



دانشگاه گیلان
معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی

دانشکده فن و مهندسی

گروه آموزش برق و الکترونیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی برق گرایش الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی

به کارگیری کنترل پیش بین برای ردیابی نقطه حداکثر توان منبع تولید توان PV با استفاده از یک مبدل DC-DC افزایش یافته با نسبت تبدیل ولتاژ بالا

پژوهشگر:

عباس رحیمزاده گل لو

استاد راهنما:

دکتر عادل اکبری مجد

دکتر فرزاد صداقتی

استاد مشاور:

دکتر مجید حسین پور

بهمن ماه ۱۳۹۷

تبدیل ولتاژ بالا / عباس رحیمزاده گل‌لو	استادان راهنما:
دکتر عادل اکبری‌مجد، دکتر فرزاد صدیقی	استاد مشاور:
دکتر مجید حسین‌پور	تاریخ دفاع:
۱۳۹۷/۱۱/۲۷	تعداد صفحات:
۶۰ ص.	شماره پایان‌نامه:
گروه مهندسی برق و کامپیوتر/۲۵۱۹۸۲۴	

چکیده:

هدف: در این پایان‌نامه با مطالعه ساختار مبدل‌هایی که در کاربرد فتوولتائیک مناسب‌اند، مبدل موردنظر انتخاب شد. مبدل DC-DC باعث می‌شود که ولتاژ حاصله از سیستم PV که اندازه کمتری دارد به ولتاژ با اندازه متناسب با سطح ولتاژ فشار ضعیف شبکه توزیع در سمت شبکه تبدیل شده، بازده سیستم PV افزایش یابد. با توجه به این که نقطه حداکثر توان مقدار ثابتی ندارد و با تغییرات شرایط جوی متغیر است، برای آنکه از سیستم فتوولتائیک حداکثر انرژی دریافت شود، بایستی از روش ردیابی نقطه حداکثر توان (MPPT) استفاده گردد. روش‌های متنوعی برای الگوریتم‌های MPPT مطرح است که هر کدام مزایا و معایب خودشان را دارند. از آن‌جاکه امروزه راه‌کارهای مختلفی به‌منظور بهبود عملکرد الگوریتم‌های ردیابی حداکثر توان ارائه می‌شود. در این پژوهش نیز به بررسی تأثیر کنترل پیش‌بینی‌منظور ایجاد بهبود در عملکرد الگوریتم MPPT به‌روش مشاهده و تغییر پرداخته شده است.

روش‌شناسی پژوهش: برای استفاده از حداکثر انرژی خورشید، به‌کارگیری روش کنترل MPPT و استفاده از مبدل‌های DC-DC افزایش‌دهنده با بهره ولتاژ بالا کاملاً متداول است و در این میان مطالعه درباره نحوه کنترل مبدل‌های افزایش‌دهنده با بهره ولتاژ بالا برای فراهم ساختن شرایط مطلوب‌تر استفاده از انرژی خورشید، امری ضروری به نظر می‌رسد.

یافته‌ها: الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان با روش مشاهده و تغییر در کنار ویژگی‌های متمایز نسبت به سایر الگوریتم‌ها، نقطه ضعف‌هایی هم دارد که بخش وسیعی از آن با استفاده از کنترل پیش‌بینی رفع می‌گردد. از جمله آن‌ها می‌توان به بهبود عملکرد حالت دائمی و افزایش دقت در MPPT اشاره کرد.

نتیجه‌گیری: استفاده از کنترل پیش‌بینی باعث بهبود عملکرد سیستم فتوولتائیک در بهره‌گیری از حداکثر انرژی خورشید و کارایی الگوریتم ردیابی حداکثر توان می‌گردد. بدین معنی که کنترل پیش‌بینی به کار رفته در ساختار الگوریتم ردیابی حداکثر توان باعث کاهش میزان نوسان منحنی‌های PV می‌گردد. همچنین با این روش می‌توانیم اختلاف مقدار توان استحصال شده را با حداکثر توان قابل استحصال از آرایه PV در حد بسیار مطلوبی کاهش دهیم که این امر باعث افزایش دقت ردیابی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سیستم فتوولتائیک، MPPT، مبدل‌های افزایش‌دهنده ولتاژ با بهره بالا، کنترل پیش‌بینی

۱-۱- کلیات

استفاده انبوه از منابع مختلف انرژی تجدیدناپذیر مانند ذغال سنگ، نفت و مانند آن، منجر به خطرات زیست‌محیطی مانند آلودگی هوا، گرم شدن کره زمین و تأثیرات گلخانه‌ای شده است. با در نظر گرفتن رشد تقاضای انرژی در جامعه کنونی، توجه به توسعه منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر مانند انرژی باد، سلول‌های سوختی و فتوولتائیک لازم است [۴ و ۵]. انتظار می‌رود سیستم‌های تولید انرژی پراکنده (DE)^۱، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر بازار انرژی جهان در آینده نزدیک داشته باشد. سیستم‌های DE عموماً شامل فتوولتائیک (PV)^۲، بادی، میکروتوربین‌ها، سلول‌های سوختی (FC)^۳ و موتورهای درون احتراقی می‌باشند. جهت افزایش بهره تولید انرژی در سیستم‌های تولید انرژی پراکنده در زمان‌های کم‌باری، سیستم‌های ذخیره انرژی متعددی نظیر باتری و چرخ لنگر در نظر گرفته می‌شوند. انرژی تولیدی در زمان نیاز می‌تواند به شبکه منتقل شود که این امر نیاز به ژنراتورها و نیروگاه‌های پرهزینه را از بین می‌برد. علاوه بر این، در بسیاری از سیستم‌های مستقل مورد کاربرد در صنایع فضایی، هوایی، دریایی، ارتباطات راه دور و حمل و نقل برقی، این منابع انرژی، کاربرد دارند [۲].

با این حال، ولتاژ خروجی تولیدی این منابع بسیار کم است و به آسانی با یک شبکه الکتریکی سازگار نیست، لذا تمام تکنولوژی سیستم‌های تولید انرژی پراکنده از سیستم‌های الکترونیک قدرت ویژه یا یک مبدل DC-DC با بهره ولتاژ بالا، برای تبدیل توان تولیدی به توان مطلوب که امکان اتصال مستقیم به شبکه را داشته و یا برای مصارف نهایی مناسب باشد، استفاده می‌کنند. به همین دلیل است که توسعه یک واسط الکترونیک قدرت پیشرفته که قابل گسترش برای رفع نیاز توان‌های مختلف با طراحی ماژولار، هزینه پایین‌تر، قابلیت اطمینان بهبود یافته و راندمان مناسب باشد، خواهد توانست هزینه کلی و تداوم خدمت سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را نیز بهبود بخشد [۶ و ۷]. این مبدل DC-DC علاوه بر افزایش ولتاژ خروجی منابع انرژی تجدیدپذیر، عمل کنترل لازم در برابر تغییرات بار و خط را نیز فراهم می‌کند [۸].

با توجه به بازده کم سیستم‌های PV، استفاده از روش ردیابی نقطه‌ی حداکثر توان (MPPT)^۴ برای اطمینان از اینکه حداکثر انرژی خورشید حاصل از پنل‌های خورشیدی، در دسترس باشد لازم است [۹ و ۱۰]. به عبارت دیگر به دلیل ویژگی‌های غیرخطی منحنی‌های ولتاژ - جریان و ولتاژ - توان آرایه‌های خورشیدی بر مبنای آن که در مدل سیستم عدم قطعیت‌هایی شامل دما و تابش خورشیدی وجود دارد که بر روی توان خروجی سیستم تأثیر می‌گذارد، لذا نقطه حداکثر توان، ثابت نبوده بلکه به نقطه کار وابسته است. بنابراین برای بهره‌برداری از توان حداکثر سلول‌های خورشیدی، یکی از کارآمدترین روش‌ها، ردیابی نقطه حداکثر توان است.

موضوع دیگری که در این پژوهش مورد توجه است، کنترل پیش‌بین مدلی باشد. اصطلاح کنترل پیش‌بینی معنای کاربرد یک روش کنترل لیاو احد نیست؛ بلکه این روش، متشکل از دامنه وسیع‌تر روش‌های کنترل لیاو است که به منظور دست‌یابی به سیگنال کنترل لیاو به حداقل رساندن تابع هدف، به شکل‌گیری یک مدل فرآیند است. استفاده از MPC^۵ بسیار شبیه به روش کنترل لیاو است که سیگنال‌های انتقالی را از مدل‌های مسیریابی که فقط محدوداً آگاه است و با در نظر گرفتن مشخصات و سیگنال‌های انتقالی (مدل‌های نیاز و سیگنال‌های) تصمیم‌گیری‌کننده از کد امروزشکنتری (سرعت گرفتن، ترمز زدن یا تغییر جهت دادن) برای دنبال کردن مسیری مرجع استفاده کند. در هر بازه زمانی، تنها اعمال کنترل لیاو انجام شده و بر این تصمیمات کنترل لیاو بعدی هم‌بند و با توافق‌خیزی^۶ تکرار می‌شود.

^۱ Distributed Energy

^۲ Photo Voltaic

^۳ Fuel Cell

^۴ Maximum Power Point Tracking

^۵ Model Predictive Control

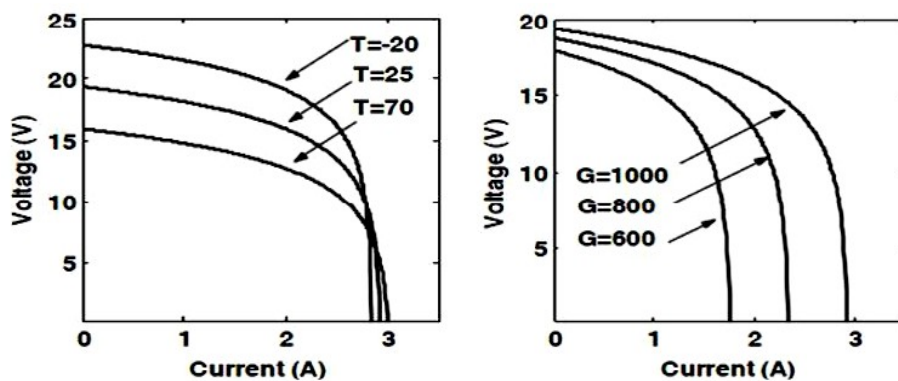
^۶ Receding Horizon

۲-۱- ضرورت انجام پژوهش

مشکلات اساسی در کاربرد سیستم PV می‌تواند در دو موضوع زیر خلاصه شود:

(الف) بحث هزینه: برای حداقل‌سازی ریپل جریان و همچنین کاهش تعداد خازن‌های الکترولیتی، باید از چرخه‌کاری بالا که در مبدل‌های بوست مرسوم وجود دارد اجتناب شود.

(ب) بحث بازده: برای کاهش تلفات، باید تنش‌بالای ولتاژ کلیدها که در مبدل‌های بوست مرسوم وجود دارد، کاهش یابد. اگرچه سیستم‌های فتوولتائیک در طول چند دهه اخیر توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند، اما بازده تبدیل انرژی پایین و هزینه نصب بالا در این سیستم‌ها از موانع عمده استفاده آن‌ها در مقیاس بزرگ و به‌عنوان انرژی جایگزین می‌باشد. از طرفی توان خروجی سلول‌های فتوولتائیک همواره با تغییرات شدت تابش خورشید و دما، تغییر می‌کند (به عنوان مثال همانند شکل ۱-۱ که برای یک PV خاص است). نقطه حداکثر توان سیستم فتوولتائیک، وابسته به درجه حرارت آرایه‌ها، قرارگیری در مقابل آفتاب، شرایط سایه و کهنگی سلول PV است. لذا تحقیقات بسیاری در خصوص کاهش این ایرادات انجام یافته است و در سال‌های اخیر، تعداد زیادی از روش‌ها جهت ردیابی نقطه حداکثر توان برای سلول‌های خورشیدی ارائه شده است. بنابراین الگوریتمی که بتواند همواره در شرایط مختلف، حداکثر توان را از سیستم PV دریافت کند، به بخش ضروری در سیستم‌های PV تبدیل شده است [۳].



الف) در دمای ثابت ۲۵ درجه و تابش‌های مختلف ب) در تابش ثابت 1000 W/m^2 و دماهای متفاوت

شکل ۱-۱- تغییر نقطه حداکثر توان با تغییر شرایط جوی [۳]

۳-۱- نوآوری پژوهش

باتوجه به اینکه مصرف انرژی الکتریکی در جهان روبه افزایش است واز سوی دیگر، اثرات مخربی که استفاده از منابع انرژی تجدیدناپذیر در طبیعت می‌گذارد، دو عاملی هستند که زمینه را برای گسترش و استفاده روزافزون از منابع انرژی تجدیدپذیر فراهم کرده‌اند که در میان این منابع، انرژی خورشیدی از مهم‌ترین آن‌هاست.

برای استفاده از حداکثر انرژی خورشید، ضرورت به کارگیری روش کنترل MPPT و استفاده از مبدل‌های DC-DC افزایشنده ولتاژ کاملاً متداول است. در این میان مطالعه درباره‌ی نحوه کنترل مبدل‌های افزایشنده ولتاژ به‌نحوی که شرایط مطلوب‌تر استفاده از انرژی خورشید، فراهم شود امری ضروری به نظر می‌رسد.

کنترل پیش‌بین، یکی از روش‌های کنترل غیرخطی است که توانمندی لازم جهت اجرا در این خصوص و مقایسه با

دیگر کنترل‌کننده‌های غیرخطی را دارد. این روش به‌خاطر نیاز کمتر به اطلاعات سیستم، سادگی الگوریتم‌های پیش‌بینی آن و قابلیت اجرا در اکثر سیستم‌های چندورودی چندخروجی یا ناپایدار، محبوبیت زیادی دارد. همچنین در صنعت، این روش پس از کنترل‌کننده‌های PID بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۱-۴- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل نگارش شده است:

فصل اول به معرفی کلیات پایان‌نامه، اهداف و ساختار آن پرداخته است.

فصل دوم به مرور مبدل‌های افزایشنده با بهره ولتاژ بالا و ویژگی‌های آن پرداخته است. در مورد کنترل پیش‌بین، انواع و ویژگی‌های آن مطالبی آورده سپس، روش‌های ردیابی توان حداکثر را مورد بحث و بررسی قرار داده و در نهایت به نمونه‌هایی از مبدل‌های افزایشنده با بهره‌ولتاژ بالا که در ساختار کنترل آن‌ها از کنترل پیش‌بین استفاده شده، اشاره شده است. فصل سوم به مبدل موردنظر و الگوریتم ردیابی توان حداکثر پرداخته است و نحوه عملکرد مبدل را در حالت‌های مختلف کلیدزنی تحلیل کرده و روابط آن‌ها را آورده است.

فصل چهارم به شبیه‌سازی سیستم مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل نتایج آن می‌پردازد.

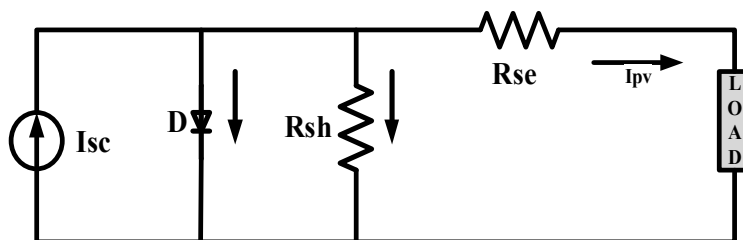
فصل پنجم به خلاصه فصل، نتیجه‌گیری و بیان پیشنهادات اختصاص دارد.

۲- مبانی و پیشینه تحقیق

۱-۲- مقدمه

در ابتدای ورود تجهیزات الکترونیک قدرت به صنایع، به دلیل هزینه بالای این تجهیزات، استفاده از آن‌ها تنها به مواردی که هزینه ارزش نتیجه را دارا بود مانند صنایع فضایی، محدود می‌شد. با انقلاب فناوری آغاز شده، به سرعت هزینه تولید نیمه هادی‌ها کاهش یافته و کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت به صنایع دیگر نظیر صنایع راهبری دریایی، ارتباطات راه دور و سایت‌های متحرک گسترش پیدا کرد. در دهه ۱۹۹۰ با ورود سیستم‌های تولید پراکنده که از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند PV، بادی و پیل سوختی استفاده می‌کردند، تحقیقات در زمینه تجهیزات و مبدل‌های الکترونیک قدرت، افزایش چشمگیری یافت. یکی از مهم‌ترین قسمت‌های به‌کاررفته در واسط‌های الکترونیک قدرت، مبدل‌های افزایش ولتاژ DC-DC می‌باشند که ولتاژ پایین تولیدی توسط سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر را به ولتاژ مورد نظر برای مصرف‌کننده و یا اینورتر که جریان مستقیم را به متناوب با فرکانس مناسب برای اتصال به شبکه تبدیل می‌کند، افزایش می‌دهند.

سیستم‌های فتوولتائیک که در شکل ۱-۲ مدار معادل سلول نشان داده شده است. به علت مزایای زیادی که دارند، کاربرد فراوانی یافته‌اند. اولین نوع آن‌ها در اقمار مصنوعی آزمایش و کارایی خود را به نحو احسن انجام داد. عمر طولانی (حدود ۲۰ سال)، قابلیت نصب و راه‌اندازی در شرایط جغرافیایی ویژه مانند مناطق صعب‌العبور و کوهستانی، قابلیت استفاده در سیستم‌های متحرک، نگهداری آسان، عدم وابستگی به شبکه در نقاط دور دست و قابلیت استفاده به صورت متصل به شبکه، همه مزایایی هستند که آینده درخشانی را برای استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک ترسیم می‌کنند. میزان تولید برق از طریق سیستم‌های فتوولتائیک در جهان در هر پنج سال دو برابر می‌شود. پیشرفت‌های صنعتی و تکامل فناوری‌های مورد استفاده در تولید سلول‌های فتوولتائیک، بهره‌وری بالاتر و استفاده وسیع‌تر از این سیستم‌ها را در پی دارد. به طوریکه در طول دو دهه گذشته، هزینه ساخت و نصب یک سیستم فتوولتائیک در حدود ۲۰ درصد کاهش یافته و توان تولیدی هر واحد نصب شده، دو برابر شده است [۱۱].



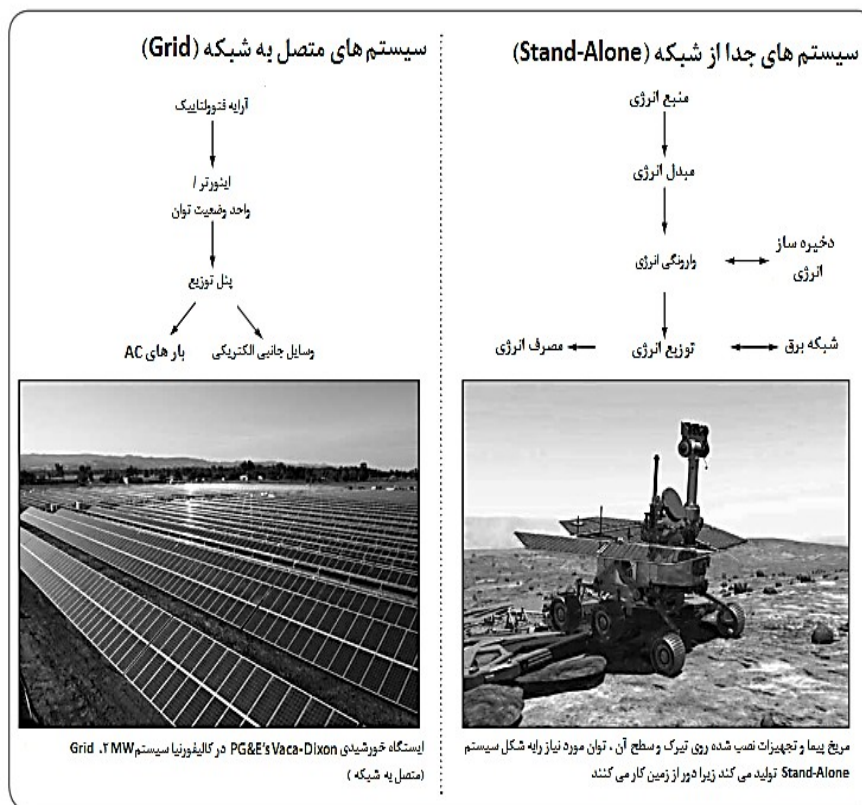
شکل ۱-۲- مدار معادل سلول خورشیدی [۱۱]

استفاده از ماژول‌های PV نسبت به دیگر منابع تولید تجدیدپذیر چندین مزیت دارد که نصب ساده و تجهیزات

نگهداری کم، از جمله آن‌هاست [۱۲]. در بین کاربردهای PV نیز سیستم PV متصل به شبکه، اهمّیت زیادی دارد. این سیستم به‌طور گسترده در کاربردهای مسکونی به منظور تأمین مستقیم انرژی مصرف‌کننده نهایی، همچنین فروش مازاد انرژی به توزیع‌کننده توان الکتریکی، استفاده می‌شود [۱۳].

سیستم‌های فتوولتائیک مطابق شکل ۲-۲ در دو نوع سیستم‌های متصل به شبکه و سیستم‌های جدا از شبکه وجود دارند. سیستم‌های متصل به شبکه به شکلی طراحی می‌شوند تا به موازات و به‌صورت پیوسته با تجهیزات ملی شبکه عمل نمایند. تجهیزات اصلی سیستم‌های متصل به شبکه، اینورتر یا واحد وضعیت توان (PCU) است. اینورتر توان تولیدی DC که توسط سیستم‌های فتوولتائیک تولید می‌شود را به توان AC سازگار با ولتاژ و کیفیت توان مورد نیاز برای تجهیزات شبکه تبدیل می‌کند. این به‌این معنی است که می‌تواند برق تولیدی را به برق شبکه تحویل داده و وقتی نیاز است، آن را دریافت کند. بنابراین دیگر باتری یا وسیله دیگر ذخیره‌سازی نیاز نیست. ولی سیستم‌های جدا از شبکه^۷ همان‌گونه که از نام آن مشخص است، سیستم‌های مجزای تأمین برق هستند. یک سیستم جدا از شبکه طراحی شده است تا به‌صورت مستقل از تجهیزات جانبی شبکه الکتریکی کار کرده و یک سیستم مجزاً را تغذیه نماید. در گذشته سیستم‌های فتوولتائیک فقط به‌عنوان سیستم‌های جدا از شبکه در مناطق دور دست که هیچ تغذیه الکتریکی دیگری وجود نداشت، مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. امروزه این سیستم‌ها برای خطوط توان استفاده می‌شوند.

شکل ۲-۲- انواع سیستم‌های فتوولتائیک [۱۱]



^۷ Stand-Alone Systems

۲-۲- مبدل‌های الکتريکی DC-DC

مبدل DC-DC، مبدلی است که ولتاژ DC را از یک سطح ولتاژ به سطح ولتاژ دیگر تبدیل می‌کند. معمولاً جریان ورودی مبدل، جریان تنظیم نشده‌ای است که از یک یک‌سوساز وارد مدار می‌شود. از این مبدل‌ها به‌طور عمده در منابع تغذیه کلیدزنی و موتورهای DC استفاده می‌شود. از مهم‌ترین مبدل‌های DC-DC می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

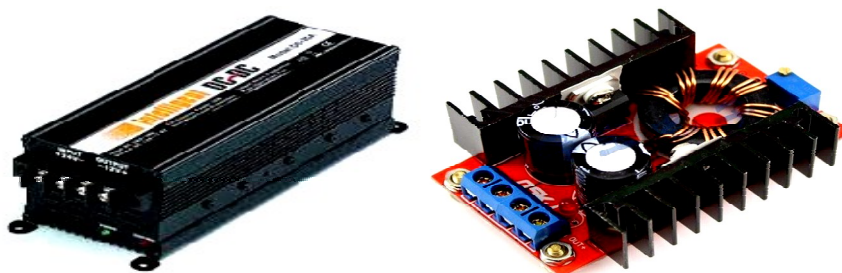
- مبدل افزایشنده (BOOST)
- مبدل کاهشنده (BUCK)
- مبدل افزایشنده-کاهشنده (Buck-Boost)
- مبدل CUK

۲-۲-۱- تاریخچه مبدل‌های DC-DC

قبل از توسعه نیمه‌هادی‌های قدرت و تکنولوژی وابسته، یک‌راه تبدیل ولتاژ از یک منبع DC به ولتاژ بالاتر برای کاربردهای توان پایین، تبدیل آن به AC توسط ویبراتور سپس بالابردن سطح آن توسط ترانس و یک‌سوساز بود. برای توان‌های بالاتر یک موتور الکتريکی برای درایو کردن یک ژنراتور با ولتاژ مورد نظر استفاده می‌شد. به‌صورتی که یک سیم‌پیچ، موتور را درایو و سیم‌پیچ دیگر ولتاژ خروجی را تولید می‌کرد. این روش‌ها بسیار ناکارآمد و پرهزینه بودند و زمانی مورد استفاده قرار می‌گرفتند که راه جایگزینی وجود نداشت. ظهور نیمه‌هادی‌های قدرت و مدارهای مجتمع (IC)، به کارگیری تکنیک‌هایی مانند تبدیل توان از منبع DC به توان AC با فرکانس بالا به‌وسیله ترانسفورماتور کوچک و یک‌سوسازی مجدد برای تغییر ولتاژ را به‌صورت اقتصادی امکان‌پذیر کرد.

مبدل‌های الکترونیکی رایج از تکنیک‌های کلیدزنی استفاده می‌کنند. مبدل‌های کلیدزنی DC-DC توسط ذخیره‌سازی موقت انرژی ورودی و سپس آزادسازی انرژی خروجی، یک سطح ولتاژ را به سطح دیگر تبدیل می‌کنند. ذخیره‌کننده انرژی می‌تواند مبتنی بر میدان مغناطیسی (مانند ترانسفورماتور و سلف) یا الکتريکی (مانند خازن) باشد. پیشرفت دیگر مبدل‌های DC-DC جایگزینی دیود هرزگرد با یک‌سوساز همگام است که مقاومت حالت روشن آن بسیار پایین است و باعث کاهش تلفات کلیدزنی می‌شود.

اکثر مبدل‌های DC-DC طوری طراحی شده‌اند تا توان را در یک جهت، از ورودی معلوم به خروجی مشخص تبدیل کنند. همچنین این مبدل‌ها قابلیت دسترسی به‌صورت مدارهای مجتمع یا ماژول‌های هیبرید کامل را دارند. شکل ۲-۳ نمونه‌ای از این مبدل‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳- مبدل [DC-DC] ۱۴

۲-۲-۲- کاربرد مبدل‌های DC-DC

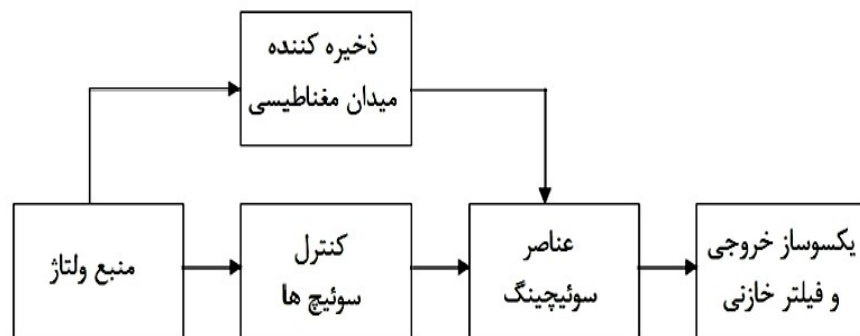
مبدل‌های DC-DC همچنین در دستگاه‌های الکترونیک همراه مانند موبایل و لپ‌تاپ استفاده می‌شود، به‌خصوص زمانی که انرژی خود را از باتری دریافت می‌کنند. موقعی که از باتری، جریان کشیده می‌شود، با افت ولتاژ مواجه می‌شوند. مبدل‌های کلیدزنی این قابلیت را دارند که با وجود کاهش ولتاژ ورودی، ولتاژ خروجی خود را در سطح مطلوب و ثابت حفظ کنند. لذا نیازی به استفاده از چندین باتری با یک سطح ولتاژ نیست. بهینه‌ساز توان، از جمله مبدل‌های DC-DC است که برای افزایش استحصال انرژی از سیستم‌های PV یا توربین بادی به کار می‌روند.

۲-۳- مبدل‌های افزایشنده با بهره‌ولتاژ بالا (High Step up DC-DC Converter)

یک مبدل افزایشنده با بهره‌ولتاژ بالا، توانایی انتقال توان از یک منبع ولتاژ DC به دیگری را با بهره‌ولتاژ بیشتر نسبت به مبدل‌های DC-DC دارد، بنابراین این مبدل نقش اصلیرا در کاربردهای مختلف مانند سیستم‌های PV و سیستم‌های ذخیره انرژی و خودرو برقی دارد [۱۴].

مبدل‌های بوست مرسوم به‌علت تلفات ناشی از سلف، خازن فیلتری، کلید و دیود خروجی، نمی‌توانند بهره‌ولتاژ بالایی را فراهم کنند. از طرفی، افزایش زیاد چرخه کاری، موجب می‌شود پدیده بازبایی معکوس به‌طور جدی نمایان شده و نرخ توان نامی دیود خروجی نیز افزایش یابد. همچنین این افزایش بیش از اندازه، فرکانس کلیدزنی و اندازه سیستم را محدود می‌کند. بنابراین تحت این شرایط، بازده بسیار کم و مشکل تداخل الکترومغناطیسی (EMI) زیاد می‌شود [۱۵]. برای یک نوع خاصی از ماژول PV، ولتاژ مدار باز حدود ۲۱ ولت و ولتاژ نقطه توان حداکثر حدود ۱۶ ولت است. در حالی که ولتاژ شبکه ۲۲۰ ولت یا ۱۱۰ ولت است. بنابراین برای کاربردهای متصل به شبکه، افزایش ولتاژ با بهره‌ولتاژ بالا ضروری است [۱۶].

با این حال ساخت ماژول PV با ولتاژ خروجی بالاتر مشکل است و احتمالاً در صورت وجود یک سلول غیرفعال تنها دچار آسیب شود. از طرف دیگر ولتاژ خروجی ماژول (V_{PV}) با تغییرات بار به‌آسانی تغییر می‌کند. شکل ۲-۴ بلوک دیدار کلی مبدل‌های افزایشنده با بهره‌ولتاژ بالا را نشان می‌دهد [۱۴].



شکل ۲-۴- بلوک دیدار کلی مبدل افزایشنده ولتاژ [DC-DC ۱۴]

۲-۳-۱- مزایای استفاده از مبدل‌های افزایشنده با بهره‌ولتاژ بالا

استفاده از مبدل‌های افزایشنده با بهره‌ولتاژ بالا علاوه بر داشتن مزایای فوق، قابلیت آنرا ایجاد می‌کند که تعداد ماژول‌هاییکه به‌صورت سری جهت افزایش ولتاژ متصل شده‌اند را کاهش دهد. همچنین با این روش، ولتاژ لینک DC که به‌عنوان ولتاژ ورودی اینورتر جهت متناوب‌سازی در کاربردهای متصل به شبکه مورد استفاده قرار می‌گیرد امکان جداسازی از ولتاژ خروجی PV و در نتیجه تثبیت ولتاژ را به‌دست می‌آورد. ایجاد ایزولاسیون بین PV و شبکه را در

مبدل‌هایی که از ترانسفورماتورهای فرکانس بالا استفاده می‌کنند می‌توان دیگر مزیت مبدل‌های افزایشنده با بهره‌ولتاژ بالا برشمرد.

۲-۳-۲- روش‌های دستیابی به بهره‌بالای ولتاژ

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه ساختارهای جدید که نسبت تبدیل بالاتر ولتاژ را فراهم می‌کنند در دهه اخیر صورت گرفته است، که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مبدل DC-DC ایزوله با ترانسفورماتور
- مبدل DC-DC غیرایزوله با سلف تزویج
- ساختار آبشاری چندمرحله‌ای
- ساختار چندسطحی ماژولار
- مبدل شبکه امپدانس
- ساختار کلید-خازن/سلف
- روش Lift ولتاژ

استفاده از روش چندسطحی و هیبریدی باعث پیچیدگی مدار و افزایش هزینه شده و راندمان را نیز کاهش می‌دهد. برای کاهش پیچیدگی مدار می‌توان از سلف تزویج در پیکربندی مبدل‌ها استفاده کرد.

البته افزایش نسبت تبدیل و به کارگیری سلف‌های تزویج باعث افزایش تنش ولتاژ و جریان بر تجهیزات کلیدزنی می‌شود که در نتیجه نیاز به محدوده بالاتری از این تجهیزات در مدار می‌باشد. همچنین برای کاهش تنش از مدارهای اسنابر و سیستم‌های مهار اکتیو و پسیو استفاده می‌شود. نکته دیگر در ساخت مبدل‌های الکترونیک قدرت، حجم می‌باشد که در صنایعی مانند صنایع فضایی، نظامی و هوایی بسیار مهم است. برای کاهش حجم و در نتیجه آن افزایش چگالی توان این مدارها، باید فرکانس کلیدزنی افزایش یابد. افزایش فرکانس به نوبه خود باعث افزایش تلفات کلیدزنی و نیز بروز مشکلات بازیابی معکوس دیود خروجی در چرخه کاری بالا را سبب می‌شود. لذا برای غلبه بر این مشکلات، مدارهای کلیدزنی نرم^۸ و همچنین مبدل‌های تشدید^۹ به کار می‌روند.

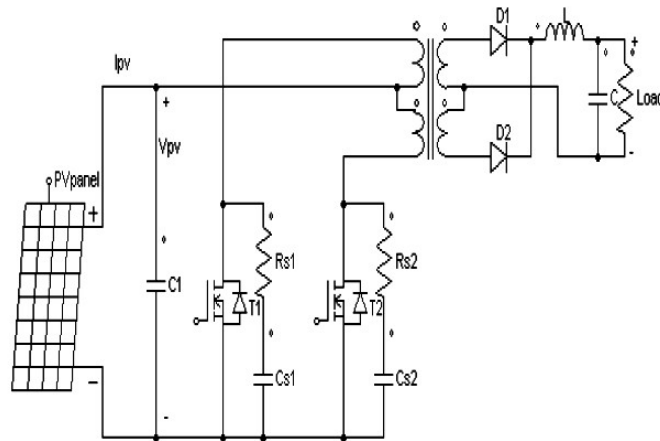
۲-۳-۳- چند نمونه از مبدل‌های افزایشنده با بهره‌ولتاژ بالا

در این قسمت به چند نمونه از مبدل‌های DC-DC افزایشنده با بهره‌ولتاژ بالا اشاره می‌شود که از روش‌های متفاوتی برای دستیابی به بهره‌بالای ولتاژ استفاده کرده‌اند:

مبدلی که در مرجع [۱۷] پیشنهاد و در شکل ۲-۵ نشان داده شده، یک مبدل DC-DC است که از تکنیک پوش-پول برای بهدست آوردن بهره‌ولتاژ بالا استفاده کرده است. در این مبدل، موتور DC به عنوان بار خروجی به کاررفته است. مبدل از فرکانس کلیدزنی بالای ۵۰ KHz استفاده می‌کند که مزایایی مانند بالا بودن چگالی توان و کاهش حجم اجزا را به دنبال دارد و البته پیچیدگی مدار نیز افزایش یافته است. ولتاژ خروجی مبدل، وابسته به ولتاژ خروجی سلول خورشیدی، چرخه کاری (D) و نسبت تبدیل (n) ترانسفورماتور فرکانس بالا است. این مرجع به منظور رديابی نقطه حداکثر توان PV از روش مشاهده و تغییر (P&O) بهره برده است. موضوعی که در این ساختار باید مورد توجه قرار گیرد ایناست که نسبت تبدیل n بایستی به نحوی انتخاب شود که چرخه کاری D طی طراحی مبدل متغیر نباشد.

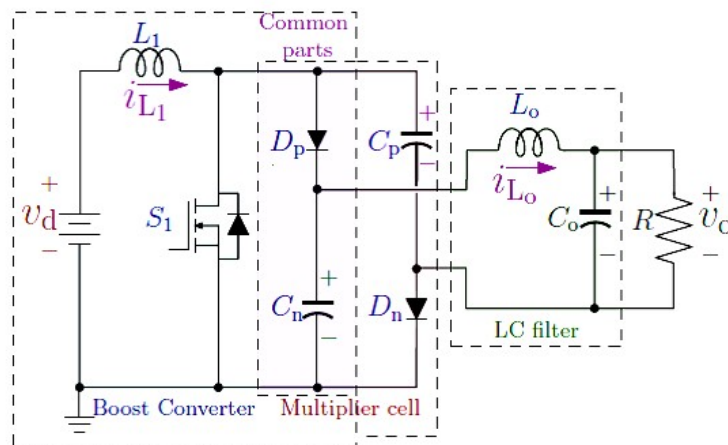
^۸Soft Switching

^۹Resonant Converter



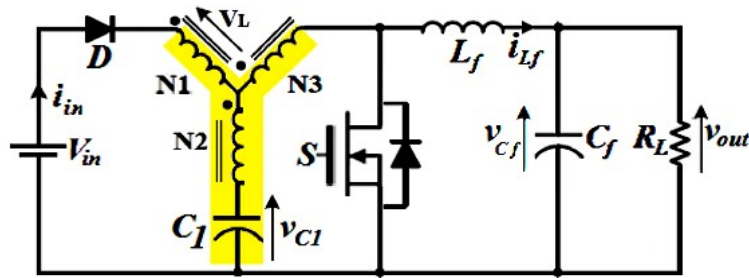
شکل ۲-۵- مبدل افزایشنده ولتاژ پوش- پول [۱۷]

شکل ۲-۶ ساختار یک مبدل جدیدی را نشان می‌دهد که برای کاربرد PV در مرجع [۱۸] پیشنهاد شده است. برای رسیدن به بهره ولتاژ بالا، در ساختار آن ترکیبی از مبدل بوست مرسوم با ضرب‌کننده (Multiplier) براساس دیود - خازن در یک چرخه کاری پایین استفاده شده است. در این مبدل، ردیابی نقطه حداکثر توان به روش P&O بوده است و به دلیل وجود یک عنصر کلیدزنی در ساختار مبدل، عمل کنترل مبدل تسهیل یافته است.



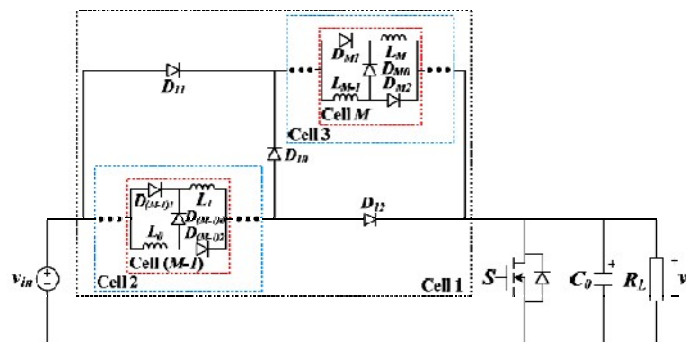
شکل ۲-۶- مبدل افزایشنده ولتاژ ترکیبی از بوست و ضرب‌کننده [۱۸]

مبدل افزایشنده با بهره ولتاژ بالا که در مرجع [۱۹] پیشنهاد شده، شبکه منبع امپدانس Y نام دارد که از آن در کاربرد PV استفاده شده است. مطابق شکل ۲-۷ در این ساختار، از سه سلف مزدوج برای افزایش بهره ولتاژ استفاده شده است. با بهره‌گیری از این مبدل، می‌توان اثرات کاهش چگالی توان و در نتیجه کاهش کارایی و افزایش هزینه ناشی از ساختار آبخاری و ضرب‌کننده ولتاژ را حذف کرد. قابلیت انعطاف در انتخاب چرخه کاری Shoot Through از مزیت دیگر مبدل شبکه منبع امپدانس Y است که در آن نیازی به نسبت تبدیل بزرگ برای ترانس ایزوله یا سلف مزدوج نیست. هدایت افزایشی، روشی است که در این مبدل جهت ردیابی نقطه حداکثر توان، از آن استفاده شده است.



شکل ۲-۷- مبدل افزایشنده ولتاژ منبع امپدانس [۱۹۷]

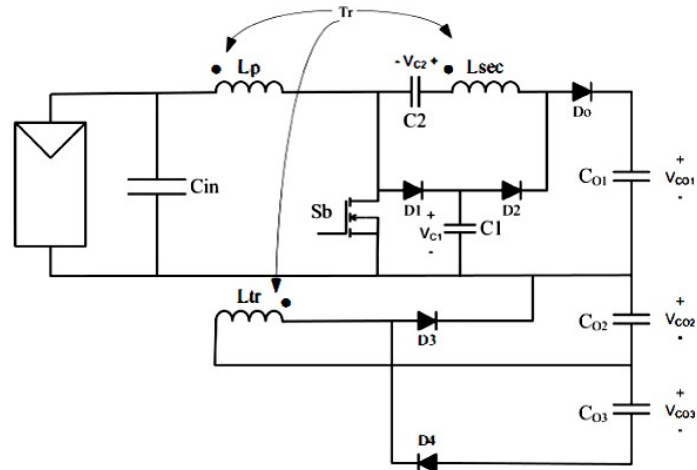
ساختاری با نام شبکه دیود-خازن/سلف چند سلولی که در مرجع [۲۰] پیشنهاد شده، یک راه‌حل ساده‌تر برای افزایش بهره‌ولتاژ بالا در کاربردهای تجدیدپذیر ارائه می‌دهد. هرچند که طبق شکل ۲-۸ ساختاری شبیه ترانس DC چندمرحله‌ای دارد و به‌خاطر تعداد اجزای زیادی که دارد، مرتبه و پیچیدگی سیستم نیز افزایش یافته است. با افزایش تعداد سلول‌های پایه دیود - خازن/سلف می‌توان به بهره بالاتری از ولتاژ نیز دست یافت. تجزیه و تحلیل مدل گذرا مشخص می‌کند که ثابت زمانی هر مولفه شبکه دیود-خازن/سلف چندسلولی، در صورتی که فرآیند شارژ و دشارژ بین خازن و دیود به حد کافی سریع باشد، بسیار کوچک‌تر از مدارهای دیگر است.



شکل ۲-۸- مبدل شبکه دیود-خازن/سلف چند سلولی [۲۰]

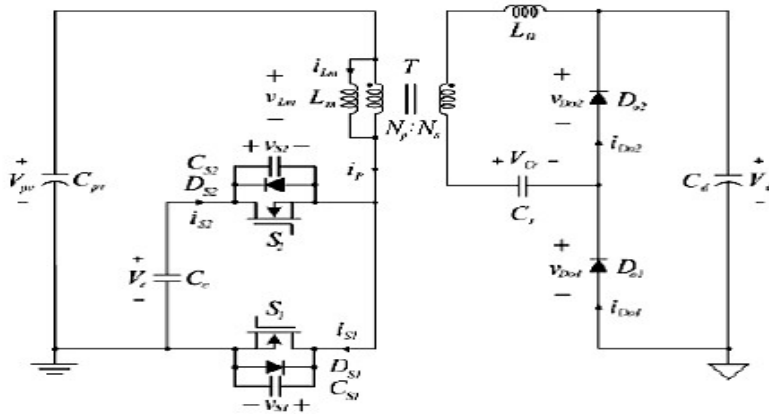
مرجع [۲۱] مبدل افزایشنده با بهره ولتاژ بالا تجدیدی برای کاربرد PV پیشنهاد داده است. در این مبدل، با استفاده از روش یک کلید و سه سلف مزدوج، به بهره‌بالای ولتاژ دست یافته است (شکل ۲-۹). از مزیت‌های مدار پیشنهادی می‌توان به وجود تنها یک کلید در ساختار مدار اشاره کرد که باعث سادگی کنترل آن شده است. همچنین به خاطر آنکه کلید به‌کار رفته در مدار از نوع ولتاژ پایین است، تلفات کلیدزنی پایینی را دربر دارد. اتصال ترمینال منفی PV به نقطه خنثی خروجی دو قطبی، عامل کاهش چشمگیر جریان نشتی زمین ناخواسته در سیستم PV است. با استفاده از مدار مهار باز تولید غیر فعال^۱، انرژی نشتی سلف جذب شده و بالاترین محدوده برای توان خروجی را فراهم می‌کند. در صورتی که از این مبدل در کاربرد اتصال به شبکه استفاده شود، خازن‌های خروجی مبدل، نقش خازن دکوپلاژ توان را برعهده می‌گیرند.

^۱Passive Regenerative clamp circuit



شکل ۲-۹- مبدل افزایشنده ولتاژ با سلف تزویج [۲۱]

مبدلی که مرجع [۲۲] پیشنهاد داده و در شکل ۲-۱۰ نشان داده شده، به‌عنوان مبدل افزایشنده بابره ولتاژ بالا در کاربرد PV است. در این مبدل، مدار مهارکننده فعال^{۱۱}، ترانسفورماتور و یک‌سوساز (Llk, C_r, D_{o1}, D_{o2}) یک‌سوساز دو برابرکننده ولتاژ^{۱۲} هستند که از مدار مهارکننده فعال و یک‌سوساز دو برابرکننده ولتاژ جهت به‌دست‌آوردن بهره ولتاژ بالا و کلیدزنی نرم استفاده شده است. تنش ولتاژ دیود خروجی به‌عنوان ولتاژ خروجی، با کاهش ولتاژ نامی دیودهای خروجی، مهار شده است. با خاموشی دیودهای خروجی در جریان صفر، کاهش چشمگیری در تلفات کلیدزنی را شاهد خواهیم بود. با استفاده از این مبدل، از ولتاژ ۳۶ ولت ماژول‌های PV، ولتاژ ۳۵۰ ولتی در خروجی استحصال شده است.



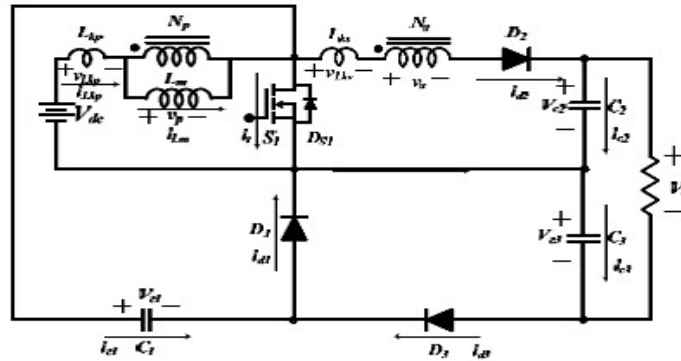
شکل ۲-۱۰- مبدل افزایشنده ولتاژ مهارکننده فعال با یک‌سوساز دو برابرکننده ولتاژ [۲۲]

مبدل در مرجع [۲۳] با استفاده از روش Cascade و سلف تزویج با یک چرخه‌کاری مناسب، به بهره ولتاژ بالا دست می‌یابد. در این ساختار طبق شکل ۲-۱۱ از یک خازن جهت گردش انرژی نشستی سلف تزویج و به‌منظور کارایی بالای مبدل و کاهش تنش ولتاژ کلید استفاده شده است. بنابراین کلید MOSFET ولتاژ پایین با مقاومت هدایتی کم،

^{۱۱} Active Clamping Circuit

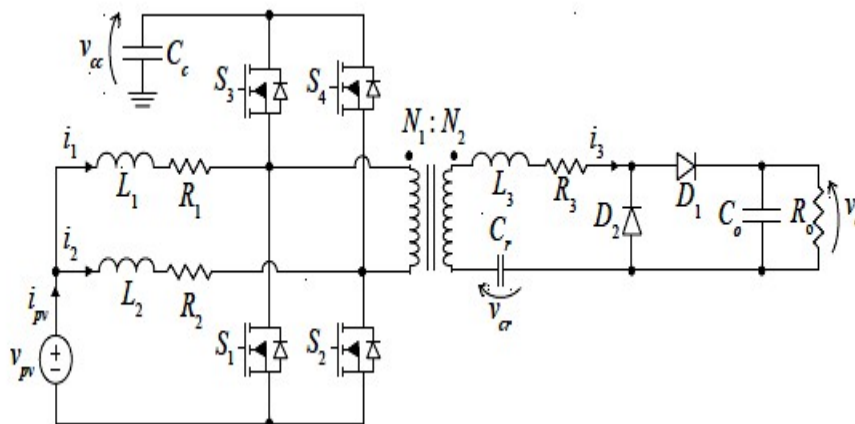
^{۱۲} Voltage Doubler

می‌تواند به کار برده شود. به‌خاطر ولتاژ نامی و مقاومت هدایتی پایین کلید S_1 مبدل پیشنهادی کارایی بالایی دارد. با اعمال روش Cascode به قسمت مثبت ولتاژهای V_{C2} و V_{C3} ولتاژ خروجی V_o بزرگ‌تر به دست می‌آید. در این مبدل، از ولتاژ ورودی ۲۴ ولت، ولتاژ خروجی ۲۰۰ ولتی به دست می‌آید.



شکل ۲-۱۱- مبدل افزایشنده ولتاژ با سلف تزویج و روش [cascode ۲۳]

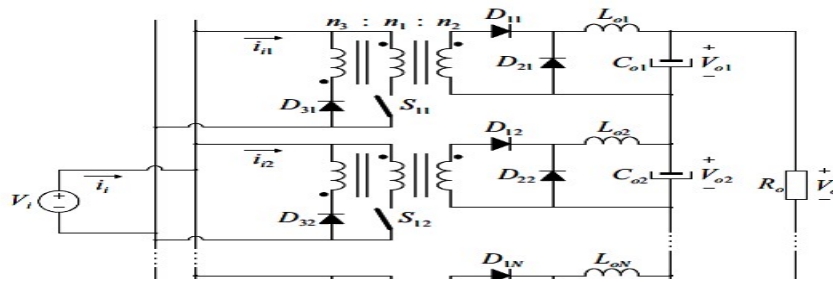
مرجع [۲۴] مبدل افزایشنده ولتاژ بهره بالایی را براساس روش مهارکننده فعال پیشنهاد می‌دهد که در آن از یک دوبرابرکننده ولتاژ و جریان جهت افزایش بهره با نسبت تبدیل پایین ترانس و کارایی بالای مبدل مطابق شکل ۲-۱۲ استفاده شده است. برای حذف مشکلات تلفات ناشی از بازیابی معکوس دیودهای یک‌سوکننده نیز مدار تشدید دوبرابر-کننده ولتاژ به کار رفته است. شکل زیر مبدل Active-Clamp پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۲- مبدل افزایشنده براساس روش مهارکننده فعال [۲۴]

همان‌طور که در شکل ۲-۱۳ آمده، مرجع [۲۵] مبدل افزایشنده ولتاژ بهره بالایی را پیشنهاد داده که برای سلول‌های سوختی به‌کار رفته است. مبدل‌های ورودی به‌صورت موازی و مبدل‌های خروجی به‌شکل سری به هم متصل شده‌اند. از مزایایی که برای این ساختار ذکر شده است می‌توان به ارسال فرمان به همه کلیدها با استفاده از یک سیگنال ورودی و همچنین بهره استاتیکی بالا را نام برد. به دلیل آشنایی نبودن ساختار مبدل‌ها، کارایی نهایی مبدل پیشنهادی مستقل از تعداد مبدل‌های جلویی^{۱۳} است. به این معنی که کارایی ساختار زمانی که کارایی مبدل‌های جلویی بیشتر شود، افزایش می‌یابد. نویسنده به کمک این مبدل، توانسته از ولتاژ ۲۶ ولت ورودی، ولتاژ ۲۱۰ ولتی را در خروجی استخراج کند.

^{۱۳}Forward Converter



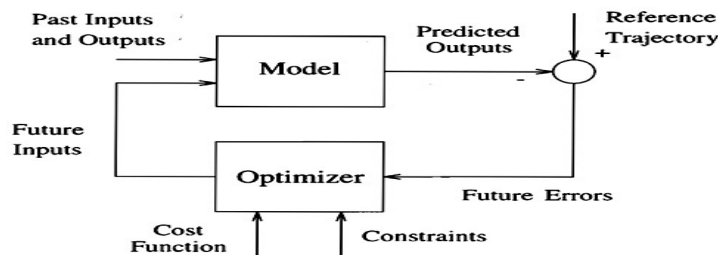
شکل ۲-۱۳- مبدل افزایشنده بر اساس ساختار موازی-سری [۲۵]

۴-۳-۲- کنترل مبدل‌های افزایشنده با بهره ولتاژ بالا

هدف کنترلی در مبدل DC-DC، هدایت ولتاژ خروجی به مقدار مطلوب (V_{REF}) است. ردیابی مقدار مرجع باید در شرایط مختلفی از ولتاژ تغذیه و جریان بار و قیود سخت روی ورودی کنترلی و متغیرهای حالت صورت پذیرد. چرخه کاری از پیش تعریف شده محدود به بازه $[0, 1]$ است و جریان سلف نیز باید از حداکثر مقدار مجاز آن تجاوز نکند. این محدودسازی در جهت جلوگیری از ناحیه اشباع سیم‌پیچ صورت می‌پذیرد [۱].

۴-۲- کنترل MPC، تعریف و ماهیت آن

کنترل پیش‌بین مدل که به اختصار MPC خوانده می‌شود، در اواخر دهه هفتاد ایجاد شد و از آن زمان تاکنون به شکل چشم‌گیری گسترش یافته است. اصطلاح کنترل پیش‌بین به معنای کاربرد یک روش کنترلی واحد نیست، بلکه این روند متشکل از دامنه وسیعی از روش‌های کنترلی است که به منظور دستیابی به سیگنال کنترل و با به حداقل رساندن تابع هدف، به شکلی صریح از مدل فرآیند استفاده می‌کند. ساختار اصلی کنترل پیش‌بین در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است. به طور کلی بعد از کنترل‌کننده‌های PID، کنترل پیش‌بین بیشترین کاربرد را در صنایع دارد. در حال حاضر، کنترل پیش‌بین کاربردهای فراوان و موقتی نه تنها در صنایع، بلکه در زمینه‌هایی همچون هدایت-گره‌های روبات‌ها و بیهوشی بالینی دارد. کاربردهای این روش در صنعت سیمان و بتون، برج‌های خشک‌کننده و بازوی ربات‌ها نیز مطرح است [۲۶].



شکل ۲-۱۴- ساختار اصلی کنترل پیش‌بین [۲۶]

استراتژی MPC بسیار شبیه به روش کنترل یک وسیله نقلیه است. راننده از مسیر مرجع مطلوب برای یک افق کنترلی محدود آگاه است و با در نظر گرفتن مشخصات وسیله نقلیه (مدل ذهنی از وسیله نقلیه) تصمیم می‌گیرد از کدام روش کنترلی (سرعت، ترمز، تغییر جهت) برای دنبال کردن مسیر مرجع استفاده کند. در هر بازه زمانی، تنها اعمال

کنترلی اولیه انجام شده و برای تصمیمات کنترلی بعدی، همین روند و با حالت افق خزشی تکرار می‌شود. باید توجه داشت که در روش‌های کنترلی کلاسیک همانند PID، اعمال کنترلی بر پایه اشتباهات پیشین اتخاذ می‌شوند. اگر مثال کنترل وسیله نقلیه را بسط دهیم، کنترل به وسیله PID همانند راندن یک اتومبیل با استفاده از آئینه عقب خواهد بود. مقایسه این روش با PID عادلانه نیست چرا که MPC از اطلاعات بیشتری استفاده می‌کند. باید توجه داشت که در صورت در نظر گرفتن یک نقطه در آینده (به عنوان نقطه مشخص‌کننده مسیر مرجع) برای PID، تفاوت‌های موجود میان استراتژی‌های کنترلی مذکور کم‌رنگ خواهد شد.

مشخصه اصلی MPC، پیش‌بینی رفتار آتی متغیرهای کنترل مطلوب در یک افق زمانی مشخص است که متغیرهای کنترل پیش‌بینی شده جهت به دست آوردن حالت کلیدزنی بهینه با حداقل سازی تابع هزینه، استفاده شده است [۲۷].

۲-۴-۱- تاریخچه کنترل پیش‌بین (MPC)

از اواخر دهه ۷۰ میلادی مقاله‌هایی به چاپ رسید که در آن‌ها اقبال نوپای جامعه صنعتی نسبت به MPC کاملاً مشهود بود. از جمله این مقاله‌ها، تحقیق ریچالت و همکاران که به کنترل ابتکاری پیش بین مدل (MPHC)^{۱۴} اختصاص داشت و مقاله کوتلو و ریمارکتر که درباره کنترل ماتریس پویا (DMC)^{۱۵} بود، قابل ذکر است. یک مدل فرآیند دینامیکی به شکلی صریح در هر دو الگوریتم پاسخ ضربه و پاسخ پله استفاده می‌شود تا تأثیر ورودی‌های کنترلی آتی را بر خروجی‌ها پیش‌بینی کند. این ورودی‌ها با به حداقل رساندن خطاهای تخمینی با توجه به محدودیت‌های سیستم تعیین می‌شوند. فرآیند بهینه‌سازی در هر مقطع از نمونه برداری و با اطلاعات به روز شده درباره فرآیند اصلی تکرار می‌شود. این فرمول‌بندی‌ها ابتکاری و الگوریتمی بودند و می‌توانستند از پتانسیل روبه افزایش محاسبات دیجیتال در آن زمان بهره ببرند. این کنترل‌کننده‌ها به شکلی نزدیک با مسأله کنترل بهینه‌زمان با زمان حداقل و برنامه نویسی خطی در ارتباط بودند. اصل افق خزشی که یکی از ایده‌های پایه‌ای MPC است، در سال ۱۹۶۳ توسط پروپوی پیشنهاد شد. این اصل در چهارچوب فیدبک بهینه حلقه باز در دهه ۷۰ به شکلی وسیع مورد بحث واقع شد [۲۶]. روش MPC به خاطر سادگی الگوریتم‌ها، شهودی بودن و نیاز کمتر به اطلاعات سیستم برای شناسایی و استفاده از مدل‌های پاسخ ضربه یا پله علی‌رغم داشتن پارامترهای بیشتری نسبت به فرآیندهای فرمول‌بندی موجود در حیطه فضای حالت یا حوزه ورودی-خروجی اقبال بیشتری مواجه می‌شدند. به همین دلیل MPC در حوزه‌های مختلف صنعت از جمله صنایع شیمیایی، به سرعت رواج پیدا کرد. گزارش کاملی از کاربردهای این روش در بخش پتروشیمی در دهه ۸۰ میلادی موجود است. بخش اعظم این کاربردها در سیستم‌های چند متغیره که دارای محدودیت‌هایی نیز بودند، مشاهده می‌شود. برخلاف این موفقیت، این فرمول‌بندی‌ها فاقد تئوری‌هایی بودند تا پایداری و مقاوم بودن نتایج آن‌ها را تأیید کند. در حقیقت، تحلیل پایداری در کنترل پیش‌بین با افق محدود به جز در موارد بسیار خاص، بسیار مشکل بود. مسیر تحقیقاتی دیگر به شکل مستقل و در محدوده ایده‌های کنترل تطبیقی و برای فرآیندهای تک متغیری که با مدل‌های ورودی/خروجی توصیف می‌شدند، ایجاد شد. کنترل خود تنظیم مبتنی بر پیش‌بینی پترکا نیز جزء این طبقه‌بندی قرار می‌گیرد. این روش به منظور به حداقل رساندن معیار درجه ۲ در یک افق کنترلی معین طراحی شده بود. کنترل تطبیقی افق بسط‌یافته (EHAC)^{۱۶} نیز جزء این دسته قرار می‌گیرد. این روش تلاش می‌کند تا پس از تأخیر سیستم، خروجی آتی را که با استفاده از یک معادله دیوفانتین محاسبه شده، نزدیک به نقطه مرجع نگاه داشته و همچنین اجازه به کار بردن استراتژی‌های مختلف را می‌دهد. کنترل خودتنظیم با پیش‌بینی

^{۱۴}Model Predictive Heuristic Control

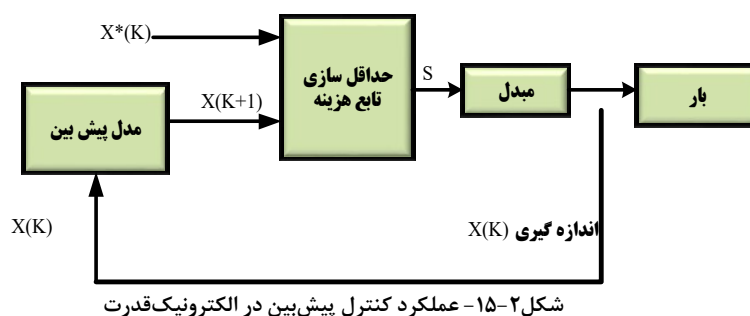
^{۱۵}Dynamic Matrix Control

^{۱۶}Enhanced Horizon Adaptive Control

توسعه یافته (EPSAC^{۱۷}) که توسط کیسر و همکاران ارائه شده، یک سیگنال ثابت کنترلی را پیشنهاد می‌کند که از لحظه t آغاز شده و به جای حل معادله دیوفانتین، از یک پیش‌بینی‌کننده زیر مطلوب استفاده می‌کند. کنترل پیش‌بین تعمیم‌یافته (GPC) که توسط کلارک و همکاران در سال ۱۹۸۷ ارائه شد نیز در همین بستر حرکت می‌کند. این روش از ایده‌های واریانس حداقل تعمیم‌یافته (GMV) استفاده کرده و به‌طور قریب به یقین رایج‌ترین روش موجود است. فرمول‌بندی‌های کنترل‌کننده پیش‌بین زیادی بر پایه ایده‌های مشابه ساخته شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان: کنترل تطبیقی چندمتغییری چندمرحله‌ای (MUSMAR)، کنترل تطبیقی افق خزشی دارای چند پیش‌بینی‌کننده (MURHAC)، کنترل پیش‌بین یک‌شکل (UPC) را نام برد [۲۶]. ایده استفاده از MPC به‌دلیل مشکلات محاسبات و نیاز به زمان زیاد که در اوایل ۱۹۸۰ تنها در سیستم‌های توان بالا با فرکانس کلیدزنی پایین صورت می‌گرفت در دهه بعدی و با توسعه میکروپروسورها از نظر سرعت و قدرت در سیستم‌های با فرکانس کلیدزنی بالا افزایش یافت [۲۷].

۲-۴-۲- عملکرد MPC در الکترونیک قدرت

می‌توان کلیات عملکرد MPC در الکترونیک قدرت را طبق شکل ۲-۱۵ بیان کرد که در آن از نمونه‌برداری متغییر X (که می‌تواند ولتاژ یا جریان باشد) در لحظه k پیش‌بینی رفتار متغییرهای قابل کنترل برای همه حالت‌های کلیدزنی در لحظه k+1 صورت می‌گیرد. با حداقل‌سازی تابع هزینه‌ای که برای هر پیش‌بینی محاسبه می‌شود براساس مقدار پیش‌بینی شده و یک مقدار مرجع، سیگنال‌های پالس کلید مبدل تولید می‌شوند.



۲-۴-۳- مزایا و معایب MPC در مقایسه با سایر کنترل‌کننده‌ها

MPC قبلاً با موفقیت به تجهیزات الکترونیک قدرت زیادی از جمله اینورترهای کلمپ شده نقطه خنثی، اینورترهای پل H آبخاری و مبدل‌های ماتریسی اعمال شده است. مزیت اصلی این روش کنترلی بر تمام روش‌های براساس مدولاسیون پهنای پالس (PWM^{۱۸}) این است که تأثیر هر حالت کلیدزنی به‌طور مستقیم محاسبه می‌شود. تابع هزینه می‌تواند به‌منظور ارضای موضوعاتی از قبیل‌ردیابی جریان، تعریف طیف جریان یا گشتاور و شار در کاربرد محرکه‌های الکتریکی انتخاب شود [۲۸]. به‌دلیل مزایایی چون پاسخ دینامیکی سریع، کنترل انعطاف‌پذیر مشهود و سهولت ارتباط با مسائل کنترلی چندمتغییره، MPC بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۲۹]. یکی از مزیت‌های دیگر کنترل پیش‌بین این است که اگر تغییرات مسیر مرجع در آینده از ابتدا مشخص باشد، سیستم قادر به واکنش قبل از وقوع این تغییرات در خط سیر مرجع خواهد بود. بنابراین اثر تأخیر در پاسخ پروسه، حذف می‌شود. تعدادی از این مزایا و معایب در جدول ۲-۱ ذکر شده است.

^{۱۷}Extended Prediction Self Adaptive Control

^{۱۸}Pulse Width Modulation

Title and Author:	Applying predictive control for Maximum Power Point Tracking (MPPT) of PV power supply using a high step up DC-DC converter / Abbas Rahimzadeh Gollu
Supervisor:	Dr. Adel Akbarimajd , Dr. Farzad Sedaghati
Graduation date:	2019/02/16
Number of pages:	60

Abstract

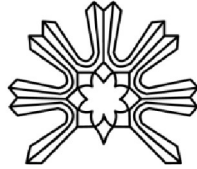
Research Aim: In this thesis, the High Step up converter was selected by studying the structure of converters those are suitable for photovoltaic applications. The High Step up DC-DC converter makes it possible to increase the efficiency of the PV system by increasing the voltage obtained from the PV system which has a lower amplitude to a voltage with a range proportional to the low voltage level of the distribution network at the network side. Due to the fact that the maximum power point is not fixed and varies with atmospheric changes, the maximum power point tracking (MPPT) method must be used to obtain maximum energy from the photovoltaic system. Various methods are available for MPPT algorithms, each with its own advantages and disadvantages. Therefore, various solutions have been proposed to improve the performance of maximum power tracking algorithms. In this research, the effect of predictive control on improving the performance of the MPPT algorithm is investigated.

Research method: To use maximum solar energy, the use of MPPT control and the use of High Step up DC-DC converters is quite conventional, among which the study of how to control the DC-DC power converters to increase the use of solar energy seems to be necessary.

Findings: The maximum power point tracking algorithm with Perturb and observation method along with distinct features has disadvantages over other algorithms. Most of disadvantages is eliminated by using predictive control. Namely, it is possible to improve the performance of the steady state and increase the accuracy in MPPT.

Conclusion: The use of predictive control improves the performance of the photovoltaic system in utilizing maximum solar energy and the efficiency of the maximum power point tracking algorithm. This means that the predictive control used in the structure of the maximum power point tracking algorithm reduces the oscillation of PV curves. Also, with this method, we can reduce the difference in the amount of power consumed with the maximum potential output from the PV array in a very desirable manner, which increases the traceability accuracy.

Keywords: Photovoltaic System, MPPT, High Step up DC-DC Converter, Model Predictive control



University of Mohaghegh Ardabili
Faculty of Engineering
Department of Electrical Engineering

Thesis submitted in partial fulfillment for the degree of
M.Sc. in Electrical Engineering power Electronic and Electrical Machines

Applying predictive control for Maximum Power Point Tracking (MPPT) of PV power supply using a high step up DC-DC converter

By:
Abbas Rahimzadeh Gollu

Supervisor:
Dr. Adel Akbarimajd
Dr. Farzad Sedaghati

Advisor:
Dr. Majid Hosseinpour

February 2019