مد موتوری و مولدی ،کنترل کرد. ماشینهای که توان لغزش آنها کنترل می شود بطور وسیعی در سیستم های VSCF (سرعت متغیر، فرکانس ثابت) مانند مولدهای بادی و منابع تغذیه کشتی ها که انرژی مکانیکی از یک محور سرعت متغیر به منبع ولتاژ ثابت- فرکانس ثابت (60Hz) تبدیل می شود،کاربرد دارند.در ادامه نشان خواهیم داد که درایوهای کنترل توان لغزش، مشخصات مشابه ماشینهای dc ، هم در شرایط پایدار و هم شرایطدینامیک دارند و در نتیجه کنترل با حداقل مشکلات پایداری آسان خواهد بود.

در این فصل ما درباره اصول و تئوری کنترل توان لغزش، طرحهای بازیافت توان لغزشی ، درایوهای کرامر و شربیوس بحث خواهیم کرد.

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

کنترل دور موتور القایی روتور سیم پیچی شده بکمک سیستم بازیافت انرژی لغزشی:5-2

موتور القایی با هادی لغزان دارای روتوریست که از یک سیم پیچی سه فاز نظیر استاتور برخوردار است.انتهای سیم پیچ به حلقه لغزان متصل است.اگر اتصالات بیرونی حلقه لغزان مدار باز باشد هیچ جریانی نمی تواند برقرار شود و ولتاژ در حلقه های لغزان به هنگام سکون از ضرب ولتاژ استاتور در نسبت دور بدست می آید. اگر محور موتور به گردش درآید ولتاژ در حلقه لغزان متناسب با لغزش کاهش می یابد این امر در مورد فرکانس هم صادق است. روابط مداری حلقه لغزان عبارتند از:

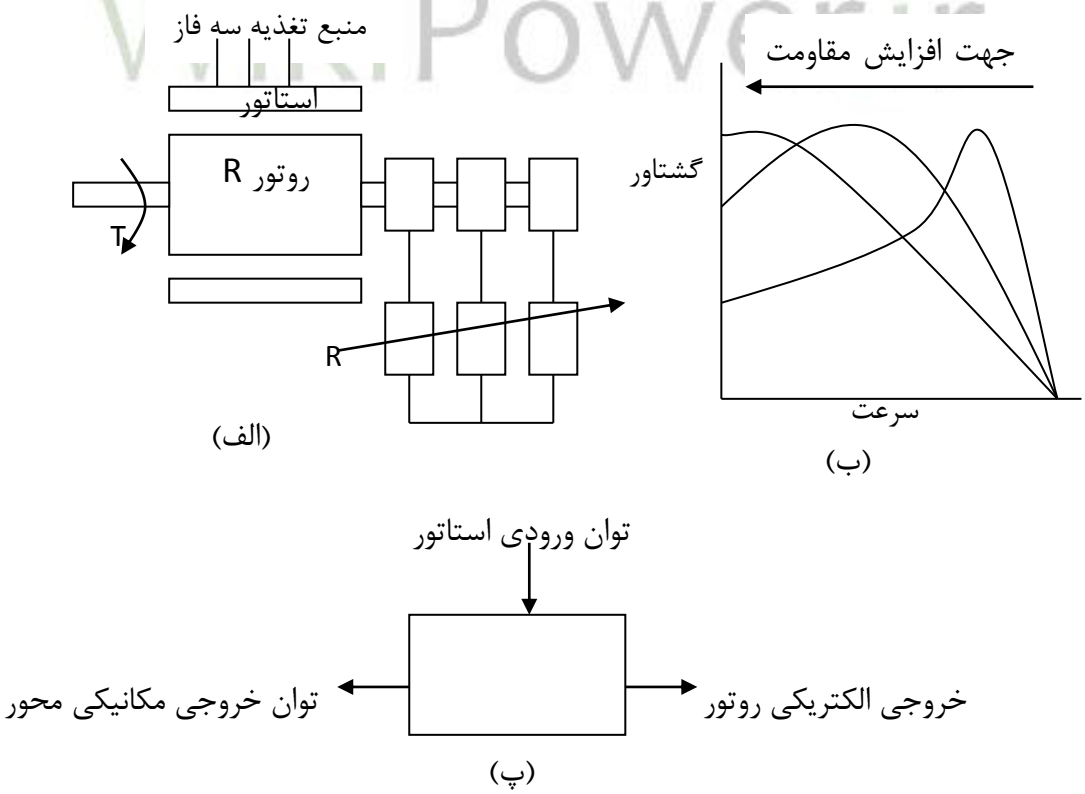
لغزش × ولتاژ مدار باز حالت سکون = ولتاژ مدار باز حلقه لغزان

لغزش × فرکانس استاتور = فرکانس حلقه لغزان

اگر مقاومتها مطابق شکل الف5-1 به حلقه های لغزان متصل شوند جریان می تواند برقرار شود. مقدار جریان به گشتاور وابسته است. شکل ب5-1 اثر افزایش مقاومت روتور را بر مشخصه های گشتاور –سرعت نشان می دهد. مشاهده می شود که افزایش مقاومت روتور شرایط راه اندازی را بهبود می بخشدو تنظیم سرعت را ممکن می سازد. مقاومت افزوده شده اختلاف فاز بین جریان روتور و ولتاژ القا شده را کاهش می دهد که سبب بهبود گشتاور

راه اندازی می شود و در عین حال به سبب افزایش امپدانس ثانویه سبب کاهش جریان می شود.

شکل 5-1 تعادل توان را در موتور نشان می دهد . در این شکل از تلفات داخلی موتور صرفنظر شده است. توان ورودی استاتور توانی است که از طریق فاصله هوایی منتقل می شود و لذا با گشتاور متناسب است.خروجی مکانیکی روتور برابر حاصلضرب گشتاور یاد شده در سرعت روتور است. بنابراین به میزانی متناسب با لغزش از ورودی استاتور کمتر است. اختلاف این دو توان به صورت توان الکتریکی در حلقه های لغزان پدیدار می شود. کنترل ولتاژ حلقه لغزان لغزش و در نتیجه سرعت روتور را کنترل می کند. در قسمتهای بعدی روشهایی را مورد بررسی قرار می دهیم که مدار نیمه هادی قدرت را در مدار حلقه لغزان بمنظور تنظیم سرعت به شکل موثر مورد استفاده قرار می دهند.



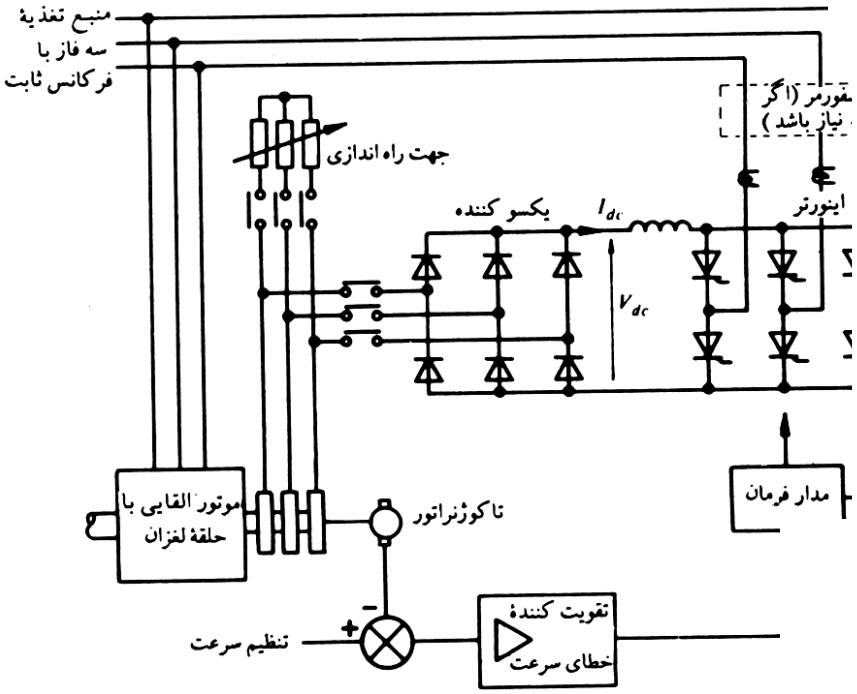
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل 5-1 موتور القایی با حلقه لغزان ب)مشخصه با افزایش مقاومت روتور پ) تعادل توان

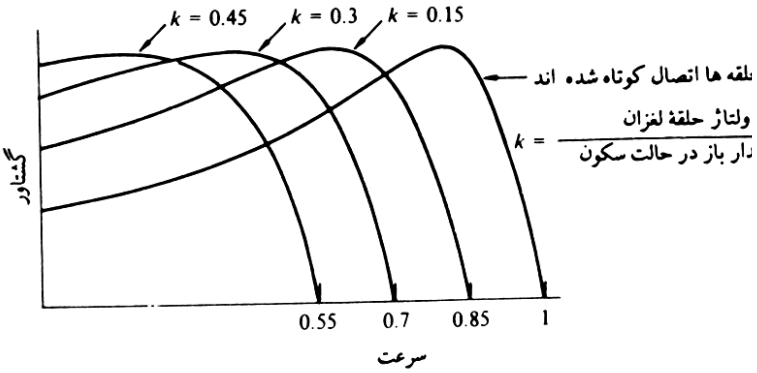
در صورتیکه توان از حلقه های لغزان موتور گرفته شود تنها داشتن سرعتهای کمتر از سرعت سنکرون امکان پذیر است. اما اگر جهت جاری شدن توان در روتور معکوس شود یعنی توان الکتریکی از طریق حلقه های لغزان به روتور اعمال شود لغزش منفی می شود و به سرعتهایی بالاتر از سرعت سنکرون می رسیم.سیستم بازیافت انرژی لغزشی برای کنترل سرعت یک موتور در شکل 5-2 نشان داده شده است. این شکل کنترل تحت عنوان سیستم کرامر شناخته می شود. همانطور که قبلا گفته شد گرفتن توان از روتور می تواند برای تغییر سرعت موتور موثر واقع شود .فرکانس ولتاژ حلقه های لغزان همان فرکانس لغزش است. این فرکانس با فرکانس استاتور متفاوت است. بنابراین ولتاژ حلقه های لغزان توسط یک پل دیودی یکسو شده و به اتصال dc اعمال شود. توان اتصال dc از طریق مبدل تریستوری که در مد معکوس عمل می کند به منبع تغذیه اصلی بازگردانده می شود.

سرعت تحریک بازیافت انرژی لغزشی توسط زاویه آتش تریستورهای اینورتر که ولتاژ dc را تعیین می کند مشخص می شود. ولتاژ اتصال dc به ولتاژ حلقه لغزان بستگی مستقیم دارد. لغزش موتور در جهت رسیدن به ولتاژ یاد شده خود را تصحیح می کند. شکل ب نمونه ای از مشخصه گشتاور-سرعت را در یک موتور القایی با حلغه لغزان هنگامیکه مقادیر ولتاژ حلقه لغزان ثابت باشد نشان می دهد. با افزایش گشتاور بار لغزش به حدی افزایش خواهد یافت که امکان رسیدن به مقدار لازم برای حفظ گشتاور را به جریان بدهد. از آنجاییکه توان فقط می تواند از روتور گرفته شود کنترل تنها زیرسرعت سنکرون امکان پذیر است.

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



(الف)



(ب)

شکل ۱ شکل 2-5 طرح سیستم بازیافت انرژی لغزشی(طرح کرامر) الف) مدار و جزئیات کنترلی آن ب) مشخصه گشتاور-سرعت با ولتاژهای ثابت حلقه لغزان

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

توانی که از طریق یکسوکننده- اینورتر منتقل می شود برابر است با حاصلضرب توان استاتور در لغزش. بنابراین اگر(فرضا) کنترل تحت 80٪ سرعت سنکرون مورد نیاز باشد آنگاه مقادیر مربوط به مبدل باید تنها 20٪ مقادیر مربوط به تحریک باشد.بهرحال برای استفاده مناسب از این مقادیر برای کمترین سرعت تقدم آتش مبدل باید کمترین مقدار خود را داشته باشد. مطابق طرح نشان داده شده در شکل الف2-5 بعلت وجود ولتاژهای پایین در مدار حلقه لغزان و ولتاژ زیاد در استاتور ترانسفورمری بین منبع تغذیه اصلی و مبدل مورد نیاز است.

فقط توان حقیقی از طریق اتصال dc شکل الف2-5 قابل انتقال است.لذا توان راکتیو موتور تماما توسط استاتور تامین می شود. بنابراین جریان استاتور باید از ضریب توان پس فاز برخوردار باشد. همچنین مبدل (هنگامیکه در مد معکوس کار کند) بر توان راکتیو کشیده شده از منبع می افزاید.لذا کل جریان کشیده شده از منبع نسبت به زمانی که در مدار روتور از مقاومتهایی استفاده شود دارای ضریب توان پس فاز بدتری است. استفاده از خازن برای بهبود این ضریب توان بعلت اثراتی که از هارمونیکهای ایجاد شده در مبدل ناشی می شوند با محدودیت مواجه است.

در مواردی که مبدل برای تنظیم سرعت محدود بکار می رود فرضا در محدوده سرعتهایی که از 70٪سرعت سنکرون کمتر هستند راه اندازی موتور باید با مقاومتهایی که به روتور افزوده می شود صورت گیرد. هنگام رسیدن به کمترین سرعت تعیین شده بطور اتوماتیک اتصال حلقه های لغزان با مبدل برقرار می شود. در سرعتهای نزدیک به سرعت سنکرون مدت همپوشانی در یکسوکننده دیودی ممکن است آنقدر به طول بیانجامد که در یک لحظه

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

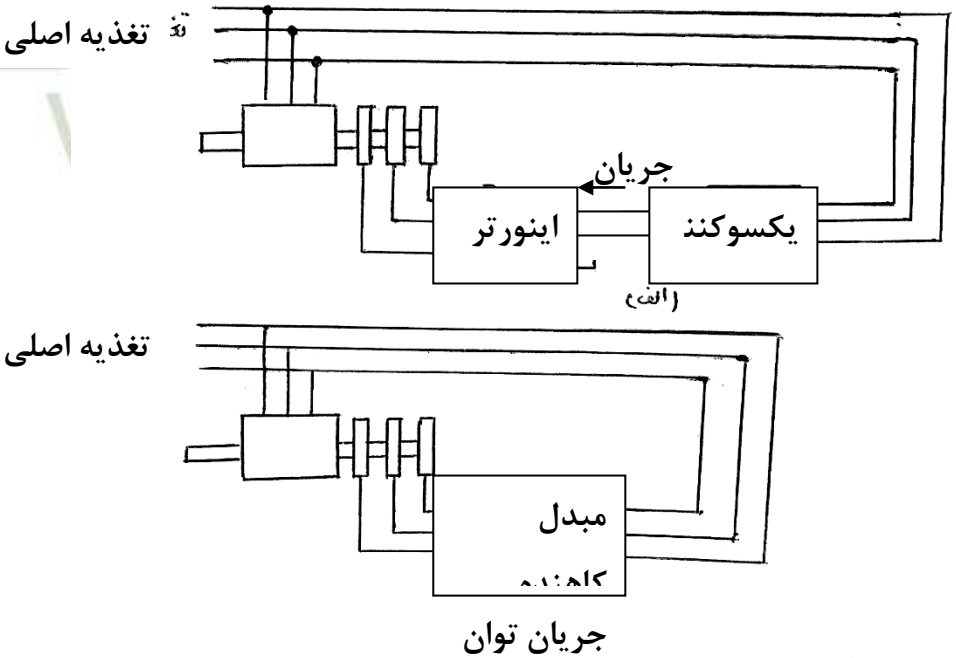
چهار دیود هدایت کنند(مدت همپوشانی بین از 60°) در این وضعیت تثبیت ولتاژ اتصال dc ممکن نیست لذا هیچ انتقال توانی صورت نمی گیرد.در عمل حداکثر سرعت با گشتاور بار کامل هنگامیکه مبدل در مدار باشد حدود 2٪ کمتر از مقداریست که با اتصال کوتاه حلقه ها قابل دستیابی است. وقتی به تنظیم سرعت نیاز نباشد تحریک را می توان نظیر یک موتور القایی معمولی با حلقه های اتصال کوتاه شده به انجام رساند.در سیستم کنترل حلقه بسته افت سرعت بطور خودکار سبب کاهش ولتاژ اتصال کوتاه می شود بنابراین جریان بیشتری در موتور می تواند به گردش در آید. یک حلقه داخلی جریان مبدل را تا حدی که به سیستم صدمه نزند محدود می کند. جاری شدن توان در یک جهت در مدار روتور استفاده از آن را جهت ترمز موتور در حالت مولدی غیرممکن می سازد. با اعمال توان به مدار روتور موتور القایی با حلقه لغزان می توان به سرعتهای فوق سنکرون دست یافت.برای رسیدن به این منظور سیستم نشان داده شده در شکل الف5-3 را می توان بکار گرفت. هنگامیکه سرعت باندازه کافی از سرعت سنکرون بیشتر شود ولتاژ روتور می تواند به سبب کموتاسیون خودی در اینورتر گردد اما در سرعتهای نزدیک سرعت سنکرون ولتاژ روتور پایین است و کموتاسیون اجباری باید به کار گرفته شود که این امر باعث شده که از توجه به این روش قدری کاسته شود.شکل ب5-3 طرح کنترل انرژی لغزشی را نشان می دهد که کاربرد ایده آلی از یک سیکلوکانورتر را نشان می دهد. این مبدل در مدار روتور قرار می گیرد و لغزشی کمتر (فرضا) .33 را تامین می کند. بنابراین نسبت تبدیل فرکانس سیکلوکانورتر از 3 به 1 بیشتر است.اما برای کنترل موتور تحت سرعتهای کمتر از سرعت سنکرون سرعتهای بیشتر از سرعت سنکرون و سرعتهای نزدیک به سرعت سنکرون با ترمز

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

به طریق مولدی یا موتوری مشخصات کنترل بسیار پیچیده هستند و هزینه آن استفاده از این سیستم را در اغلب کاربردها غیر ممکن می سازد.

مدارهای نیمه هادی قدرت که همراه با موتور القایی مورد استفاده قرار می گیرند در حقیقت سعی بر این دارند که در موتورهای کموتاتوری ac با تغذیه دوگانه جانشین کموتاتورهای مکانیکی شوند.کموتاتور در موتور با تغذیه دوگانه نظیر یک سیکلوکانورتر چندفاز عمل می کند که اتصال مستقیم روتور به منبع اصلی را ممکن می سازد.

استفاده از موتور با حلقه لغزان بیشتر در زمینه پمپ ها و دستگاههای تهویه مورد توجه است.در این سیستمها توان مورد نیاز با توان سوم سرعت محور موتور رابطه دارد. بنابراین برای ایجاد تغییرات بزرگ در توان بار تنها به تغییر کوچکی در سرعت نیاز داریم.



شکل 3-5طرح دیگری از موتور با حلقه لغزان الف)کنترل سوپر سنکرون ب)استفاده از سیکلوکانورتر

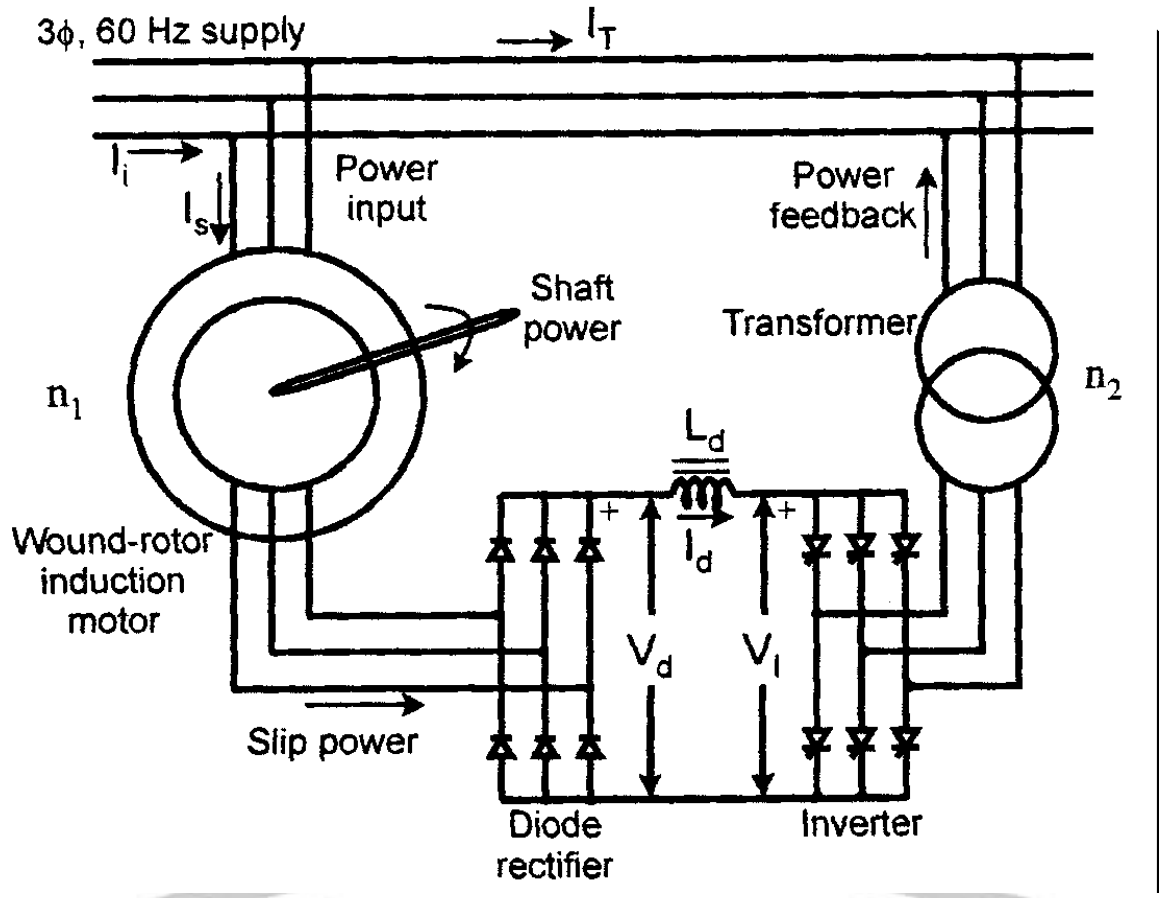
3-5 درایو کرامر استاتیک:

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

بجای هدر رفتن توان لغزش در مقاومتهای مدار روتور، می توان آنرا به توان ac 60Hz تبدیل کرد و به خط بازگرداند.این طرح در شکل 5-4 رسم شده است. این روش که در آن توان لغزش از طریق یک مبدل به خط بازگردانده می شود به درایو کرامر استاتیک معروف است . درایو کرامر ،از یک مبدل چرخشی بجای یکسوکننده دیودی استفاده می کند و توان را به موتور dc کوپل شده به محور ماشین می دهد. توان لغزش به توان مکانیکی تبدیل می شود و بخشی از آن با توان مکانیکی خرجی محور ماشین القایی جمع می شود.سیستم کرامر استاتیک در پمپهای قدرت بالا و درایوهای کمپرسور که به رنج تغییرات سرعت محدود نیاز دارند، کاربرد وسیعی دارند. در این سیستم میزان بازده مبدل کم است زیرا در آن تنها توان لغزش وجود دارد.این میزان توان برای یک رنج سرعت محدودتر، نزدیک سرعت سنکرون کمتر می شود. مزیت دیگر این است که این درایو، مشخصات مشابهی با ماشین dc دارد و مدار کنترل آن آسان است. این مزیت ها بعضی از معایب ماشینهای روتور سیم پیچی شده از جمله ضریب توان پایین آن را جبران می کند.

شار فاصله هوایی ماشین ، با تغذیه استاتور ایجاد می شود و اگر افت های استاتور و نوسانات ولتاژ منبع نادیده گرفته شود، همواره ثابت می ماند.گشتاور ماشین مستقیماً متناسب با مولفه اصلی جریان روتور است.

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



شکل 4-5شماتیک درایو کرامر استاتیک

در عملکرد پایدار، برای داشتن جریان dc ، I_d ، ولتاژ لغزش یکسو شده V_d و ولتاژ اینورتر V_1 باید متعادل باشند. با چشم پوشی از افت های استاتور و روتور، ولتاژ V_d بصورت زیر بیان می شود:

$$V_d = \frac{1.35}{n_1} S V_L \qquad (5\text{-}1)$$

که n_1 نسبت دورهای استاتور به روتور ماشین ، V_L ولتاژ خط استاتور و S لغزش است.

همچنین ولتاژ پایانه اینورتر V_I، بصورت زیر است:

$$V_I = \frac{1.35}{n_2} V_L |Cos\alpha| \qquad (5\text{-}2)$$

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

که n_2 نسبت دورهای ترانسفورماتور(طرف خط به طرف ac اینورتر) است و α زاویه آتش اینورتر است که در رنج 90° تا 180° می باشد . روابط فوق ، معادلات زیر را می دهند:

$$S = \frac{n_1}{n_2}|Cos\alpha| \qquad (5\text{-}3)$$

اگر $n_1 = n_2$ باشد داریم: $\omega_r = \omega_e(1-|Cos\alpha|)$

رابطه نشان می دهد که سرعت می تواند بین صفر و سرعت سنکرون ω_e توسط کنترل زاویه آتش α، کنترل شود. در سرعت صفر، ولتاژ V_d که در زاویه $\alpha = 180^\circ$ می باشد، ماکزیمم است و در سرعت سنکرون $V_d = 0$ است وقتیکه $\alpha = 90^\circ$ باشد.

با چشمم پوشی از تلفات، روابط توان جاری را می توان به شکل زیر نوشت:

$$SP_g = V_I I_d$$

$$P_m = (1-S)P_g = T_e\omega_r = T_e\omega_e(1-S) \qquad (5\text{-}4)$$

که P_g تواان فاصله هوایی و P_m توان مکانیکی خروجی است. ترکیب دو رابطه بالا ،رابطه زیر را نتیجه می دهد:

$$T_e = \frac{V_I.I_d}{S\omega_e} \qquad (5\text{-}5)$$

جایگذاری روابط قبلی نتیجه می دهد:

$$T_e = \frac{1.35V_I.}{\omega_e n_1} I_d \qquad (5\text{-}6)$$

که بیانگر این است که گشتاور ، متناسب با جریان I_d است. این سیستم تقریباً مشخصات یک موتور dc تحریک مجزا را دارد. شار فاصله هوایی ثابت است و گشتاور متناسب با جریان

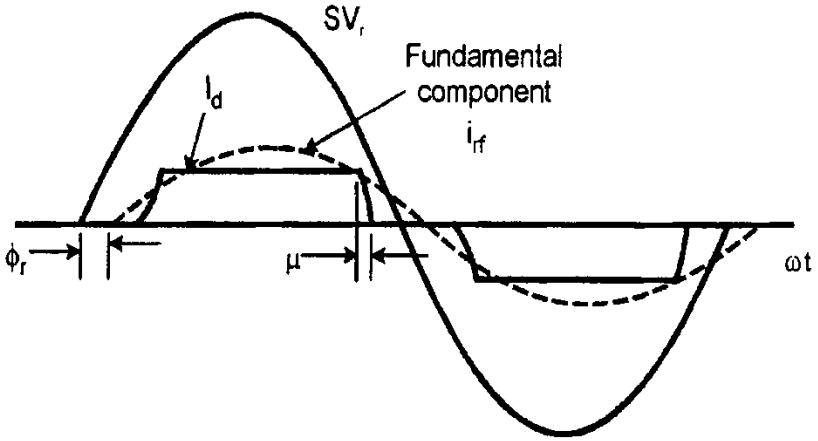
برای دریافت فایل Wordپروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

I_d است. با یک گشتاور بزرگ، I_d افزایش می یابد و برای یک ولتاژ ثابت V_d و V_I، باید برای غلبه بر افت حلقه dc کمی افزایش یابد.

5-4دیاگرام فازوری عملکرد درایو:

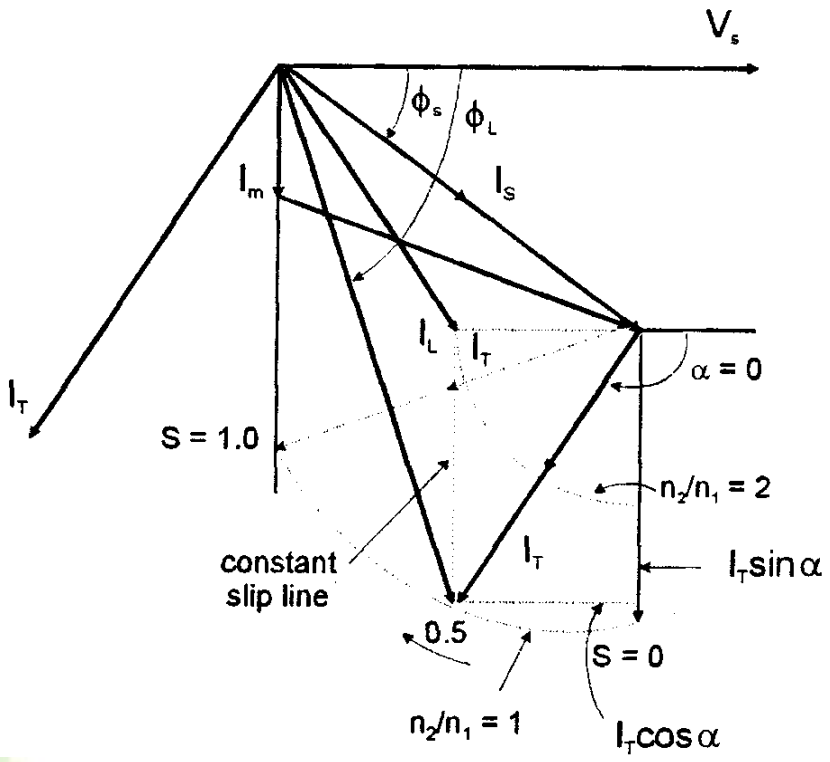
در این بخش یک دیاگرام فازوری را برای تشریح نحوه عملکرد درایو رسم می کنیم. عملاً، ضریب جابجایی جریان روتور بدلیل زاویه همپوشانی کموتاسیون، مطابق با شکل 5-5 از واحد منحرف خواهد شد. زاویه همپوشانی μ، یک زاویه پس فاز ϕ_r را برای جریان اساسی ایجاد می کند. این زاویه با افزایش جریان I_d و کاهش لغزش S ، افزایش می یابد. در حقیقت نزدیک لغزش صفر، وقتی که ولتاژ روتور خیلی کوچک است، جریان بزرگ I_d، ممکنه باعث تجاوز زاویه همپوشانی μ از 60° شود ،که این موجب اتصال کوتاه بین دیودهای بالایی و پایینی می شود.

WikiPower.ir



شکل 5-5

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



شکل 6-5 ،دیاگرام فازوری تقریبی یک درایو را که در آن تمام فازورها به سمت خط یا استاتور منعکس شده اند، نشان می دهد.

استاتور یک جریان مغناطیسی I_m می کشد که 90° نسبت به ولتاژ استاتور (V_S) پس فاز است. جریان اساسی روتور I_r ،که به سمت استاتور ارجاع شده و با I_r' نشان داده می شودکه از ولتاژ (V_S) عقب است.

همانند شکل جریان کل استاتور I_S از ولتاژ استاتور باندازه زاویه ϕ عقب است .

هرچند در سمت اینورتر توان اکتیو به خط فیدبک می شود، اما در عوض توان راکتیو برای کنترل فاز مصرف می شود. این نیاز اینورتر به توان راکتیو اضافی، ضریب توان کل سیستم را کاهش می دهد. ضریب توان ورودی اینورتر (ضریب توان بطور خطی با ولتاژdc ، V_I تغییر می کند) با صرفنظر از همپوشانی کموتاسیون اینورتر، $|Cos\phi|$ می باشد. دیاگرام فاز وری، جریان خط اینورتر I_T را در لغزش $S = 0.5$ ، وقتی که هیچ ترانسفورماتوری استفاده نشده

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

است، نشان می دهد. فازورهای I_T و I_r' ، بدلیل یکسان بودن تقریبی شکل موج های جریان، از لحاظ اندازه تقریبا برابر اند.

مولفه $I_T Cos\alpha$ با جریان اکتیو استاتور مخالفت می کند، چون مولفه راکتیو $I_T Sin\alpha$ به جریان مغناطیسی اضافه می شود. جریان خط کل I_L، مجموع فازورهای I_S و I_T است و باندازه زاویه ϕ_L از V_S عقبتر است و بزرگتر از زاویه ضریب توان استاتور (ϕ_S) است. با گشتاور ثابت، اندازه I_T ثابت باقی می ماند، اما با تغییر لغزش بین 0 تا 1، فازور I_T از $\alpha = 90^\circ$ به $\alpha = 180^\circ$ همانند شکل 5-6 تغییر می یابد. در سرعت صفر، ماشین مثل یک ترانسفورماتور عمل می کند و همه توان اکتیو از طریق اینورتر به خط بازگردانده می شود.

با توجه به اینکه هم ماشین و هم اینورتر فقط توان راکتیو مصرف می کنند، زاویه حد 20°، برای اینورتر زوایای خاموشی و کموتاسیون را فراهم می کند. از دیاگرام فازوری مشهود است که در $S = 0$ ضریب توان سیستم، پس فاز خواهد بود و با افزایش لغزش بدتر خواهد شد. لذا ، برای اجتناب از ضریب توان پایین تر، رنج سرعت باید به نزدیکیهای سرعت سنکرون محدود شود. برای یک رنج سرعت محدود، با استفاده از یک ترانسفورماتور، می توان ضریب توان سیستم را تاحد مطلوبی بالا برد. نسبت دورهای ترانسفورماتور را می توان بگونه ای تنظیم کرد که ماکزیمم لغزش در $\alpha = 180^\circ$ باشد. جایگزینی $\alpha = 180^\circ$ در رابطه رابطه زیر را می دهد: (5-7)

$$S_{\max} = \frac{n_1}{n_2}$$

برای مثال، اگر $S = 0/5$ و $n_1 = 1$ ، بنابراین، باید n_2 برابر n_1 شود. در این وضعیت ،مشابه فزور جریان خط ترانسفورماتور I_T' است که بوضوح بهبود ضریب توان جریان خط I_L را

نشان می دهد. هنگامیکه سرعت برای تغییر لغزش از 0/5 تا 0 افزایش می یابد، فازور I_T' یک کمان متحد المرکز همانند شکل را نشان می دهد.

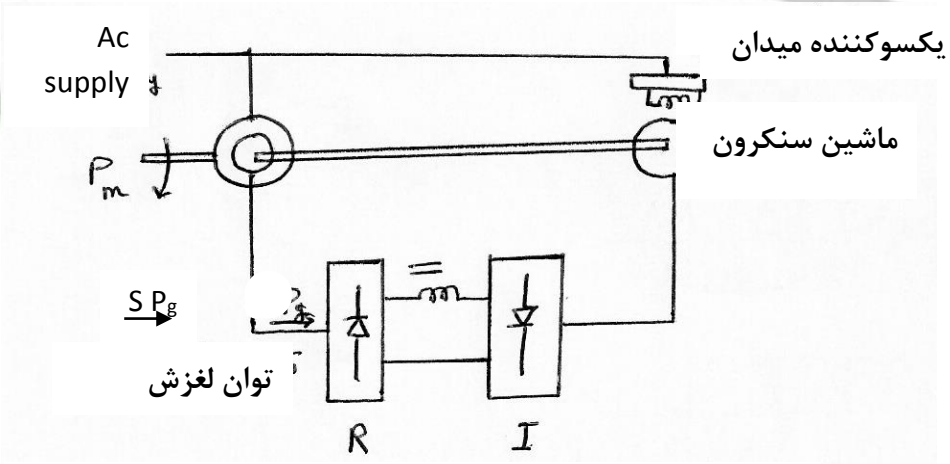
ترانسفورماتور به کاهش توان نامی مبدلها نیز کمک می کند. یکسو کننده برای ایجاد توان لغزش $\frac{SV_L}{n_1}$ و اینورتر برای ولتاژ خط V_L در غیاب ترانسفورماتور ،طراحی می شوند. ولتاژ یکسو کننده با رنج سرعت کوچکتر، کاهش می یابد اما اینورتر باید برای توان کامل طراحی شوند. نصب یک ترانسفورماتور ولتاژ یا توان نامی اینورتر را کاهش می دهد و تعداد دور n_2 براساس رابطه 5-7 تعیین می شود. برای مثال $(S_{\max}=0.5, n_1=1, n_2=2)$ هم یکسوکننده و هم اینرتر ،توان نامی برابر دارند که 50% توان کل است. این نشان می دهد که وقتی $S_{\max}$ کاهش می یابد. به تناسب آن، توان نامی مبدل هم کاهش می یابد. این یکی از مزیت های مهم طرح بازیافت توان لغزش است. البته بحث فوق برای حالتی است که ماشین ، توسط مبدل،استارت نمی شود.

یک روش ویژه استارت بوسیله سوئیچینگ مقاومت در شکل5-7 نشان داده شده است. موتور وقتی کلید 1 وصل و کلید 2و3 قطع است استارت می شود.هنگامیکه سرعت بالا می رود، مقاومت R_1 و R_2 ،اتصال کوتاه می شود تا اینکه در $S_{\max}$، کلید 1 باز و کنترلر وارد عمل می شود.

5-4-1بهبود ضریب توان درایو کرامر استاتیک:

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

روشهای مختلفی برای بهبود ضریب توان سیستم کرامر استاتیک وجود دارد.اینورتر کنترل شده با جریان را می توان با یک اینورتر PWM تغذیه شده با ولتاژ جایگزین کرد و با این عمل ، در واقع اینورتر در یک ضریب توان مناسب عمل می کند . البته ،یک اینورتر PWM ،گرانتر و تلفات بیشتری نسبت به یک مبدل کنترل شده با فاز دارد. طرح دیگری که برای بهبود ضریب توان استفاده می شود ، بنام سیستم کرامر بدون کموتاتور معروف است که طرح آن در شکل 5-8 نشان داده است. این طرح تقریباً با سیستم کرامر مرسوم،قابل قیاس است، یعنی موتور dc کوپل شده به محور ماشین القایی بوسیله یک موتور سنکرون همراه با یک اینورتر کموتاسیون بار جایگزین شده است. یک چنین سیستمی(ماشین-اینورتر) می تواند مثل یک ماشین dc رفتار کند.



شکل 5-8 سیستم درایو کرامر بدون کموتاتور

دیاگرام عبور توان در سیستم کرامر بدون کموتاتور در شکل رسم شده است. توان فاصله هوایی (P_g) عبوری از استاتور به توان ورودی محور و توان لغزش تقسیم می شود. اما توان

لغزش یک موتور سنکرون را راه اندازی می کند.و با اضافه شدن به توان مکانیکی کل به ورودی محور اضافه می شود. موتور سنکرون از یکسوننده کنترل شده ،تغذیه می شود. سرعت و گشتاور سیستم راه انداز با زاویه آتش α و جریان میدان کنترل می شود، بطوریکه کموتاسیون بار اینورتر در یک زاویه α بهینه ، انجام می شود. همانند مشخصات کموتاسیون بار اینورتر، کنترل سرعت در یک مقدارکم، بدلیل کافی نبودن emf مقدور نیست.

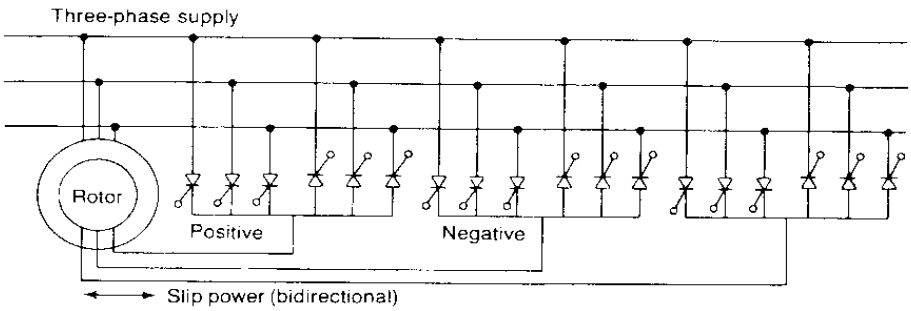
با توجه به مباحث فوق، سیستم های کرامر ،مد مولدی ندارند. لازمه عملکرد مولدی این است که توان لغزش در جهت معکوس جاری شود. اگر یک پل تریستوری بجای یکسوکننده دیودی قرار بگیرد، توان لغزش می تواند در هر دو جهت جاری شود. چنین سیستم کرامری با قابلیت جاری شدن توان لغزش در دو جهت، می تواند هم بصورت موتوری و هم مولدی و در رنج های سرعت زیر سنکرون و فوق سنکرون،کنترل شود.

یکی دیگر از محدودیت های سیستم کرامر این است که برگشت سرعت غیر ممکن است. معکوس شدن سرعت ،با نصب یک کنتاکتور معکوس کننده توالی فاز در سمت استاتور امکان پذیر است. که البته مستلزم این است که سرعت سیستم به صفر برسد .

5-5 درایو شربیوس استاتیک:

مبدل دوتایی در یک درایو کرامر استاتیک را می توان با یک سیکلوکانورتر کنترل شده با فاز همانند شکل5-9 جایگزین نمود. این طرح به نام درایو شربیوس استاتیک معروف است و در

پمپ های با قدرت خیلی بالا و درایوهای دمنده ای کاربرد وسیعی دارند. سیکلوکانورتر امکان جاری شدن توان را در هر دو جهت مقدور می سازد، و لذا سرعت ماشین را هم می توان در رنجهای زیر سنکرون و فوق سنکرون و در مد موتوری و مولدی کنترل کرد. در سیستم زیر فرض شده که گشتاور محور ماشین ثابت است و تلفات در ماشین و سیکلوکانورتر نادیده گرفته شده است.



شکل 9-5 درایو شربیوس

1-5-5 مد 1: حالت موتوری زیر سنکرون:

این حالت مشابه سیستم کرامر استاتیک است. ورودی استاتور یا توان فاصله هوایی (P_g) ثابت باقی می ماند و توان لغزش (SP_g) که متناسب با لغزش است، به خط باز می گردد. بنابراین، خط توان مکانیکی خالص (P_m) مصرفی توسط محور را تامین می کند. توان لغزش در روتور یک میدان دوار هم جهت با استاتور ایجاد می کند و سرعت روتور برابر با اختلاف بین این دو فرکانس است $(\omega_r = \omega_e - \omega_s)$. درست در سرعت سنکرون $(S = 0)$ ، سیکلوکانورتر یک تحریک dc به روتور می دهد و ماشین مثل یک موتور سنکرون عمل می کند

2-5-5 مد2: حالت موتوری فوق سنکرون:

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

هنگامیکه سرعت محور از سرعت سنکرون بیشتر می شود، لغزش قابل صرف نظر است و توان لغزش توسط روتور جذب می شود. توان لغزش به توان استاتور اضافه شده و توان مکانیکی خروجی کل حاصل می گردد. سپس خط توان لغزشی را به استاتور می دهد. در این وضعیت، توالی فاز ولتاژ لغزش معکوس می شود،بطوریکه میدان دوارناشی فرکانس لغزش مخالف میدان استاتور می شود.

3-5-5 مد3: حالت مولدی زیر سنکرون:

در وضعیت ترمز مولدی، محور توسط بار به حرکت در می آید و انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی تبدیل می شود. با گشتاور منفی و ثابت بار، توان مکانیکی ورودیبه محور با افزایش سرعت، افزایش می یابد و این برابر با توان الکتریکی داده شده به خط است. در رنج سرعت زیر سنکرون، توان لغزش به روتور وارد می شود ، طوریکه کل توان خروجی استاتور ثابت است. ولتاژ لغزش یک توالی فاز مثبت دارد (جهت میدان مغناطیسی مشابه میدان استاتور است). در سرعت سنکرون، سیکلوکانورتر جریان تحریک dc را به روتور می دهد و ماشین مثل یک مولد سنکرون عمل می کند.

4-5-5 مد 4: حالت مولدی فوق سنکرون

در این حالت توان خروجی استاتور ثابت باقی می ماند اما توان مکانیکی اضافی ورودی، بعنوان توان لغزشی خروجی برگردانده می شود. اینک توالی فاز سیکلوکانورتر معکوس شده به طوریکه میدان روتور در جهت مخالف می چرخد.

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

استفاده از یک سیکلوکانورتر بجای یک سیستم مبدل دوتایی باعث ایجاد هزینه اضافی و پیچیدگی می شود اما در عوض نتایج محسوسی دارد.مشکل کموتاسیون نزدیکیهای سرعت سنکرون از بین می رود و درواقع موج جریان تقریباً سینوسی در روتور، گرمایش ناشی از هارمونیکها و نوسانات گشتاور را بهبود می دهد. متقابلاً شکل موج جریان بهتر می شود.

برای دستیابی به رنج سرعت مورد نظر، می توان یک ترانسفورماتور افزاینده با نسبت تبدیل مناسب را به خط سمت سیکلوکانورتر متصل نمود. این عمل ، ولتاژ نامی تریستورها را کاهش می دهد و موجب بهبود ضریب توان خط می شود. این سیستم را می توان برای عملکرد در رنج لغزش نسبی پیرامون سرعت سنکرون طراحی کرد. برای مثال، اگر محدوده سرعت کار، ٪50± سرعت سنکرون باشد، که در شکل نشان داده شده، سیکلوکانورتر تنها ٪50 توان نامی ماشین را به آن می دهد. البته این شامل توان راکتیو مورد نیاز سیکلوکانورتر نمی شود. درایو شربیوس اجازه بازگشت سرعت را نمی دهد و این کار نیاز به یک کنتاکتور بازگشتی در سمت استاتور دارد.

6-5 هارمونیک و گشتاورهای هارمونیکی:

یکسو سازی توان لغزش، جریانهای هارمونیکی را در روتور ایجاد می کنند.و این هارمونیکها توسط عمل ترانسفورمری به سمت استاتور منعکس می شوند. همچنین جریانهای هارمونیکی توسط اینورتر به خط ac تزریق می شوند. در نتیجه، تلفات ماشین افزایش می یابد و گشتاور های هارمونیکی ایجاد می شوند. مولفه های جریان هارمونیکی روتور را می

توان با آنالیز فوریه موج جریان روتور تعیین کرد. جریان روتور یک شکل موج شش پله ای دارد که توسط سری فوریه بصورت زیر بیان می شود:

$$i_r = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d \left(Cos\omega t - \frac{1}{5}Cos5\omega t + \frac{1}{7}Cos\omega t - \frac{1}{11}Cos\omega t + \cdots\right) \qquad (5\text{-}8)$$

پایین ترین مولفه هارمونیکی ،یعنی ۵و۷ خیلی بزرگترند. هر مولفه هارمونیکی در روتور یک میدان مغناطیسی چرخشی ایجاد می کند که در جهت چرخش است و بستگی به مرتبه هارمونیک دارد. برای مثال، جریان هارمونیک $5th$ ، در فرکانس $5S\omega_e$، در جهت مخالف روتور می چرخد. در حالیکه هارمونیک مر تبه ۷ در فرکانس $7S\omega_e$ ، در جهت موافق با روتور می چرخد. در اینجا ما فقط اثر هارمونیک مرتبه ۵ را بررسی می کنیم.

چون روتور با سرعت $\omega_r = \omega_e(1-S)$ ، در جهت مخالف با میدان دوار هارمونیک، می چرخد، جریان هارمونیک استاتور در مقاومت و راکتانس و هر امپدانس دیگری در مدار به گردش در می آید.

معادله جریان هارمونیک استاتور را می توان بصورت زیر نوشت:

$$I_5 = \frac{V_{r5}(1-6S)}{R'_S + j(1-6S)X'_{ls}} \qquad (5\text{-}9)$$

که I_5 جریان هارمونیک در فرکانس $\omega_e(1-6S)$ است و توسط جریان هارمونیک مرتبه ۵ روتور، به استاتور تزریق می شودو $V_{r5}(1-6S)$ ولتاژ القا شده استاتور است. در رابطه بالا ،روتور بعنوان یک اولیه است که ولتاژ را در لغزش $(1-6S)$ به مدار استاتور تزریق می کند.

معادله فوق را می توان بصورت زیر بیان کرد:

$$I_5 = \frac{5SV_{r5}}{[5S/(1-6S)]R'_S + j5SX'_{ls}}$$

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

$$= \frac{5SV_{r5}}{[R'_S / S_5] + j5SX'_{ls}} \qquad (5\text{-}10)$$

که $S_5 = \frac{1-6S}{5S}$ = $\frac{\text{فرکانس هارمونیک استاتور}}{\text{فرکانس هارمونیک روتور}}$ لغزش هارمونیک 5

مدار معادل فقط برای هارمونیک مرتبه 5 معتبر است اما می توان براحتی آنرا برای هارمونیک مرتبه 7 هم تعمیم داد. در حقیقت، جریان هارمونیک القا شده توسط روتور، بین استاتور و مدار مغناطیسی تقسیم می شود. بنابراین:

$$I_5 = I_{r5}\frac{5SX'_m}{\sqrt{(5SX'_S + 5SX'_{ls})^2 + (\frac{5S}{1-6S}R'_S)^2}} = \frac{I_{rf}}{5}\frac{X'_m}{\sqrt{(X'_m + X'_{ls})^2 + (\frac{R'_S}{1-6S})^2}} \qquad (5\text{-}11)$$

که I_{rf} جریان اساسی روتور است. جریان I_5 در لغزش 1 ماکزیمم و در لغزش $S = \frac{1}{6}$ صفر است و معادله (5-11) نشان می دهد که جریان هارمونیک در استاتور کوچکتر از جریان هارمونیک روتور است. و فرکانس هارمونیک که با فرکانس استاتور رابطه ای ندارد، یک اثر ضربانی ایجاد می کند.

گشتاور ضربانی هارمونیک مرتبه 5 را می توان از توان هارمونیک القاء شده به استاتور مطابق زیر به دست آورد:

$$P_{g5} = I_5{}^2 \frac{R'_S}{S_5} \qquad (5\text{-}12)$$

$$T_5 = \frac{P_{g5}}{5S\omega_e} \qquad (5\text{-}13)$$

که $5S\omega_e$ سرعت سنکرون میدان هارمونیک است و S_5 لغزش هارمونیک است.

از ترکیب معادلات (5-12) و(5-13) نتیجه می شود:

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

$$T_5 = (\frac{I_{rf}}{5})^2 \frac{X'm^2}{(X'm + X'_{ls})^2 + (\frac{R'_S}{1-6S})^2} \frac{R'_S}{(1-6S)\omega_e} \qquad (5\text{-}14)$$

معادله فوق گشتاور هارمونیک را بصورت تابعی از لغزش بیان می کند که گشتاور هارمونیک در مقایسه با گشتاور متوسط کوچک است و لذا می توان از آن صرف نظر کرد.

WikiPower.ir

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

منابع و ماخذ:

1) Cycloconverter Design and Application (book) W. McMurry M. I. T. press 1972
2) Cycloconverter Control of Doubly Fed Induction Motor IEEE Transactions IGA, Vol. IGA-7 Jan/Feb 1971.
3) Thyristor control of AC motors by J M D Murphy
4) Ac drive by bose, B,K
5) ECE 8830-Electeric Drives-Slip Recovery Drives for Wound-Field Induction Motors Spring 2004
6) Principal of cycloconverter circuits (book) B. R. Palley
7) الکترونیک صنعتی – سریل لندر
8) الکترونیک صنعتی- رشید
9) ماشینهای الکتریکی چاپمن

WikiPower.ir