درایوهای موتور القایی تکفاز

غلامرضا عرب مارکده[۱] - ایوب باباسالاری[۲]

(۱) استادیار گروه برق- دانشگاه شهرکرد

(۲) کارشناس ارشد شرکت ملی صنایع مس ایران و گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

تاریخ دریافت: زمستان ۱۳۸۸ تاریخ پذیرش: تابستان ۱۳۸۹

خلاصه: در این مقاله سعی شده است به طور مختصر موتورهای القایی تکفاز گوناگون مورد بررسی قرار گرفته و با یکدیگر مقایسه شوند. همچنین مروری بر مبدلهای مختلف مورد استفاده برای کنترل سرعت و راندمان موتور القایی تکفاز شده و معایب و محاسن آنها به تفضیل مورد بحث قرار گرفته است. با مقایسه توپولوژیهای گوناگون مشخص می‌شودکه اینورتر PWM فرکانس متغیر بهترین انتخاب برای کنترل موتور القایی تکفاز است.

کلمات کلیدی: موتور القایی تکفاز (دوفاز)، کنترل برداری، کنترل حلقه باز V/F ثابت.

۱- مقدمه

موتورهای القایی دو فاز نامتقارن که توسط منبع تکفاز تغذیه می‌شوند در لوازم خانگی و تجهیزات صنعتی به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. این گونه موتورها اغلب در جاهایی که سرعت ثابت است کاربرد دارند. در شرایطی که سرعت متغیر مورد نیاز باشد تکنیک‌های الکتریکی و مکانیکی نظیر چرخ‌دنده‌ها و قطب‌های سویچ‌شونده و ... استفاده می‌شود. اما این روشها علاوه بر این که بازدهی پایینی دارند، قادر به کنترل پیوسته بر روی سرعت نمی‌باشند. مسئله دیگر این است که برای راه‌اندازی و عملکرد خوب موتور و به منظور امکان راه‌اندازی با یک منبع تغذیه تکفاز، اغلب سیم‌پیچ‌های موتور دو فاز را به صورت نامتقارن طراحی می‌کنند. نتیجتاً گشتاور موتور شامل دو بخش گشتاور متوسط و گشتاور پالسی است که بخش دوم باعث لرزشهای مکانیکی و نویزهای صوتی قابل شنیدن می‌گردد. لذا دنبال ساختارهایی هستیم که بتواند طیف وسیعی از سرعت را داشته باشد و همچنین اثرات مربوط به گشتاور پالسی را به حداقل برساند و کنترل مناسب سرعت و راندمان روی ساختار انتخاب شده قابل پیاده‌سازی باشد. تلاشهایی برای ساخت این درایوها صورت گرفته است و روشهای متفاوتی از PWM برای این موتور پیاده سازی شده است اما بیشترین کاربرد مربوط به PWM سینوسی و تکنیک‌های PWM مبتنی بر کنترل برداری می‌باشد [۷]-[۱۱].

۲- شرح مقاله

در کاربردهای کم‌توان (کمتر از یک اسب)، بیشتر موتورهای القایی دو فاز (تکفاز) مورد استفاده قرار می‌گیرد. این‌گونه موتورها دارای ساختار روتور ساده هستند و نیاز به هیچگونه جاروبکی ندارند. به همین دلیل این موتورها با دوام‌تر از موتورهای با جاروبک می‌باشند. دمای روتور این موتورها به دلیل آن که از یک قفسه ساده و از ورقه‌های مغناطیسی تشکیل شده است، در حد قابل قبول می‌باشد. اما محدودیت عملکرد موتورهای تکفاز در سرعت‌های پایین است و متناسب با نوع موتور دارای عملکرد متفاوتی ازگشتاور می‌باشیم. در موتورهای تکفاز القایی میدان گردان در سیم‌پیچ به وجود نمی‌آید و نهایتا گشتاوری نیز تولید نمی‌شود. مشکل میدان گردان موتورهای تکفاز توسط روشهای گوناگونی مرتفع شده است. یکی از این روشها استفاده از موتورهای قطب شکسته[۱] است. روش دیگر به وجود آوردن میدان گردان با استفاده از دو سیم‌پیچ الکتریکی است که اغلب امپدانس آنها یکسان نمی‌باشد. یکی از این سیم‌پیچیها دارای امپدانس کوچکتری است که به عنوان سیم‌پیچ دائمی و یا اولیه می‌باشد، سیم‌پیچ دیگرکه دارای امپدانس بزرگتری است موسوم به سیم‌پیچ ثانویه و یا کمکی است. این‌گونه موتورها[۲] به سه دسته تقسیم می‌شوند:

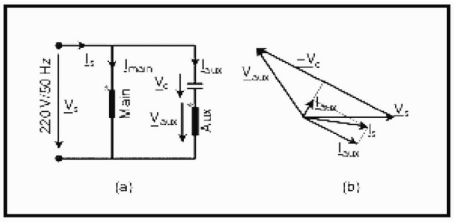
الف- موتورهای دو سیم‌پیچه که دارای یک سوئیچ گریز از مرکز و یک جفت ترمینال ورودی می‌باشند و معمولا برای فن‌ها و دمنده‌ها از این‌گونه موتورها استفاده می‌شود. در لحظه استارت هر دو سیم‌پیچ به صورت موازی بسته می‌شوند و در نزدیکی سرعت نامی کلید گریز مرکز،

سیم‌پیچ استارت را از مدار خارج می‌کند. هنگامی که سرعت موتور به میزان دلخواه رسید، موتور می‌تواند بدون سیم‌پیچ استارت نیز به کار خود ادامه دهد. این نوع موتورها در خلال راه‌اندازی بازدهی خوبی ندارند.

ب- دراین نوع موتورها کلید گریز از مرکز به همراه خازن با سیم‌پیچ استارت سری شده است و خازن اختلاف فاز مورد نیاز را به وجود می‌آورد که خود باعث به وجود آمدن گشتاور راه‌اندازی و کاهش ریپل گشتاور و کم کردن جریان راه‌اندازی می‌شود و هنگامی که موتور به سرعت نامی نزدیک شد کلید گریز از مرکز خازن (و سیم‌پیچ کمکی) را از مدار خارج می‌کند. این گونه موتورها به موتورهای دارای خازن راه‌انداز معروف هستند[۳].

ج- این موتور دیگر نیازی به کلید گریز از مرکز ندارد ولی کماکان دارای خازن سری شده با سیم‌پیچ کمکی است. به عبارت دیگر سیم‌پیچ ثانویه (کمکی) پس از راه‌اندازی از مدار خارج نمی‌شود. این گونه موتورها به موتورهای دارای خازن دائم مشهورند که به آنها اصطلاحاً PSCM[۴] می‌گویند و بهترین نوع از سری خانواده Split Phase می‌باشند. موتورهای با خازن دائمی دارای بهترین عملکرد گشتاور در محدوده عملکرد سرعت می‌باشند. اغلب این موتور را به عنوان یک موتور تکفاز می‌شناسند. این موتور ویژه، در گذشته برای سرعت‌های ثابت طراحی می‌شد و از یک شبکه تکفاز تغذیه می‌گردید. در واقع این موتور یک موتور دو فاز نامتقارن می‌باشد و شامل یک خازن ac است شکل ((a)۱) و می‌توان آنرا در زمره خانواده TPIM[۵] قرار داد. تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ کمکی از تعداد حلقه‌های سیم‌پیچ اصلی بیشتر می‌باشد و لذا به ولتاژ تغذیه بزرگتری نیاز دارد. اختلاف فازی که توسط خازن ac به وجود آمده است باعث می‌شود که جریان‌های جاری شده در سیم‌پیچ‌ها دارای اختلاف فاز 90 درجه باشند و باعث به وجود آمدن میدان گردان[۶] در فاصله هوایی می‌شوند شکل ((b)۱). بالا بودن ولتاژ دو سر خازن و کاهش جریان سیم‌پیچ کمکی باعث می‌شود تا خازن ac مورد نیاز ارزانتر شود. با انتخاب مناسب خازن، نیروی محرکه الکترومغناطیسی برای هر کدام از سیم‌پیچها برابر فرض می‌شوند و گشتاورهای پالسی ناشی از عدم تقارن سیم‌پیچها از بین می‌روند. اما مقدار بهینه خازن بشدت به بار بستگی دارد. بنابراین مشکل گشتاور پالسی یک مسئله همیشگی برای PSCMها می‌باشد. PSCMها وقتی در فرکانس پایین کار می‌کنند دارای مشکلات جدی نظیر گرما، کاهش گشتاور و پالس گشتاوربالا می‌باشند.

د- روش دیگر، حذف خازن و استفاده از یک موتور القایی سه فاز به عنوان یک موتور TPIM با سرعت متغیر می‌باشد که به آن موتور دو فاز نامتقارن بدون خازن یا CLM[۷] گویند. برای بهبود بازده این‌گونه موتورها نیاز به یک ولتاژ کمکی بزرگتر از ولتاژ نامی است و در واقع در بسیاری از تحقیقات و مقالات این محدودیت را نمی‌پذیرند و از این نوع موتورها صرفنظر می‌کنند. اما نگه داشتن خازن در مدار ممکن است مزیت محسوب شود. چون با وجود راکتانس بالا در فرکانس پایین، وجود خازن دائمی کمک می‌کند تا از نیاز به ولتاژ بالاتر در دو سر سیم‌پیچ کمکی اجتناب شود. افزایش راکتانس خازنی در فرکانس‌های پایین به طور جزئی خاصیت جبران‌کنندگی دارد.

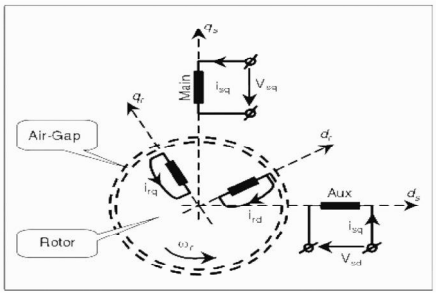


شکل (۱): موتوردوفاز با خازن دائمی
a) تغذیه b) دیاگرام برداری

Fig. (1): The two phase motor with permanent capacitor
a) Supply unit b) Vector diagram

۳ – مدل‌های تحلیل TPIM

تکنیک کلاسیک برای مدل کردن PSCM روش و تئوری میدان گردان می‌باشد که امروزه نیز عمومیت دارد. اگرچه این مدل برای بیان کردن شرایط دینامیکی مناسب نمی‌باشد. تئوری دستگاه مرجع برای تحلیل موتور TPIM نامتقارن دارای مزیتهایی است و مورد استفاده قرار می‌گیرد. جداسازی خازن ac از TPIM کمک می‌کند تا توپولوژیهای متفاوتی را برای درایو ac داشته باشیم. در شکل (۲) روتور به وسیله دو حلقه اتصال کوتاه شده نشان داده شده است. جهت محورها برای هر کدام از سیم‌پیچ‌ها متناسب با جهت مغناطیسی سیم‌پیچ‌ها است.



شکل (۲): TPIM در دستگاه d-q

Fig. (2): TPIM in d-q coordinate

در حالت عملکرد دائمی گشتاور الکترومغناطیسی شامل دو ترم می‌باشد.گشتاور متوسط و گشتاور پالسی[۸] در شکل (۳) مشخصه گشتاور-بار برای PSCM تغذیه شده بر اساس شکل ((a)۱) ترسیم شده است. نقطه کار از برخورد بین منحنی بار و گشتاور متوسط به دست می‌آید. در این موتور مقدار گشتاور پالسی در بار نامی غیرصفر است و انتخاب خازن دائمی باید بر اساس مصالحه‌ای بین حالت راه‌اندازی و حالت دائمی صورت پذیرد.

۴- منبع فرکانس متغیر

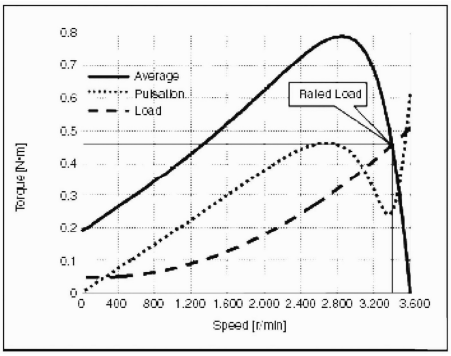
در مورد درایوهای ac اهداف زیر مد نظر می‌باشد:

- کاربرد موتور القایی دو فاز (تکفاز) در سرعت‌های متغیر
- به حداقل رساندن گشتاور پالس

- تلاش برای به دست آوردن تغییرات بزرگ سرعت شافت دربارهای متفاوت.
- نگه داشتن لغزش در محدوده قابل قبول.

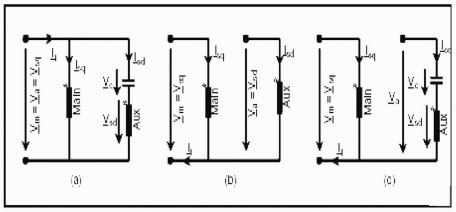
شکل (۴) سه روش متفاوت را برای تغذیه این موتور نشان می‌دهد ولتاژی که در دو سر سیم‌پیچ‌ها می‌افتد Vsq و Vsd می‌باشد که از منبع تغذیه اصلی Vm و منبع تغذیه کمکی Va تغذیه می‌شوند. برای این که تجزیه و تحلیل آسانتر و عام‌تر باشد تغذیه سیم‌پیچ موتورها به این صورت تعریف شده است. بسته به این که از خازن در سیم‌پیچ کمکی استفاده شده باشد یا نه برای تغذیه از یک منبع تکفاز یا دو فاز استفاده می‌شود. در هر سه شکل، ولتاژ دو سر سیم‌پیچ اصلی Vsq است که همواره برابر Vm (ولتاژ تغذیه اصلی) می‌باشد. اما ولتاژ دو سر سیم‌پیچ کمکی هنگامی برابر Va خواهد بود که خازن در مدار نباشد و در صورتی که خازن در مدار باشد ولتاژ دو سر سیم‌پیچ کمکی Vsd برابر با Va نخواهد بود. ساده‌ترین راه تغذیه در شکل ((۴(a)) نمایش داده شده است. که هر دو سیم‌پیچ اصلی و کمکی از یک منبع یکسان تغذیه می‌شوند و خازن دائمی با سیم‌پیچ کمکی سری شده است. تکنیک پیشرفته در شکل ((۴(b)) به نمایش درآمده است. یعنی خازن دائمی حذف شده و منبع تغذیه بین دو سیم‌پیچ اختلاف فاز 90 درجه را به وجود می‌آورد. در این شکل اندازه ولتاژ کمکی n برابر بزرگتر از اندازه ولتاژ اصلی می‌باشد. روش شکل ((۴(c)) تقریبا شبیه روش ذکر شده برای شکل ((۴(a)) می‌باشد، ولتاژهای منبع هم‌فازند اما اندازه ولتاژ کمکی در اندازه نامی باقی می‌ماند و راکتانس جبران‌کننده خازن دائمی در فرکانس‌های پایین افزایش پیدا می‌کند. مقایسه بین این سه روش در شکل (۵) به نمایش درآمده است. برای هر سه دسته نسبت بین ولتاژ منبع اصلی و فرکانس در تمامی رنج‌ها ثابت نگه داشته شده و برابر (115/60) می‌باشد. پروفایل بار در شکل (۳) با خطوط گسسته توپر به نمایش درآمده است. استراتژی volt/Hertz (v/f) گرچه روش مناسبی برای کنترل موتورهای تکفاز نیست اما برای مقایسه سه روش فوق خوب است. تغذیه به روش شکل ((۴(a)) به دلیل این که در فرکانس‌های پایین راکتانس خازن افزایش پیدا کرده و باعث کم کردن تاثیر سیم‌پیچ کمکی می‌گردد، مناسب نیست و موتور دوفاز به یک موتور تک فاز تبدیل می‌گردد. بنابراین گشتاور پالسی به هنگام کم بودن فرکانس، افزایش پیدا می‌کند که خود باعث لرزش و نهایتاً افزایش سروصدای موتور می‌گردد و در سرعت‌های پایین خطر گرم شدن بیش از حد موتور وجود دارد.گشتاور راه‌اندازی کوچک است و در فرکانسهای پایین نزدیک به صفر می‌باشد.

اگر تقارن فازها را بهم بزنیم و کاری کنیم که ولتاژ کمکی n برابر ولتاژ منبع اصلی باشد با موتور بدون خازن شکل ((۴(b)) می‌توان به عملکرد بهتری دست یافت. عملکرد این موتور (CLM) در شکل (۵) با خطوط گسسته توپر به نمایش در آمده است و قابل مقایسه با موتور سه فاز می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت که بازده موتور افزایش و نتیجتاً تلفات توان کاهش یافته است و تقریبا گشتاور پالسی وجود ندارد و گشتاور راه‌اندازی به شدت ارتقاء افزایش یافته است. اگر اندازه ولتاژ کمکی در شکل ((۴(c)) ماکزیمم باشد لغزش و مجموع جریان بهبود می‌یابد اما در سایر مشخصه‌ها شبیه آنچه در شکل ((۴(a)) دیدیم، می‌باشد. این موتور در شکل (۵) به صورت خطوط پیوسته مشاهده می‌شود. در نتیجه بهترین راه‌حل برای تغذیه یک TPIM حذف کردن خازن می‌باشد.



شکل (۳): متوسط گشتاوربار و ماکزیمم گشتاور پالسی

Fig. (3): The average load torque and the maximum pulsed torque



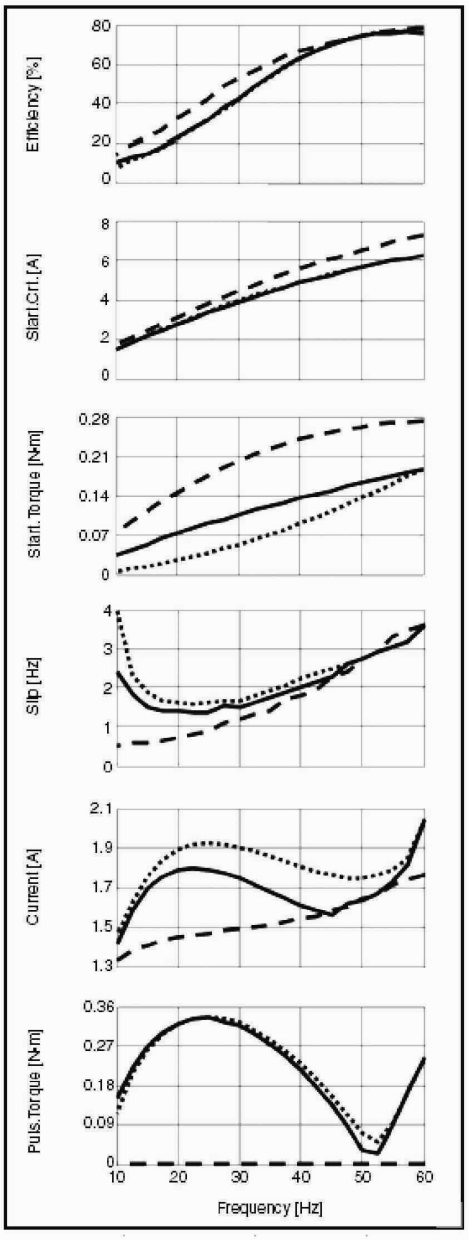
شکل (۴): سه روش برای تغذیه TPIM

Fig. (4): Three methods for supplying TPIM

۵- توپولوژیهای الکترونیک قدرت

بهترین توپولوژی عملی باید دارای مشخصات زیر باشد:

- هزینه اجرایی کمی داشته باشد.
- کنترل آن آسان باشد.
- مدار کنترل و قدرت آن ساده باشد.
- طول عمر آن زیاد باشد.

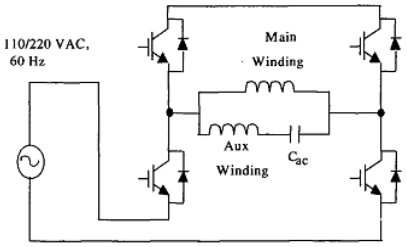


شکل (۵): مقایسه بین روشهای گوناگون تغذیه موتور TPIM با (v/f)=cte: خطوط نقطه‌چین برای PSCM از شکل [۴(a)]. خطوط گسسته توپر برای CLM از شکل [۴(b)]. خطوط پیوسته برای PSCM شکل [۴(c)]

Fig. (5): The comparison between various methods of supplying TPIM with constant (v/f): dotted line for PSCM, broken line for CLM and continuous line for PSCM

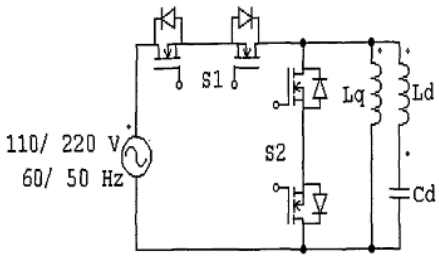
الف- چاپر تکفاز ac/ac

با استفاده از ترایاک و یا دو تایریستور که پشت به پشت بسته شده‌اند، می‌توان ولتاژ موثر موتور را کنترل کرد و آن را برای کنترل سرعت متغیر یک موتور القایی به کار برد. برای پایین آوردن هارمونیک‌ها از توپولوژیهای نشان داده شده در شکل (۶) و (۷) استفاده می‌شود. این راه‌حل استفاده از IGBT را پیشنهاد می‌کند که فقط برای موتورهای PSC[9] مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مدار نیاز به خازن گران‌قیمت dc وجود ندارد ولی برای جلوگیری از ضربه‌های ولتاژ، می‌توان یک خازن ac کوچک را با منبع سری کرد و ممکن است برای حفاظت المان‌ها و تجهیزات نیاز به مدار اسنابر باشد. با روشهای گوناگون PWM می‌توان ضریب توان را نیز بهبود بخشید.



شکل (۶): کنترل موتور PSC با استفاده از یک کانورتر باک ac/ac

Fig. (6): The control of the PSC motor using a buck ac/ac converter



شکل (۷): کانورتر AC/AC

Fig. (7): The AC/AC converter

ب- سیکلو کانورتر تکفاز ac/ac [۶]-[۳]

تصویری که در شکل (۸) آمده است عملاً بسط همان شکل قبلی است. شکل (۷) و ولتاژ ac مستقیما به فرکانس و ولتاژ قابل‌کنترل ac تبدیل می‌شود. در این شکل نیز نیازی به خازن باس DC وجود ندارد و در این مورد گشتاور وجریان موتور بهتر از موارد قبلی کنترل می‌شود. از معایب آن می‌توان به اضافه شدن 12 دیود و همچنین مشکلات مربوط به بازدهی در محدوده سرعت‌های کم نام برد [۶] و موتور نمی‌تواند در سرعت بالای نامی کار کند. استفاده از درایو چاپر DC [۶] نیز در شکل (۹) به نمایش در آمده است.

ج- درایو اینورتر PWM با پل کامل تکفاز

در شکل (۱۰) یک یکسوکننده کامل دایودی به همراه یک اینورتر پل کامل IGBT مورد استفاده قرارگرفته است. خازن dc مورد استفاده قرار گرفته تا توان راکتیو موردنیاز موتور را نیز تامین کند. در این توپولوژی ولتاژ موتور به راحتی تحت کنترل درمی‌آید.

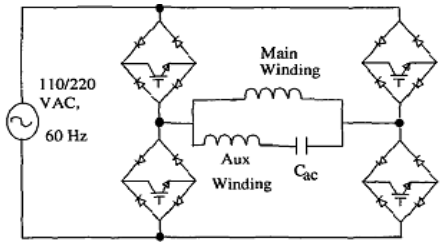
د- اینورتر PWM کامل به همراه یکسوکننده نیم‌موج

توپولوژی مدار در شکل (۱۱) نشان داده شده است و این شکل شبیه مداریست که در شکل (۱۰) به نمایش در آمد. با این تفاوت که در این مدار دو دیود کمتر استفاده شده است تا همان ریپل ولتاژ مدار قبلی استحصال شود. در این دو شکل دو روش برای کنترل سوئیچهای

اینورتر وجود دارد. روش اول استفاده به عنوان یک اینورتر پل تکفاز است که ماکزیمم ولتاژ موتور برابر با ولتاژ خروجی یکسوکننده ac ورودی است. روش دوم عملکرد به صورت یک اینورتر نیم‌موج می‌باشد که یکی از دو سوئیچ در یکی از ساقها در 50% زمان وظیفه، مانند یک نقطه میانی برای باس DC ایفای نقش می‌کند. در این روش ماکزیمم ولتاژ موتور نصف ولتاژ خروجی یکسوکننده ورودی منبع می‌باشد و امکان کاهش گشتاور پالسی فراهم می‌آید.

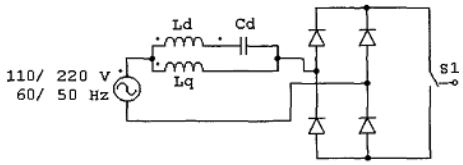
ه- اینورتر PWM کامل به همراه یکسوکننده قابل‌کنترل

توپولوژی این مدار که در شکل (۱۲) نشان داده شده است تعمیم شکل (۱۱) می‌باشد. این مدار تمامی مزایای شکل قبلی به همراه چند مزیت دیگر را دارد. برای یکسوکننده از IGBT استفاده شده است تا جریان منبع راتحت کنترل درآورد. در این توپولوژی میزان اعوجاج هارمونیکی (THD) کاهش می‌یابد و همچنین ضریب قدرت افزایش پیدا می‌کند. این درایو برای رنج وسیعی از سرعت کاربرد دارد و در هر دو جهت مستقیم و معکوس کار می‌کند و ضریب توان آن نزدیک به یک می‌باشد.



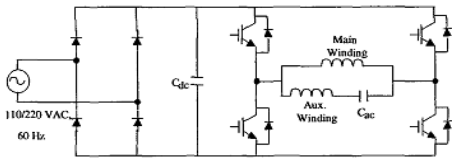
شکل (۸): سیکلوکانورتر تکفاز ac/ac

Fig. (8): The single phase ac/ac cycloconverter



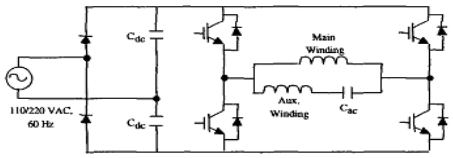
شکل (۹): چاپر DC

Fig. (9): The SC chopper



شکل (۱۰): اینورتر PWM تکفاز با یکسوکننده پل کامل

Fig. (10): The single phase PWM inverter with full bridge rectifier



شکل (۱۱): اینورتر PWM تکفاز با یکسوکننده نیم‌موج

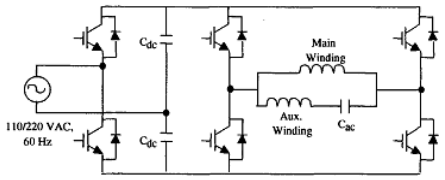
Fig. (11): The single phase PWM inverter with half wave rectifier

و- یکسوکننده نیم‌موج به همراه اینورتر PWM نیم‌پل

این توپولوژی در شکل (۱۳) نشان داده شده است. یک یکسوکننده نیم‌موج مورد استفاده قرار گرفته است. اگرچه باید دقت کرد تعادل نقطه میانی باس DC حفظ شود. در این مدار فقط دو IGBT و دو دیود به کار رفته است.

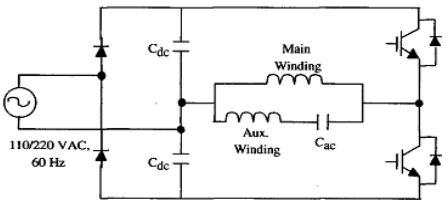
ز- یکسوکننده نیم‌موج کنترل شده به همراه اینورتر PWM نیم‌پل

این توپولوژی تعمیم شکل قبلی است. یعنی بجای دیودها دو IGBT دیگر به کار گرفته شده است. یکسوکننده نیم‌پل کنترل شونده به همراه سویچ‌های دست راست مدار باعث می‌شوند تا ولتاژ قابل تنظیمی در دو سر موتور قرار گیرد. ایراد این مدار همان ایراد مدار نیم‌پل قبلی است و این اشکال همان بالانس نگهداشتن نقطه میانی باس DC است.



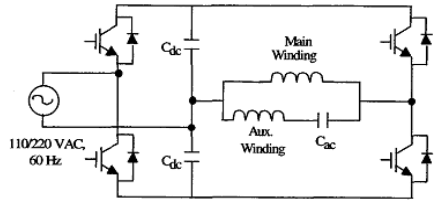
شکل (۱۲): اینورتر PWM تکفاز با یکسوکننده نیمه‌کنترل‌شونده

Fig. (12): The single phase PWM inverter with a semi controlled rectifier



شکل (۱۳): اینورتر PWM تکفاز با یکسوکننده نیمه‌غیرقابل‌کنترل

Fig. (13): The single phase PWM inverter with a semi controlled rectifier



شکل (۱۴): اینورتر PWM تکفاز با یکسوکننده نیمه‌کنترل‌شونده

Fig. (14): The single phase PWM inverter with a semi controlled rectifier

ح- اینورتر PWM تمام پل دو فاز

در این ترکیب که در شکل (۱۵) نشان داده شده است یک درایو اینورتر دو فاز ارائه شده است ویک پل H برای تغذیه هر کدام از سیم‌پیچ‌ها وجود دارد که می‌توانند مستقل از یکدیگر کنترل شوند. بنابراین کنترل دقیق سرعت و گشتاور امکان‌پذیر است و با این توپولوژی به کارگیری کنترل برداری[۱۰] امکان‌پذیر است. باید توجه داشت که در این مدار ۸ سوئیچ به کار رفته است (عیب) اگر چه دیگر نیازی به خازن ac در

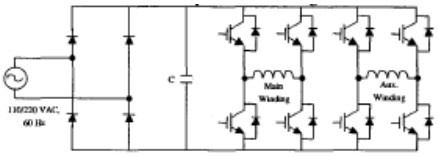
موتور القایی تکفاز نیست ولی هر کدام از سیم‌پیچ‌های اصلی و کمکی به صورت مجزا تغذیه می‌شوند.

ط- اینورتر PWM نیم‌پل دو فاز

این مدار همان نمونه نیم‌پل مدار قبلی است و در شکل (۱۶) به نمایش درآمده است. در این مدار فقط از ۴ سوئیچ استفاده شده است(مزیت) ولتاژی که دو سر سیم‌پیچ موتور قرار می‌گیرد نصف ولتاژ باس DC است و این بدان معنی است که موتور تحت ولتاژی کمتر از نصف مقدار نامی کار می‌کند.

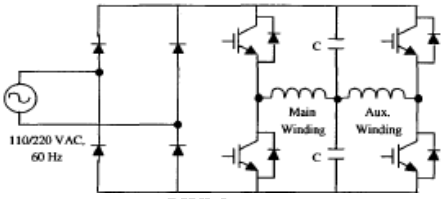
ی- اینورتر PWM پل کامل دو فاز

همانطور که از شکل (۱۷) قابل مشاهده است در این توپولوژی از ۶ ماژول IGBT استفاده شده است و این توپولوژی برای موتور دو فاز می‌باشد. در این شکل نیازی به مقسم باس DC نیست. اگر چه هنوز مشکل مدار پیش پابرجا می‌باشد یعنی ولتاژ موتور نصف ولتاژ ورودی یکسو شده می‌باشد. یک روش PWM خاص نیاز است که به کار گرفته شود تا حداکثرامکان استفاده از ولتاژ خروجی دو امکان‌پذیر گردد. (متعادل یا نامتعادل). ۸ بردار فضایی برای SVPWM[11] در شکل (۱۹) به کار گرفته شده است دو عدد از این بردارها، بردارهای صفر و چهار بردار با یکدیگر برابر و دو بردار دیگر با هم متفاوت می‌باشند. تکنیک هیسترزیس جریان نیز با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل (۱۵): اینورتر PWM پل کامل دو فاز

Fig. (15): The two-phase full bridge PWM inverter

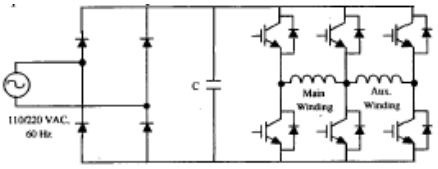


شکل (۱۶): اینورتر PWM نیم‌پل دو فاز

Fig. (16): The two-phase half bridge PWM inveter

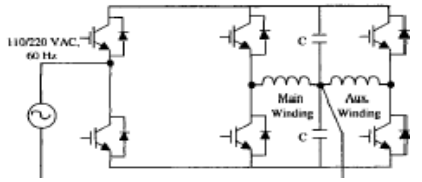
ک- اینورتر PWM دو فاز با یکسوکننده قابل‌کنترل

همانطور که در شکل (۱۸) نشان داده شده است می‌توان جریان منبع و ضریب توان منبع و THD را با استفاده از IGBT به جای دایود، تحت کنترل درآورد و در این توپولوژی می‌توان از SVPWM استفاده کرد. در این اینورتر می‌توان از چهار بردار فضایی استفاده کرد و نیازی به بردار ولتاژ صفر نمی‌باشد.



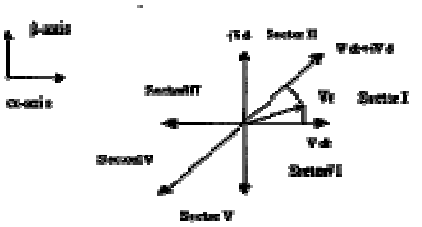
شکل (۱۷): اینورتر PWM پل کامل دو فاز

Fig. (17): The two-phase full bridge PWM inverter



شکل (۱۸): اینورتر PWM دوفاز بایکسوکننده قابل‌کنترل

Fig. (18): The two-phase PWM inverter with controlled rectifier



شکل (۱۹): بردارهای مبنای غیرمساوی (شش بردار غیرصفر و دو بردار صفر) بردارها جهت تولید بردار فضایی

Fig. (19): The unequal base vectors (six non-zero and two zero ones) to generate space vectors

۶- مقایسه

در جدول (۱) توپولوژیهای گوناگون از نظر تعداد قطعات مصرفی، اندازه خازن لینک dc، ضریب توان، محدوده سرعت، عملکرد، قیمت، پیچیدگی مدار کنترل و بازده با یکدیگر مقایسه شده‌اند و می‌توان گفت که توپولوژیهایی که دارای دو مسیر مستقل جریان کنترل‌شونده هستند بهترین گزینه‌ها هستند اگر چه دارای تعداد زیادی از عناصر می‌باشند.

۷- نتایج

موتورهای القایی تکفاز هنگامی که توسط منابع تغذیه با فرکانس متغیر استفاده شوند دارای نتایج رضایت بخشی می‌باشد و می‌توانند به راحتی کنترل دور شوند. روشهای دیگر کنترل سرعت نظیرکنترل اندازه ولتاژ در محدوده وسیعی از سرعت جواب نمی‌دهند (نسبت به کنترل فرکانس). روشهای کنترلی برای عملکرد بالای موتور القایی تکفاز با توپولوژیهای گوناگون و کانورترهای مختلف، ترکیب می‌شوند. در این مقاله، محاسن و معایب توپولوژیهای گوناگون اینورترهای مورد استفاده در تغذیه موتورهای القایی تکفاز مورد بحث قرار گرفت.

پی‌نوشت:

1- Shaded- Pole
2- Split- Phase
3- Start- Capacitor
4- Permanent Split Capacitor Motor

9- Permanent Split Capacitor
10- Field Oriented Control
11- SpaceVector PWM

5- Two Phase Induction Motor
6- Rotating Field
7- Capacitor Less Motor
8- Torque Pulse

Table (1): Comparison of the different converters
جدول (۱): مقایسه کانورترهای مختلف

مشخصات	چاپر AC/AC	سیکلوکانورتر		اینورتر PWM تکفاز				اینورتر PWM دو فاز			
				اینورتر نیم‌پل		اینورتر پل کامل					
						ولتاژ لینک DC دوبل		ولتاژ لینک DC نامی		متقارن	نامتقارن
تعداد المانها	4S+ 4Ds	4S+ 16Ds	1S+ 4Ds	2S+ 4Ds	4S+ 4Ds	4S+ 6D	6S+ 6D	4S+ 8Ds	6S+ 8Ds	6S+ 10D	8S+ 10D	4S+ 8Ds	6S+ 8Ds
خازن لینک dc	استفاده نشده	استفاده نشده	استفاده نشده	خیلی بزرگ	خیلی بزرگ	خیلی بزرگ	خیلی بزرگ	بزرگ	بزرگ	بزرگ	بزرگ	خیلی بزرگ	خیلی بزرگ
ضریب توان	خوب	خوب	خوب	خوب	عالی	خوب	عالی	خوب	عالی	خوب	عالی	خوب	عالی
محدوده سرعت	خیلی کوچک	متوسط	متوسط	وسیع	وسیع	وسیع	وسیع	وسیع	وسیع	وسیع	وسیع	وسیع	وسیع
عملکرد	خوب	خوب	ضعیف	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	خیلی خوب	عالی	عالی	عالی	عالی
قیمت	پایین	پایین	کمترین	متوسط	بالا	متوسط	بالا	متوسط	بالا	بالا	بالاترین	بالا	بالاترین
پیچیدگی کنترل	ساده	متوسط	ساده‌ترین	متوسط	پیچیده	متوسط	پیچیده	متوسط	پیچیده	پیچیده	خیلی پیچیده	پیچیده	خیلی پیچیده
بازده	؟	بالا	پایین	بالا	بالا	بالا	بالا	بالا	بالا	بالاترین	بالاترین	بالاترین	بالاترین

References

[1] F. Blaabjerg, K. Lungeanu, K. Skaug, M. Tonnes, "Two-phase induction motor drives", IEEE Ind. Appl. Mag., July/Aug, 2004
[2] A.S. Ba-thunya, R. Khopkar, K. Wei, H.A. Toliyat, "Single phase induction motor drives", Literature Survey in Conf. Rec., pp.911-916, 2001.
[3] A. Khoei, S. Yuvarajan, "Steady state performance of a single phase induction motor fed by a direct ac-ac converter", Proc. of IEEE Conf., pp.128-132, 1989.
[4] M.B. Uddin, M. Akhtar, M. Rezwan Khan, M.A. Choudhury, M.A. Rahman, "Phase shifting by static PWM cyclo inverters for starting single phase induction motors", Proc. of the PCC-Yokohama, 1993, pp-532-53.
[5] A. Julian, R. Wallace, P.K. Sood, "Multi-speed control of single phase induction motors for blower application", IEEE Trans. Pow. Elec., Vol.10, No.1, Jan.1995.
[6] A.A.M. Makky, G.M. Abdel-Rahim, N. Abd El-Latif, "A novel DC chopper drive for a single phase induction motor", IEEE Trans. on Ind. Elec., Vol.42, No.1, Feb. 1995.
[7] D. Jang, D. Yoon, "Space vector PWM technique for two-phase inverter-fed single-phase induction motors", Proc. of IEEE Conf., pp.47-53, 1999.
[8] D. Jang, G.Ch. Kim, J. Won, "Phase-difference control of 2-Phase Inverter-fed", Proc. IEEE Conf., pp.571-578, 1989.

رزومه

غلامرضا عرب مارکده در سال ۱۳۵۳در شهرکرد متولد شده و دوره کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق الکترونیک دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۷۵و دوره کارشناسی ارشد و دکتری را در همان دانشگاه به ترتیب در سالهای ۱۳۷۷ و ۱۳۸۴ اخذ نمود و در حال حاضر به عنوان استادیار دانشکده فنی دانشگاه شهرکرد مشغول بـه کـار مـی‌باشـد. زمینـه تحقیقاتی ایشان درایوهای الکتریکی، الکترونیک صنعتی و سیستمهای کنترل غیرخطی می‌باشد.

ایوب باباسالاری در شهرستان کازرون متولد شده و مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسـی بـرق قـدرت دانشـگاه صنعتی اصفهان اخذ نمود. از سال ۱۳۷۸ در شرکت ملی صنایع مس ایران مشغول به کار بوده و در حال حاضر به عنوان دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد مشغول به تحصیل می‌باشد.