بررسی و ساخت یک مبدل مستقیم فرکانس بدون نیاز به خازن و سلف در مدار واسط dc

حمید رضا کارشناس [۱] سید جواد موسوی [۲]

۱- استادیار -دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان - اصفهان- ایران
karshen@cc.iut.ac.ir
۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه صنعتی اصفهان - اصفهان - ایران
mousavi314@gmail.com

چکیده: مبدلهای مستقیم *ac-ac* با استفاده از کلیدهای کنترل شده دو طرفه که با نام مبدلهای ماتریسی نیز شناخته می شوند بخاطر حجم کم و قابلیتهای بسیار خوب امروزه مورد توجه بسیار قرار گرفته اند. با این وجود استفاده از کلیدهای دوطرفه و عدم قابلیت اطمینان این کلیدها باعث شده که این مبدلها کماکان در مراحل تحقیقاتی قرار داشته باشند. این مقاله به بررسی یک مبدل سه فاز *ac-ac* می پردازد که در آن از دو مبدل سه فاز ساخته شده از مدولهای استاندارد و کلیدهای نیمه هادی موجود در بازار استفاده شده است. شکل موجهای این مبدل هم در ورودی و هم در خروجی بصورت سینوسی پردازش می شوند. در مبدل مورد بررسی کلیدزنی و پردازش سیگنالهای PWM باید بصورت هماهنگ بین مبدل ورودی و خروجی انجام گردد. این مطلب بر پیچیدگی پردازش این سیگنالها در مقایسه با روش های متعارف PWM می افزاید. در این مقاله ضمن توصیف عملکرد و شبیه سازی مبدل پیشنهادی، نتایج عملی حاصل از پیاده سازی یک نمونه آزمایشگاهی ارائه شده و با نتایج تئوریک مقایسه می گردد.

کلمات کلیدی: مبدل ac - ac ، مبدل ماتریسی ، مدولاسیون بردار فضایی

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۸۷/۱۲/۲
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۸۹/۱۲/۱۶

نام نویسنده‌ی مسئول : دکتر حمیدرضاکارشناس
نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران – اصفهان – خیابان جمهوری اسلامی– میدان استقلال – دانشگاه صنعتی اصفهان – دانشکده‌ی برق و کامپیوتر

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.8- No.1- Spring & Summer 2011
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

۱- مقدمه

مبـدلهای ac-ac یـا مبـدلهای فرکـانس آن دسـته از مبـدلهای الکترونیک قدرت هستند که برای تبادل انرژی بین دو سیسـتم ac بـا فرکانس های متفاوت و یا دو سیستم ac هم فرکانس و غیرسنکرون به کار می روند. از موارد مختلـف اسـتفاده از ایـن مبـدلها مـی تـوان بـه درایوهای ac، خطوط HVDC، مبدل خروجی میکروتوربین ها، منـابع تغذیه خارجی هواپیماها و سیستم محرکه کشتیهای نوین اشاره نمود.

ساختارهای متفاوتی برای مبدلهای ac-ac ارائه گردیـده کـه هـر یک دارای معایب و محاسن خاصی می باشند[۱]. بطور کلی مشخصـه هایی نظیر وزن و حجم کم، کیفیـت بـالای شـکل موجهـای ورودی و خروجی، بازده خوب، قابلیـت اطمینـان بـالا و در نهایـت قیمـت قابـل رقابت از نیازهای عمده این مبدلها می باشند.

در یک طبقه بندی کلی، مبدلهای ac-ac را می توان بـه دو نـوع "مستقیم" و "غیرمستقیم" تقسیم نمود. مبـدلهای غیـر مستقیم -ac ac دارای یک مـدار واسـط dc بوده و لذا آنهـا را با مبـدلهای -ac-dc ac نشان می دهند. کمیت dc مدار واسط می تواند از جنس ولتاژ و یـا جریان باشد. امروزه مبدلهای غیرمستقیم با مدار واسـط ولتـاژ یکـی از شایعترین و پرکـاربرد تـرین مبـدلهای ac-ac هسـتند. بـا ایـن وجـود معایبی شبیه حجم نسبتا زیاد و بازده کم از معایب عمده این مبدلهای می باشد. علاوه بر این خازنهای الکترولیتی موجود در این مبدلها در اثر مرور زمان قابلیت اطمینان خـود را بشـدت از دسـت داده و در نهایـت عملکرد کل مبدل را خدشه دار میسازند . تلاشهائی برای تعویض ایـن خازنها با خازنهای غیر الکترولیتی با حجم کمتـر و عمـر بیشـتر شـده است که عموما نتایج بدست آمده تائید نگردیده و صـنعتی نشـده انـد [۲و۳].

مبدلهای مستقیم ac-ac یا مبدلهای مستقیم فرکانس آن دسته از مبدلهایی هستند که بطور مستقیم و بدون مدار واسط dc انرژی الکتریکی را بین دو سیستم ac با دامنه و فرکانس مختلف تبادل می کنند. اولین نوع این مبدلها که با استفاده از تریستور و کموتاسیون طبیعی ساخته گردیدند سیکلو کنورتر نام گرفتند [۴]. محدودیت ناشی از کموتاسیون طبیعی در این مبدلها موجب ایجاد محدودیتهای ذاتی دیگری از قبیل محدودیت فرکانس خروجی گردید. علاوه بر این ولتاژ خروجی وجریان ورودی این مبدلها دارای هارمونیکهای مرتبه پایین با دامنه نسبتا زیاد می باشند که مخصوصاً در شبکه های امروزی قابل قبول نمی باشد.

نسل جدید مبدلهای مستقیم فرکانس از کلیدهای کاملاً کنترل شده با کموتاسیون اجباری استفاده کرده و به آنها مبدلهای ماتریسی گفته می شود[۵و۶]. در این مبدلها کلیدهای بکار رفته باید قابلیت هدایت جریان و تحمل ولتاژ در هر دو جهت را داشته باشند. علیرغم اینکه چنین کلیدی از طریق کلیدهای استاتیک موجود قابل پیاده سازی می‌باشد ولی عملکرد آن هنوز قابلیت اطمینان مورد نیاز را پیدا نکرده و لذا مبدلهای ماتریسی هنوز در مراحل تحقیقاتی قرار دارند.

در این مقاله یک مبدل مستقیم ac-ac مورد بررسی قرار می گیرد که در آن از کلیدهای دوطرفه استفاده نشده است [۷و۸و۹]. به همین دلیل یکی از مشکلات اساسی مبدلهای ماتریسی مرتفع گشته ضمن اینکه اغلب محاسن آنها از قبیل عدم محدودیت در فرکانس ورودی و خروجی و شکل موج سینوسی در ورودی و خروجی حفظ گردیده است.

علیرغم معرفی اجمالی ساختار مورد بررسی در تعداد محدودی از مقالات دیگر [۹]، رفتار و روش های کلید زنی در آن مورد مطالعه قرار نگرفته است. در حقیقت وابستگی و ارتباط مستقیم ترمینال های ورودی و خروجی در ساختار مورد بررسی پردازش سیگنالهای PWM را در آن دچار پیچیدگی می کند. به عبارت دیگر لازم است سیگنالهای PWM در مبدلهای ورودی و خروجی بطور کاملاً هماهنگ و هم زمان پردازش گردند. چگونگی پردازش این سیگنال ها و تولید سیگنال های گیت مناسب برای کلید های نیمه هادی تحقیق اصلی این مقاله را تشکِل می دهد.

در این مقاله ابتدا مبدلهای ماتریسی بهمراه ساختار و روش پردازش سیگنالهای PWM در آنها بطور اختصار مورد توجه قرار می گیرد. سپس ساختار مبدل مورد بررسی بهمراه الگوریتم کلیدزنی در آن معرفی شده و بررسی می‌گردد. شبیه سازی این ساختار توسط نرم افزار PSIM بخش بعدی این مقاله را تشکیل می دهد. در نهایت نتایج حاصل از پیاده سازی عملی سیستم ارائه گردیده و ضمن مقایسه با نتایج شبیه سازی، صحت مطالعات تئوریک تائید می گردد.

۲- مبدلهای ماتریسی

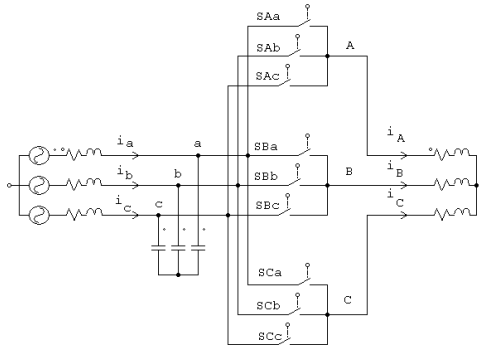
مبدلهای ماتریسی را می توان نسل جدید سیکلو کنورترها دانست که در ساختار آنها بجای استفاده از تریستور از کلیدهای کنترل شده دوطرفه استفاده شده است. منظور از کلید دو طرفه کلیدی است که هم قابلیت هدایت جریان از دو طرف و هم قابلیت تحمل ولتاژ با پلاریته مثبت و منفی را داشته باشد. شکل ۱-الف ساختار یک مبدل ماتریسی را نشان می دهد. پیاده سازی کلیدهای دو طرفه با توجه به تکنولوژی امروزی عموما توسط دو کلید کنترل شده یکطرفه مطابق با شکل ۱-ب انجام می‌پذیرد. با این وجود باید توجه داشت که استفاده از این ساختار برای کلید های دوطرفه مشکلات کموتاسیون خاصی را ایجاد می کند. بهمین دلیل ساخت کلیدهای استاتیکی دو طرفه هنوز یکی از چالشهای اساسی در ساخت مبدلهای ماتریسی می باشد [۱۰].

با توجه به شکل ۱-الف در یک مبدل ماتریسی در هر لحظه امکان اتصال هر یک از فازهای خروجی به هر یک از فازهای ورودی توسط یک کلید دوطرفه امکان پذیر می باشد. در این مبدلها، شبیه بقیه مبدلهای با قابلیتهای بالا، لازم است بتوان ولتاژ های سه فاز خروجی را با دامنه و فرکانس دلخواه پردازش نمود. این مهم از طریق

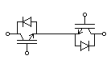
Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.8- No.1 Spring & Summer 2011

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

انجام مدولاسیون عرض پالس (PWM) روی ولتاژ های ورودی انجام می پذیرد. با این وجود باید توجه داشت که در این فرآیند برخلاف مبدلهای متعارف dc-ac، کمیت مدوله شونده یک کمیت dc نبوده بلکه ولتاژهای سه فاز ورودی با مقادیر لحظه ای متغیر می باشند. بهمین دلیل استفاده از روشهای PWM بصورت متعارف در این مبدلها امکان پذیر نمی باشد. از طرف دیگر نیل به جریان ورودی با ضریب قدرت واحد و اعوجاج کم از دیگر اهداف این مبدلها است. بعبارت دیگر لازم است مدولاسیون عرض پالس بر روی شکل موجهای جریان خروجی جهت پردازش جریانهای ورودی و بطور همزمان با مدولاسیون ولتاژ های خروجی انجام پذیرد. این پردازشها با توجه به ارتباط مستقیم ورودی و خروجی و عدم وجود مدار واسط dc باید بر روی کمیتهای متغیر زمانی انجام گرفته و در نتیجه پیچیده می باشد.



(الف)



(ب)

شکل (۱): (الف) ساختار یک مبدل ماتریسی. (ب) طریقه پیاده سازی کلید دوطرفه

یکی از بهترین روشها جهت پردازش شکل موجهای PWM در مبدلهای ماتریسی استفاده از روش بردار فضائی می باشد. بطور کلی در این روش لازم است ابتدا کلیه بردارهای فضایی متناظر با حالتهای مختلف کلید زنی تعریف گردد. با توجه به ساختار مبدل ماتریسی و محدودیتهای موجود برای کلیدزنی این مبدلها، می توان ۲۷ حالت کلیدزنی (یا بردار فضایی) در این مبدلها تعریف کرد [۵]. از ۲۷ بردار تعریف شده، ۶ بردار بدلیل چرخان بودن برای پردازش بردار فضایی قابل استفاده نیستند. ۳ بردار نیز بعنوان بردارهای حالت صفر ترمینال‌های خط خروجی مبدل را اتصال کوتاه کرده و در پردازش نهایی مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین ۱۸ بردار فضایی غیر صفر برای پردازش شکل موجهای خروجی موجود می‌باشد. مجموعه این بردارها به همراه ارتباط بین کمیتهای ورودی و خروجی متناظر با هر بردار در جدول ۱ نشان داده شده است.

همانگونه که اشاره گردید در یک مبدل ماتریسی لازم است عمل مدولاسیون عرض پالس بطور همزمان روی ولتاژهای خروجی و جریانهای ورودی اعمال گردد. ذکر این نکته نیز ضروری است که در حالت کلی دامنه و فرکانس کمیتهای ورودی و خروجی مستقل از هم بوده و عموما متفاوت می باشند. با توجه به این مطلب بردارهای فضایی مربوط به حالتهای مختلف کلیدزنی را می توان در دو گروه یکی متناظر با ولتاژهای سه فاز خروجی و دیگری متناظر با جریانهای سه فاز ورودی نشان داد. این مطلب در شکل۲ نشان داده شده است. توجه شود که نشان دادن چند بردار در یک راستا در این شکل نمایش دهنده متغیر بودن دامنه این بردارها نسبت به زمان می باشد.

جدول(۱): بردارهای فضایی غیر صفر بهمراه ارتباط بین کمیتهای ورودی و خروجی متناظر با هر بردار در یک مبدل ماتریسی

گروه	نام بردار	v_{AB}	v_{BC}	v_{CA}	i_a	i_b	i_c
IIa	1P	v_{ab}	0	$-v_{ab}$	i_A	$-i_A$	0
	1N	$-v_{ab}$	0	v_{ab}	$-i_A$	i_A	0
	2P	v_{bc}	0	$-v_{bc}$	0	i_A	$-i_A$
	2N	$-v_{bc}$	0	v_{bc}	0	$-i_A$	i_A
	3P	v_{ca}	0	$-v_{ca}$	$-i_A$	0	i_A
	3N	$-v_{ca}$	0	v_{ca}	i_A	0	$-i_A$
IIb	4P	$-v_{ab}$	v_{ab}	0	i_B	$-i_B$	0
	4N	v_{ab}	$-v_{ab}$	0	$-i_B$	i_B	0
	5P	$-v_{bc}$	v_{bc}	0	0	i_B	$-i_B$
	5N	v_{bc}	$-v_{bc}$	0	0	$-i_B$	i_B
	6P	$-v_{ca}$	v_{ca}	0	$-i_B$	0	i_B
	6N	v_{ca}	$-v_{ca}$	0	i_B	0	$-i_B$
IIc	7P	0	$-v_{ab}$	v_{ab}	i_C	$-i_C$	0
	7N	0	v_{ab}	$-v_{ab}$	$-i_C$	i_C	0
	8P	0	$-v_{bc}$	v_{bc}	0	i_C	$-i_C$
	8N	0	v_{bc}	$-v_{bc}$	0	$-i_C$	i_C
	9P	0	$-v_{ca}$	v_{ca}	$-i_C$	0	i_C
	9N	0	v_{ca}	$-v_{ca}$	i_C	0	$-i_C$

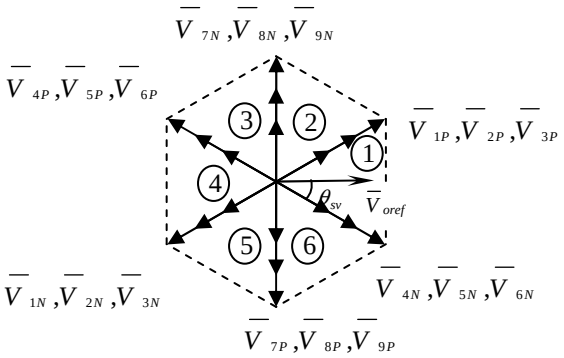
در پیاده سازی الگوریتم کلیدزنی این مبدل ها ابتدا بردارهای مرجع ولتاژ خروجی و جریان ورودی بر اساس نیازهای دامنه و فرکانس این کمیتها تعریف می گردند. با قرار گیری هرکدام از این بردارهای مرجع ولتاژ و جریان در یکی از ۶ ناحیه ممکن، جمعاً ۳۶ حالت مختلف قابل تعریف خواهد بود. در هر حالت طی یک فرایند دقیق، بردارهای کلیدزنی مناسب فراخوانی و به ماتریس کلید ها اعمال می گردد. این مطلب در بخش ۴ مورد بررسی قرار می گیرد.

۳- ساختار مورد بررسی

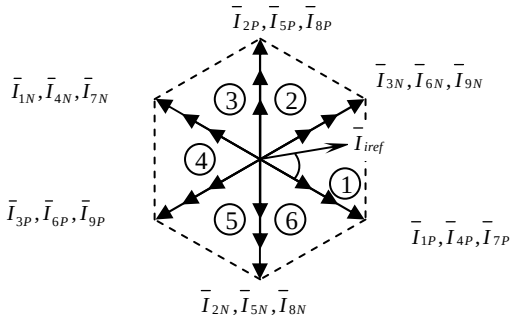
یک مبدل ماتریسی را می توان به صورت مجازی به دو مبدل پل سه فاز شبیه شکل ۳ تجزیه نمود. در صورت استفاده از کلیدهای دو طرفه در شکل ۳، شبیه آنچه در شکل ۱-ب نشان داده شده است، می توان قابلیتهایی کاملا شبیه به یک مبدل ماتریسی از این ساختار انتظار

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.8- No.1- Spring & Summer 2011
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

داشت. واضح است که در این صورت نه تنها این ساختار مزیتی نسبت به یک مبدل ماتریسی ندارد، بلکه به علت استفاده از ۱۲ کلید دوطرفه ساختار آن به مراتب گرانتر و پیچیده تر خواهد شد. بهمین منظور تجزیه یک مبدل ماتریسی به ساختار شکل ۳ در مراجع فقط به صورت مجازی و تنها برای کمک به تعیین منطق کلیدزنی انجام گرفته است[۵].

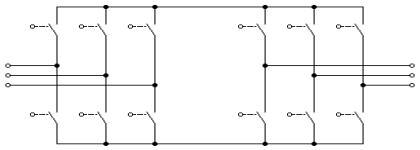


(الف)



(ب)

شکل(۲): (الف) بردارهای فضایی ولتاژهای خط خروجی شامل بردارهای ساکن و بردار مرجع ولتاژ. (ب) بردارهای فضایی جریانهای خط ورودی شامل بردارهای ساکن و بردار مرجع جریان. توجه شود که دامنه بردارها متغیر می باشد.



شکل(۳): تجزیه یک مبدل ماتریسی به دو مبدل dc-ac با کلیدهای دوطرفه

ترمینالهای خروجی در یک مبدل ماتریسی ماهیتی شبیه ترمینالهای خروجی در مبدل های dc-ac از نوع ولتاژ دارند. در هردوی این مبدلها یک ولتاژ توسط روشهای مدولاسیون عرض پالس پردازش شده و در ترمینالهای خروجی قرار می گیرد. تنها تفاوت این مبدلها در ماهیت ولتاژ ورودی می باشد که در یکی dc با دامنه ثابت و در دیگری ac با دامنه متغیر می باشد. با این وجود این تفاوت تغییری در ماهیت مداری ترمینالهای خروجی ایجاد نمی کند. به طریق مشابه مبدلهای ماتریسی از دید ترمینالهای ورودی ماهیتی شبیه مبدلهای ac-dc از نوع جریان دارند. در هردوی این مبدلها یک جریان توسط روشهای مدولاسیون عرض پالس پردازش شده و به ترمینالهای ورودی منعکس می شود. تنها تفاوت این مبدلها در ماهیت جریان خروجی می باشد که در یکی dc با دامنه ثابت و در دیگری ac با دامنه متغیر می باشد. مجددا این تفاوت تغییری در ماهیت مداری ترمینالهای ورودی ایجاد نمی کند. در حقیقت خازنهای ورودی شکل ۱-الف که لازم است هر چه نزدیکتر به ترمینالهای ورودی نصب گردند بر همین اساس تعبیه شده اند.

بر اساس واقعیتهای فوق، ایده استفاده از یک مبدل ac-dc از نوع مبدلهای جریان و یک مبدل dc-ac از نوع مبدلهای ولتاژ بصورت پشت به پشت همانند شکل۴ می تواند مطرح گردد[۹-۷]. نکات مهم در ارتباط با این ساختار عبارت اند از :

۱. این ساختار از مبدلهای استاندارد ولتاژ و جریان با کلیدهای یکطرفه مرسوم تشکیل شده اند. بطور خاص مبدل خروجی از نوع ولتاژ بوده و بصورت مدول آماده به سهولت در بازار قابل تهیه می‌باشد. این مطلب یکی از مزایای اساسی ساختار پیشنهادی نسبت به ساختار مبدلهای ماتریسی می باشد که مشکلات کموتاسیون مربوط به کلیدهای دو طرفه را مرتفع می کند. توجه شود که دیودهای موازی با IGBT ها در طبقه ورودی در این ساختار نیاز نمی‌باشد. معهذا از آنجا که این دیودها در ترانزیستورهای قدرت تجارتی موجود در بازار معمولا تعبیه می گردند در این شکل نیز نشان داده شده اند. امروزه IGBT های با قابلیت تحمل ولتاژ معکوس با نام RB-IGBT نیز ارائه شده اند که نیاز به این دیود ها را مرتفع می کند. به علاوه در قدرتهای بالا و در صورت استفاده از المانهایی نظیر GTO ، مجددا نیاز به دیودهای سری نشان داده شده نمی باشد.

۲. ساختار شکل ۴ فاقد فیلتر مدار واسط dc (سلف یا خازن یا مجموعه آنها) می‌باشد. همانگونه که در مقدمه ذکر گردید این فیلترها باعث افزایش حجم، وزن و قیمت سیستم گردیده و قابلیت اطمینان سیستم را کاهش می دهند. بنابر این عدم استفاده از این فیلترها در مبدل مورد بررسی آنها را نسبت به مبدلهای مرسوم ac-dc-ac با فیلتر مدار واسط ارجحیت می بخشد.

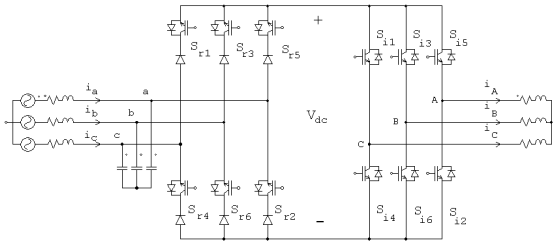
۳. علیرغم شباهت اولیه ساختار شکل۴ با ساختارهای استاندارد مبدلهای غیر مستقیم ac-dc-ac، مبدلهای این شکل دارای دو ساختار متفاوت، یعنی مبدل ولتاژ در خروجی و مبدل جریان در ورودی می باشند.

۴. دو مبدل مذکور از طریق یک فیلـــتر dc (خازن یا سلف مدار

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

واسط) از هم جدا نشده و لذا کلیدزنی آنها نمی تواند به صورت مستقل انجام پذیرد.

با توجه به نکته آخر لازم است یک روش مناسب برای کلیدزنی مبدل شکل۴ ابداع گردد بگونه ای که بتواند نیازهای کمیتهای ورودی و خروجی را نظیر دامنه و فرکانس متغیر و اعوجاج کم برآورده نماید. این مطلب در بخش های بعد مورد مطالعه قرار می گیرد.



شکل(۴): ساختار مبدل مورد بررسی شامل دو مبدل استاندارد

۴- الگوریتم کلیدزنی در ساختار مورد بررسی

همانگونه که در بخش قبل ذکر گردید مبدل مورد بررسی فاقد هر گونه فیلتر در مدار واسط dc می باشد. این مشخصه علیرغم اینکه یک حسن عمده به شمار می آید با این وجود الگوریتم کلیدزنی مبدلهای ورودی و خروجی را کاملا بهم وابسته می کند. در این بخش ابتدا عملکرد کلی مبدل به اختصار توصیف گردیده و سپس یک الگوریتم کلیدزنی مناسب پیشنهاد می گردد.

با توجه به ساختار مبدل پیشنهادی در شکل ۴، و با در نظر گرفتن ماهیت عملکرد مبدلهای ac-dc نوع جریان، می توان دید که در مبدل پیشنهادی در هر لحظه ولتاژهای ورودی با یک زمانبندی مناسب توسط مبدل ورودی در مدار واسط قرار می گیرند تا پس از زمانبندی مناسب در ترمینالهای خروجی قرار گیرند. در این فرآیند جریانهای خروجی نیز توسط مبدل خروجی به مدار واسط dc منتقل شده و سپس از طریق مبدل ورودی به ترمینالهای ورودی منعکس می شوند. در این فرآیند منظور از "مناسب" بودن، پردازش بگونه ای است که هم در خروجی و هم در ورودی دامنه و فرکانس کمیتها بطور مستقل قابل کنترل بوده و علاوه بر این کمیتهای فوق فاقد اعوجاج و با ضریب قدرت مناسب باشند.

عدم وجود فیلتر در مدار واسط dc در مبدل شکل ۴ به منزله برابری توان لحظه ای ورودی و خروجی می باشد. بعبارت دیگر علیرغم وجود مدار واسط dc، ترمینالهای ورودی و خروجی در مبدل پیشنهادی در هر لحظه عملاً بطور مستقیم بهم متصل می باشند. این مشخصه از نقطه نظر منطق کلیدزنی بسیار شبیه مبدلهای ماتریسی بوده و لذا می توان از الگوریتم کلیدزنی این مبدلها برای مبدل پیشنهادی نیز الهام گرفت.

بعنوان مثال فرض کنید همانند شکل ۲ بردارهای فضائی مرجع ولتاژ و جریان هر دو در ناحیه اول از صفحه بردارهای فضائی متناظر با هر مبدل قرار داشته باشند. مطابق شکل ۲-الف برای پردازش بردار مرجع ولتاژ، می توان از بردارهای 1N و2N و3N و4N و5N و6N و1P و2P و3P و4P و5P و6P استفاده کرد. بطور مشابه مطابق شکل ۲-ب می توان از بردارهای 3N و 6N و 9N و 3P و 6P و 9P و 1N و 4N و 7N و 1P و 4P و 7P برای پردازش بردار مرجع جریان استفاده نمود. بنابراین جمعا ۱۶ بردار 1N و2N و3N و4N و5N و6N و 7N و 9N و1P و2P و3P و4P و5P و6P و 7P و 9P می توانند بصورت بالقوه در پردازش بردارهای مرجع ولتاژ و جریان مورد استفاده قرار گیرند.

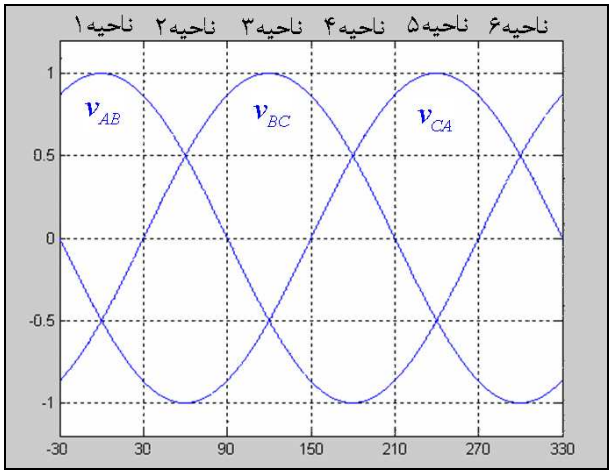
قدم بعدی انتخاب بردارهای مناسب از بین این ۱۶ بردار می باشد. برای این منظور منحنی های شکل ۵ که نمایشگر کمیتهای زمانی متناظر با بردارهای فضائی شکل۲ می باشند مورد توجه قرار گیرند. در ناحیه ۱ از بردارهای فضائی خروجی ، ولتاژ v_{AB} حداکثر بوده (شکل ۵-الف) و بنابراین استفاده از بردارهای گروه IIc در جدول۱ به دلیل صفر بودن آنها منطقی نمی باشد. از طرف دیگر در ناحیه ۱ از بردارهای فضائی ورودی، مقادیر v_{ab} و v_{ca} – بیشترین دامنه را دارند (شکل ۵-ب). بنابراین با توجه به پلاریته ولتاژ v_{AB} ، برای پردازش این ولتاژ از ولتاژهای v_{ab} و v_{ca} – استفاده می شود. به همین دلیل با مراجعه به جدول۱ بردارهای 1P و 3N و 4N و 6P برای پردازش v_{AB} انتخاب می گردند .

جدول۲ نمایشگر حالتهای مختلف کلیدها در یک مبدل ماتریسی (شکل۱) و مبدل پیشنهادی (شکل۴) می باشد. ستون آخر این جدول نمایشگر زمانی است که باید هر بردار در طول یک پریود نمونه برداری اعمال گردد. می توان نشان داد که این زمانها از طریق روابط (۱) قابل محاسبه هستند [۶].

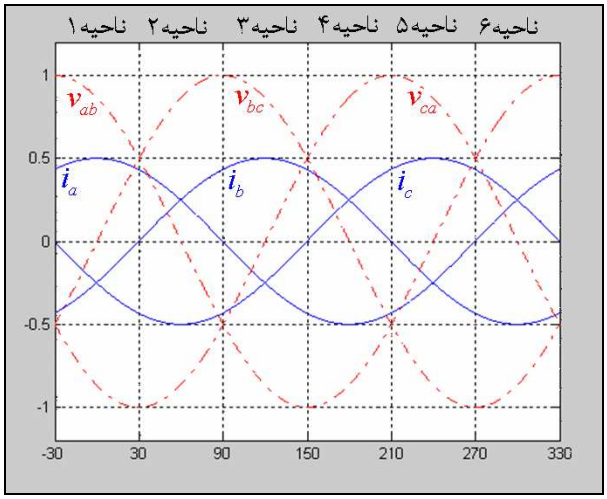
جدول(۲): ارتباط بین پارامترهای مختلف در مبدل ماتریسی و مبدل پیشنهادی برای حالتی که هردو بردار در ناحیه۱ قرار گیرند

زمان کلیدزنی	بردار فضایی	کلیدهای روشن در مبدل ماتریسی			ارتباط بین ورودیها و خروجیهای دو مبدل (شکل۱ و شکل۴)						حالت کلیدزنی در مبدل پیشنهادی							
					v_{AB}	v_{BC}	v_{CA}	i_a	i_b	i_c	S_{r1}	S_{r2}	S_{r4}	S_{r6}	S_{i1}	S_{i2}	S_{i5}	S_{i6}
t_1	1P	S_{Aa}	S_{Bb}	S_{Cb}	v_{ab}	0	$-v_{ab}$	i_A	$-i_A$	0	1	0	0	1	1	0	1	1
t_2	3N	S_{Aa}	S_{Bc}	S_{Cc}	$-v_{ca}$	0	v_{ca}	i_A	0	$-i_A$	1	1	0	0	1	0	1	1
t_3	4N	S_{Aa}	S_{Bb}	S_{Ca}	v_{ab}	$-v_{ab}$	0	$-i_B$	i_B	0	1	0	0	1	1	1	0	1
t_4	6P	S_{Aa}	S_{Bc}	S_{Ca}	$-v_{ca}$	v_{ca}	0	$-i_B$	0	i_B	1	1	0	0	1	1	0	1

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.8- No.1- Spring & Summer 2011
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]



(الف)



(ب)

شکل(۵): الف- کمیتهای زمانی متناظر با بردارهای ولتاژ خط خروجی.
ب- کمیتهای زمانی متناظر با بردارهای جریان خط ورودی.

در روابط (۱)، M اندیس مدولاسیون و T_S پریود نمونه برداری می باشند. فرآیند فوق باید برای تمامی ۳۶ حالت ممکن پیاده سازی گردد.

۵- شبیه سازی

مبدل مورد بررسی در اولین مرحله توسط نرم افزار PSIM شبیه سازی گردیده و عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت. برای پیاده سازی روش بردار فضایی در این نرم افزار از جداول دو بعدی تعبیه شده در این نرم افزار استفاده گردید. بردار فضایی همچنین می تواند از طریق ارتباط نرم افزار با محیط برنامه نویسی زبان C انجام شود.

شکل۶ نتایج شبیه سازی را برای حالتی که فرکانس ورودی ۵۰ هرتز و فرکانس خروجی به ترتیب ۳۰ و ۷۰ هرتز است نشان می‌دهد. در هردو حالت مذکور ضریب توان ورودی برابر واحد و ضریب توان خروجی برابر ۰/۸۶پسفاز و مقدار موثر ولتاژ خط به خط ورودی برابر ۵۰ ولت می باشد. مشاهده می گردد که در هر دو حالت هم در ورودی و هم در خروجی جریانهای سینوسی با اعوجاج ناچیز حاصل شده است. علاوه بر این ضریب قدرت ورودی نیز قابل کنترل می باشد که در این شکل معادل واحد انتخاب گردیده است.

شکل۷ نیز شکل موج ولتاژ مدار واسط dc را نشان می دهد. مشاهده می گردد که این ولتاژ از قطعات ولتاژ ورودی و با زمانبندیهای مناسب تشکیل شده است. پردازش همین قطعات ولتاژ ورودی با زمانبندی مناسب از طریق مبدل خروجی، ولتاژ خروجی را (v_{AB} در شکل ۶) تشکیل می دهد.

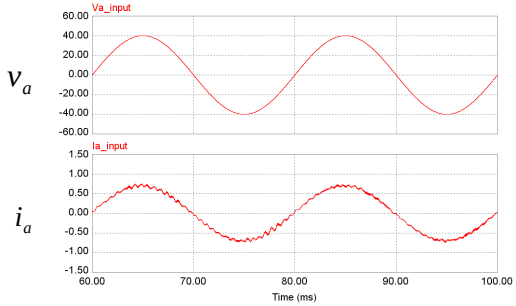
۶- پیاده سازی عملی

پیاده سازی عملی در سیستمهای الکترونیک قدرت یکی از ابزارهای مهم در جهت تأیید مطالعات تئوریک و نتایج شبیه سازی میباشد. به همین منظور یک نمونه آزمایشگاهی از مبدل مورد بررسی ساخته و الگوریتمهای پیشنهادی بر روی آن پیاده سازی گردیدند. شکل۸ ساختار کلی این نمونه آزمایشگاهی نشان داده شده است. در این شکل قسمتهای مختلف سیستم شامل مدار یکسوکننده، مدار اینورتر، برد نمونه بردار ولتاژ و پردازنده DSP را نشان میدهد. پردازندهٔ مورد استفاده به شمارهٔ TMS320F2812 ساخت شرکت تگزاس اینسترومنت بوده و از قابلیتهای بسیار بالا برخوردار می باشد[۱۱]. توجه به این نکته ضروری است که علیرغم موجود بودن دستورالعمل های ویژه پردازش بردار فضایی در پردازنده مورد استفاده، نحوه پردازش این سیگنالها در ساختار پیشنهادی و وابستگی سیگنالهای طبقه ورودی و خروجی بگونه‌ای است که امکان استفاده از این دستورالعملها وجود ندارد. بنابراین تمامی مدارهای زمان بندی، محاسبه و پردازش اشاره شده در بخش۴ بطور مستقیم از طریق

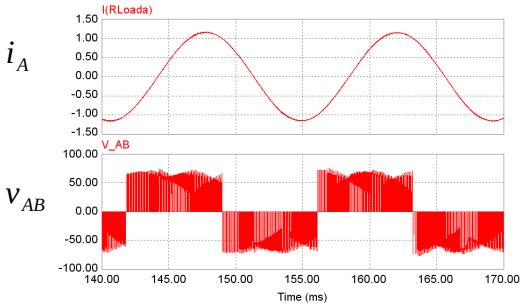
$$
\begin{aligned}
t_1 &= MT_S \sin(\frac{\pi}{3}-\theta_{sv})\sin(\frac{\pi}{3}-\theta_{sc}) \\
t_2 &= MT_S \sin(\theta_{sv})\sin(\frac{\pi}{3}-\theta_{sc}) \\
t_3 &= MT_S \sin(\theta_{sv})\sin(\theta_{sc}) \\
t_4 &= MT_S \sin(\frac{\pi}{3}-\theta_{sv})\sin(\theta_{sc}) \\
t_0 &= T_S - t_1 - t_2 - t_3 - t_4
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

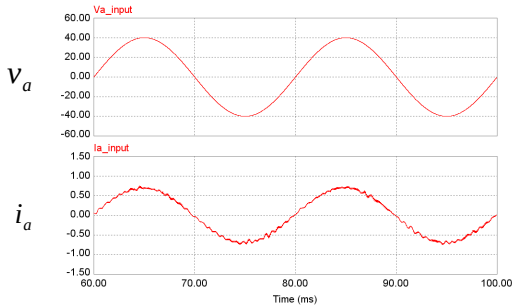
دستورالعملها و تایمرهای عادی ولی قدرتمند پردازشگر پیاده سازی گردید.



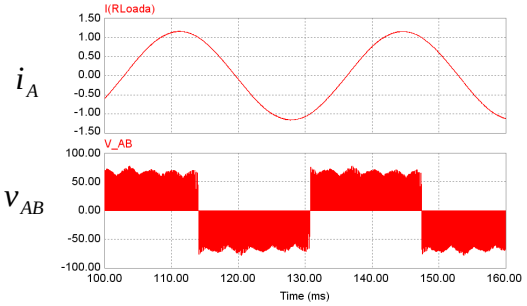
(الف)



(ب)

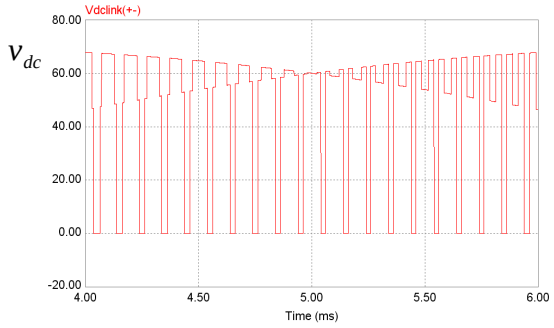


(ج)

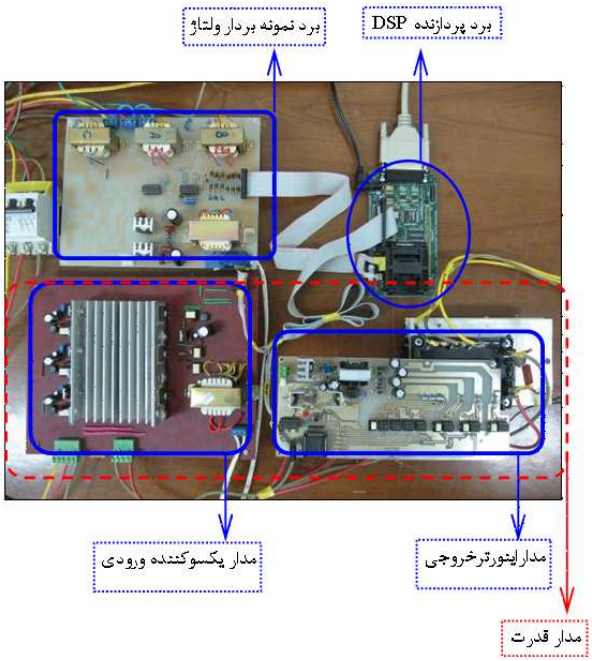


(د)

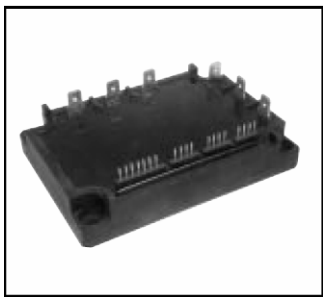
شکل(۶): نتایج شبیه سازی- (الف)جریان و ولتاژ فاز ورودی و (ب) جریان و ولتاژ خط خروجی، تحت فرکانس ۷۰ هرتز در خروجی- (ج) جریان و ولتاژ فاز ورودی و (د) جریان و ولتاژ خط خروجی، تحت فرکانس ۳۰ هرتز در خروجی



شکل(۷): ولتاژ لینک dc



شکل(۸): مدار آزمایشگاهی



شکل(۹): نمونه مدول هوشمند قدرت(IPM)

Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers - Vol.8- No.1- Spring & Summer 2011
[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

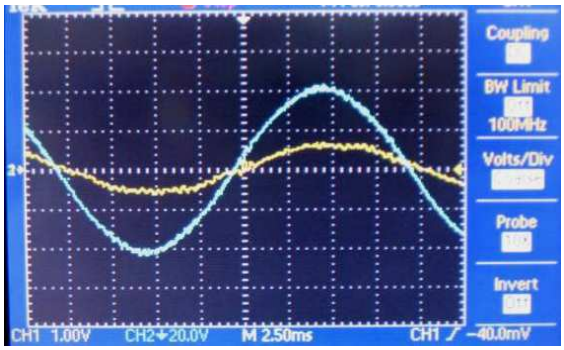
در مدار یکسوکننده ورودی از کلیدهای IGBT مجزا با شماره IRG4PF50WD بطور سری با دیودهای سریع با شماره RHRP30120 ، همانند آنچه در شکل۴ نشان داده شده، استفاده شده است. این مطلب به خاطر عدم دسترسی به IGBT های با تحمل ولتاژ معکوس (RB-IGBT) می باشد. در مدار اینورتر از یک مدول هوشمند شمارهٔ PM25RSB120 با ولتاژ ۱۲۰۰ ولت و جریان ۲۵ آمپر استفاده شده است (شکل ۹). استفاده از این مدول مدار اینورتر خروجی را از نقطه نظر راه اندازی کلیدها و حفاظت بسیار ساده می کند.

در تمامی مدارات مورد استفاده، بخش قدرت و کنترل از طریق عایق سازهای نوری سریع از هم جدا شده و لذا مدار کنترل هیچگونه ارتباط الکتریکی مستقیمی با ولتاژ شبکه ندارد. این مطلب باعث افزایش ایمنی در حین انجام آزمایشات و اندازه گیریها می شود.

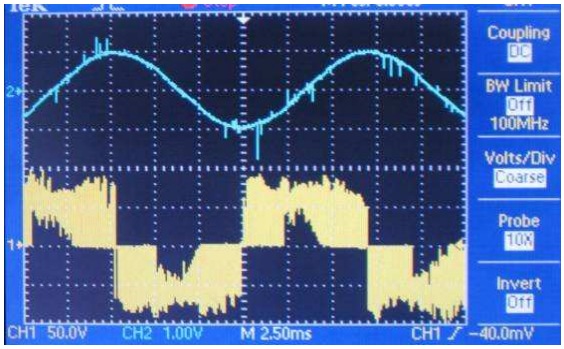
شکل۱۰ نتایج عملی حاصل از انجام آزمایش برروی نمونه آزمایشگاهی را نشان می دهد. پارامترهای نمونه شبیه سازی شده با پارامترهای مدار آزمایشگاهی تقریبا برابر انتخاب گردیده تا امکان مقایسه بین آنها وجود داشته باشد. مقایسه بین نتایج عملی ونتایج شبیه سازی همخوانی کامل و صحت بررسی های تئوریک را نشان می‌دهد.

۷- نتیجه گیری

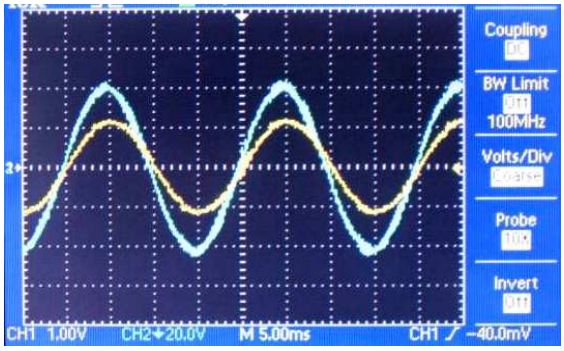
دراین مقاله یک مبدل مستقیم فرکانس یا مبدل مستقیم ac-ac مورد بررسی قرار گرفت. عدم وجود فیلتر dc، حجم کمتر، قابلیت اطمینان بیشتر و در نهایت حصول به جریان سینوسی با ضریب قدرت قابل کنترل از مزایای این مبدل می باشد. ارتباط مستقیم ترمینال های ورودی و خروجی منطق کلید زنی مبدل مورد بررسی را پیچیده می کند. بنا براین یک روش پردازش سیگنال های کلیدزنی با الهام از منطق کلید زنی مبدل های ماتریسی برای مبدل مورد بررسی پیشنهاد گردید. عملکرد روش پردازش پیشنهادی از طریق شبیه سازی و همین طور از طریق ساخت یک سیستم آزمایشگاهی مورد تایید قرار گرفت .



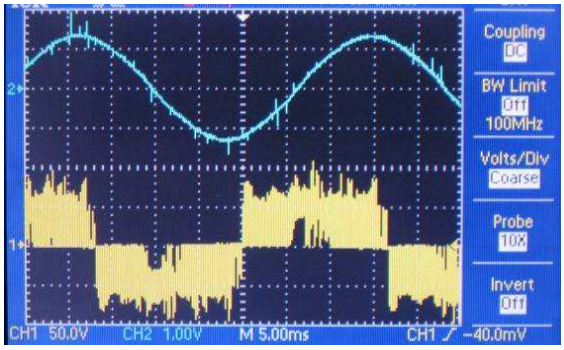
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل(۱۰): نتایج عملی- (الف)جریان و ولتاژ فاز ورودی و (ب) جریان و ولتاژ خط خروجی، تحت فرکانس ۵۰ هرتز در ورودی و ۷۰ هرتز در خروجی - (ج) جریان و ولتاژ فاز ورودی و (د) جریان و ولتاژ خط خروجی، تحت فرکانس ۵۰ هرتز در ورودی و ۳۰ هرتز در خروجی. کمیتهای زمان و ولتاژ از مقیاس زیر شکل ها مشخص می باشند. مقیاس جریان کلیه شکل ها یک آمپر به ازای یک ولت می باشد.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

مراجع

[1] Lazlo Huber and Dusan Borojevic, "Space Vector Modulated Three-Phase to Three-Phase Matrix Converter with Input PowerFactor Correction," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 3l,no. 6,pp.1234-1246, 1995.

[2] B. Gu and K. Nam, "A DC Link Capacitor Minimization Method through Direct Capacitor Current Control", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 42, pp. 573-581, 2006.

[3] Luigi Malesani et al, "AC/DC/AC PWM Converter with Reduced Energy Storage in DC Link,"IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 31, no. 2, pp. 287-292, 1995.

[4] Pelly, B.R., Thyristor Phase-Controlled Converters and Cycloconverters, John Willey and Sons, 1971.

[5] D. Casadei, G. Serra, A. Tani, L. Zarri,"Matrix Converter Modulation Strategies: A New General Approach Based on Space-Vector Representation of the Switch State", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.49, No. 2, pp. 370-381, 2002.

[6] L. Zhang, C. Watthanasaran and W. Sheperd, "Analysis and Comparison of Control Techniques for AC-AC Matrix Converter," IEE Proc. Electr. Power Appl., vol. 145, no. 4, pp284-294, 1998.

[۷] حمیدرضا کارشناس، سیدجواد موسوی،" بررسی و ساخت یک مبدل مستقیم فرکانس با ورودی و خروجی سینوسی "، شانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه تربیت مدرس، اردیبهشت ۱۳۸۷.

[8] J. W. Kolar, F. Schafmeister, S. D. Round, and H. Ertl, "Novel Three-Phase AC-AC Sparse Matrix Converters",IEEE Trans. On Power Electronics, Vol. 22, No. 5, pp. 1649 – 1661, 2007.

[9] Lixiang Wei, T. A. Lipo, Ho Chan, "Matrix Converter Topologies with Reduced Number of Switches," PESC 2002, pp. 57-63.

[10] Kai Sun, D. Zhou, H. Lipei, K. Matsuse, K. Sasagawa, "A Novel Commutation Method of Matrix Converter Fed Induction Motor Drive Using RB-IGBT," IEEE Trans. On Industry Applications, Vol. 43, No. 3, pp 777-786, May/June 2007.

[11] TMS320F2812 Data Manual, Texas Instruments.

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]

Analysis and Implementation of Direct Frequency Converter with Sinusoidal Input/Output Current

H. R. Karshenas[1] S. J .Mousavi[2]

[1]Assistant Professor, Electrical and Computer Engineering Department, Isfahan University of Technology, Isfahan. Iran
karshen@cc.iut.ac.ir

[2]MSc, Electrical and Computer Engineering Department, Isfahan University of Technology, Isfahan. Iran
mousavi314@gmail.com

Abstract:

In this paper a direct ac-ac converter with low distortion input/output waveforms is investigated. Direct ac-ac converters using self-commutated semiconductor switches, also known as matrix converters, have recently attracted the attention of researchers. However, these converters are still under development due to the problems associated with the commutation of bidirectional switches employed in these converters. In this paper, an ac-ac converter is proposed based on the realization of matrix converters. Absence of bulky and unreliable electrolytic capacitors, low distortion input/output waveforms with independent fundamental frequency and employing two conventional power electronic building blocks are among important advantages of the proposed converter. The PWM patterns of two converters must be synchronized in order to achieve harmonic-free waveforms. This calls for an advanced PWM generation method as compared to conventional PWM strategies. Detailed derivation of the PWM signals based on double space-vector strategy is presented. Simulation results show various aspects of the system operation. The theoretical results are verified using a laboratory prototype. Experimental and simulation results show good agreement.

Keywords: Direct ac-ac Converter, Direct Frequency Converter, Matrix Converter, Space-Vector Modulation

Submission date: 20 Feb., 2009

Acceptance date: 7 Mar., 2011

Corresponding author: Hamidreza Karshenas

Corresponding author's address: Electrical and Computer Engineering Department, Isfahan University of Technology, Isfahan. Iran

[Downloaded from jiaeee.com on 2026-11-20]