

Design of a non-isolated multi-input converter with soft switching and high step-up voltage gain

Donya Taheri^{1,4}, Ghazanfar Shahgholianzaban^{2,4}, Mohammad Mehdi Mirtalaei^{3,4}

1- MSc Student, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, donya.electronic91@gmail.com

2- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, shahgholian@iaun.ac.ir

3- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, mirtalaei.iaun@gmail.com

4- Smart Microgrid Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Abstract: Energy is one of the most important factors for the economic growth and development of each country. Most of the energy is consumed in the form of electricity. One of the most important ways to generate electricity is to produce electricity through fossil fuels. However, due to their disadvantages such as limitations and concerns about the environment and increased demand for energy, engineers are focusing on renewable energy sources such as Wind turbines, hydro, solar cells, and the use of renewable energies and energy with less pollution is concerned. As we know, the sun is the largest source of energy on Earth, that the energy exported is used in various ways. due to the high cost of the main element of these systems, the use of this type of energy production system alone has no economic justification. Due to the diversification of energy sources and the need to use more than one source of electricity in some applications, it is better to use a multi-input converter instead of a few independent converters because multi-input converters make it easier to reduce the cost and increase efficiency and increase the power conversion capacity due to lower semiconductor elements, lower inductors, and capacitors, and lower control capacities have become. In many applications of multi-input converters, where the terminal output voltage of a specified value should not be greater, non-isolated converters can be used to simultaneously provide high voltage output and high efficiency. Isolation in multi-input converters has advantages and disadvantages that are selected based on the type of system application. Its advantage is the isolation of sources from each other (in multi-input magnetic converters) as well as the load of the sources, which allows the use of different sources with different voltages. Disadvantages of isolation include design problems for transformers with multiple windings, as well as increasing circuit volume. Since energy sources are inherently low voltage, high-step-up techniques are used to increase their voltage gain. In switching converters, to reduce the amount of inductor and capacitor elements, the increase in switching frequency is desirable. But with increasing switching frequency, the switching losses and electromagnetic disturbances increase, which is due to the use of common elements in multi-input transducers, to increase the problems mentioned above than other switching converters. To solve these problems, one of the voltage or current parameters must be limited at the moment of switching so that soft switching can be achieved. In this paper, a high step-up multi-input converter is presented which, using soft switching techniques, the voltage gain of converter can be increased. In this converter, the combination of the inductance coupling method with the voltage multiplier is used to achieve high voltage. Due to the addition of a voltage multiplier cell, the amount of leakage inductor and the ratio of transformer increase and as a result, the circuit volume decreases. To reduce the voltage stress of the main switch, due to leakage inductor energy and also an active clamp circuit is used to provide a soft-switching mode, Switches with low voltage stress and low conductivity can be used by combining these two methods. first, the structure and performance of the proposed converter to design a high step-up multi-input converter, have been thoroughly analyzed and reviewed. To the converter to function properly, the exact converter design method is presented, Finally, the simulation results for different modes show the correctness of the converter operation.

Keywords: Multi-input converter, non-isolated converters, Soft switching, high step-up, coupled inductor

Received:2020 November 21

Accepted:2021 June 7

طراحی یک مبدل چندورودی غیرایزوله با کلیدزنی نرم و بهره ولتاژ بالا

نوع مطالعه: پژوهشی

دنیا طاهری^{۱،۲}، دانش آموخته کارشناسی ارشد، غضنفر شاهقلیان^{۱،۲}، دانشیار، سیدمحمد مهدی میرطلایی، استادیار^{۱،۲}

۱- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۲- مرکز تحقیقات ریزشبکه‌های هوشمند، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
donya.electronic91@gmail.com, shahgholian@iaun.ac.ir, mirtalaei.iaun@gmail.com

چکیده: در این مقاله یک مبدل چند ورودی با بهره بالا ارائه شده که با استفاده از روش‌های کلیدزنی نرم می‌توان بهره آن را افزایش داد. در این مبدل، از ترکیب ساختار سلف تزویج همراه با ضرب‌کننده ولتاژ به منظور افزایش ولتاژ استفاده شده است. برای کاهش استرس ولتاژ کلید اصلی ناشی از انرژی سلف نشتی و همچنین ارائه حالت کلیدزنی نرم، از مدار کلمپ فعال استفاده شده که با ترکیب این دو روش کلیدهایی با استرس ولتاژ پایین و در نتیجه رسانایی کم می‌توانند استفاده شوند. برای طراحی مبدل چند ورودی با بهره بالا ابتدا ساختار و عملکرد مبدل پیشنهادی به طور کامل تحلیل و بررسی شده است. روش طراحی دقیق مبدل به منظور عملکرد صحیح مبدل ارائه می‌شود و در انتها نتایج شبیه‌سازی برای حالت‌های مختلف درستی عملکرد مبدل را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: مبدل چند ورودی، کلیدزنی نرم، بهره ولتاژ، سلف تزویج

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۰۱

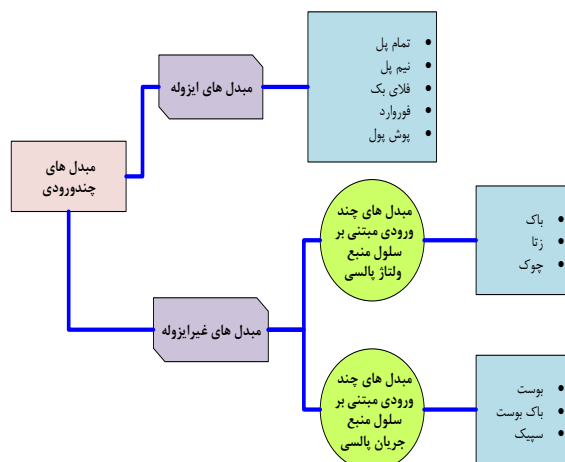
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

نام نویسنده‌ی مسئول: غضنفر شاهقلیان

نشانی نویسنده‌ی مسئول: دانشکده مهندسی برق، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۱- مقدمه

کاملی بر نحوه استخراج انواع ساختارهای مبدل‌های چند ورودی غیر ایزوله ارائه شده است. در این تحلیل، انواع ساختارهای مبدل‌های چند ورودی غیر ایزوله را به دو دسته کلی مبدل‌های چند ورودی مبتنی بر سلول منبع ولتاژ پالسی^{۱۰} (PSVC) و مبدل‌های چند ورودی مبتنی بر سلول منبع جریان پالسی طبقه‌بندی نموده است. این تحلیل مبنای استخراج انواع ساختارهای مبدل‌های چند ورودی غیر ایزوله است (بایرابتینا و بالامورگان، ۲۰۲۰).



شکل (۱): ایزولاسیون در مبدل‌های چندورودی

در مرجع (چن و همکاران، ۲۰۲۰)، انواع مختلف توپولوژی مبدل‌های چند ورودی با کمک این فرآیندهای سنتز با استفاده از PVSC و سلول منبع جریان پالسی^{۱۱} (PCSC) مبدل‌های اساسی مبتنی بر مدولاسیون پهنای پالس^{۱۲} (PWM) نشان داده شده است. همچنین، پیشنهاد شده که منبع پالس جریان به کمک یک مبدل بوست می‌تواند برای مبدل dc-dc بهره بالا، برای وسایل نقلیه الکتریکی هیبریدی مناسب باشد.

با استفاده از مبدل‌های چند ورودی، امکان حذف برخی المان‌های مشترک در دو مبدل مجزا فراهم خواهد شد. در نتیجه تعداد المان‌های ساختار کلی کاهش خواهد یافت. به این طریق فراهم نمودن کلیدزنی نرم^{۱۳} در ساختار حاصله در مقایسه با دو مبدل مجزا به نسبت ساده‌تر خواهد شد (محمدی و فرزانه‌فرد، ۲۰۱۷، السروگی و همکاران، ۲۰۱۹).

بر مبنای روش استفاده شده برای فراهم آوردن کلیدزنی نرم در مبدل‌های چند ورودی غیر ایزوله، این مبدل‌ها به سه دسته کلی مبدل‌های چند ورودی غیر ایزوله روزنانشی (زوریکا و همکاران، ۲۰۱۷، کاناتیپیان و همکاران، ۲۰۱۹)، مبدل‌های چند ورودی غیر ایزوله با کلمپ اکتیو^{۱۴} (کون و همکاران، ۲۰۰۹) و مبدل‌های چند ورودی غیر ایزوله با کلیدزنی نرم (دلشاد و همکاران، ۲۰۱۶) طبقه‌بندی نمود.

انرژی یکی از اصلی‌ترین پایه‌های قدرت اقتصادی یک کشور است (مهدویان و بهزادفر، ۱۳۹۸). در دهه‌های اخیر، با توجه به روبه‌زوال بودن سوخت‌های فسیلی^۱ و نگرانی در مورد آلودگی محیط زیست، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر^۲ به شکل عمده‌ای گسترش یافته است (حاج‌محمدی و همکاران، ۲۰۲۰، خرازی و همکاران، ۲۰۲۰). خورشید بزرگ‌ترین و تنها منبع تأمین‌کننده انرژی کره زمین است که انرژی صادره از آن به‌صورت‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (حق‌شناس و همکاران، ۲۰۱۹، یوسفا و همکاران، ۲۰۲۰). در حال حاضر به علت بالا بودن قیمت تمام‌شده عنصر اصلی این سیستم‌ها، استفاده از این نوع سیستم تولید انرژی به‌تنهایی فاقد توجیه اقتصادی است. عمده‌تأ، به‌منظور تطبیق ولتاژ متغیر خروجی^۳ منابع انرژی تجدیدپذیر با ولتاژ بار (باس dc) و همچنین به‌منظور مدیریت توان در این منابع، استفاده از مبدل‌های dc/dc ضروری است (سلمانی‌کویخی و همکاران، ۱۳۹۹، هاشمی‌زاهد و همکاران، ۲۰۱۲). به علت تنوع در منابع تولید انرژی و لزوم استفاده بیش از یک منبع برق در برخی کاربردها، بهتر است از یک مبدل چند ورودی^۴ به‌جای چند مبدل مستقل^۵ استفاده شود زیرا مبدل‌های چند ورودی به دلیل استفاده از المان‌های نیمه هادی کمتر، تعداد سلف کمتر، تعداد خازن‌های کمتر و ساختار کنترلی بسیار ساده‌تر باعث کاهش هزینه و افزایش راندمان و افزایش ظرفیت تبدیل انرژی شده‌اند (لی و کانگ، ۲۰۱۸، عزیزی و همکاران، ۲۰۱۶). با توجه به اهمیت بالای راندمان کلی سیستم^۶ در سیستم‌های تولید انرژی تجدیدپذیر و همچنین محدودیت فضا در بسیاری از کاربردها، افزایش راندمان و کاهش حجم این مبدل‌ها بسیار مطلوب است (میرطلایی و امانی‌نافچی، ۱۳۹۸، کیان‌پور و شاهقلیان، ۲۰۱۷). در بسیاری از کاربردهای مبدل‌های چند ورودی به‌خصوص در سیستم‌های خورشیدی که ولتاژ خروجی ترمینال آرایه^۷ از یک مقدار مشخص نباید بیشتر باشد می‌توان از مبدل‌های غیر ایزوله افزایشده استفاده کرد تا به‌طور هم‌زمان بهره ولتاژ بالا و بازده بالا فراهم گردد (ریواتحی و همکاران، ۲۰۱۹، بابایی و عباسی، ۲۰۱۶).

در یک تقسیم‌بندی کلی مطابق با شکل (۱) انواع مبدل‌های چند ورودی^۸ را می‌توان به دو نوع مبدل‌های چند ورودی ایزوله (ردی و همکاران، ۲۰۱۸، کارتیکیان و گوپتا، ۲۰۱۸) و مبدل‌های چند ورودی غیرایزوله^۹ (رانی و همکاران، ۲۰۱۹، وارسی و همکاران، ۲۰۱۸) طبقه‌بندی نمود. در کاربردهایی که بهره ولتاژ زیاد و ایزولاسیون نیاز نباشد، مبدل‌های چند ورودی غیر ایزوله به‌دلیل سادگی ساختار و راندمان بالا و همچنین هزینه کمتر، بیشتر از مبدل‌های چند ورودی ایزوله مورد توجه هستند (خسروگرگی و همکاران، ۲۰۱۶، سرخ و ناتاراجان، ۲۰۱۸).

مبدل‌های چند ورودی غیر ایزوله با اتصال سری یا موازی مبدل‌های پایه به‌دست می‌آیند. در مرجع (لیو و چن، ۲۰۰۹)، تحلیل

خازن‌های سری در مسیر جریان برق و ساختارهای دیود-خازن کلید است. استفاده از این روش‌ها، مشکلات مربوط به سیکل وظیفه بالا در مبدل افزایشده معمولی را حل می‌کند و عملکرد مبدل را بهبود می‌بخشد.

یک سلف تزویج می‌تواند به‌عنوان یک ترانسفورماتور استفاده شود که برای افزایش بهره ولتاژ در مبدل‌های dc/dc غیر ایزوله استفاده می‌شود (لی و هی، ۲۰۱۱). خازن را می‌توان به‌عنوان یک منبع ولتاژ دیگر برای رسیدن به یک بهره بالا استفاده کرد (عجمی و همکاران، ۲۰۱۵).

مبدل‌های dc/dc چند ورودی غیر ایزوله بهره بالا کاربردهای مختلفی دارند (ریواتچی و پرایهکار، ۲۰۱۶، وسیم و همکاران، ۲۰۱۸). از ویژگی‌های این مبدل تعداد قطعات کم، انعطاف‌پذیری برای افزایش تعداد منابع ورودی، تامین انرژی سیستم ذخیره‌سازی توان و افزایش بهره ولتاژ است. در این مبدل‌ها از روش‌های کلیدزنی نرم برای افزایش بهره‌وری مبدل استفاده می‌شود. یکی از مهم‌ترین عواملی که در طراحی مبدل‌های چند ورودی باید به آن توجه شود، کاهش تعداد اجزای مبدل است.

در مرجع (فرجی و فرزانه‌فرد، ۲۰۱۸) یک مبدل dc/dc سه قسمتی ارائه شده است که دارای یک فاز جداگانه برای هر ورودی است، به‌طوری که کار اجزای سازنده در هر مد عملکرد تغییر می‌کند و همچنین دارای یک پورت برای دستگاه‌های ذخیره‌سازی انرژی مانند باتری و ابر خازن است که هر منبع ورودی و همچنین دستگاه ذخیره انرژی می‌تواند مستقیماً از منبع تولید انرژی صرف نظر از وضعیت توان بار مسیر منحصر به فرد جریان برق را برای تامین بار خروجی فراهم می‌کند. بنابراین، برخی از اجزاء در حالت‌های عملیاتی مختلف به اشتراک گذاشته می‌شوند که منجر به کاهش تعداد اجزا می‌گردد. این نوع مبدل توانایی اتصال به دیگر مبدل‌های بهره بالا را دارد که شامل سلف تزویج و ساختار کلمپ فعال هستند و آن‌ها را به مبدل چند ورودی تبدیل می‌کند که این ویژگی‌ها در حین ارائه حالت کلیدزنی نرم و حذف اثر سلف نشستی حاصل می‌شود.

یک مبدل غیر ایزوله بهره بالا dc/dc در مرجع (سنو و همکاران، ۲۰۲) ارائه شده که در آن از ترکیب ساختار سلف تزویج همراه با ضرب‌کننده ولتاژ و همچنین ساختار خازن سوئیچ به‌منظور افزایش ولتاژ استفاده شده است. از روش‌های کلیدزنی نرم برای افزایش بهره مبدل استفاده شده و سلول‌های خازن سوئیچ شده و مدارهای ضرب-کننده ولتاژ مبدل پیشنهادی می‌توانند باعث کاهش استرس ولتاژ کلیدها و دیودها شوند. این مبدل برای کاربردهای انرژی پاک طراحی شده است و به خوبی می‌تواند در کاربردهای بهره بالا استفاده شود. یکی از محدود معایب آن حجم بالای مبدل و تعداد زیاد المان‌های مبدل است که باعث پیچیدگی مبدل می‌شود و یکی دیگر از معایب آن عدم قابلیت چند قطبی این توپولوژی است.

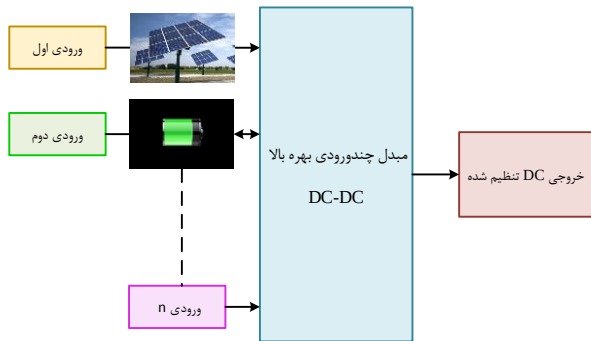
در مبدل‌های چند ورودی رزونانسی با اضافه کردن المان‌های اضافی و طراحی مناسب مبدل، پالس‌های جریان و ولتاژ به شکل سینوسی یا شبه-سینوسی انتقال می‌یابند. به این طریق شرایط کلیدزنی نرم و کاهش مؤثر تداخل‌های الکترومغناطیسی فراهم می‌شود. مشکل عمده این روش، استرس زیاد جریان و ولتاژ المان‌های مدار است. همچنین، به‌منظور فراهم آوردن شرایط کلیدزنی نرم برای محدوده وسیع تغییرات بار و ورودی، عمدتاً نیاز به استفاده از روش‌های کنترل متغیر وجود دارد که این موضوع منجر به افزایش پیچیدگی مدار کنترل خواهد شد. در مبدل چند ورودی با کلمپ اکتیو، شرایط کلیدزنی در ولتاژ صفر با اضافه نمودن تنها یک کلید کمکی و تعداد کمی المان پسو کمکی فراهم شده است (وای و همکاران، ۲۰۱۱، صالحی و همکاران، ۲۰۱۸). در این مبدل، برخلاف مبدل‌های رزونانسی، استرس ولتاژ و جریان المان‌ها در محدوده حداقل مقدار است (موری و همکاران، ۲۰۱۶). همچنین امکان کنترل مبدل با روش‌های متداول کنترل مدولاسیون پهنای باند و با فرکانس ثابت فراهم است. با این حال، مشکل عمده این روش، جریان گردشی زیاد مبدل است. این جریان گردشی برای محدوده وسیع تغییرات بار تقریباً ثابت است که باعث کاهش راندمان، مخصوصاً در توان‌های کم می‌شود. این عامل ضعف عمده‌ای در مبدل‌های چند ورودی است که ورودی آن‌ها عمدتاً منابع تجدیدپذیر بوده و دارای تغییرات وسیع توان تولیدی در طول روز هستند.

در مرجع (ساتیان و همکاران، ۲۰۱۵) یک مبدل بهره بالا dc/dc ارائه شده که به‌منظور رسیدن به بهره ولتاژ بالا از ترکیب ساختار سلف تزویج همراه با مدار دو برابر کننده ولتاژ به‌منظور افزایش بهره ولتاژ استفاده شده است. این مبدل پیشنهادی را می‌توان به‌طور مؤثر برای ساختار مبدل dc/dc مدولار برای سیستم‌های پیل خورشیدی استفاده کرد. تنها مشکلی که در این مبدل وجود دارد، عدم قابلیت چندقطبی توپولوژی است.

در مقایسه با روش‌های ارائه شده، مبدل‌های چند ورودی کلیدزنی نرم دارای امتیازهای ممتازی هستند (ردی و همکاران، ۲۰۱۸، هارچگانی و مهدوی، ۲۰۱۷). در مبدل‌های چند ورودی کلیدزنی نرم، شرایط کلیدزنی در ولتاژ صفر برای محدوده وسیع تغییرات توان خروجی و با حداقل جریان گردشی فراهم است. همچنین استرس ولتاژ المان‌ها حداقل مقدار است و مبدل می‌تواند با روش‌های متداول کنترل مدولاسیون پهنای باند برای محدوده وسیع تغییرات توان و ولتاژ کنترل شود. با این حال مشکل عمده مبدل‌های چند ورودی کلیدزنی نرم تعداد المان‌های کمکی زیاد مبدل است (میرطلایی و همکاران، ۱۳۹۴، جباری و همکاران، ۲۰۱۳).

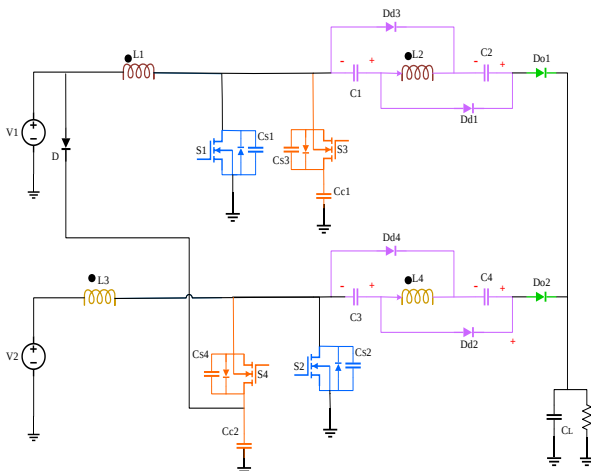
اکثر منابع انرژی به‌طور ذاتی دارای ولتاژ کم هستند و برای بالا بردن بهره ولتاژ آن‌ها از ساختارهای بهره بالا استفاده می‌شود. تاکنون به‌منظور افزایش بهره ولتاژ روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است. برخی از این ساختارها شامل سلف‌های تزویج، ترانسفورماتورهای ایزوله،

(۲)، بلوک دیاگرام اصلی مبدل چند ورودی بهره بالا نشان داده شده - است.



شکل (۲): بلوک دیاگرام مبدل چندورودی بهره بالا

شکل (۳) ساختار مبدل پیشنهادی dc/dc چند ورودی غیر ایزوله بهره بالا را نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود در مبدل پیشنهادی برای افزایش بهره ولتاژ از ترکیب ساختار سلف تزویج همراه با ضرب کننده ولتاژ استفاده شده است.



شکل (۳): ساختار مبدل پیشنهادی dc/dc چند ورودی غیر-ایزوله بهره بالا

همچنین به منظور کاهش استرس ولتاژ کلید اصلی ناشی از انرژی سلف ناشی از مدارکلمپ فعال استفاده شده که با ترکیب این دو روش کلیدهایی با استرس ولتاژ پایین و در نتیجه رسانایی کم می‌توانند استفاده شوند. با اضافه کردن سلول چندبرابر کننده ولتاژ، مقدار سلف ناشی و نسبت دور ترانس بیشتر می‌شود و در نتیجه حجم مدار کمتر خواهد شد. در حالتی که دیود D همیشه خاموش است، هر دو فاز به صورت مستقل از یکدیگر عمل می‌کنند و انرژی را از ورودی به خروجی انتقال می‌دهند. در واقع دو فاز به صورت کاملاً مستقل اما مشابه با یکدیگر عمل می‌کنند. شکل (۴) نمودار شکل موج‌های اصلی در کلیدها در مبدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. مطابق شکل (۵) مبدل پیشنهادی در یک دوره سوئیچینگ دارای هشت حالت عملیاتی است که در ادامه روابط هر حالت بیان می‌شود:

مدل ریاضی یک مبدل غیرایزوله بهره بالا که در آن از ساختار سلف تزویج و همچنین خازن سویچ‌شده به منظور رسیدن به نسبت تبدیل بالا و افزایش ولتاژ استفاده شده در مرجع (محمد و همکاران، ۲۰۱۶) ارائه شده که برخلاف مبدل بوست کلاسیک، که در زمان‌های خاموش بودن کلید، توان ورودی را به خروجی منتقل می‌کند، در این مبدل توان در بازه روشن شدن کلید به خروجی منتقل می‌شود. مبدل پیشنهادی برای کاربردهای سیستم تجدیدپذیر انرژی مناسب است مبدل پیشنهادی برای کاربردهای سیستم تجدیدپذیر انرژی و شبکه متصل به شبکه مناسب است. مشکلی که در این مبدل وجود دارد، عدم قابلیت چند-قطبی این توپولوژی است.

بر اساس یک ساختار ترکیبی از سلف تزویج و خازن سویچ‌شده، یک مبدل dc/dc بهره بالا در مرجع (چن و یی، ۲۰۲۱) پیشنهاد شده که ساختار ساده و همچنین کلیدهای ولتاژ پایین به افزایش راندمان مبدل پیشنهادی کمک می‌کند. علاوه بر این، استرس ولتاژ خازن‌ها و دیودها تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابد. عدم کلیدزنی نرم و همچنین عدم قابلیت چند-قطبی این توپولوژی از مشکلات این ساختار پیشنهادی است.

در این مقاله ساختار یک مبدل چند ورودی غیر ایزوله پیشنهاد شده که با استفاده از ترکیب روش سلف تزویج همراه با خازن سویچ‌شده می‌توان بهره مبدل را افزایش داد. همچنین در این مبدل برای کاهش اثرات سلف ناشی و ارائه حالت کلیدزنی نرم، از دو مدار کلمپ فعال استفاده شده است. در انتها برای بررسی و تحلیل عملکرد مبدل چند ورودی پیشنهادی نتایج شبیه‌سازی در شرایط مختلف ارائه شده است. ساختار مقاله به این شرح است. ابتدا در قسمت دوم ساختار مبدل پیشنهادی dc/dc چند ورودی غیر ایزوله بهره بالا و هشت حالت عملیاتی آن بیان می‌شود. در قسمت سوم طراحی مبدل در چهار بخش اشاره می‌شود که در آن محاسبه بهره ولتاژ استاتیکی و محاسبه استرس ولتاژ و جریان بیان شده است. در قسمت چهارم نتایج شبیه‌سازی مبدل با استفاده از نرم‌افزار ارکد برای حالت‌های مختلف نشان داده شده است. در قسمت پنجم نتیجه‌گیری مقاله آمده است.

۲- ساختار مبدل پیشنهادی و حالت‌های عملیاتی مبدل

ایزولاسیون در مبدل‌های چند ورودی دارای مزایا و معایبی است که براساس نوع کاربرد سیستم نوع آن انتخاب می‌شود که مزیت آن، ایزولاسیون منابع از یکدیگر (در مبدل‌های مغناطیسی چند ورودی) و همچنین بار ناشی از منابع است که امکان استفاده از منابع مختلف با ولتاژهای مختلف را فراهم می‌کند. از معایب ایزولاسیون می‌توان به مشکلات طراحی ترانسفورماتورهایی با سیم‌پیچ چندگانه و همچنین افزایش حجم مدار اشاره کرد. با توجه به اینکه مبدل پیشنهادی دارای بهره ولتاژ بالا است و به دلیل ساختار ساده و بازده بالا در این نوع کاربردها مبدل‌های غیرایزوله بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. در شکل

ب- حالت دو: محدوده زمانی در این حالت بین t_1 و t_2 است. این حالت از جایی شروع می‌شود که دیود خروجی خاموش می‌شود درحالی‌که کلید S_1 همچنان روشن است، جریان i_{LK} به i_{Lm} می‌رسد و i_{LK} بیشتر از i_{Lm} می‌گردد. در این حالت روابط زیر برقرار است:

$$i_{lm}(t) = i_{lm}(t_1) + \frac{V}{n l_m} (t - t_1) \quad (4)$$

$$V_{LK} = V_{in} - V_{lm} \quad (5)$$

$$i_{LK}(t) = i_{LK}(t_1) + \frac{n V_{in} - V_{c1}}{n L_{LK}} (t - t_1) \quad (6)$$

ج- حالت سه: این حالت در محدوده زمانی t_2 الی t_3 است. در زمان شروع این حالت کلید اصلی تحت کلیدزنی نرم تحت ولتاژ صفر^{۱۵} (ZVS) خاموش می‌شود. در این حالت اندوکتانس نشی شروع به رزونانس با خازن‌های C_{s1} و C_{s3} می‌کند، در نتیجه V_{Cs1} افزایش و V_{Cs3} کاهش می‌یابد. در این حالت روابط زیر برقرار هستند:

$$i_{lm}(t) = i_{lm}(t_2) + \frac{V_{c1}}{n l_m} (t - t_2) \quad (7)$$

$$i_{LK}(t) = \left[\frac{1}{Z} (V_1 - \frac{V_{c1}}{n}) + \frac{1}{Z} \frac{C_{s3}}{C_{s1} + C_{s3}} (V_{Cs3}(t_2) - V_{cc}) \right] \sin(\omega(t - t_2) + i_{LK}(t_2) \cos \omega(t - t_2)) \quad (8)$$

$$V_{Cs1}(t) = V_1 - \frac{V_{c1}}{n} + \left[\left(\frac{V_{c1}}{n} - V_1 \right) + \frac{C_{s3}}{C_{s1} + C_{s3}} (V_{cc} - V_{Cs3}(t_2)) \right] \cos(\omega t_2) + [i_{LK}(t_2) Z] \sin \omega(t - t_2) \quad (9)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_{LK}}{C_{s1} + C_{s3}}} \quad (10)$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{(C_{s1} + C_{s2}) L_{LK}}} \quad (11)$$

که در آن Z_0 و ω_0 به ترتیب امپدانس رزونانس و فرکانس زاویه‌ای رزونانس است.

د- حالت چهار: این حالت در محدوده زمانی t_3 الی t_4 است که ادامه حالت قبل است. در این حالت V_{Cs3} به صفر می‌رسد و V_{Cs1} به V_{Cc1} می‌رسد و از اینجا به بعد فقط کار می‌کند. روابط مربوط به این حالت عملیاتی به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$i_{lm}(t) = i_{lm}(t_3) + \frac{V_{c1}}{n l_m} (t - t_3) \quad (12)$$

$$i_{LK}(t) = \left(\frac{V_i - \frac{V_{c1}}{n} - V_{cc}}{L_{LK}} \right) (t - t_3) + i_{LK}(t_3) \quad (13)$$

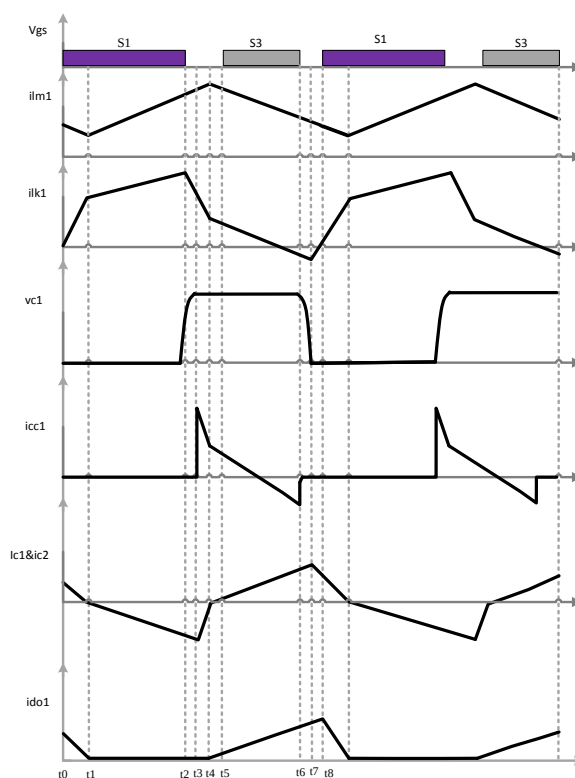
الف- حالت یک: این حالت در محدوده زمانی t_0 الی t_1 است. با روشن شدن کلید، جریان دیود خروجی همچنان ادامه دارد. روابط این بازه زمانی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$V_{c1} = V_{c2} \quad (1)$$

$$i_{lm}(t_0) = i_{lm}(t_0) + \frac{2V_{c1} - V_o}{n l_m} (t - t_0) \quad (2)$$

$$i_{LK}(t_0) + \frac{V_{in} - V_{lm}}{l_{LK}} (t - t_0) = i_{LK}(t_0) + \frac{V_{in} - \left(\frac{2V_{c1} - V_o}{n} \right)}{l_{LK}} (t - t_0) \quad (3)$$

که در آن V_{c1} و V_{c2} به ترتیب ولتاژ خازن‌های ضرب‌کننده (تقویت‌کننده ولتاژ) هستند. به طور کلی خازن‌های C_1 و C_2 و سلف L_2 و دیودهای D_{d1} و D_{d3} با هم مدار ضرب‌کننده ولتاژ را تشکیل می‌دهند.



شکل (۴): شکل موج های اصلی مبدل پیشنهادی

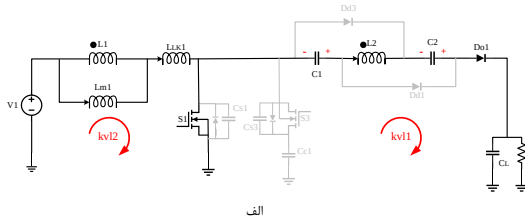
جریان سلف نشی برابر i_{LK} و جریان سلف مغناطیس‌شوندگی برابر i_{lm} و ولتاژهای V_o ، V_{in} و V_{lm} به ترتیب ولتاژهای ورودی، خروجی و ولتاژ دو سر سلف مغناطیسی هستند. همچنین n نشان‌دهنده نسبت تبدیل و L_{LK} اندوکتانس نشی است.

$$i_{lk}(t) = \frac{-V_{cc} - (\frac{-V_o + 2V_{c1} + V_{cc}}{n}) + V_1}{L_{lk}}(t - t_4) + i_{lk}(t_4) \quad (15)$$

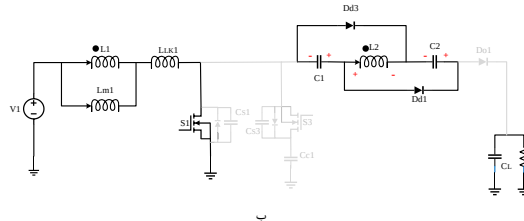
ز- حالت شش: این حالت در محدوده زمانی t_5 الی t_6 است. در این بازه درحالیکه دیود بدنه S_3 عمل می‌کند، کلید کمکی S_3 تحت شرایط ZVS روشن می‌شود. تا زمانی که جریان کلید مثبت است، جریان از دیود عبور می‌کند و به محض منفی شدن، جریان از کلید عبور خواهد کرد. در این حالت روابط زیر برقرار هستند:

ه- حالت پنج: این حالت در محدوده زمانی t_4 الی t_5 است. در این حالت چون مقدار جریان i_{LK} کمتر از i_{Lm} می‌شود، جهت جریان عوض می‌شود (پلاریته سلف تزویج تغییر می‌کند). با تغییر پلاریته دیودهای D_{d3} و D_{d1} خاموش شده و دیود خروجی D_{o1} بایاس مستقیم می‌شود. در این حالت روابط زیر برقرار هستند:

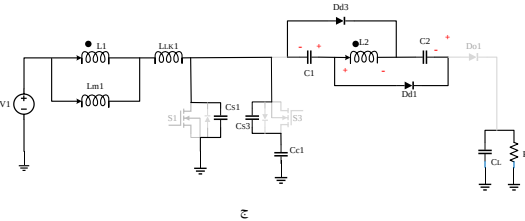
$$i_{lm}(t) = \frac{-V_o + 2V_{c1} + V_{cc}}{n L_m}(t - t_4) + i_{lm}(t_4) \quad (14)$$



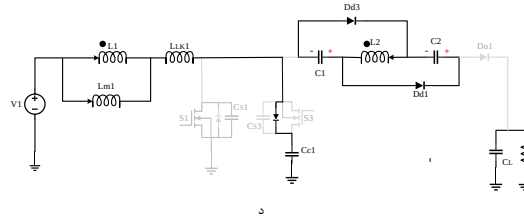
الف



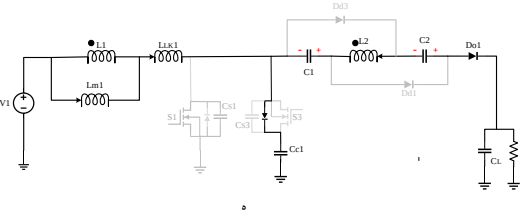
ب



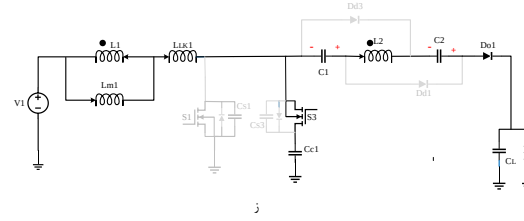
ج



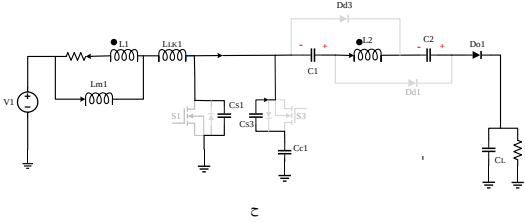
د



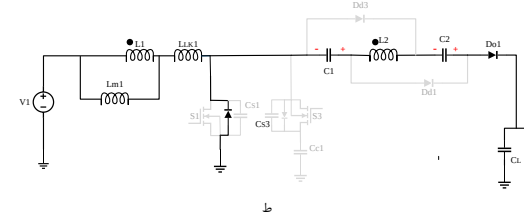
ه



و



ز



ح

شکل (۵): حالت‌های عملکردی مبدل پیشنهادی

ZVS خاموش می‌شود. خازن‌های C_{s1} و C_{s3} تخلیه شده و مقدار V_{Cs3} افزایش و V_{Cs1} کاهش می‌یابد. در انتهای این بازه ولتاژ خازن کلید اصلی V_{Cs1} به صفر می‌رسد و دیود بدنه شروع به هدایت می‌کند. در این حالت روابط زیر برقرار هستند:

$$i_{lm}(t) = \frac{-V_o + 2V_{c1} + V_{cc}}{n L_m}(t - t_6) + i_{lm}(t_6) \quad (18)$$

$$i_{lk}(t) = -\frac{i_{lm}(t_6)}{n+1} + I \frac{2V_{c1} - V_o + nV_1}{Z(n+1)} \quad (19)$$

$$i_{lm}(t) = \frac{-V_o + 2V_{c1} + V_{cc}}{n L_m}(t - t_5) + i_{lm}(t_5) \quad (16)$$

$$i_{lk}(t) = \frac{-V_{cc} - (\frac{-V_o + 2V_{c1} + V_{cc}}{n}) + V_1}{L_{lk}}(t - t_5) + i_{lk}(t_5) \quad (17)$$

ح- حالت هفت: این حالت در محدوده زمانی t_6 الی t_7 است. این حالت از جایی شروع می‌شود که کلید کمکی S_3 تحت شرایط

$$V_{lm} = \frac{(2n+1)V_{in} - V_o}{n+1} \quad (26)$$

با استفاده از بالانس ولت ثانیه رابطه بهره ولتاژ به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{(2n+1) - nD}{1-D} \quad (27)$$

۳-۲- محاسبه استرس جریان و ولتاژ

در این قسمت محاسبه استرس ولتاژ و استرس جریان بیان می شود.

۳-۲-۱- استرس ولتاژ

استرس ولتاژ زمانی محاسبه می شود که کلید خاموش باشد. استرس ولتاژ کلید اصلی و کمکی در حالت خاموش برابر با ولتاژ خازن کل می باشند.

$$V_{sw3} = V_{sw1} = V_{cc} = -\frac{nV_{in} + V_o}{n+1} \quad (28)$$

استرس ولتاژ دیود خروجی در حالت خاموش بودن دیود به صورت زیر محاسبه می شود:

$$V_{lm} = nV_{in} \quad (29)$$

$$V_{Do1} = V_o - nV_{in} \quad (30)$$

استرس ولتاژ دیودهای D_{d1} و D_{d3} برابرند با:

$$V_{c1} = V_{c2} = nV_{in} \quad (31)$$

$$V_{lm} = nV_{in} \quad (32)$$

$$V_{l2} = nV_{lm} \quad (33)$$

$$V_{Dd3} = V_{Dd1} = -V_{c1} + V_{l2} = nV_{in} - V_o \quad (34)$$

۳-۲-۲- استرس جریان

استرس جریان کلید در واقع بیشترین جریانی است که در حالت بسته بودن کلید از آن میگذرد به صورت زیر محاسبه میشود:

$$I_{smax} = 2 \left[\frac{(1+2n) - nD}{D(1-D)} \right] I_o \quad (35)$$

استرس جریان دیود خروجی و دیودهای D_{d1} و D_{d3} برابرند با:

$$I_{Do max} = \frac{2I_o}{1-D} \quad (36)$$

$$I_{Dd1 max} = I_{Dd3 max} = \frac{2I_o}{D} \quad (37)$$

۳-۳- طراحی المان های مبدل پیشنهادی

در این قسمت روابط المان های مبدل پیشنهادی شامل خازن های خروجی و سلف تزویج بیان می شود.

$$\begin{aligned} & + \frac{C_{s1}}{C_{s1} + C_{s3}} \frac{V_{cs3}(t_6)}{Z} \\ & + \frac{C_{s3}}{C_{s1} + C_{s3}} \frac{V_{cc}}{Z} \sin \omega(t - t_6) \\ & + \left[\frac{i_{lm}(t_6)}{n+1} + i_{lk}(t_6) \right] \cos \omega(t - t_6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{c1}(t) = & \frac{V_o - 2V_{c1} + nV_1}{n+1} + \left[\frac{2V_{c1} - V_o + nV_1}{n+1} \right. \\ & \left. + \frac{C_{s3}}{C_{s1} + C_{s3}} V_{cc} \right. \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} & + \frac{C_{s1}}{C_{s1} + C_{s3}} V_{c3}(t_6) \cos \omega(t - t_6) + \left[\frac{i_{lm}(t_6)}{n+1} Z \right. \\ & \left. + i_{lk}(t_6)(n+1) \right] \sin \omega(t - t_6) \end{aligned}$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_{LK}}{(C_{s1} + C_{s3})}} \quad (21)$$

$$\omega_0 = \frac{n+1}{n \sqrt{(C_{s1} + C_{s3}) L_{LK}}} \quad (22)$$

ط- حالت هشت: این حالت در محدوده زمانی t_7 الی t_8 است. در این حالت ولتاژ خازن کلید اصلی V_{cs1} به صفر می رسد و دیود بدنه شروع به هدایت می کند. روابط مربوط به این حالت عملیاتی به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$i_{lm}(t) = i_{lm}(t_7) + \frac{2V_{c1} - V_o}{nL_m}(t - t_7) \quad (23)$$

$$\begin{aligned} i_{lk}(t) + \frac{V_{in} - V_{lm}}{L_{lk}}(t - t_0) = & i_{lk}(t_7) \\ & + \frac{V_{in} - \left(\frac{2V_{c1} - V_o}{n} \right)}{L_{lk}}(t - t_7) \end{aligned} \quad (24)$$

۳- طراحی مبدل dc/dc چند ورودی بهره بالا

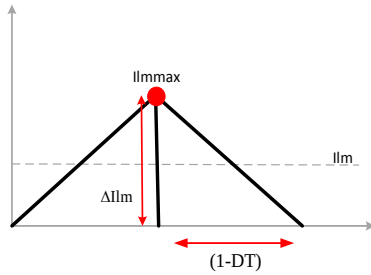
روش طراحی همراه با تجزیه و تحلیل مبدل پیشنهادی در چهار بخش زیر ارائه شده است. برای سادگی بیان روابط تمام عناصر مدار ایده آل در نظر گرفته شده اند.

۳-۱- محاسبه بهره ولتاژ استاتیک

در هنگام روشن بودن کلید اصلی هر فاز سلف L_m توسط ولتاژ ورودی V_{in} شارژ میشود و ولتاژ سلف در فاصله زمانی صفر الی DT برابر است با:

$$V_{lm} = V_{in} \quad (25)$$

زمانی که کلید اصلی خاموش می شود سلف L_m شروع به تخلیه می کند که مقدار ولتاژ آن در فاصله زمانی DT الی $1-DT$ به صورت زیر محاسبه می شود:



شکل (۸): شکل موج متوسط جریان سلف در حالت BCM

$$I_{lm} = I_{lm}(1-D) \rightarrow I_{lm} = \frac{(n+1)I_o}{(1-D)} \quad (43)$$

$$\Delta I_{lm} = \frac{v_{lm}DT}{L_m} \quad (44)$$

با جایگذاری روابط بالا مقدار سلف L_m برابر است با:

$$L_m = \frac{D(1-D)^2 R_{lbc}}{2(n+1)[(1+2n)-nD]f_s} \quad (45)$$

ج- محاسبه خازن خروجی C_o : مقدار خازن خروجی اصولاً با توجه به ریبیل ولتاژ خروجی انتخاب می‌شود. ریبیل ولتاژ خروجی مجاز ۰/۸ درصد ولتاژ خروجی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به اینکه متوسط جریان عبوری از خازن صفر است مقدار خازن خروجی مطابق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C_o = \frac{I_o D}{\Delta V_{co} f_s} \quad (46)$$

د- محاسبه خازن‌های C_1 و C_2 : مقادیر خازن‌های C_1 و C_2 از رابطه زیر تعیین می‌شوند:

$$C_1 = \frac{I_o(1-D)}{\Delta V_{c1} f_s} \quad (47)$$

ی- محاسبه خازن‌های C_{c1} و C_{c2} : مقادیر خازن‌های C_{c1} و C_{c2} از رابطه زیر تعیین می‌شوند:

$$C_{c1} = \frac{(2+4n-2nD)V_o}{\Delta V_{Cc1} f_s D R_L} \quad (48)$$

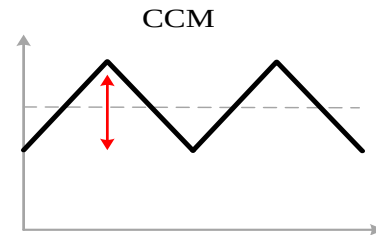
۴-۳- حالت کلیدزنی نرم

در مبدل‌های الکترونیک قدرت با به حداقل رساندن همپوشانی جریان و ولتاژ کلید در زمان‌های روشن و خاموش شدن آن، به‌منظور کاهش تلفات از تکنیک‌های کلیدزنی نرم استفاده می‌شود. در این مقاله از تکنیک ZVS استفاده شده است. از پدیده رزونانس برای صفر کردن ولتاژ دو سر کلید استفاده می‌شود.

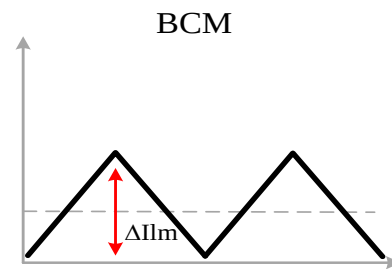
الف- محاسبه سلف L_m : در اکثر مواقع بهتر است مقدار سلف طوری انتخاب شود که مبدل مورد نظر در حداکثر مقدار توان خروجی دارای ۲۰ درصد ریبیل جریان بر روی سلف باشد. شکل (۶) شکل موج جریان سلف در حالت هدایت پیوسته (CCM) و شکل (۷) حالت هدایت مرزی (BCM) را نشان می‌دهد. حداقل مقدار اندوکتانس مغناطیسی مورد نیاز برای نگه داشتن مبدل در حالت CCM را می‌توان به شرح زیر بیان کرد.

$$\Delta I_{lm} = 20\% I_{lm} \quad (38)$$

$$\Delta I_{lm} = 2 I_{lm} \quad (39)$$



شکل (۶): شکل موج جریان سلف در حالت CCM



شکل (۷): شکل موج جریان سلف در حالت BCM

ب- محاسبه R_{lBCM} : حداکثر مقاومت بار است که می‌تواند در حدود ۲۰ درصد توان نامی خروجی انتخاب شود و به عبارت دیگر می‌توان گفت پنج برابر مقدار بار خروجی است. اگر p_1 و p_2 به ترتیب توان فاز بالا و توان فاز پایین باشند، مقدار توان کل (p) برابر است با:

$$p = p_1 + p_2 \quad (40)$$

$$p = \frac{v_o^2}{R_L} \quad (41)$$

$$R_{lBCM} = 5R_L \quad (42)$$

با توجه به توان نامی خروجی و شکل (۸) که شکل موج متوسط جریان سلف در حالت BCM را نشان می‌دهد، جریان متوسط سلف به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

کلیدها کمتر شده و همان‌طور که در نتایج شبیه‌سازی مشاهده شده، جریان سلف نشستی در بازه‌های زمانی خاص که در بخش دوم مقاله ذکر شده مقادیر منفی را نشان می‌دهد و در زمانی اتفاق افتاده که مقدار جریان i_{LK} کمتر از i_{Lm} می‌شود و جهت جریان عوض می‌شود (پلاریته سلف تزویج تغییر می‌کند). در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) به ترتیب، شکل موج‌های جریان خازن کلمپ و خازن ضرب‌کننده ولتاژ در فاز بالا و پایین را نشان داده شده است. شکل (۱۲) نیز نشان دهنده شکل موج جریان دیود خروجی در فاز بالا و پایین است و حالت‌های عملیاتی دیود خروجی را به درستی نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در بازه‌هایی که کلید کمکی S_3 تحت شرایط ZVS روشن می‌شود، تا زمانی که جریان کلید مثبت است، جریان از دیود عبور می‌کند و به محض منفی شدن، جریان از کلید عبور خواهد کرد.

شکل‌های (۱۳) الی (۱۴) وضعیت کلیدزنی نرم در کلیدهای اصلی و کمکی فاز بالا و پایین را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود، هم‌پوشانی جریان و ولتاژ کلید در زمان‌های روشن و خاموش شدن آن، به حداقل مقدار خود رسیده است. در شکل (۱۵) راندمان مبدل پیشنهادی در شرایط مختلف بار خروجی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در بیشتر شرایط بار، راندمان مبدل پیشنهادی در محدوده ۹۷ درصد باقی می‌ماند. حداکثر راندمان اندازه‌گیری شده این مبدل مقدار ۹۷/۶۳ درصد اندازه‌گیری شده است.

با توجه به نتایج حاصل شده از شبیه‌سازی، مبدل پیشنهادی دارای افزایش بهره ولتاژ مناسب است و دارای بالاترین راندمان ممکن در یک محدوده از بار است و همچنین همه کلیدها در تمام حالت‌های عملیاتی در شرایط کلیدزنی نرم کار می‌کنند.

آنالیز تلفاتی مبدل پیشنهادی در بار کامل، در جدول (۲) نشان داده شده است، که درستی راندمان مبدل پیشنهادی را تأیید می‌کند.

جدول (۲): آنالیز تلفاتی مبدل پیشنهادی

تلفات (میلی وات)	پارامترها
۵۴۳/۳۷	D_{o1}
۸۱۸/۲۴	D_{o2}
۶۲۰/۸۳	D_{d1}
۶۴۵/۶۹	D_{d2}
۶۲۰/۸۳	D_{d3}
۶۴۵/۶۹	D_{d4}
$2/92 \times 10^3$	S_1
$5/8 \times 10^3$	S_2
۸۰۷/۵	S_3
$0/998 \times 10^3$	S_4

با توجه به نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی مبدل پیشنهادی، می‌توان برخی از ویژگی‌ها و مزایای این مبدل را به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:

خازن‌های اسنابر موازی با کلیدها شرایط خاموش شدن تحت ZVS را فراهم می‌کنند. قبل از کلیدزنی، جریان معکوس وارد دیود بدنه ترانزیستور می‌شود و باعث دشارژ شدن خازن اسنابر می‌گردد، در نتیجه ولتاژ دو سر آن به صفر نزدیک می‌شود که شرایط روشن شدن تحت ZVS را فراهم می‌کند. در این شرایط مقدار انرژی ذخیره شده در سلف نشستی باید بیشتر از انرژی ذخیره شده در خازن موازی با کلیدها باشد:

$$\frac{1}{2} L_{LK} i_{LK}^2(t_x) \geq \frac{1}{2} C_s V_{ds}^2(t_x) \quad (49)$$

$$\frac{1}{2} L_{LK} I \left[\frac{(n+1) I_o}{1-D} \right] \geq C_{s1} \parallel C_{s3} \left(\frac{V_{in}}{1-D} \right)^2 \quad (50)$$

۴- نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی مبدل پیشنهادی با استفاده از نرم افزار ارکد در حالت‌های مختلف عملکردی به منظور تأیید تحلیل نظری مبدل پیشنهادی نشان داده می‌شود. پارامترهای مبدل پیشنهادی در جدول (۱) آورده شده است. نتایج شبیه‌سازی تابعی از زمان نشان داده شده و محور زمان برحسب میلی-ثانیه است.

جدول (۱): مقادیر پارامترها در مبدل پیشنهادی

پارامتر	مقدار
توان	۴۰۰ وات
منبع تغذیه ورودی اول	۴۰ ولت
منبع تغذیه ورودی دوم	۲۴ ولت
ولتاژ خروجی	۴۰۰ ولت
فرکانس کلیدزنی	۱۰۰ کیلوهرتز
اندوکتانس اولیه	۱ هانری
اندوکتانس ثانویه	۶ هانری
خازن‌های خروجی	۳۸ میکروفاراد
خازن کلیدزنی	۲۴ میکروفاراد
خازن کلمپ	۱۳۳ میکروفاراد

ولتاژهای ورودی، پارامترهای اصلی برای طراحی سلف مبدل باک هستند تا در حالت BCM کار کند و شرایط سوئیچینگ نرم را فراهم می‌کند. با فرض ولتاژهای ورودی اول (V_1) و دوم (V_2) به ترتیب ۴۰ و ۲۴ ولت و سیکل وظیفه (D) بیشتر یا برابر ۰/۵ و مقدار نسبت تبدیل برای سلف‌های تزویج فاز بالا (n_1) برابر با ۲/۱۴ و برای سلف‌های تزویج فاز پایین (n_2) برابر با ۴/۰۴ است. با توجه به توان خروجی و محاسبه دقیق R_{iBCM} مقادیر سلف مغناطیسی در فازهای بالا (L_{m1}) و پایین (L_{m2}) به ترتیب برابر با ۱۵۰ میکروهانری و ۵۷ میکروهانری است. نتایج شبیه‌سازی در بار کامل در شکل‌های (۹) الی (۱۲) نشان داده شده است.

جریان سلف نشستی و سلف مغناطیسی در فاز بالا و پایین در شکل (۹) نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود رپل جریان سلف مغناطیسی کم است، به همین دلیل تلفات اهمی سلف و

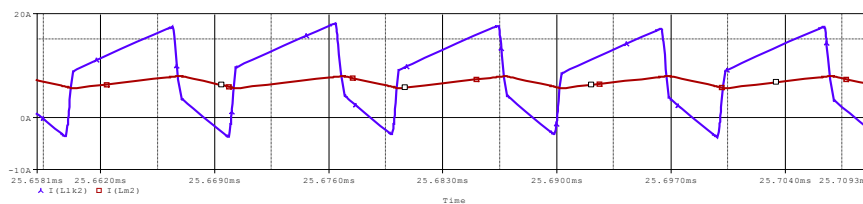
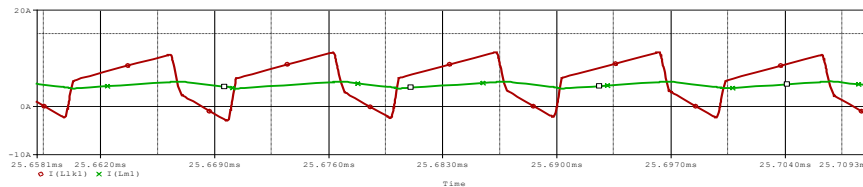
الف) افزایش راندمان در حدود ۹۷/۶۳ درصد

ب) کاهش حجم مدار

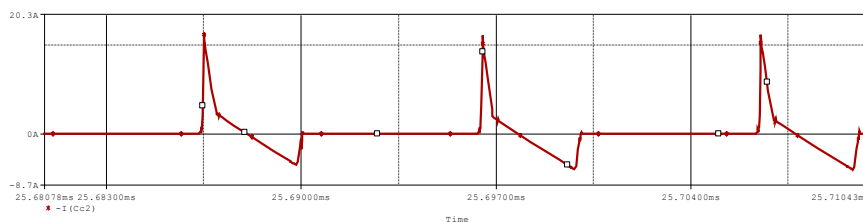
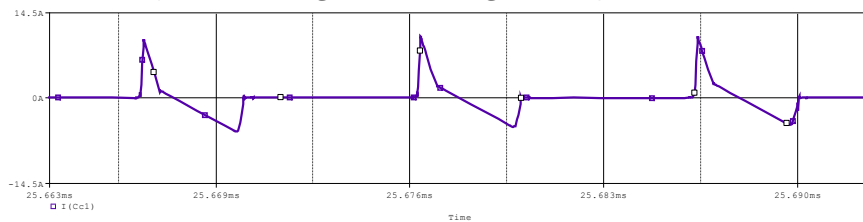
ج) غیر ایزوله (یکسان بودن زمین ورودی و خروجی، ساختار ساده، عدم نیاز به ترانس ایزوله و هزینه ساخت پایین)

د) ایجاد شرط کلیدزنی نرم برای المان‌های اکتیو مدار که باعث قابلیت افزایش فرکانس کلیدزنی و کاهش حجم مبدل شده است.

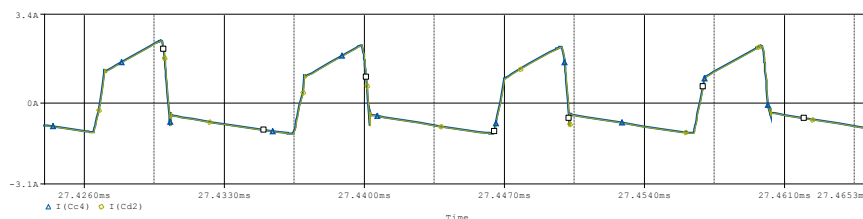
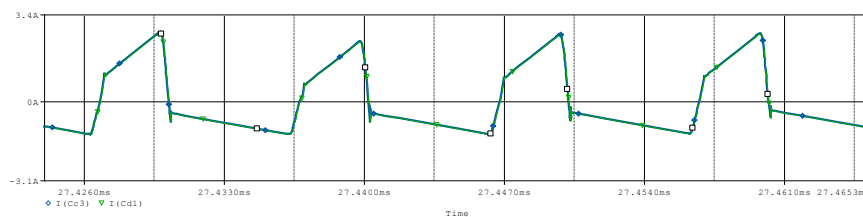
مقایسه بین چند مبدل مشابه با مبدل پیشنهادی در جدول (۳) آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مبدل پیشنهادی در مقایسه با مبدل‌های مشابه دارای راندمان بالاتر و همچنین توان خروجی بالاتر است.



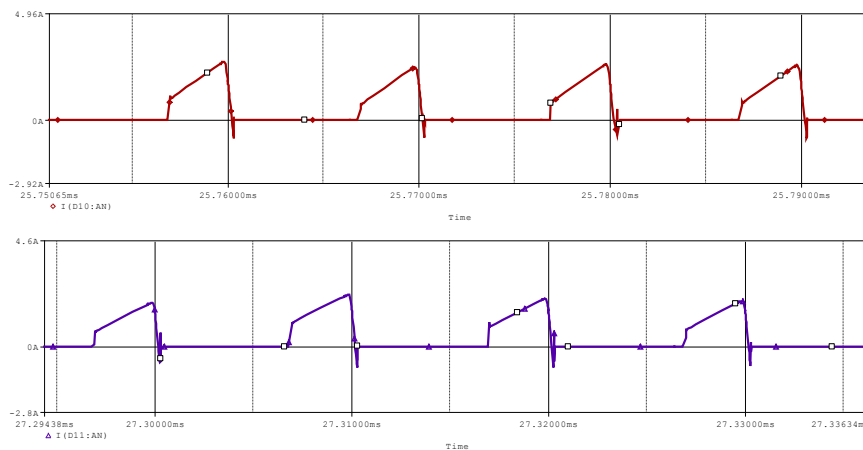
شکل (۹): جریان سلف نشتی و سلف مغناطیسی در فاز بالا و پایین



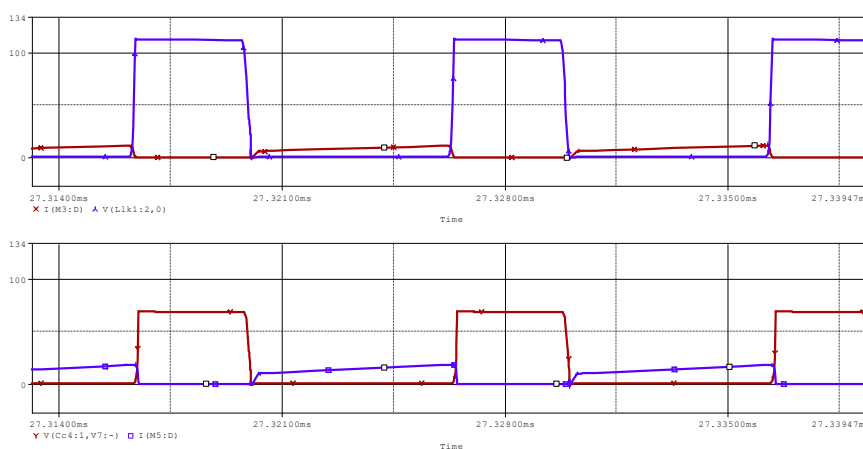
شکل (۱۰): موج جریان خازن کلمپ در فاز بالا و پایین



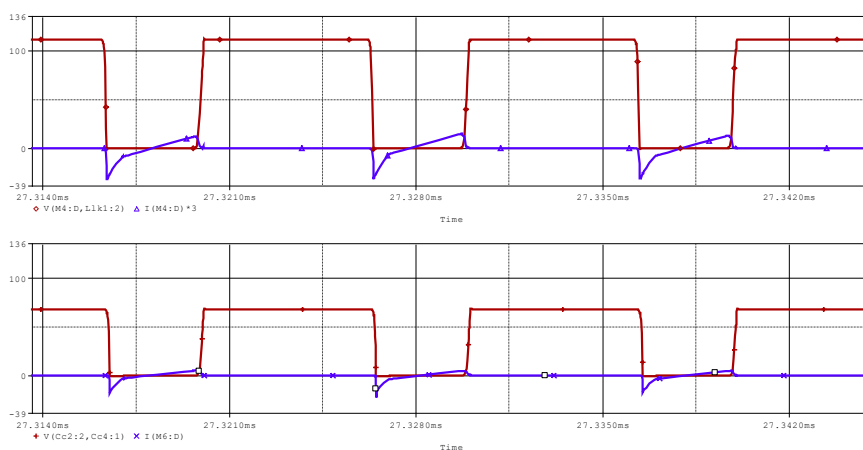
شکل (۱۱): موج جریان خازن ضرب‌کننده ولتاژ در فاز بالا و پایین



شکل (۱۲): موج جریان دیود خروجی در فاز بالا و پایین



شکل (۱۳): وضعیت کلیدزنی نرم کلیدهای اصلی S_2 و S_1



شکل (۱۴): وضعیت کلیدزنی نرم کلیدهای کمکی S_4 و S_3

جدول (3): مقایسه مبدل پیشنهادی با مبدل‌های مشابه

نشریه علمی- پژوهشی کیفیت و بهره وری صنعت برق ایران سال دهم شماره ۲ شماره پیاپی ۲۳ تابستان ۱۴۰۰

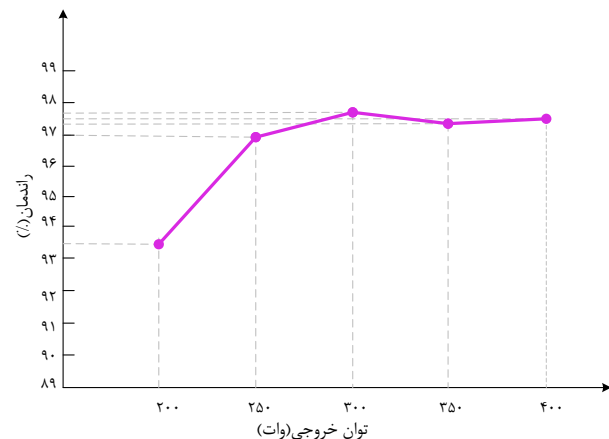
مبدلها پارامترها	مبدل پیشنهادی	(فرجی و فرزانه‌فرد، ۲۰۱۸)	(دلشاد و همکاران، ۲۰۱۶)	(سئو و همکاران، ۲۰۲۲)	(محمد و همکاران، ۲۰۱۶)
فرکانس کلیدزنی	100 کیلوهرتز	50 کیلوهرتز	100 کیلوهرتز	100 کیلوهرتز	100 کیلوهرتز
تعداد کلید	4	4	2	2	2
ایزولاسیون	غیرایزوله	غیرایزوله	ایزوله	غیرایزوله	غیرایزوله
توان خروجی	400 وات	150 وات	500 وات	1 کیلو وات	276 وات
کلیدزنی نرم	ZVS	ZVS	ZVS	ZCS	ندارد
چند ورودی/خروجی	دارد	دارد	ندارد	ندارد	ندارد
راندمان (%)	97/63	95/33	95/92	94/7	97

۹۷ درصد باقی می‌ماند. این نوع ساختار برای کاربرد انرژی خورشیدی بسیار مناسب است.

مراجع

- Ajami, A., Ardi, H., Farakhor, A., (2015). A novel High step-up DC/DC converter based on integrating coupled inductor and switched-capacitor techniques for renewable energy applications, *IEEE Trans. on Power Electronics*, 30(8), pp. 4255-4263.
- Azizi, M., Mohamadian, M., Beiranvand, R., (2016). A new family of multi-input converters based on three switches leg, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, 63(11), pp. 6812-6822.
- Babaei, E., Abbasi, O., (2016). Structure for multi-input multi-output dc-dc boost converter, *IET Power Electronics*, 9(1), pp. 9-19.
- Bairabathina, S., Balamurugan, S., (2020). Review on non-isolated multi-input step-up converters for grid-independent hybrid electric vehicles, *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(41), pp. 21687-21713.
- Chen, G., Liu, Y., Qing, X., Wang, F., (2020). Synthesis of integrated multiport dc-dc converters with reduced switches, *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, 67(6), 4536-4546.
- Delshad, M., Harchegani, A. T., Karimi, M., Mahdavi, M., (Sept. 2016). A new ZVT multi input converter for hybrid sources systems, *Proceeding of the IEEE/AE, Pilsen, Czech Republic*, pp. 61-64.
- Elserougi, A., Abdelsalam, I., Massoud, A., Ahmed, S., (2019). A bidirectional non-isolated hybrid modular DC-DC converter with zero-voltage switching, *Electric Power Systems Research*, 167, pp. 277-289.
- Faraji, R., Farzanehfard, H., (2018). Soft-switched nonisolated high step-up three-port DC-DC converter for hybrid energy systems, *IEEE Trans. on Power Electronics*, 33(12), pp. 10101-10111.
- Haghsheenas, G., Mirtalaei, S.M.M., Mordmand, H., Shahgholian, G., (2019). High step-up boost-flyback converter with soft switching for photovoltaic applications, *Journal of Circuits, Systems, and Computers*, 28(1), pp. 1-16.
- Hajimohammadi, F., Fani, B., Sadeghkhan, I., (2020). Fuse saving scheme in highly photovoltaic-integrated distribution networks, *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 30(1), e12148.
- Harchegani, A. T., Mahdavi, M., (2017). A new soft switching dual input converter for renewable energy systems", *Journal of Power Electronics*, 17(5), pp. 1127-1136.
- Hashemi-Zadeh, S. A., Zeidabadi-Nejad, O., Hasani, S., Gharaveisi, A. A., Shahgholian, G., (2012). Optimal DG placement for power loss reduction and improvement voltage profile using smart methods, *International Journal of Smart Electrical Engineering*, 1(3), 141-147.
- Jabbari, M., Sharifi, S., Shahgholian, G. (2013). Resonant CLL non-inverting buck-boost converter, *Journal of Power Electronics*, 13(1), pp. 1-8.
- Kanathipan, K., Moury, S., Lam, J., (March 2017). A fast and accurate maximum power point tracker for a multi-input converter with wide range of soft-switching operation for solar energy

در نتیجه در کاربردهای بهره بالا قابلیت استفاده بیشتری نسبت به مبدل‌های مشابه می‌تواند داشته باشد. در سه مبدل از تحت کلید-زنی نرم ZVS و در یک مبدل از کلیدزنی نرم تحت جریان صفر^{۱۶} (ZCS) استفاده شده است.



شکل (۱۵): راندمان مبدل پیشنهادی در شرایط مختلف بار

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه منابع انرژی به‌طور ذاتی دارای ولتاژ کم هستند، برای بالا بردن بهره ولتاژ آن‌ها از روش‌های بهره‌جلا استفاده می‌شود. براساس امتیازهای برجسته روش کلیدزنی نرم و روش‌های بهره‌جلا، در این مقاله یک مبدل چند ورودی غیر ایزوله پیشنهاد گردید که با استفاده از ترکیب روش سلف تزویج همراه مدار ضرب کننده ولتاژ باعث افزایش قابل توجه بهره مبدل شد. به دلیل اضافه کردن سلول چند برابر کننده ولتاژ، مقدار سلف نشستی و نسبت دور ترانس بیشتر می‌شود و در نتیجه حجم مدار کمتر شد. همچنین در این مبدل برای کاهش اثرات سلف نشستی و ارائه حالت کلیدزنی نرم، از دو مدار کلاپ فعال استفاده شد که در آن، با استفاده از روش‌های کلیدزنی نرم بهره مبدل به مقدار قابل توجهی افزایش یافت. نتایج شبیه‌سازی مبدل پیشنهادی نشان داد که حداکثر راندمان اندازه‌گیری شده این مبدل مقدار ۹۷/۶۳ درصد بوده و در بیشتر شرایط بار، راندمان در محدوده

- Seo, S. W., Ryu, J. H., Kim, Y., Choi, H. H., (2020). Non-isolated high step-up dc/dc converter with coupled inductor and switched capacitor", IEEE Access, 8, pp. 217108-217122.
- Varesi, K., Hosseini, S. H., Sabahi, M., Babaei, E., (2018). Modular non-isolated multi-input high step-up dc-dc converter with reduced normalised voltage stress and component count, IET Power Electronics, 11(6), pp. 1092-11100.
- Wai, R., Lin, C., Liaw, J., Chang, Y., (2011). Newly designed ZVS multi-input converter, IEEE Trans. on Industrial Electronics, 58(2), pp. 555-566.
- Waseem, M., Saeed, L., Khan, M. Y. A., Saleem, J., Majid, A., (April 2018). A multi input multi output bidirectional DC-DC boost converter with backup battery port, Proceeding of the IEEE/ICPESG, Mirpur Azad Kashmir, Pakistan, pp. 1-6.
- Ye, Y., Chen, S., Yi, Y., (2021). Switched-capacitor and coupled-inductor-based high step-up converter with improved voltage gain, IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 9(1), pp. 754-764.
- Youcefa, B. E., Massoum, A., Barkat, S., Wira, P., (2020). Backstepping predictive direct power control of grid-connected photovoltaic system considering power quality, Majlesi Journal of Electrical Engineering, 14(1), pp. 8-23.
- Zorica, S., Vukšić, M., Betti, T., (2019). Design considerations of the multi-resonant converter as a constant current source for electrolyser utilisation, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 111, pp. 237-247.
- سلمانی کویخی، م.، زعفری، ع.، قاسمی، ع.، (۱۳۹۹). طراحی و کنترل یک فیلتر فعال ترکیبی جدید مبتنی بر تفکیک هارمونیک جریان بار با هدف کمینه سازی مقدار ولتاژ لینک DC در مبدل منبع ولتاژ، نشریه کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، ۹(۳)، صص ۱۱-۲۷.
- مهدویان، م.، بهزادفر، ن.، (۱۳۹۸). مروری بر سیستم تبدیل انرژی بادی و کاربرد انواع ژنراتور القایی، تحقیقات نوین در برق، ۸(۴)، صص ۵۵-۶۶.
- میرطلایی، س.م.م.، محتاج، م.، کریمی، ح. (۱۳۹۴). طراحی و ساخت یک مبدل ترکیبی پست-سپیک با بهره‌ی بالا و کلیدزنی نرم، نشریه روش‌های هوشمند در صنعت برق، ۶(۲۴)، صص ۲۷-۳۴.
- میرطلایی، س.م.م.، امانی‌نافچی، ر.، (۱۳۹۸). مبدل DC-DC بسیار افزاینده پست با سلف کوپل شده و تکنیک دیود-خازن، نشریه روش‌های هوشمند در صنعت برق، ۱۰(۳۹)، صص ۳-۱۲.
- systems, Proceeding of the IEEE/APEC, Tampa, FL, USA, pp. 2076-2083.
- Karthikeyan, V., Gupta, R., (2018). Multiple-input configuration of isolated bidirectional DC-DC converter for power flow control in combinational battery storage, IEEE Trans. on Industrial Informatics, 14(1), pp. 2-11.
- Kharrazi, A., Sreeram, V., Mishra, Y., (2020). Assessment techniques of the impact of grid-tied rooftop photovoltaic generation on the power quality of low voltage distribution network- A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 120, 109643.
- Khosrogorji, S., Ahmadian, M., Torkaman, H., Soori, S., (2016). Multi-input DC/DC converters in connection with distributed generation units- A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 66, pp. 360-379.
- Kianpour, A., Shahgholian, G., (2017). A floating-output interleaved boost DC-DC converter with high step-up gain, Automatica, 58(1), pp. 18-26.
- Kown, J. M., Kwon, B. H., (2009). High step-up active-clamp converter with input-current doubler and output-voltage doubler for fuel cell power systems, IEEE Trans. on Power Electronics, 24(1), pp. 108-115.
- Lee, S., Kang, B., (2018). Quasi-resonant passive snubber for improving power conversion efficiency of a dc-dc step-down converter, IEEE Trans. on Power Electronics, 33, pp.2026-2034.
- Li, W., He, X., (2011). Review of nonisolated high-step-Up DC/DC converters in photovoltaic grid-connected applications, IEEE Trans. on Industrial Electronics, 58(4), pp. 1239-1250.
- Liu, Y., Chen, Y., (2009). A systematic approach to synthesizing multi-input DC-DC converters, IEEE Trans. on Power Electronics, 24(1), pp. 116-127.
- Mohammadi, M. R., Farzanehfard, H., (2017). Family of soft-switching bidirectional converters with extended ZVS range, IEEE Trans. on Industrial Electronics, 64(9), pp. 7000-7008.
- Moury, S., Lam, J., Srivastava, V., Church, R., (March 2016). A novel multi-input converter using soft-switched single-switch input modules with integrated power factor correction capability for hybrid renewable energy systems", Proceeding of the IEEE/APEC, Long Beach, CA, USA, pp. 786-793.
- Muhammad, M., Armstrong, M., Elgendy, M. A., (Oct. 2016). Modelling and control of non-isolated high voltage gain boost converter employing coupled inductor and switched capacitor, Proceeding of the IEEE/ICSAE, pp. 312-317, Newcastle Upon Tyne, UK.
- Rani, P. H., Navasree, S., George, S., Ashok, S., (2019). Fuzzy logic supervisory controller for multi-input non-isolated DC to DC converter connected to DC grid, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 112, pp. 49-60.
- Reddi, N. K., Ramteke, M. R., Suryawanshi, H. M., Kothapalli, K., Gawande, S. P., (2018). An isolated multi-input ZCS DC-DC front-end-converter based multilevel inverter for the integration of renewable energy sources, IEEE Trans. on Industry Applications, 54(1), pp. 494-504.
- Reddi, N. K., Ramteke, M. R., Suryawanshi, H. M., Kothapalli, K., Gawande, S. P., (2018). An isolated multi-input ZCS DC-DC front-end-converter based multilevel inverter for the integration of renewable energy sources, IEEE Trans. on Industry Applications, 54(1), pp. 494-504.
- Reddy, K. J., Natarajan, S., (2018). Energy sources and multi-input DC-DC converters used in hybrid electric vehicle applications- A review, International Journal of Hydrogen Energy, 43(36), pp. 1738-17408.
- Revathi, B. S., Mahalingam, P., Gonzalez-Longatt, F., (2019). Interleaved high gain DC-DC converter for integrating solar PV source to DC bus, Solar Energy, 188, pp. 924-934.
- Revathi, B. S., Prabhakar, M., (2016). Non-isolated high gain DC-DC converter topologies for PV applications- A comprehensive review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 66, pp. 920-933.
- Salehi, N., Mirtalaei, S. M. M., Mirenayat, S. H., (2018). A high step-up DC-DC soft-switched converter using coupled inductor and switched capacitor, International Journal of Electronics Letters, 6(3), pp. 260-271.
- Sathyan, S., Suryawanshi, H. M., Ballal, M. S., Shitole, A. B., (2015). Soft-switching dc-dc converter for distributed energy sources with high step-up voltage capability, IEEE Trans. on Industrial Electronics, 62 (11), pp. 7039-7050.

زیر نویس‌ها

- 1 Fossil fuels
- 2 Renewable energy
- 3 Variable output voltage
- 4 Multi-input converters
- 5 Independent converter
- 6 Total system efficiency
- 7 Array terminal output voltage
- 8 Multi-input isolated converters
- 9 Multi-input non-isolated converters
- 10 Pulse voltage source cell
- 11 Pulsating current source cell
- 12 Pulse width modulation
- 13 Soft switching
- 14 Active clamp
- 15 Zero voltage switching
- 16 Zero current switching