نقش مبدل های الکترونیک قدرت در انرژی خورشیدی جهت پایداری شبکه

محمد رضا قدسی[۱]، عباس شیری[۲]

۱ - گروه مهندسی برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد، ایران

۲- گروه مهندسی برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد بروجرد، ایران

خلاصه

افزایش مصرف جهانی انرژی و همچنین اثرات مخرب افزایش تولید گازهای گلخانه ای و مسایل زیست محیطی از یک طرف و داشتن یک شبکه پایدار انرژی برق از طرف دیگر باعث شد که از مبدل های الکترونیک قدرت به عنوان، وسیله-هایی بسیار کاربردی و اجزای هوشمند مدیریت انرژی که همواره همراه سیستم های انرژی تجدید پذیر از جمله انرژی خورشیدی با راندمان بالا هستند، استفاده کنند. از آن جا که پانل های فتوولتاییک خورشیدی دارای راندمان پایینی بودند، با استفاده از مبدل های الکترونیک قدرت به حداکثر نقطه توان ماکزیمم(MPP) دست یافتند. همچنین به علت این که سلول های فتوولتاییک، ولتاژ مستقیم(DC) را تولید می کنند و برای مصارف کوچک کاربرد دارند، توسط مبدل های قدرت جهت مصارف صنعتی تبدیل به ولتاژ متناوب(AC) می گردند. تاکنون مدل های زیادی از شبیه سازی مبدل های الکترونیک قدرت در انرژی خورشیدی ارائه شده است که در این مقاله به یک سیستم نمونه می پردازد که توسط نرم‌افزار Matlab مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از مبدل های الکترونیک ، پایداری شبکه در بخش سیستم‌های قدرت از انرژی خورشیدی برآورده خواهد شد. پاسخ جریان مبدلDC_DC و همچنین مبدل راکتیفایر AC_DC سیستم خورشیدی در حالت‌های بی باری، با و بدون پانل خورشیدی و ... به عنوان پاسخ‌های سیستم استخراج و مورد تجزیه و تحلیل واقع شدند.

واژگان کلیدی: انرژی خورشیدی، مبدل های الکترونیک قدرت، سیستم های فتوولتاییک(PV)، پایداری شبکه.

۱. مقدمه

برای اولین بار از سال ۲۰۰۹، تقاضای منابع انرژی اتحادیه اروپا، ازجمله سوخت های فسیلی وبرق کاهش یافت و درهمین حال، درسال ۲۰۱۳ توسعه پایدار منابع انرژی تجدید پذیر باعث تسلط اتحادیه اروپا گردید و این پیش آمد، باعث بسته شدن تعداد بیشتری از نیروگاههای گاز گردید که براثر کاهش تقاضا ، بازده سرمایه گذاری ازسوخت های فسیلی با توجه به اوج تقاضای برق رو به کم شدن رفت و کشورهای جهان درسال ۲۰۱۳ نسبت به سال های گذشته، رشد تقاضای انرژی زیادی را تجربه کرده اند. با کاهش سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های تجدید پذیر افزایش یافته است. با این وجود، رشد تقاضا برای سوخت‌های فسیلی نسبت به دهه قبل پایین تر، بوده است به ویژه تقاضا برای نفت بین سال های ۲۰۱۲ و

۲۰۱۳ به نصف کاهش یافته است و رشد تقاضا برق درکشورهای جهان، سه برابرنسبت به کشورهای توسعه یافته G۲۰ بیشتر شده است. (۶٪بیشترنسبت به ۲٪).

افزایش انرژی خورشیدی درآسیا وسقوط ناگهانی بازار انرژی بادی در آمریکا نشان می دهد GW ۷ ازظرفیت نصب شده جدید درچین وGW ۷ در ژاپن می باشد. یکی از اتفاق های مهم درسال ۲۰۱۳ درآسیا افزایش انرژی خورشیدی بود. گسترش انگیزه های نظارتی درکشورهای آسیایی (چین،ژاپن،هند) تا حد زیادی به این مهم کمک کرده است. این کاملا مخالف با سیاست گذاری انرژی در آمریکا برای بازار توربین بادی است که عدم اطمینان از انرژی بادی باعث توقف و یا به تعویق افتادن منجر گردید. بسیاری از پروژه های تولید انرژی بادی آنها درسال ۲۰۱۳ تنها GW ۱ به ظرفیت جدید اضافه نمودند. با این حال، سرمایه گذاری دوباره درسال ۲۰۱۴ در بین کشورهای اروپا و دنیا آغاز شده است. اگرچه انتشارگازهای گلخانه ای و دی اکسید کربن مربوط به انرژی سرانه در دنیا ادامه دارند و نسبتا در اروپا کاهش یافته است ولی برعکس در چین رو به افزایش است. لذا باتوجه به اینکه انرژی های فسیلی با سرعت فوق العاده ای در حال اتمام می-باشند و درآینده‌ای نه چندان دور چیزی از آنها باقی نخواهد ماند، نسل فعلی وظیفه دارد به آن دسته از منابع انرژی که دارای عمر و توان زیادی هستند روی آورده و دانش خود را برای بهره برداری از آنها گسترش دهد که می توان با استفاده از مبدل های الکترونیک قدرت در راستای پایداری شبکه قدرت نقش موثری ایفا نمود و نظر به این که انرژی خورشیدی عظیم ترین منبع انرژی در جهان است. این انرژی پاک، ارزان و بی پایان بوده و در بیشتر مناطق کره زمین قابل دسترسی می باشد. تولید الکتریسیته انرژی خورشیدی از مقایسه با منابع سنتی و فسیلی یک تحول بزرگ در صنعت انرژی ایجاد خواهد نمود.

۲. مبدل های الکترونیک قدرت

مبدل های الکترونیک قدرت، طوری طراحی شده اند که با مدارهای الکترونیکی و استفاده ازسوئیچ های نیمه هادی (تریستور، ماسفت و ...) جریان الکتریکی مدار را کنترل می کنند [۱].

۲-۱. مبدل های الکترونیک قدرت DC-AC

اینورتر[۱]* یا مبدل برق دستگاه الکترونیکی است که جریان مستقیم (DC) را به جریان متناوب (AC) تبدیل می کند. جریان AC تبدیل شده می توانند بر اساس نیاز در هر ولتاژ و فرکانسی باشد که به وسیله ترانسفورماتورهای مناسب و مدارها کنترل می شود. اینورترها معمولا برای تامین جریان AC از منابع DC مانند پانل های خورشیدی یا باتری ها به عنوان ذخیره کننده انرژی استفاده می کنند [۲].

مبدل‌های DC-AC دارای بازار روبه رشدی در دنیا می باشند و با توجه به اینکه اکثر بارهای خانگی از نوع AC هستند. مبدل های کوچک و قابل حمل در اکثر موارد مورد توجه کاربران قرار می گیرند. مدار یک اینورتر سه سطحی بر اساس، روش سیگنال مدلاسیون عرضی پالس (PWM)[۲] از طریق مقایسه شکل موج سینوسی با شکل موج مثلثی انجام می‌گیرد و سپس استفاده از مدار سویچینگ برای تبدیل سیگنال های تولید شده به سیگنال های پرتوان و در نهایت از یک فیلتر برای احیای دوباره سیگنال سینوسی ولی این بار با ولتاژ و دامنه بسیار بزرگتر استفاده می کند. به بیان روشن تر و دید

۱ Inverter
۲ Pulse-Width Modulation

مخابراتی، سیگنال پیام که همان سیگنال سینوسی مرجع می باشد روی سیگنال با فرکانس بار سوار می شود و سپس این سیگنال مدوله شده توسط مدار مجتمع و ترانزیستورهای فت دوباره به وجود می آید و در نهایت از طریق فیلتر سیگنال، پیام ها استخراج می شود و در خروجی ولتاژ ۲۲۰ ولت سینوسی با فرکانس HZ ۵۰ تحویل داده می شود.

از نظر شکل موج، اینورتر را به سه دسته مختلف تقسیم می کنند. ۱-موج سینوسی۲-اصلاح موج سینوسی۳-موج مربعی درحالت ایده آل، اینورتر موج سینوسی، ولتاژ خروجی را به صورت موج سینوسی خالص تولید می کند که یک موج سینوسی کامل می باشد. اینورتر موج سینوسی اصلاح شده، طوری طراحی شده است که برای تولید شکل موج تا حدودی به شکل موج سینوسی شبیه است. اینورتر موج مربعی خروجی اش به شکل یک خروجی موج مربعی می باشد. اینورتر موج سینوسی اصلاح شده و همچنین موج مربعی معمولا ارزان تر از موج سینوسی خالص می باشند، اما در بسیاری از برنامه های کاربردی مانند منابع تغذیه بدون وقفه (UPS) اینورتر موج سینوسی خالص انتخاب می شود. اینورتر موج سینوسی اصلاح شده و موج مربعی باعث می شود که هارمونیک ها به تجهیزات حساس آسیبی وارد کنند. اینورترهای متصل به شبکه باید بتوانند شکل موج خروجی را تنظیم نمایند، به صورتی که از حداکثر قدرت استفاده شود. استفاده از اینورترهای متصل به شبکه های فتوولتاییک خورشیدی بسیار رایج است [۳].

اینورتر های متصل به شبکه که به طور معمول موج سینوسی خالص می باشند در شبکه جهت هارمونیک های ناخواسته استفاده می شوند. یک پارامتر مهم در یک سیستم متصل به شبکه راندمان بهره وری اینورتر است. اینورترها نیز دارای بازار رو به رشدی در دنیا می باشند و با توجه به این که اکثر بارهای خانگی از نوع AC می باشند، در واقع اینورتر با استفاده از مدارات الکترونیک قدرت، جهت تبدیل سیگنال ها استفاده می‌نماید [۴].

۲-۲ . مبدل های الکترونیک قدرت DC- DC

چاپر[۱]* یا مبدل برق، دستگاه الکترونیکی است که جریان مستقیم (DC) را به یک سطح ولتاژ جریان مستقیم (DC) تبدیل می‌کند. مبدلهای DC-DC در دو نوع کاهنده و افزاینده طراحی می شوند. این مبدل ها امروزه پر کاربرد ترین مبدل ها در صنعت ساخت آیسی های دیجیتال و آنالوگ محسوب می شوند و روز به روز بر اهمیت آنها افزوده می شود. این مبدل ها در ساخت منابع تغذیه سوییچنگ بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند ، طوری که گاهی نیاز می باشد برای تغذیه یک بخش از مدار از ولتاژ ۳۳ ولت استفاده کرد، در حالی که تنها ولتاژ موجود ما ولتاژ ۵ ولت می باشد و دیگر نیاز به تبدیل ولتاژ می باشد. وسعت مدارات بسیار وسیع می باشد و تا کنون هفتمین نسل مبدل های DC-DC توسعه پیدا کرده است و هر روز مقالات جدیدتری در این بخش ارائه می گردد. در بازار آیسی ها یا مدارات مجتمع مختلفی برای این مبدل ها ساخته شده است که به سادگی از روی دیتاشیت(اطلاعات) آن قابل ساخت می باشد. در مبدل های از نوع سوییچینگ ، یک المان مانند ترانزیستور، وظیفه سوئیچ کردن را بر عهده می گیرد و از این طریق باعث می‌شود تا المان های اصلی مدار که خازن ها و سلف ها هستند، شارژ و دشارژ شوند و بسته به نوع طراحی مدار ولتاژ خروجی می تواند کاهش یا افزایش یابد، ولی در هر صورت این مدارها به صورت فیدبک بسته می شود تا در برابر نویز و دما و اعمال بار، خروجی مدار تغییر داده نشود.

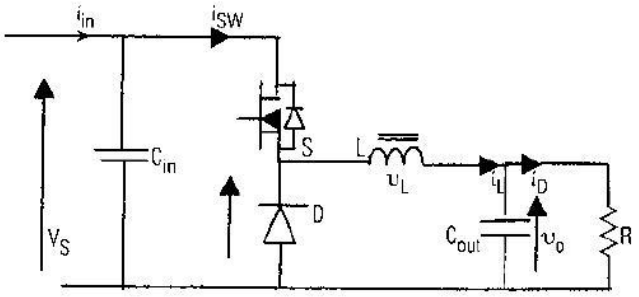
باتوجه به ویژگی های ولتاژ، سه نوع مبدلDC-DC وجود دارند که عبارتند از: ۱-مبدل باک (buck) که می توانید ولتاژ را به سطح پایین تر تبدیل می نماید. ۲-مبدل بوست(boost) که می تواند ولتاژ را به سطح بالاتر تبدیل می نماید. ۳-

[۱] chaper

مبدل باک-بوست(buck-boost) که ترکیبی ازاین دو می باشد و ولتاژ ورودی را به ولتاژهای بالاتر یا پایین تر در خروجی تبدیل نماید [۵].

۲-۲-۱ . مبدل باک

در یک مبدل باک مقدار ولتاژ خروجی کمتر از مقدار ورودی است. نمودار اصلی مبدل باک در شکل (۱) دیده می شود. مدار مذکور با یک ماسفت قدرت که به عنوان سوئیچ می باشد استفاده می کند. طرز کار مدار را می توان به دو حالت نشان داد. حالت اول هنگامی که ترانزیستور در حالت وصل می باشد، یعنی سوئیچ برقرار می باشد و جریانی که ورودی می باشد از سلف و فیلتر و مقاومت بار عبور می کند. هنگامی که ترانزیستور خاموش است یعنی سوئیچ خاموش است، به علت وجود انرژی ذخیره شده در سلف، دیود هرزگرد هدایت می کند و جریان سلف به عبور از خازن و بار و دیود ادامه می دهد. جریان سلف تا زمان روشن شدن دوباره ترانزیستوردر سیکل بعدی نزول می کند. بازده مبدل باک ۹۰ ٪ می باشد و فقط به یک ترانزیسور نیاز دارد. در این مبدل ولتاژ خروجی فقط یک قطبیت داشته و جریان خروجی یکسویه است . دو خازن برای اصلاح و حذف ولتاژ ورودی و خروجی استفاده می شود [۵].

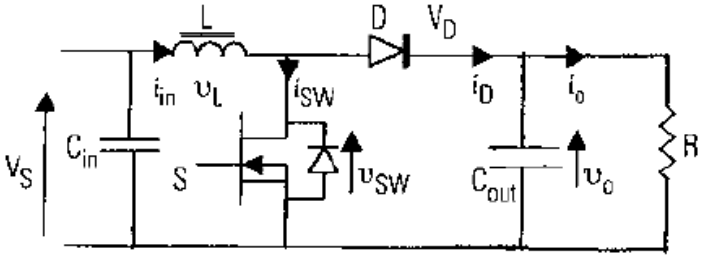


شکل ۱- نمودارالکتریکی مبدل باک[۵]

۲-۲-۲. مبدل بوست

این مبدل یکی از انواع مبدل های فلای بک است که خروجی آن بزرگتر یا مساوی ورودی است. در مبدل بوست ولتاژ خروجی می تواند بزرگتر از ورودی باشد. نمودار اصلی مبدل بوست در شکل (۲) دیده می شود. مدار مذکور با یک ماسفت قدرت به عنوان سوئیچ استفاده می کند. طرز کار آن را در دو حالت می شود نشان داد. حالت اول هنگامی که ترانزیستور در حالت وصل می باشد، یعنی سوئیچ برقرار می باشد، ولتاژ ورودی روی سلف می افتد و جریان صعودی از سلف و ترانزیستور می گذرد. حالت دوم هنگامی شروع می شود که ترانزیستور خاموش می گردد. جریانی که تا به حال از ترانزیستور عبور می کرد حالا از سلف و خازن و بار و دیود عبور می کند. جریان سلف کاهش می یابد تا این که ترانزیستور در سیکل بعدی دوباره روشن شود. انرژی ذخیره شده در سلف به بار منتقل می گردد. این مبدل بدون ترانسفورماتور می تواند ولتاژ خروجی را افزایش دهد. به خاطر داشتن فقط یک ترانزیستور این مدار بازده بالایی دارد. ولتاژ ورودی در برابر

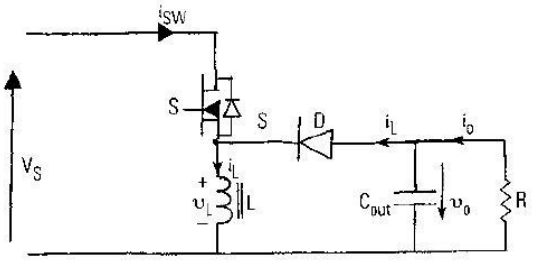
سیکل کاری بسیار حساس است و پایدار کردن مبدل ممکن است مشکل باشد. مقدار متوسط جریان سلف بزرگتر از مقدار متوسط جریان خروجی است و جریان موثر خیلی بزرگتری از خازن فیلتر عبور خواهد کرد که باعث می شود مجبور شویم از خازن فیلتر بزرگتر و سلف بزرگتری نسبت به مبدل باک استفاده کنیم [۵].



شکل۲ - نمودارالکتریکی مبدل بوست[۵]

۲-۲-۳. مبدل باک-بوست

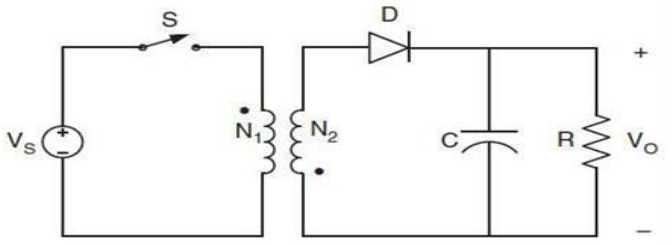
نمودار اصلی مبدل باک بوست در شکل (۳) دیده می شود. طرز کار آن را در دو حالت می شود نشان داد. حالت اول هنگامی که ترانزیستور در حالت وصل می باشد و دیود بایاس معکوس می شود. جریان ورودی که در حالت افزایش است از سلف و ترانزیستور می گذرد. در حالت دوم ترانزیستور خاموش می گردد و جریانی که از سلف می گذرد حال از خازن و بار و دیود عبور می کند. انرژی ذخیره شده در سلف به بار منتقل می گردد و جریان سلف کاهش می یابد تا این که ترانزیستور دوباره در سیکل بعدی روشن گردد. این مبدل نوعی از انواع مبدل های فلای بک است که عملکرد آن خیلی به عملکرد بوست شبیه است. همچنین به عنوان مبدل معکوس کننده هم شناخته می شود. تفاوت میان مبدل بوست و مبدل باک بوست در تعویض جایگاه سلف و سوئیچ قدرت است. همانند مبدل بوست، سلف انرژی را ذخیره می کند. تا وقتی که سوئیچ قدرت روشن است، انرژی ذخیره شده و سپس از طریق یکسو ساز به زمین تخلیه می شود که نتیجه آن ولتاژ منفی است و مقدار آن به وسیله زمان وظیفه سوئیچ قدرت تعیین می گردند. زمان وظیفه این مبدل به ویژه هنگامی که نیاز به تخلیه انرژی هسته باشد به ۵۰ ٪ محدود می شود. معادلات مربوط به انرژی هسته درست همانند مبدل بوست است. اشکالی که وجود دارد این است که هر گونه نوسان ولتاژ به نیمه هادی قدرت آسیب می رساند. قطبیت ولتاژ خروجی مخالف ولتاژ ورودی است که همچنین به عنوان مبدل معکوس کننده هم شناخته می شود. این مبدل توان ثابتی را مستقل از امپدانس بار به خروجی تحویل می دهد و به طور وسیعی در فلاش های نوری و باتری شارژرها کاربرد دارد [۵].



شکل ۳- نمودار الکتریکی مبدل باک-بوست [۵]

این مبدل نوعی از انواع مبدل های فلای بک است که عملکرد آن خیلی به عملکرد بوست شبیه است. همچنین به عنوان مبدل معکوس کننده هم شناخته می شود. تفاوت میان مبدل بوست و مبدل باک بوست در تعویض جایگاه سلف و سوئیچ قدرت است. همانند مبدل بوست، سلف انرژی را ذخیره می کند. تا وقتی که سوئیچ قدرت روشن است، انرژی ذخیره شده و سپس از طریق یکسو ساز به زمین تخلیه می شود که نتیجه آن ولتاژ منفی است و مقدار آن به وسیله زمان وظیفه سوئیچ قدرت تعیین می گردند. زمان وظیفه این مبدل به ویژه هنگامی که نیاز به تخلیه انرژی هسته باشد به ۵۰ ٪ محدود می شود. معادلات مربوط به انرژی هسته درست همانند مبدل بوست است. اشکالی که وجود دارد این است که هر گونه نوسان ولتاژ به نیمه هادی قدرت آسیب می رساند. قطبیت ولتاژ خروجی مخالف ولتاژ ورودی است که همچنین به عنوان مبدل معکوس کننده هم شناخته می شود. این مبدل توان ثابتی را مستقل از امپدانس بار به خروجی تحویل می دهد و به طور وسیعی در فلاش های نوری و باتری شارژرها کاربرد دارد.

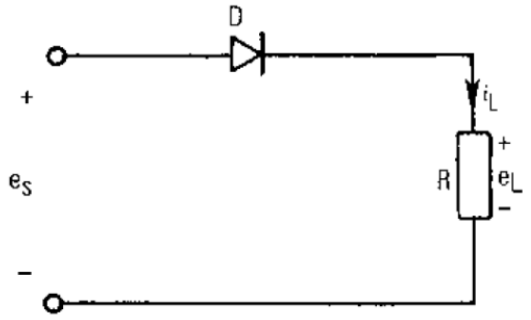
ساده ترین و کم قطعه ترین عضو خانواده منابع تغذیه سوئچینگ مبدل فلای بک است که در محدوده بسیار وسیعی به کار می رود و در شکل (۴) نشان داده شده است. این مبدل کاملا شبیه به مبدل بوست است به جز این که یک سیم پیچ اضافی روی سلف آن می باشد که این سیم پیچ علاوه برایزولاسیون قابلیت های فراوانی دارد. بیشتر از یک خروجی قابل تغذیه می باشد و خروجی می تواند مثبت و منفی مستقل از ورودی باشد و ایزولاسیون الکتریکی بین خروجی و ورودی بسیار زیاد است. عملکرد این مبدل بسیار شبیه به مبدل باک بوست است. هنگامی که ترانزیستور روشن است در این حالت با عبور جریان از اولیه ترانسفورمر انرژی دار می شود و هنگامی که سوئیچ خاموش است با تخلیه انرژی در بار مقدار انرژی کاهش می یابد [۱].



شکل ۴- نمودار الکتریکی مبدل فلای بک [۱]

۲-۳ . مبدل های الکترونیک قدرت AC- DC

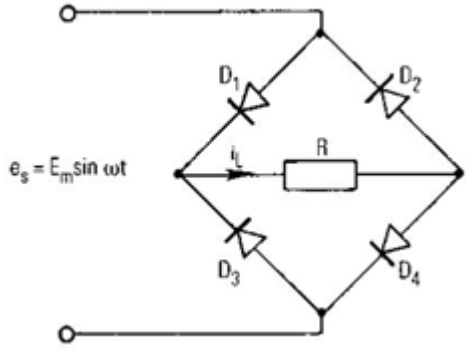
ریکتیفایر[۱]* یا مبدل برق دستگاه الکترونیکی است که جریان متناوب (AC) را به جریان مستقیم (DC) تبدیل می کند. یکی از انواع مبدل های الکترونیکی قدرت مبدل های AC-DC می باشد، که دارای ساختارهای متفاوت و مدارهای متنوعی می باشد . از المانهای یکسوساز مختلفی مثل دیودها، ترایاک و .... برای ساخت این مدارات استفاده می گردد و ساده ترین نوع آن هم شاید مدار آداپتور حاوی ترانس باشد که از یک ترانس کاهنده و پل یکسوساز و خازن برای تولید یک ولتاژ DC استفاده می شود. ولتاژ DC تولیدی بسته به نوع بار متصل شده ، دارای ریپل معینی روی خود می باشد و این پارامتر در بارهای حساس به ولتاژ تغذیه بسیار مورد توجه قرار می گیرند. این نوع مبدل ها در سیستم های انتقال انرژی فشار قوی DC وظیفه تبدیل ولتاژ تولیدی نیروگاه به ولتاژ DC را بر عهده دارند تا بعد از تبدیل از طریق ولتاژ DC ولتاژ بالا به سمت مقصد ارسال نمایند. ساده ترین شکل اصلاح برای یک مدار تک فاز توسط یک دیود سری با بار می‌باشد که درشکل (۵) نشان داده شده است [۵].



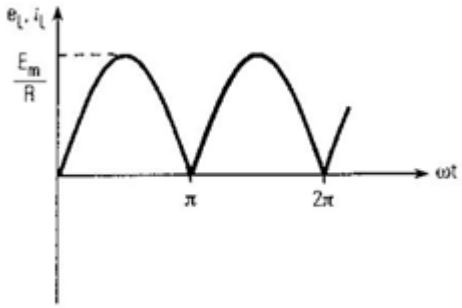
شکل ۵ – مبدل الکترونیک قدرت AC- DC [۵]

یک راکتیفایر تمام موج جهت بهبود یکسو کننده در شکل (۶) دیده می شود که از چهار دیود به جای یکی استفاده می-شود. بار به عنوان مقاومت در این نمودار نشان داده شده است. دیود یکسو کننده تمام موج طوری طراحی شده است که ولتاژ متناوب را به ولتاژ مستقیم ، یک طرفه تبدیل می نمایند زیرا دیود از یک طرف جریان را عبور می دهد و از جهت دیگر، جریان قطع است. عنصر اصلی مدارهای یک سو کننده دیود است. نتایج شکل موج در شکل (۷) دیده می شود که هنوز هم جریان DC ایده آل، برقرار نمی باشد، اما جهت اصلاح شکل موج می توان از فیلتر استفاده نمود [۵].

۱ Rectifier

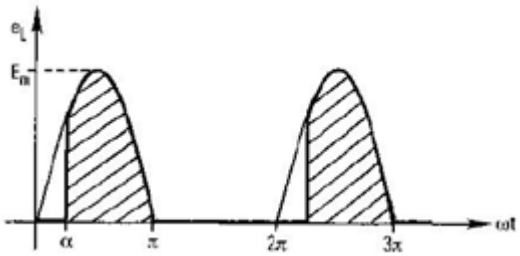


شکل ۶- مدار یک یکسو کننده تمام موج پل [۵]



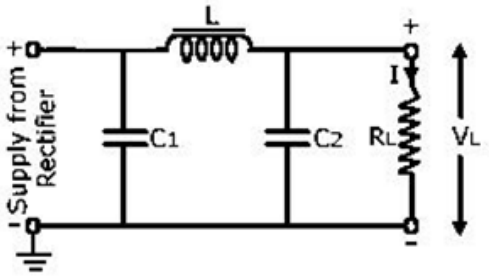
شکل ۷- شکل موج ولتاژ و جریان یکسو کننده تمام موج پل[۵]

به منظور ایجاد کنترل بر ولتاژ خروجی RMS در یک یکسو کننده تمام موج، یک دستگاه کنترل سوئیچینگ را می توان با بار سری نمود. برخی از اجزاء دیود را می توان با دستگاه های کنترل سوئیچینگ جایگزین نمود، مانند تریستور. اولین گزینه آن ارزان ترین است، اما اگر تمام دیودها توسط تریستور جایگزین دستگاه شوند، می تواند به عنوان یک یکسو کننده و اینورتر کار کنند. برای دستگاه کنترل، کنترل زاویه آتش تریستور مهم می باشد، که پایه گیت می تواند زمان عمل و هدایت تریستور را کنترل کند. از تریستور به عنوان تنظیم کننده جریان بار مصرف کننده و قطع و وصل کننده، استفاده می شود [۵] و [۶].



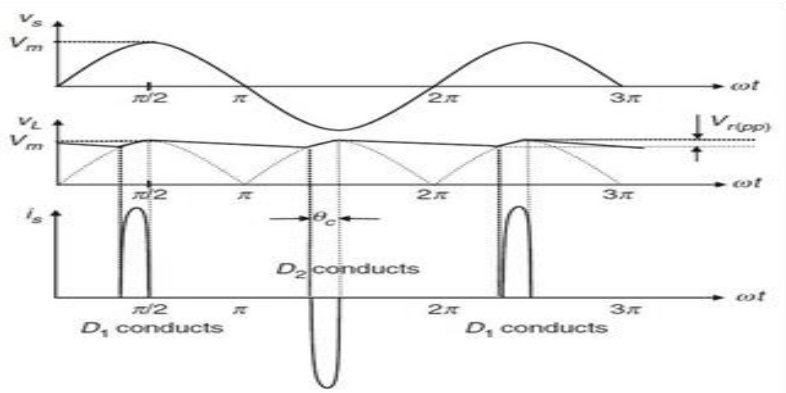
شکل ۸- شکل موج یکسو کننده نیم موج کنترل شده، به همراه کنترل زاویه آتش تریستور[۵]

برای کاهش و اصلاح موج خروجی و ایجاد خروجی به حالت DC و ایده آل نزدیک شود، از فیلتر استفاده می کنند. دو نوع عنصر در برنامه های کاربردی یکسو کننده به کار می رود: فیلتر سلف ورودی و خازن ورودی. در شکل (۹) یک نمونه فیلتر خازن ورودی نشان داده شده است.



شکل ۹- یک نوع از فیلتر خازن ورودی وفیلتر نوع N [۷]

فیلتر سلف ورودی در مدارهای قدرت بالا استفاده می شود، در حالی که فیلتر خازن ورودی معمولا ارزان تر می باشد، اما با افزایش جریان مشکلات زیادی به همراه دارد. در فیلتر سلف ورودی، اندوکتانس به اندازه کافی بزرگ است و برای ثابت نگه داشتن بار کاربرد دارد [۱]. فیلتر خازن ورودی در تلاش برای ثابت نگه داشتن ولتاژ خروجی یکسو کننده می باشد. این امر منجر به ولتاژ و جریان شکل موج شکل (۱۰) می شود. اشکال عمده ای در فیلتر خازنی دیده می شود، یعنی در مقایسه با فیلترهای سلفی بسیار بزرگ هستند. مشکل دیگر فیلتر خازنی این است که جریان هجومی بسیار بزرگی دارد. زمان تأمین انرژی مدار، خازن به عنوان یک اتصال کوتاه عمل می کند و در عمل ولتاژ خازن اولیه صفر است. بنابراین در سمت AC یک مقاومت قرار داده می شود که به طور معمول برای محدود کردن جریان هجومی استفاده می شود که گاهی منجر به تلفات در مدار می‌باشد[۵].



شکل ۱۰- اثر ولتاژ و منبع جریان از یک یکسو کننده فیلتر خازنی [۱]

۲-۴ . مبدل های الکترونیک قدرت AC - AC

سیکلوکانورتر[۱]* یا مبدل برق، دستگاه الکترونیکی است که جریان متناوب (AC) را به یک سطح ولتاژ جریان متناوب (AC) با دامنه، فرکانس یا فاز متفاوت تبدیل می‌کند. مبدلهای AC – AC را نیز مبدل های ماتریسی گویند. در انرژی خورشیدی استفاده نمی شوند.

برای مثال در سال ۲۰۱۴ بر اساس مرجع[۸] آزمایش راندمان مبدل ها را انجام دادند و مقادیر زیر را ثبت نمودند. بازده عملی مبدل AC_DC ۹۱٪ و برای مبدل DC_DC ۹۴٪ و برای مبدل DC_AC ۹۷٪ کارآمد می باشد.

۲-۵. اعوجاج در مبدل های الکترونیک قدرت

تمام مشکلات مبدل های الکترونیک قدرت، ریشه در یک عامل دارد و آن اعوجاج (خرابی) بیش از معمول جریان یا ولتاژ تحویلی به مصرف کننده است. این اعوجاج چندین اثر مخرب دارد، از جمله افزایش گرمای اجزای سیستم توزیع، نوسانات مکانیکی ژنراتورها و موتورها، خرابی عایق‌ها یا خازن‌ها به خاطر پدیده تشدید الکتریکی و گذشته از افزایش نویز صوتی، باعث خراب شدن عملکرد سیستم‌های مخابراتی و رفتار غیرقابل پیش بینی سیستم‌های حفاظت نصب شده، می‌شود. علت اصلی این مشکلات که نوعی آلودگی الکترومغناطیسی است، رشد وسایل الکترونیکی در سیستم قدرت است رایانه‌ها و تلویزیون‌های رنگی و سیستم‌های مجهز به لامپ‌های خلاء حتی لامپ‌های فلورسنت استاندارد، موتورهای کنترل شده با المان‌های الکترونیک قدرت و شارژ کننده‌های باتری از جمله این وسایل هستند.
پیش بینی‌های نگران کننده ای از سر نوشت سیستم‌های قدرت در صورت اجازه استفاده از این تجهیزات انجام گرفت. در حالی که بعضی از این پیش بینی‌ها بیش از حد قلمداد می‌شد، ولی بررسی مفهوم کیفیت برق مدیون آن‌ها، به دلیل پیگیری درباره این مسئله نو ظهور می‌باشد. بروز هارمونیک‌ها در سیستم‌های قدرت ناشی از استفاده عناصر غیر خطی در شبکه می‌باشد [۵].

---
[۱] Cyclo Convertor

۲-۶. انرژی خورشیدی

انرژی خورشیدی منحصربه‌فردترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان است و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین می‌باشد. انرژی خورشیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می‌تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد. انرژی فتوولتاییک به تبدیل نور خورشید به الکتریسیته از طریق یک سلول فوتوولتاییکPV گفته می‌شود، که به طور معمول توسط یک سلول خورشیدی انجام می‌پذیرد. سلول خورشیدی یک ابزار غیر مکانیکی است که معمولاً از آلیاژ سیلیکون ساخته می‌شود. نور خورشید از فوتون‌ها یا ذرات انرژی خورشیدی ساخته شده است. این فوتون‌ها که مقادیر متغیر انرژی را شامل می‌شوند، درست مشابه با طول موجهای متفاوت طیف‌های نوری هستند. وقتی فوتون‌ها به یک سلول فوتوولتاییک برخورد می‌کنند، ممکن است منعکس شوند، مستقیم از میان آن عبور کنند و یا جذب شوند. فقط فوتون‌های جذب شده انرژی را برای تولید الکتریسیته فراهم می‌کنند. وقتی که نور خورشید کافی یا انرژی توسط جسم نیمه رسانا جذب شود، الکترون‌ها از اتم‌های جسم جدا می‌شوند. (به دلیل اینکه آخرین الکترون یک اتم با گرفتن انرژی فوتون به لایه بالاتر رفته و می‌تواند از میدان پروتون خلاص شده و آزادانه در نیمه رسانا حرکت کند. ویژگی سطح جسم در طول ساختن باعث می‌شود سطح جلویی سلول برای الکترون‌های آزاد پذیرا تر باشد. بنا براین الکترون‌ها بطور طبیعی به سطح مهاجرت می‌کنند. زمانی که الکترون‌ها موقعیت n را ترک می‌کنند، سوراخ‌هایی شکل می‌گیرد. تعداد الکترونها زیاد بوده و هر کدام یک بار منفی را حمل می‌کنند و به طرف جلو سطح سلول پیش می‌روند، در نتیجه عدم توازون بار بین سلولهای جلویی و سطوح عقبی یک پتانسیل ولتاژ شبیه قطب‌های مثبت ومنفی یک باتری ایجاد می‌شود. وقتی که دو سطح از میان یک راه داخلی مرتبط می‌شود، الکتریسیته جریان می‌باشد. با این وجود، توان ۱یا ۲ وات تولید می‌کند، که برای بیشتر کار بردها این مقدار از انرژی کافی نیست. برای اینکه بازده انرژی را افزایش دهیم، سلول ها بطور الکتریکی به داخل هوای بسته یک مدول سخت مرتبط می‌شود. این فوتون است اصطلاح آرایش به کل صفحه انرژی اشاره می‌کند، اگر چه آن از یک یا چند هزار مدول ساخته شده باشد، آن تعداد مدول های مورد نیاز می‌توانند بهم مرتبط شوند برای این که اندازه آرایش مورد نیاز (تولید انرژی) را تشکیل دهند. اجرای یک آرایش فوتوولتاییک به انرژی خورشید وابسته است[۹].

۲-۷. پیشینه تحقیق

الکترونیک قدرت از قوس الکتریکی جیوه آغاز شده است. در سال ۱۹۰۲ توسط پیتر * کوپر هویت[۱] اختراع شد که او توانست در تبدیل جریان متناوب (AC) به جریان مستقیم(DC) از آن استفاده شد. از سال ۱۹۲۰ تحقیق در مورد استفاده از دریچه قوس الکتریکی جیوه در شبکه ها و کنترل و انتقال توان را ادامه داد. اونو لامم[۲] یک دریچه جیوه با الکترود را درجه بندی کرد و آنها را برای انتقال توان جریان مستقیم ولتاژ بالا به کار برد. در سال ۱۹۳۳ یکسو کننده های سلنیم اختراع شد. در سال ۱۹۴۷، دو قطبی ترانزیستور نقطه تماسی توسط والتر براتین[۳] و جان باردین[٤] و ویلیام شاکلی[٥] در آزمایشگاههای بل اختراع شد. در سال ۱۹۴۸ شاکلی اختراع ترانزیستور دوقطبی پیوندی (BJT) و عملکرد

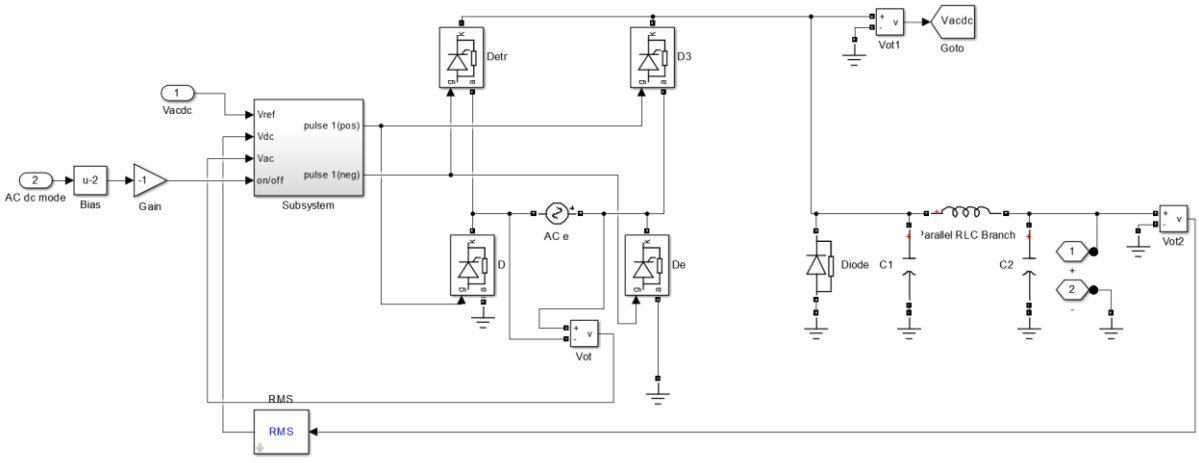
۱ Peter Cooper Hewitt
۲Uno Lamm
۳Walter H. Brattain
٤John Bardeen
٥ William Shockley

ترانزیستورها را بهبود بخشید و باعث کاهش هزینه ها شد. در سال ۱۹۵۰ دیود نیمه هادی قدرت بالاتری به جای لوله های خلاء ارتقا یافت. در سال ۱۹۵۶ سیلیکون یکسوساز کنترل شده (SCR) توسط جنرال الکتریک معرفی شد، که تا حد زیادی باعث شد برنامه های کاربردی الکترونیک قدرت افزایش یابد [۱۰]. در سال ۱۹۶۰ سرعت سوئیچینگ ترانزیستور اتصال دوقطبی برای فرکانس های بالا در مبدل DC _ DC بهبود بخشیده شد. در سال ۱۹۷۶ ماسفت های قدرت تجاری تولید شد. در سال ۱۹۸۲ عایق گیت ترانزیستور دوقطبی (IGBT) معرفی شد. در سال ۱۷۶۷ یک دانشمند سوئیسی به نام هورس بندیکت* [۱] اولین کلکتور خورشیدی که یک جعبه با سه لایه شیشه ای بود و توسط آن انرژی گرمایی را جذب می کرد اختراع شد. جعبه به طور گسترده ای به عنوان اولین کوره خورشیدی شناخته شد که در آن تابش نور خورشید به ۲۳۰ درجه فارنهایت می رسید. در سال ۱۸۳۹ یک نقطه عطف مهم در تکامل انرژی خورشیدی با اثر فتوولتائیک رقم خورد. یک دانشمند فرانسوی به نام ادموند بکرل [۲] با استفاده از دو الکترود نور خورشید را به برق تبدیل کرد [۱۱].

۳.روش تحقیق

۳-۱. مدل سازی مبدل AC_DC (رکتیفایر)

در این مقاله یک نمونه مبدل AC_DC (رکتیفایر) در نرم افزار MATLAB مدل سازی شده است. شبیه سازی راکتیفایر در شکل (۱۱) دیده می شود که یکسو کننده شبیه سازی شده ولتاژ اصلی شبکه را با استفاده از پل یکسو ساز تمام موج و یک فیلتر مدل n به ولتاژ دلخواه و بدون هارمونیک تبدیل می کند.

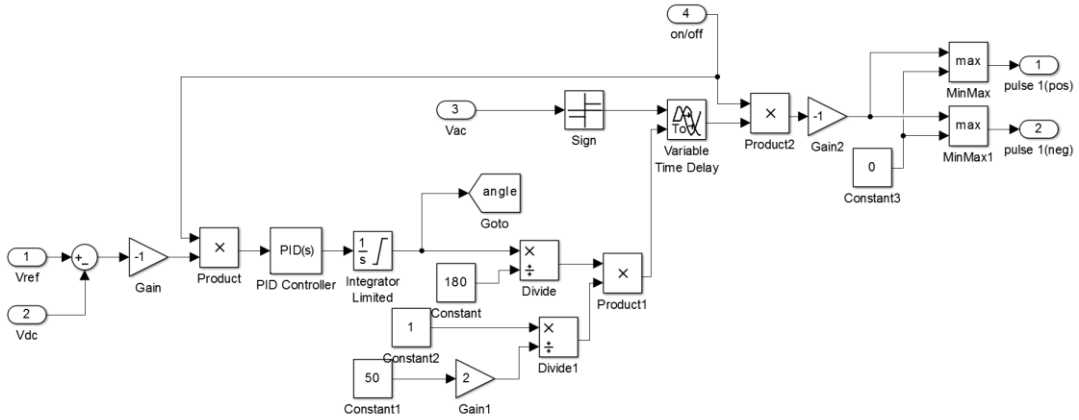


شکل ۱۱-مدل شبیه سازی شده مبدل AC_DC (رکتیفایر)

۱ Horace-Benedict

۲ Edmond Becquerel

این یکسو کننده به عنوان یک یکسو کننده تمام موج با چهار دیود توسط تریستور جای یابی شده است و به جای آن از تریستور و سویچینگ به منظور کنترل و تثبیت ولتاژ خروجی استفاده می شود. فیلتر خروجی از یک فیلتر نوع n و دو خازن mF ۱۰ و یک سلف mH ۵ و یک دیود 5d از طریق بار شبیه سازی شده است که عمل تخلیه بار الکتریکی توسط سلف انجام می گیرد. ولتاژ خروجی پس از اندازه گیری ، ولتاژ تغذیه را به سیستم کنترل شکل (۱۲) می رساند، که کنترل آن توسط زاویه آتش تریستور انجام می شود. تریستورها دارای ولتاژ برگشتی V۰/۸۶ و یک مقاومت ۰/۰۰۱ اهم و یک مقاومت کمکی ۵۰۰ اهم و یک خازن nF ۲۵۰ می باشند.



شکل ۱۲- مدل شبیه سازی شده سیستم کنترل مبدل AC_DC (رکتیفایر)

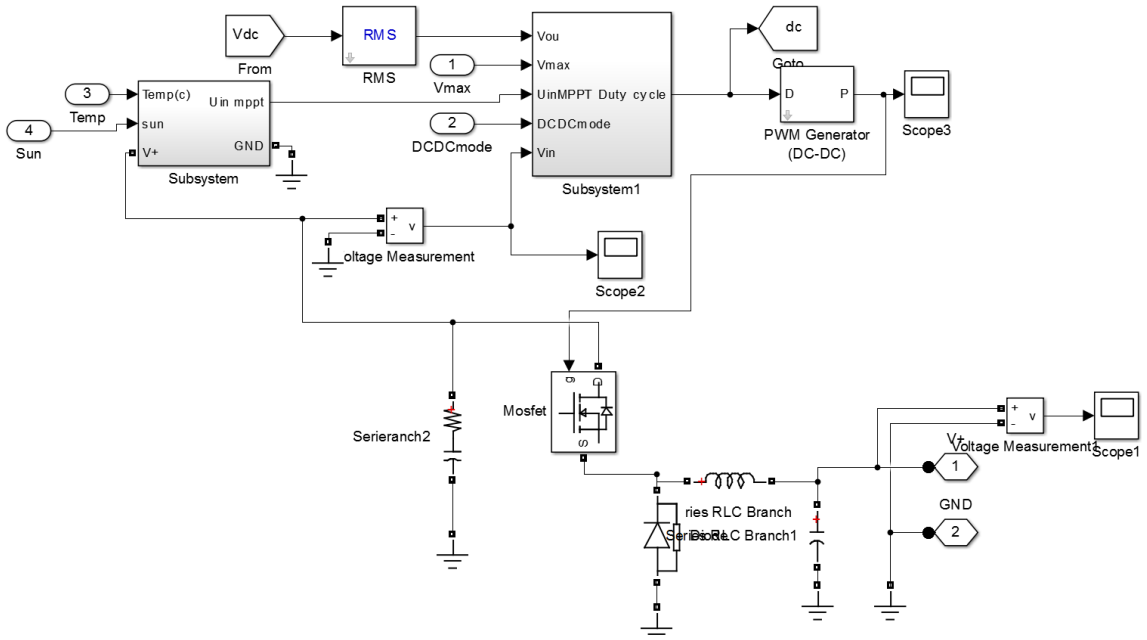
سیستم کنترل به شرح زیر کار می کند. ولتاژ خروجی مرجع Vref مورد نظر با ولتاژ خروجی واقعی Vdc مورد نظر مقایسه می‌شود. اگر ولتاژ مرجع بالاتر از ولتاژ واقعی باشد ، توسط زاویه آتش باید ولتاژ خروجی را کاهش یابد. برای افزایش ولتاژ خروجی با ضریب بهره ۱- مدل سازی شده است. با این حال، اگر مبدل AC_DC در حالت خاموش باشد، سیگنال فیدبک در عدد صفر، ضرب می شود یعنی هنگامی که مبدل خاموش است، نمی تواند تغییراتی در ولتاژ خروجی انجام دهد. سیستم کنترل مبدل AC_DC به تغییرات ولتاژ ترمینال خروجی واکنش نشان نمی دهند.

سیگنال فیدبک به یک کنترلر PID وارد می شود. برای عملکرد سیستم، انتگرال گیر که واحد آن بر حسب درجه می باشد مقدار زاویه آتش را در حالت روشن ، تغذیه می کند. انتگرال گیر اجازه نمی دهد مقدار زاویه از ۱۸۰ درجه بیشتر و از صفر کمتر شود. کنترل PID با استفاده از روش زیگلر نیکولز در سال ۲۰۰۴ مدل سازی شده است. زاویه آتش به ۱۸۰ درجه تقسیم می شود تا خروجی بین ۰ و ۱ شود یعنی پریونیت می شود. این توضیحات برای هدایت تریستور عمل می کند و سپس این مقدار تقسیم بر فرکانس ورودی و ضرب در عدد ۲ می شود زیرا تعداد تریستورها ۲ عدد می باشند و این که همزمان، دو تریستور خاموش و دو عدد دیگر روشن هستند. این سیگنال تغییرات تاخیر زمانی را کنترل می کند و یک سیگنال متفاوت ولتاژ AC ، از طریق بلوک ساین یا تابع علامت، تغذیه می شود. در واقع تبدیل سیگنال AC را به یک موج مربعی با دامنه ۱، که مثبت می باشد انجام می دهد یعنی سیگنال را برش می دهد و به موج مربعی تبدیل می کند. با این

حال، با به تاخیر انداختن این سیگنال، تریستور می تواند مقدار مناسب را برای مشخص نمودن زاویه آتش انجام دهد. شکل موج ولتاژ برق شبکه AC که سینوسی می باشد و شکل موج دوم تابع تاخیر زمانی متغیر به تعویق می افتد و در نهایت شکل موج سوم خروجی پل، توسط تابع تاخیر کنترل می شود و برش انجام شده است. در واقع پالس واقعی به تریستورهای منطقی ارسال می گردد و دو پالس خروجی وجود دارد، که یکی برای دو تریستور کنترلر زمانی که ولتاژ AC مثبت است و یکی برای دو تریستور کنترلر زمانی که ولتاژ AC منفی است. تابع تاخیری به عنوان ورودی به هر دو پالس گرفته شده است ، در حالی که پالس منفی عدد ۱- به دست آمده است و برای خروجی مثبت عدد۱ (با تاخیر) ولتاژ AC منفی محاسبه شده است. هر دو پالس با زمین، صفر شده بودند، به طوری که خروجی یا ۰ یا ۱ به جای ۱- یا ۱ می باشد. پالس نیز توسط مولتی پلیر در مبدل AC_DC انجام می گیرد. زمانی که خاموش است (صفر)، پالسی بر روی این تریستورها وجود نخواهد داشت.

۳-۲. مدل سازی مبدل الکترونیک قدرت DC_DC

یک مبدل الکترونیک قدرت باک DC_DC (کنترل کننده شارژ خورشیدی) شبیه سازی انتخاب شده است، زیرا به طور کلی ولتاژ MPP بالاتر از ولتاژ سیستم است. طراحی مبدل باک، درشکل(۱۳) نشان داده شده است. اکنون ورودی های سیستم که بر اساس ولتاژ پانل خورشیدی می باشد و توسط کابل ها به ترمینال مثبت ،DC مبدل DC_DC انتقال می یابد. ولتاژ مرجع (Vmax) نیز در سیستم DC_DC شبیه سازی شده در قسمت ۱ برای ترمینال قدرت، قسمت ۲ برای ترمینال مرجع و قسمت۳ برای قطع تغذیه، انجام شده است.

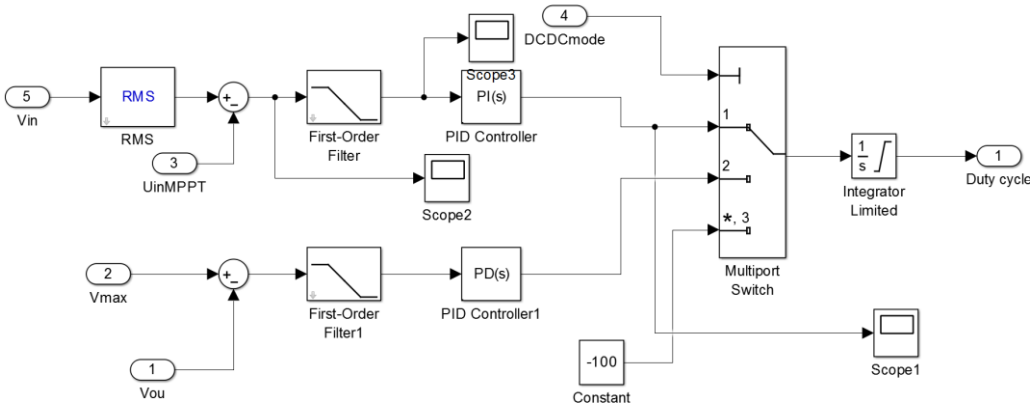


شکل ۱۳- مدل شبیه سازی شده مبدل DC_DC

در این قسمت خازن ورودی، ۱ mF استفاده شده است که مقاومت معادل آن ۰/۰۲ اهم می باشد و در جهت محدود کردن جریان های گذرا و ایجاد مدل ریاضی ایده آل استفاده شده است. ماسفت ها دارای یک مقاومت ۰/۱ اهم و دیود ۰/۰۱ و مقاومت کمکی ۱۰۰ کیلو اهم استفاده شده است که به طور پیش فرض، مقادیر به جز خازن کمکی که مقدارش بی نهایت است، صفر می باشند. دیود D1 دارای مقاومت تبدیل ۰/۰۰۱ اهم و افت ولتاژ را حدود ۰/۸ V افزایش می دهد و مقاومت کمکی ۵۰۰ اهم و خازن کمکی ۲۵۰ nF به عنوان مقادیر پیش فرض به کار می روند. خازن خروجی دارای یک خازن بزرگ ۱۰۰ mF می باشد که خروجی را ثابت و تصحیح می کند و به عنوان یک فیلتر پیشرفته تر عمل می کند.

ماسفت ها توسط پالس مدولاسیون عرضی (PWM) کنترل می شوند که کنترل ورودی بر روی عدد ۰ تا ۱ و عملکرد آن در ۱۰ کیلو هرتز می باشد. PWM به نوبه خود توسط سیستم کنترلی که در شکل(۱۴) می‌باشد کنترل می شود. هنگامی که مبدل DC_DC در حالت کنترل توان باشد مقدار تنظیم شده روی عدد ۱ تنظیم می شود یعنی مبدل ولتاژ، ورودی RMS با ولتاژ MPP برای پانل های خورشیدی مقایسه می شود. فیدبک از طریق یک فیلتر پایین گذر با یک ثابت زمانی، در زمان ms و یک کنترل کننده PI تغذیه می‌شوند. خروجی انتگرال گیر باعث محدود کردن مقدار بین ۰ و۱ می شود. کنترل PI با استفاده از آزمایش و جواب به روش آزمون و خطا انتخاب می کند. هدف آن افزایش سرعت آن در کمترین زمان با هیچ نوساناتی می‌باشد.

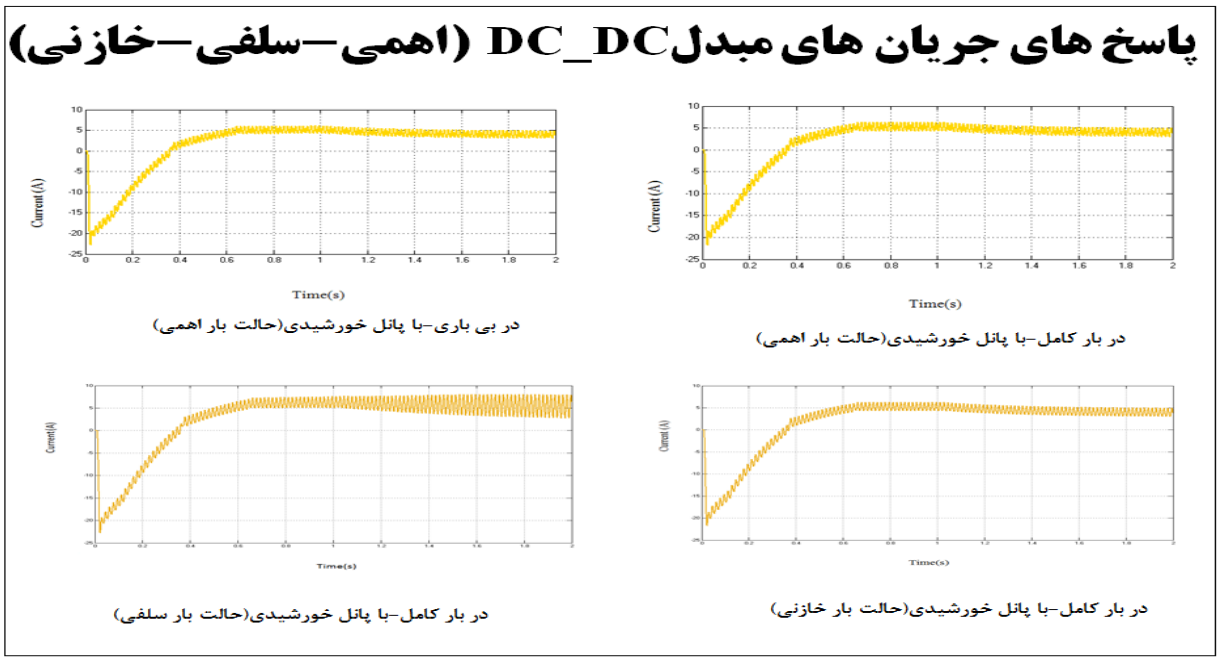
هنگامی که سیستم در حالت سوئیچ۲ روشن می شود، هدف آن این است که مبدل DC_DC ولتاژ خروجی را در بر روی ۵۶/۸ V تنظیم کند و باعث دستیابی به حداکثر توان پانل‌های خورشیدی شود. این هدف با مقایسه ولتاژ سیستم با حداکثر ولتاژ مرجع Vmax به دست می آید. تفاوت آن این است که از طریق یک فیلتر پایین گذر با یک ثابت زمانی، ۱ میلی ثانیه و سپس یک کنترلر PD تغذیه می شود. همانطور که در حالت ۱، یک کنترلر انتخاب و تنظیم شده است، این سیگنال، انتگرال را تغذیه می کند و در حالت ۲، به صورت ایده آل منجر به انتقال آرام آن بین حالات می شود زیرا مقدار انتگرال باید پیوسته تعریف شود. در پایان ، حالت ۳ خاموش و روشن کردن و سوئیچینگ ورودی ثابت عدد۱۰۰- و انتگرال آن به سرعت جهت رسیدن به حالت صفر می باشد.



شکل ۱۴- مدل شبیه سازی شده سیستم کنترل مبدل DC_DC

۴. تجزیه و تحلیل داده ها

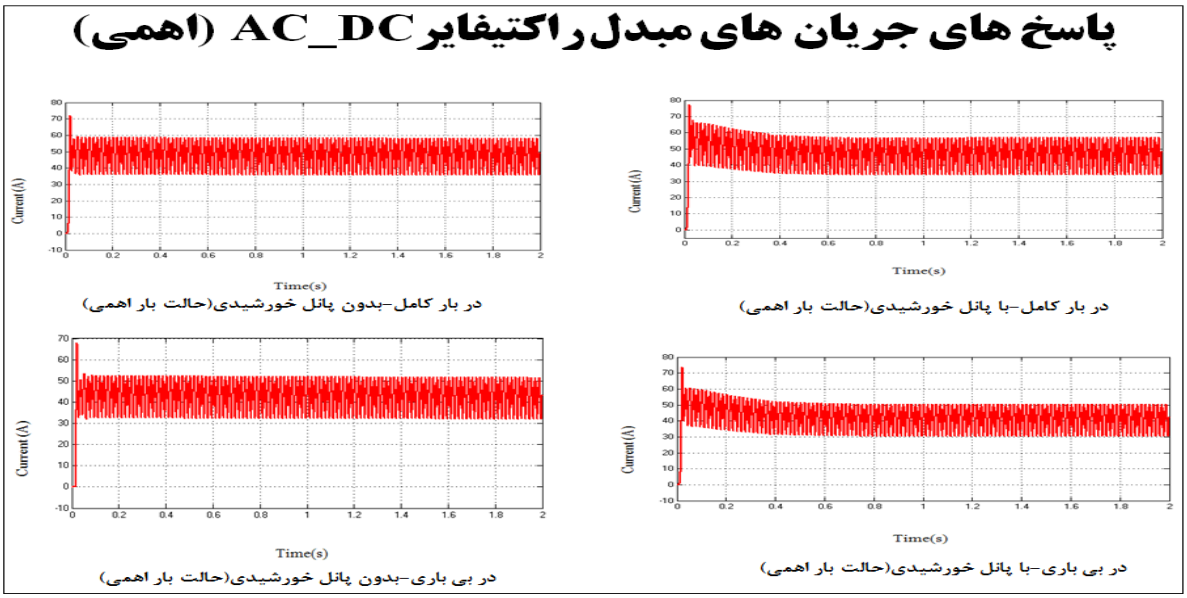
چهار نمودار جریان های مبدلDC_DC خورشیدی در شکل(۱۵) دیده می شود. مبدلDC_DC جریان های بار اهمی و سلفی و خازنی جداگانه آورده شده است که بیانگر این مسئله می باشد که نوسان جریان های مبدلDC_DC در بار اهمی و خازنی بسیار مشابه همدیگر می باشد، در صورتی که در بار سلفی نوسان بیشتری را ایجاد نموده است، یعنی به علت وجود هارمونیک ها دارای بیشترین نوسان می باشد و بار خازنی و اهمی در وضعیت نسبتا مشابه هستند. در بار کامل و بی باری تنها در حالت سلفی متفاوت است. در بار اهمی بدون پانل خورشیدی نوسان بین ۳ تا ۵ آمپر نوسان دارد در حالی که ابتدا نوسان زیاد می باشد و در ۰/۶ ثانیه مقدارش ثابت می شود.



شکل ۱۵- پاسخ های جریان های مبدلDC_DC (اهمی–سلفی–خازنی)

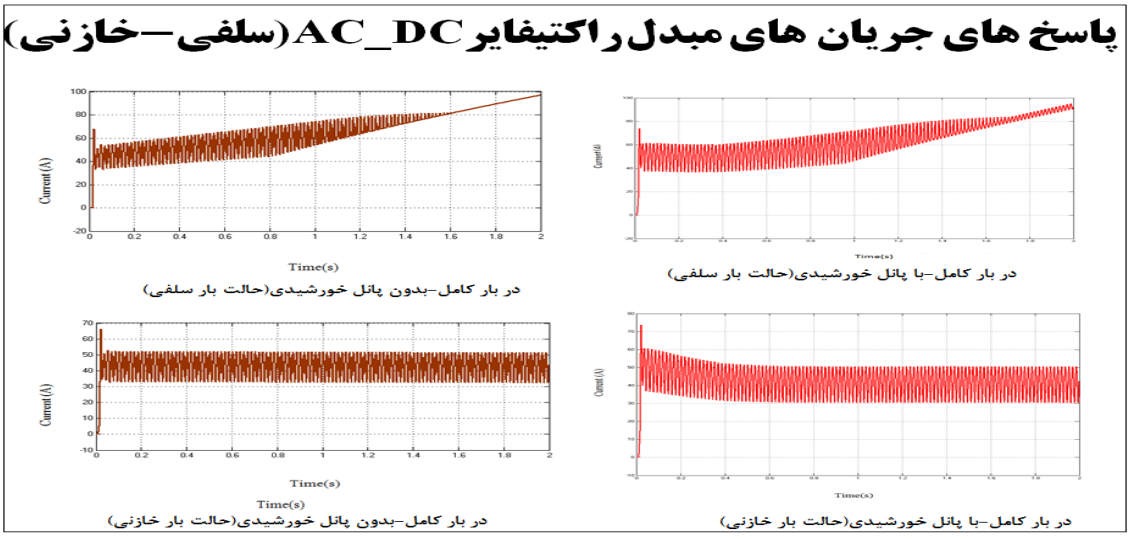
چهار نمودار جریان های مبدل راکتیفایر AC_DC در شکل (۱۶) دیده می شود. جریان های بار اهمی آورده شده است که بیانگر این مسئله می باشد که نوسان جریان های بار اهمی در حالت بدون پانل خورشیدی کمترین مقدار را در مقایسه با حضور پانل خورشیدی دارند.در بار کامل با پانل خورشیدی که از ۳۲ تا ۶۸ آمپر نوسان دارد و از ۰/۴ ثانیه نوسان آن یکنواخت می شود، در صورتی که در بار کامل بدون پانل خورشیدی از همان ابتدا نوسان از ۳۶ تا ۶۰ آمپر می باشد.

در حالت بی باری با پانل خورشیدی ابتدا نوسان بین ۳۷ تا ۶۰ آمپر می باشد و در ۰/۴ ثانیه بین ۳۰ تا ۵۰ آمپر یکنواخت می شود، در صورتی که در حالت بی باری با پانل خورشیدی نوسان از ۳۲ تا ۵۲ است.



شکل ۱۶- پاسخ های جریان های مبدل AC_DC (اهمی)

چهار نمودار جریان های مبدل راکتیفایر AC_DC در شکل (۱۷) دیده می شود. جریان های بار سلفی و خازنی آورده شده است که بیانگر این مسئله می باشد که نوسان جریان های بار خازنی در دو حالت با و بدون پانل خورشیدی ثابت می-باشد در حالی که در بار سلفی پدیده هارمونیک رخ داده است و نوسان های بار سلفی خیلی متفاوت نسبت به بار سلفی و خازنی دیده می شود. در بار سلفی حالت بار کامل و بدون پانل خورشیدی ابتدا نوسان بین ۳۵ تا ۵۵ است و بعد از افزایش تا ۸۰ آمپر در ۱/۶ ثانیه به صورت یکنواخت رو به افزایش پیش می رود. در بار کامل با پانل خورشیدی نوسان بین ۳۹ تا ۶۰ آمپر ثابت و بعد از زمان ۱/۸ ثانیه رو به افزایش پیش می رود. در بار خازنی و بار کامل با پانل خورشیدی نوسان از ۳۷ تا ۶۰ آمپر می باشد و در ۰/۴ ثانیه یعنی ۳۰ تا ۵۰ آمپر یکنواخت می شود ولی در بار کامل سلفی بدون پانل خورشیدی نوسان بین ۳۲ تا ۵۲ آمپر یکنواخت می باشد.



شکل ۱۷- پاسخ های جریان های مبدل DC_DC (سلفی-خازنی)

این مطالعات بیان می کند که سیستم با استفاده از مبدل های الکترونیک قدرت دارای راندمان بالا می باشد و در تولید انرژی الکتریکی با انرژی خورشیدی برای شرکت‌ها یا سرمایه گذاران قابل اعتماد و رضایت مند می باشد و باعث پایداری شبکه قدرت می شود.

۶. نتیجه گیری

در این مقاله تلاش شد با استفاده از نقش موثر مبدل های الکترونیک قدرت در تولید انرژی خورشیدی ، پایداری شبکه قدرت را محقق سازد و برای تبدیل سطح ولتاژ های مختلف و تنظیم کننده جریان ها و قطع و وصل کننده در مدارات کنترل کننده (شارژ باتری ها و کنترل دور) استفاده شود. همچنین مشاهده شد می توان با بهره گیری از جدیدترین روش ها و طرح ها و تکنولوژی ها در ساخت ایده آل ترین حالت ممکن استفاده نمود. همچنین توسط مبدلDC_DC ، ماکزیمم نقطه توان (MPP) برای کار پانل های سیستم فتوولتاییک PV مشخص گردید و راندمان بهره آن افزایش یافت.

مراجع

1. RASHID, M. H. (2011). **Power Electronics Handbook: Devices, Circuits and Applications**. USA, Elsevier Inc.
2. FUCHS, E. F. & MASOUM, M. A. S. (2011). **Power Conversion of Renewable Energy Systems**. Springer.
3. Kumar Chinnaiyan, V., Jerome, J., Kappagam, J. (2013). **An experimental investigation on a multilevel inverter for solar energy applications.** International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 47, 157-167.
4. ELTAWIL, M. A. & ZHAO, Z. (2010). **Grid-connected photovoltaic power systems Technical and potential problems_A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14**,** 112-129.
5. Shepherd, W., Zhang, L. (2004). **Power Converter Circuits.** New York, Marcel Dekker.
6. ELECTRONICS PROJECT. (2014). **Ripple Factor of bridge rectifier** [Online]. Available: http://electronicsproject.org/ripple-factor-of-bridge-rectifier/ [Accessed 27 May 2014].
7. CIRCUITSTODAY. (2014). **Capacitor Input Filter** [Online]. Available: http://www.circuitstoday.com/wpcontent/uploads/2009/08/Capacitor-Input-Filter-Circuit.jpg [Accessed 25 May 2014].
8. NGUYEN, M. Y. & YOON, Y. T. (2014). **A Comparison of Microgrid Topologies Considering Both Market Operations and Reliability.** Electric Power Components and Systems, 42**,** 585-594.
9. wikipedia.org (DOE). (2016). **solar-energi**. [Online]. Available: http://www.irses.ir/index.php/2013-05-27-05-18-52
10. **Power Semiconductor Devices**. EE IIT. Retrieved 25 March 2012.Feist,
11. exploringgreentechnology (DOE). (2016). solar-panel. [Online]. Available: http://exploringgreentechnology.com/solar-energy/history-of-solar-energy/