



Providing a Dual-Input Soft-Switching Boost Converter with Power Factor Correction Capability

Mohammad Foroughi¹, *PhD Student*, Mohammad Reza Amini¹, *Assistant Professor*, Ehsan Adib², *Associate Professor*, Mohammad Rouhollah Yazdani¹, *Associate Professor*

¹ Department of Electrical Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

² Department of Electrical and Computer Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Abstract:

Multi-input converters have different structures. These converters can be used in applications of power systems based on wind, photovoltaic, hybrid vehicles, etc. In a multi-input system, usually one of the inputs is connected to an AC source. Also, these converters use soft switching techniques to increase efficiency. In this paper, a non-insulated dual input soft-switching boost converter with power factor correction capability is proposed. This converter uses only an auxiliary circuit with simple operation. The operation modes of the proposed converter are described. All of the semiconductor elements in this converter turn on and off in soft switching conditions. The proposed controller circuit is presented with power factor correction capability. The converter is simulated with PSIM and THD and PF shows that the power factor correction in AC input is occurred correctly. The efficiency of the proposed converter is increased in comparison with the multi-input hard switching converter under the same conditions. The simulation results with PSpice for a 200-watt prototype converter confirm the theoretical analysis.

Keywords: Soft-Switching; Multi-Input Converter; Boost Converter; Power Factor Correction; High Efficiency

Received: 08 July 2022

Revised: 11 September 2022

Accepted: 05 October 2022

Corresponding Author: Dr. Mohammad Reza Amini, mr.amini@khuif.ac.ir

DOI: <http://dx.doi.org/10.30486/teegees.2022.1965800.1030>



فناوری‌های نوین در مهندسی برق و سیستم انرژی سبز

ارائه یک مبدل بوست دو ورودی سوئیچینگ نرم با قابلیت اصلاح ضریب توان

محمد فروغی^۱، دانشجوی دکتری، محمدرضا امینی^۱، استادیار، احسان ادیب^۲، دانشیار، محمد روح الله یزدانی^۱، دانشیار

۱- دانشکده فنی مهندسی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده: مبدل های چند ورودی دارای ساختارهای متفاوتی هستند. از این مبدل‌ها می‌توان در کاربردهای سیستم توان بر مبنای باد، فوتوولتائیک، خودروهای هیبریدی و ... استفاده نمود. معمولاً در یک سیستم چند ورودی، یکی از ورودی‌ها به منبع AC متصل میشود. در این مبدل‌ها از تکنیک سوئیچینگ نرم برای افزایش راندمان استفاده می‌کنند. در این مقاله یک مبدل بوست دو ورودی غیر ایزوله‌ی سوئیچینگ نرم با قابلیت اصلاح ضریب توان پیشنهاد شده است. در این مبدل تنها از یک مدار کمکی با عملکرد ساده برای تحقق سوئیچینگ نرم استفاده شده است. وضعیت‌های عملکرد مبدل پیشنهادی شرح داده شده است. هم‌امان‌های نیمه هادی در این مبدل در شرایط سوئیچینگ نرم روشن و خاموش می‌شوند. به منظور اصلاح ضریب توان در ورودی برق شهر یک کنترل کننده مناسب پیشنهاد شده است. نتایج شبیه سازی مبدل در نرم افزار PSIM نشان دهنده رسیدن مقدار اعوجاج هارمونیک کل و ضریب قدرت به مقدار مطلوب است. همچنین راندمان مبدل پیشنهادی در مقایسه با مبدل سوئیچینگ سخت چند ورودی با شرایط یکسان، افزایش یافته است. نتایج شبیه سازی PSpice برای یک مبدل نمونه اولیه ۲۰۰ وات، تحلیل تئوری را تایید می‌کند.

واژه های کلیدی: سوئیچینگ نرم، مبدل چند ورودی، مبدل بوست، اصلاح ضریب توان، راندمان بالا

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۷

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۰

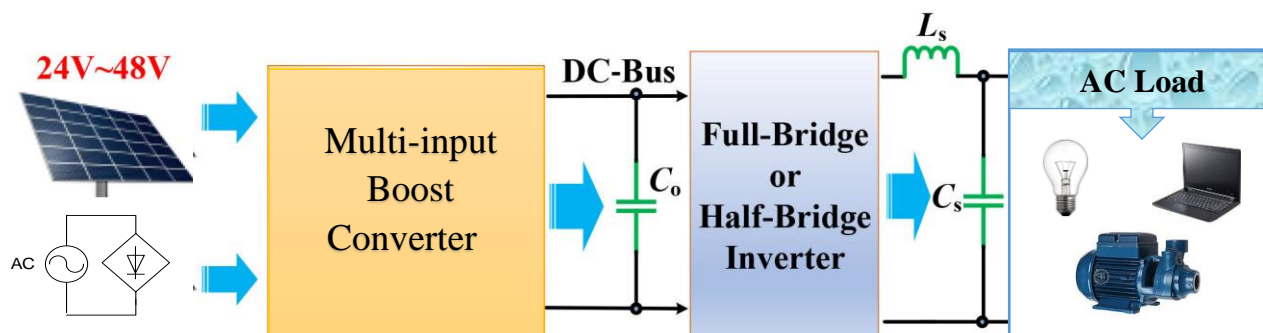
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۱۳

نویسنده‌ی مسئول: دکتر محمدرضا امینی، email@khuisf.ac.ir

DOI: <http://dx.doi.org/10.30486/teeges.2022.1965800.1030>



نیروگاه‌های برق عمده توان مصرف کنندگان انرژی را تولید و از طریق خطوط انتقال، آن را به نقاط دور منتقل می‌کنند. با این حال سیستم‌های قدرت در حال تغییر است و تعداد زیادی از واحدهای تولید پراکنده، شامل منابع تجدیدپذیر و غیر تجدیدپذیر مانند مولدهای سلول خورشیدی، توربین بادی، پیل سوختی، توربین آبی، مولد سیکل ترکیبی و ... در حال توسعه هستند. بنابراین استفاده گسترده از منابع انرژی تجدیدپذیر^۱ در شبکه‌های توزیع و یک سطح نفوذ بالای آنها در آینده نزدیک دیده می‌شود. تکنولوژی الکترونیک قدرت یک نقش حیاتی را در مطابقت واحدهای تولید پراکنده و الزامات اتصال شبکه از جمله فرکانس، ولتاژ، کنترل فعال و واکنشی توان، حداقل هارمونیک و ... بازی می‌کند. در سال‌های اخیر استفاده از سیستم تولید توزیع شده رشد زیادی داشته است. بدلیل استفاده از این سیستم‌ها، مبدل‌ها در طی سال‌های اخیر رواج بیشتری پیدا کرده‌اند. مبدل‌های معمولی و متداول فقط قادرند به یک نوع سیستم تولید توزیع شده متصل شوند اما اخیراً تعدادی منابع می‌توانند بطور همزمان به مبدل‌ها متصل شوند و از این طریق توان تولیدی سیستم تولید توزیع شده به خروجی انتقال داده می‌شود این مبدل‌ها به مبدل‌ها متصل شوند و از این طریق استفاده از مبدل‌های چند ورودی، محدودیت سرعت عملکرد سیستم تولید توزیع شده همچون پیل سوختی در کنار باطری یا سوپرکازن‌ها است. شکل (۱) ساختار تولید انرژی از طریق منابع انرژی تجدید پذیر را با استفاده از مبدل چند ورودی متصل به شبکه-ی برق سراسری نشان می‌دهد.



شکل (۱): ساختار تولید انرژی از طریق منابع انرژی تجدید پذیر با استفاده از مبدل چند ورودی متصل به شبکه برق سراسری

مبدل‌های چند ورودی دارای ساختارهای مختلفی هستند. در بعضی از این مبدل‌ها از سلول استفاده می‌شود و ساختاری ماژولار^۲ دارند و از این طریق تعداد پورت‌ها قابل افزایش هستند. در [۱] یک سلول پل H استفاده کرده که از آن می‌توان در انواع مبدل‌ها استفاده نمود. مبدل‌های چند ورودی بوست در [۲] و [۳] معرفی شده‌اند که تمام ورودی‌های آنها به زمین متصل می‌شوند و برای دستیابی به بهره‌ی ولتاژ بالا از سلول خازن-دیود استفاده شده است. در [۴] یک مبدل DC-DC چند ورودی ارائه شده است که از آن می‌توان در ساختار دوجبهته نیز استفاده نمود. در این ساختار به تعداد پورت‌های ورودی-خروجی، سوئیچ نیاز دارد. تعداد المان در این مبدل زیاد است. در [۵] یک ساختار مبدل چند ورودی با بهره‌ی ولتاژ بالا معرفی شده است که بصورت ماژولار است و به راحتی می‌توان تعداد ورودی‌ها را افزایش داد ولی در این ساختار تعداد المان‌ها خیلی زیاد است. مقاله [۶] یک مبدل بوست دو ورودی معرفی نموده است که هر دو ورودی آن به زمین متصل هستند و از یک شبکه‌ی منبع Y برای طرح سوئیچینگ مناسب برای کاهش مشکلات ناشی از المان‌های مغناطیسی استفاده شده است. یک مبدل بوست^۴ دو ورودی در [۷] ارائه شده است که در حالت CCM^۵ کار می‌کند. از معایب این مبدل تعداد المان زیاد است. تمام مقالاتی که در بالا به آنها اشاره شد چند ورودی غیرایزوله با قابلیت سوئیچینگ سخت^۶ است.

در [۸] و [۹] یک مبدل دو ورودی با قابلیت سوئیچینگ نرم ارائه شده است که در آن تعداد المان‌ها و استرس جریان سوئیچ کمکی زیاد است. [۱۰] یک مبدل بوست دو ورودی معرفی کرده است که از یک مدار رزونانسی کمکی استفاده کرده است. در این مبدل استرس جریان سوئیچ‌ها زیاد است. در مقاله [۱۱] یک تکنیک سوئیچینگ نرم بکار رفته است که در آن استرس جریان سوئیچ‌های



اصلی بیشتر از دو برابر جریان‌های ورودی است. در [۱۲] برای دستیابی به قابلیت سوئیچینگ نرم^۷ از مدار کمکی اکتیو کلمپ استفاده شده است. از معایب این مبدل این است که در بارهای کم سوئیچینگ نرم از دست می‌رود. در مقالات ساختارهای مختلفی از مبدل‌های AC/DC برای بهبود ضریب توان^۸ معرفی شده است. در [۱۳] یک مبدل بدون پل معرفی شده است. در این مقاله بلوک دیاگرام مدار کنترلر برای اصلاح ضریب توان بصورت کلی ارائه شده است. تعداد المان‌ها در این مبدل زیاد است. در [۱۴] تبدلی با قابلیت اصلاح ضریب توان ارائه شده است که ساختاری ساده دارد اما مدار کنترلر آن معرفی نشده است. در [۱۵] یک مبدل چند ورودی با قابلیت اصلاح ضریب توان ۳ فاز ارائه شده است. این ویژگی در حالت عملکرد^۹ DCM می‌باشد و در اینجا به مدار کنترلر اشاره‌ای نشده است. مقاله‌ی [۱۶] یک مبدل چند ورودی متصل به شبکه معرفی نموده است. در اینجا طراحی کنترلر مربوطه با قابلیت اصلاح ضریب توان ارائه شده است. عملکرد این مبدل بصورت سوئیچینگ سخت است. در این مقاله یک مبدل بوست دو ورودی سوئیچینگ نرم با قابلیت اصلاح ضریب توان ارائه شده است. مبدل پیشنهادی شامل دو مبدل بوست هستند که بصورت سری بهم متصل شده‌اند. در این مبدل تنها از یک مدار کمکی برای دستیابی به سوئیچینگ نرم استفاده شده است. مدار کمکی ساختاری ساده و تعداد المان کمی دارد و کلیه‌ی سوئیچ‌ها و دیودها تحت شرایط سوئیچینگ نرم روشن و خاموش می‌شوند. شبیه‌سازی مبدل با مدار کنترلر پیشنهادی نشان می‌دهد که مدار کنترلر به عنوان اصلاح ضریب توان کارش را به درستی انجام می‌دهد. مبدل پیشنهادی استرس جریان و ولتاژ اضافی در سوئیچ‌ها را در مقایسه با مبدل بوست دو ورودی سوئیچینگ سخت ندارد. توپولوژی ارائه شده در این مقاله با ورودی‌های منابع DC در [۱۷] معرفی شده است و روابط مربوط به وضعیت‌های عملکرد و طراحی در آن ارائه شده است. در این مقاله یکی از ورودی‌ها بصورت AC اعمال و برای بهبود شاخص‌های PF و THD در آن ورودی، یک کنترل کننده‌ی جدید ارائه شده است و صحت عملکرد آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- عملکرد مبدل پیشنهادی

مبدل پیشنهادی شامل دو مبدل بوست معمولی است که بصورت سری بهم متصل شده‌اند. شماتیک مداری این مبدل در شکل (۲) نشان داده شده است.

به منظور آنالیز مبدل پیشنهادی در حالت پایدار فرض می‌شود که خازن خروجی و سلف‌های ورودی به اندازه‌ی کافی بزرگ هستند تا بتوان ولتاژ خروجی (V_o) و جریان‌های ورودی (I_{in1}, I_{in2}) را ثابت در نظر گرفت. همچنین عملکرد این مبدل را در یک سیکل سوئیچینگ در نظر گرفته می‌شود.

عملکرد مبدل شامل ۹ حالت است که مدار معادل هر حالت در شکل (۳) نشان داده شده است. قبل از حالت اول فرض می‌شود که S_1 و S_2 خاموش است و جریان L_{m1} کوچک‌تر از جریان L_{m2} است بنابراین دیود بدنه‌ی S_1 روشن است. نسبت دور سلف‌های کوپل شده

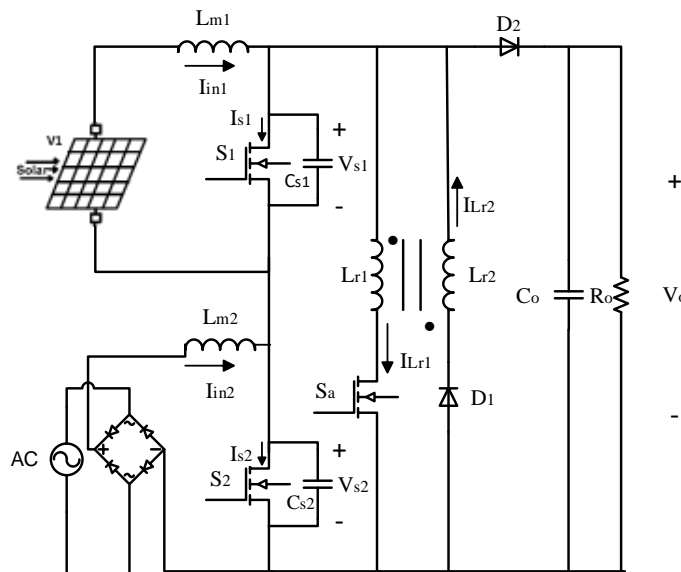
$$\text{برابر است با: } N_2/N_1 = n$$

$$\text{بنابراین داریم: } L_{r2} = n^2 L_{r1}$$

حالت اول ($t_0 < t < t_1$): سوئیچ کمکی (Sa) در t_0 روشن می‌شود. با توجه به اینکه L_{r1} با Sa سری است و I_{Lr1} بطور آهسته افزایش می‌یابد بنابراین Sa تحت شرایط ZCS روشن می‌شود و به علت ولتاژ ثابت دو سر L_{r1} ، جریان L_{r1} بطور خطی افزایش می‌یابد در این حالت جریان دیود D_2 به آرامی کاهش می‌یابد و ولتاژ D_2 به آرامی افزایش می‌یابد. این حالت تا زمانی که جریان L_{r1} به I_{in2} برسد و دیود D_2 خاموش شود ادامه می‌یابد.

حالت دوم ($t_1 < t < t_2$): در اول این حالت دیود D_2 به علت وجود L_{r1} تحت شرایط ZCS خاموش می‌شود. در این حالت یک رزونانس بین L_{r1} و C_{S2} اتفاق می‌افتد بنابراین C_{S2} شروع به دشارژ و جریان رزونانس افزایش می‌یابد. این حالت تا زمانی که ولتاژ C_{S2} به صفر برسد ادامه می‌یابد. این حالت پس از یک چهارم زمان رزونانس پایان می‌یابد.





شکل (۲): شماتیک مداری مبدل پیشنهادی

حالت سوم ($t_2 < t < t_3$): در t_2 دیود بدنه‌ی S_2 تحت شرایط ZVS روشن می‌شود بنابراین بعلت وجود ولتاژ صفر در دو سر L_{r1} ، یک قسمت جریان L_{r1} به L_{r2} انتقال داده می‌شود. در این حالت کل آمپر دور I_{Lr1} و I_{Lr2} باید ثابت بماند.

حالت چهارم ($t_3 < t < t_4$): در شروع این حالت S_a خاموش می‌شود و آمپر دور L_{r1} به L_{r2} انتقال می‌یابد. بنابراین آمپر دور L_{r2} جمع آمپر دور قبلی بعلاوه‌ی آمپر دور L_{r1} می‌شود. در این حالت ولتاژ دو سر سوئیچ کمکی برابر صفر است. این حالت تا زمانی که سوئیچ S_1 خاموش شود ادامه می‌یابد.

حالت پنجم ($t_4 < t < t_5$): این حالت وقتی S_1 خاموش می‌شود شروع می‌گردد. در این حالت خازن C_{s1} بوسیله‌ی جریان $I_{in1} + I_1$ شارژ می‌شود تا ولتاژش در t_5 به V_0 برسد و D_2 تحت شرایط ZVZCS روشن شود.

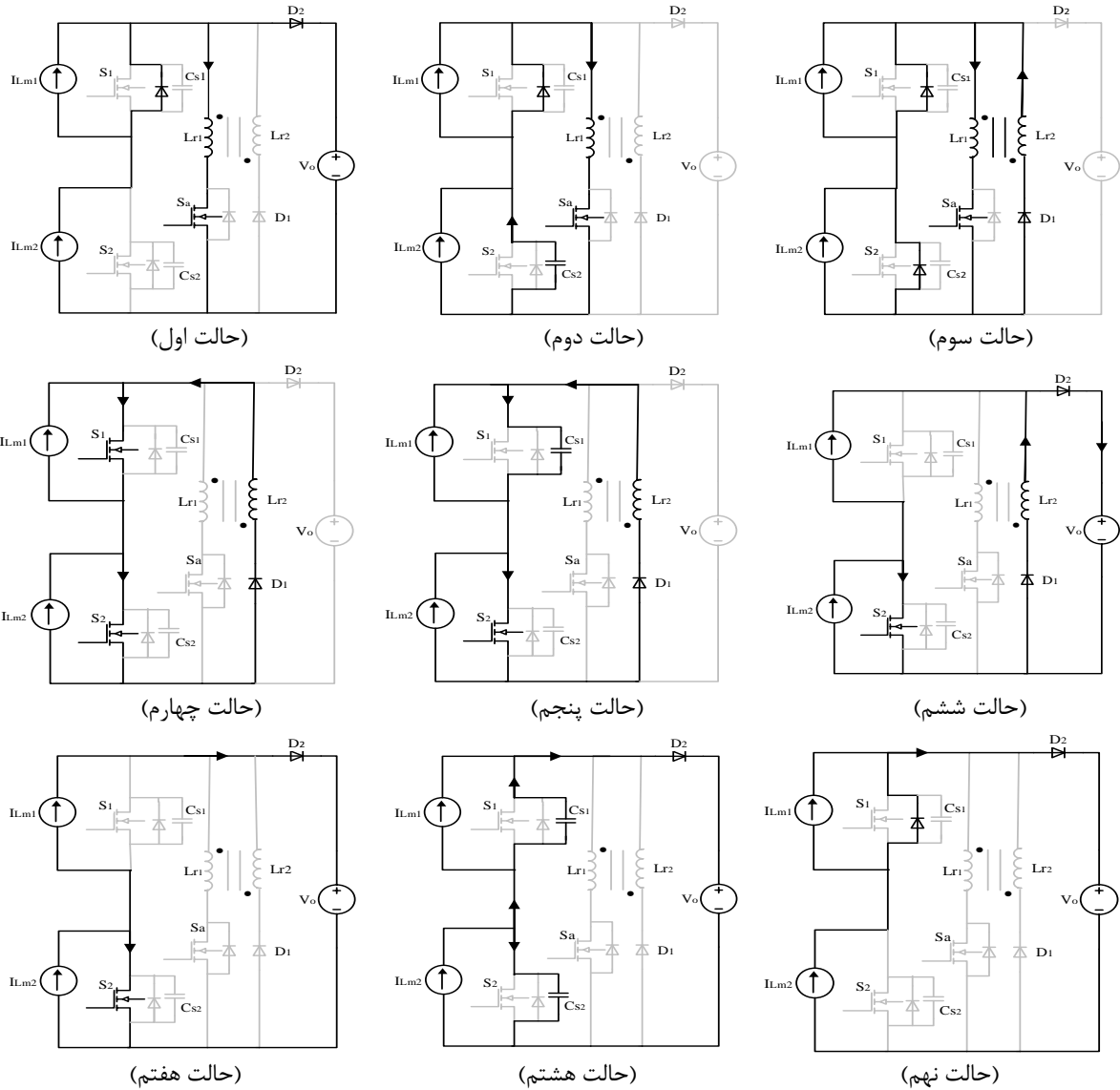
حالت ششم ($t_5 < t < t_6$): این حالت وقتی V_0 به V_{Cs1} می‌رسد شروع می‌شود و D_2 تحت شرایط ZVZCS روشن می‌شود. در این حالت I_{Lr2} بطور خطی کاهش می‌یابد. در t_6 ، I_{Lr2} به صفر می‌رسد و دیود D_1 تحت شرایط ZCS خاموش می‌شود.

حالت هفتم ($t_6 < t < t_7$): این حالت وقتی دیود D_1 خاموش می‌شود شروع می‌گردد. بنابراین انرژی L_{m1} از طریق D_2 به خروجی انتقال می‌یابد و L_{m2} از طریق S_2 شارژ می‌شود این حالت تا زمانی که سوئیچ S_2 خاموش شود ادامه می‌یابد.

حالت هشتم ($t_7 < t < t_8$): این حالت وقتی S_2 خاموش می‌شود شروع می‌گردد بنابراین C_{s2} شروع به شارژ شدن می‌کند و C_{s1} دشارژ می‌شود. این حالت تا وقتی C_{s2} به V_0 برسد و دیود بدنه‌ی S_1 تحت شرایط ZVS روشن شود ادامه می‌یابد.

حالت نهم ($t_8 < t < t_0$): این حالت وقتی دیود بدنه‌ی S_1 روشن می‌شود شروع می‌گردد. در این حالت انرژی L_{m1} و L_{m2} از طریق D_2 به خروجی انتقال داده می‌شود. این حالت ادامه می‌یابد تا زمانی که سوئیچ کمکی روشن شود. شکل موج‌های کلیدی مبدل پیشنهادی در شکل (۴) نشان داده شده است.





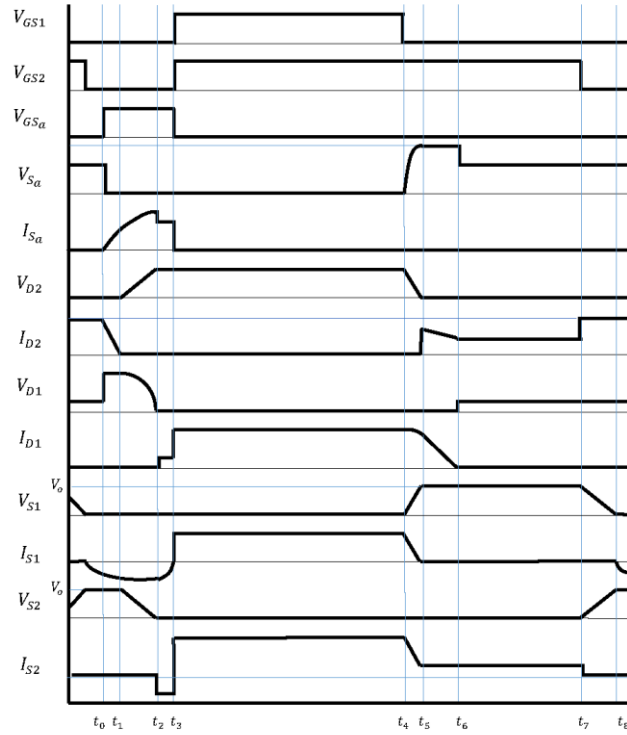
شکل (۳): مدار معادل مبدل پیشنهادی در طول یک سیکل سوئیچینگ

۳- محاسبه بهره‌ی ولتاژ:

الگوی کلید زنی سوئیچ‌های اصلی و سوئیچ کمکی در شکل (۵) نشان داده شده است. برای محاسبه بهره‌ی ولتاژ معادلات بالانس ولت-ثانیه برای I_{Lm1} و I_{Lm2} بصورت زیر بیان می‌گردد:

$$V_{in1}(D_1T) + (V_{in1} - V_o)(D_2T - D_1T) + V_{in1}(T - D_2T) = 0 \quad (۱)$$

$$T) + V_{in2}(D_2T - D_1T) + (V_{in2} - V_o)(T - D_2T) = 0 \quad V_{in2}(D_1 \quad (۲)$$



شکل (۴): شکل موج‌های کلیدی مبدل پیشنهادی

با توجه به معادلات بالا بهره ولتاژ مطابق روابط زیر بدست می‌آید:

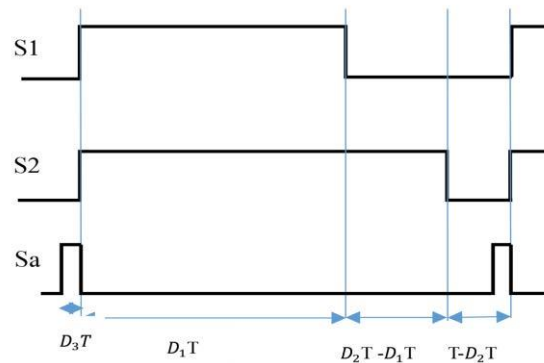
$$\frac{V_o}{V_{in1}} = \frac{1}{D_2 - D_1} \quad (۳)$$

$$\frac{V_o}{V_{in2}} = \frac{1}{1 - D_2} \quad (۴)$$

با توجه به روابط فوق مقدار D_1 و D_2 بدست می‌آید.

$$D_1 = 1 - \frac{V_{in2} + V_{in1}}{V_o} \quad (۵)$$

$$D_2 = 1 - \frac{V_{in2}}{V_o} \quad (۶)$$

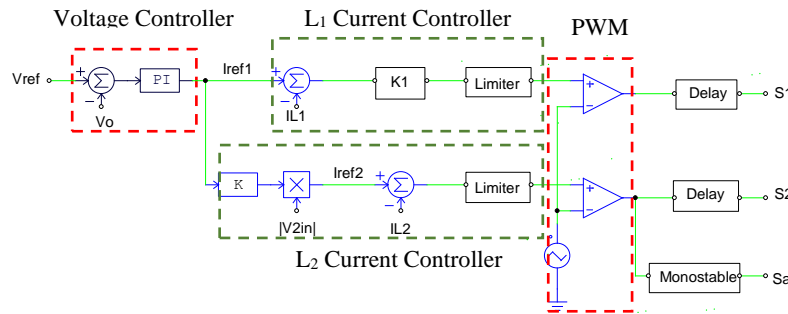


شکل (۵): الگوی کلید زنی سوئیچ‌ها



۴- کنترل کننده پیشنهادی

بلوک دیاگرام کنترل کننده پیشنهادی مطابق شکل (۶) می باشد. همانگونه که از این شکل مشاهده می شود ابتدا ولتاژ خروجی با ولتاژ مرجع مقایسه شده و خروجی PI برای ساختن جریان مرجع هر دو ورودی استفاده می شود. برای جریان سلف ورودی DC خروجی PI با جریان I_{L1} مقایسه می شود و به بلوک PWM اعمال می گردد.



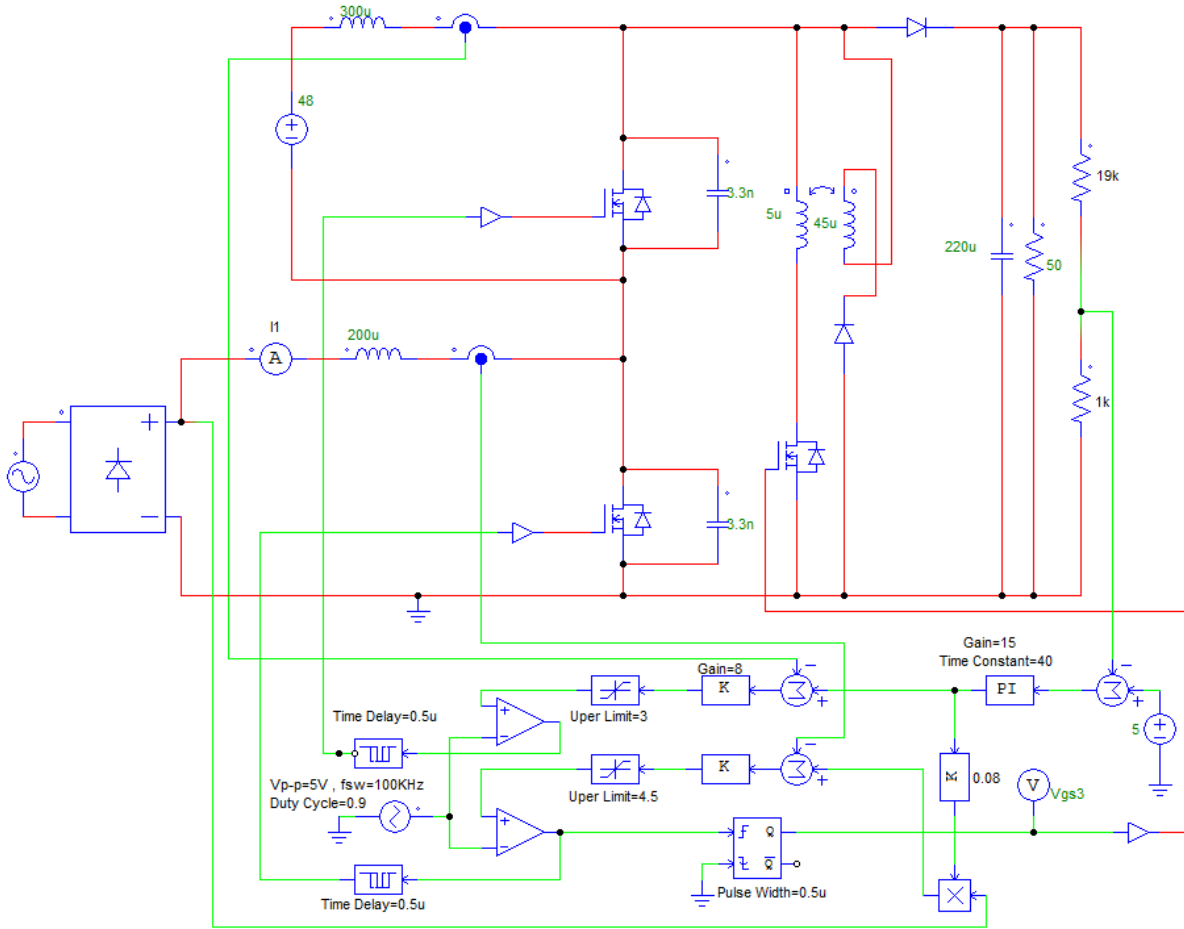
شکل (۶): بلوک دیاگرام کنترل کننده پیشنهادی

برای تنظیم جریان سلف ورودی AC، خروجی PI در نسبت K و $|V_{in2}|$ که از خروجی پل دیود گرفته می شود ضرب شده و جریان مرجع را می سازد و پس از مقایسه با I_{L2} به بلوک PWM اعمال می شود. بدلیل اینکه ماهیت مبدل از نوع بوست است، وجود Limiter برای جلوگیری از یک شدن ضریب وظیفه سوئیچها الزامی است. با توجه به شکل (۵) برای اینکه سیگنال S_a زودتر از S_1 و S_2 اعمال شود، دو بلوک Delay و یک بلوک Monostable با زمان $D3T$ قبل از اعمال پالس گیت سوئیچها استفاده شده است که الگوی کلیدزنی مطابق شکل (۵) را تحقق می دهد.

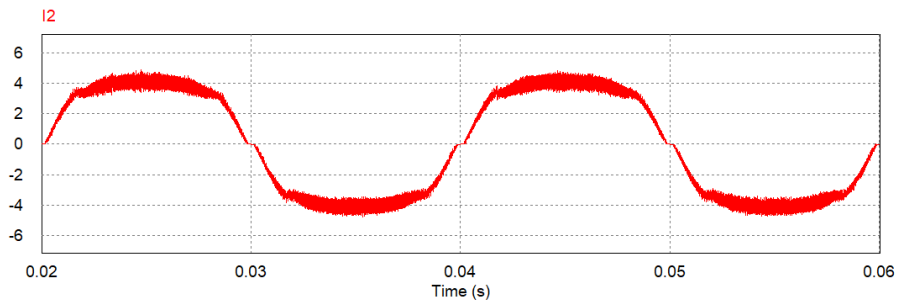
مبدل پیشنهادی با مدار کنترل کننده پیشنهادی با قابلیت اصلاح ضریب توان مطابق شکل (۷) توسط نرم افزار PSIM شبیه سازی شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می شود، توسط بلوکهای مربوطه، PWM Controller برای سوئیچهای S_1 و S_2 ساخته و شکل پالسهای سوئیچهای مذکور مطابق شکل (۵) تولید می گردد. همچنین برای تولید پالس سوئیچ S_a از بلوکهای Delay و Monostable استفاده شده است. در این کنترل کننده از یک بلوک K برای تعیین میزان نامی جذب شده از هر منبع استفاده شده است. با افزایش مقدار K سهم منبع AC از توان جذب شده بیشتر می شود، با این وجود در شرایط بحرانی مانند قطع شدن یکی از ورودیها در عملکرد مبدل اختلالی پیش نمی آید و توان لازم از ورودی دیگر تامین می گردد. با توجه به اینکه منبع ورودی دوم از نوع AC است به منظور تصحیح ضریب توان، فیدبک ولتاژ از خروجی پل دیود گرفته شده و وارد یک مدار ضرب کننده می شود. در این کنترل کننده اگر افت ولتاژ در خروجی ایجاد شود، جریان مرجع مربوط به هر ورودی زیاد شده و با اعمال به PWM Controller ضریب وظیفه سوئیچهای اصلی افزایش می یابد و ولتاژ خروجی اصلاح خواهد شد.

۵- نتایج شبیه سازی

یک نمونه آزمایشگاهی مبدل پیشنهادی با ولتاژهای ورودی $48V_{DC}$ و $24V_{rms}$ با فرکانس $50Hz$ و ولتاژ خروجی $100V$ ساخته شد. در این نمونه توان خروجی $200W$ و فرکانس کلیدزنی $100kHz$ در نظر گرفته شد. طبق مشخصات مذکور المانهای مبدل مطابق [۱۷] طراحی گردیده و نتایج آن در جدول (۱) نمایش داده شده است. شکل (۸) موج جریان ورودی دوم را نشان می دهد که با توجه به آن، مقدار THD جریان 0.28 و ضریب توان 0.96 بدست می آید که نشان می دهد مدار به صورت اصلاح کننده ضریب توان به درستی کار می کند.



شکل (۷): شماتیک مبدل به همراه بلوک دیاگرام PWM Controller پیشنهادی با قابلیت اصلاح ضریب توان



شکل (۸): شکل موج جریان ورودی منبع AC





جدول (۱): مشخصات قطعات استفاده شده در نمونه‌ی آزمایشگاهی مبدل پیشنهادی

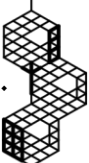
| Component | Value |
|---------------|-------------|
| L_{m1} | 300 μ H |
| L_{m2} | 200 μ H |
| L_{r1} | 5 μ H |
| L_{r2} | 45 μ H |
| C_s | 3.3nF |
| C_o | 220 μ F |
| S_1 & S_2 | IRF640 |
| S_a | IRFP250 |
| D_1 & D_2 | MUR840 |
| f_{sw} | 100kHz |
| P_{in1} | 110W |
| P_{in2} | 96W |
| P_{out} | 200W |

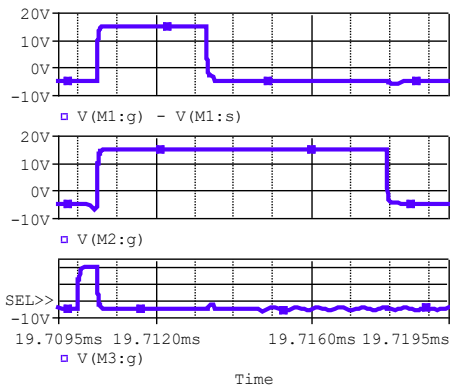
نتایج شبیه‌سازی نمونه‌ی مبدل پیشنهادی با نرم افزار PSpice در شکل (۹) نشان داده شده است. به منظور شبیه سازی حالت‌های گذرا و بدست آوردن راندمان دقیق از این نرم افزار در این قسمت استفاده شده است. همانگونه که از این شکل مشاهده می‌شود تمام المان‌های نیمه هادی در مبدل پیشنهادی تحت شرایط سوئیچینگ نرم روشن و خاموش می‌شوند. بطور خلاصه حالت خاموش و روشن شدن المان‌های نیمه‌هادی مطابق جدول (۲) می‌باشد.

جدول (۲): حالت روشن و خاموش شدن المان‌های نیمه‌هادی مبدل پیشنهادی دوم

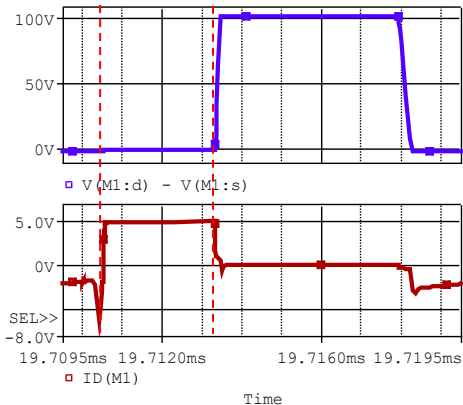
| | ON | Off |
|---------------|-------|-----|
| S_1 & S_2 | ZVS | ZVS |
| S_3 | ZVZCS | ZVS |
| D_1 | ZVS | ZCS |
| D_2 | ZVZCS | ZCS |

از شکل (۹-ب) می‌توان مشاهده کرد که استرس ولتاژ سوئیچ S_1 برابر V_o همچنین ماکزیمم جریان آن برابر 5A است. از شکل (۹-ج) مشاهده می‌شود که استرس ولتاژ سوئیچ S_2 برابر V_o و جریان ماکزیمم آن برابر 7A است همچنین از شکل (۹-د) مشاهده می‌شود که استرس ولتاژ سوئیچ کمکی حدود 140V است. و شبیه شکل موج‌های کلیدی دو سطح ولتاژ V_o و V_{Smax} قابل مشاهده است. همچنین این شکل نشان می‌دهد که جریان ماکزیمم سوئیچ کمکی حدود 7A است. نوسانات ولتاژ سوئیچ کمکی مربوط به رزونانس بین سلف L_{r2} با خازن پارازیتی D_1 است. وقتی سوئیچ کمکی خاموش می‌شود خازن پارازیتی آن با L_{r1} نوسان می‌کند این رزونانس، جریان که در شاخه‌ی موازی است را نوسانی می‌کند و جریان سوئیچ را نوسانی می‌کند. مبدل پیشنهادی با مبدل سوئیچینگ سخت از لحاظ راندمان مقایسه شد که در شکل (۱۰) مشاهده می‌گردد. این شکل نشان می‌دهد که راندمان در مبدل پیشنهادی به نسبت سوئیچینگ سخت ۲.۳٪ در بار نامی بهبود یافته است.

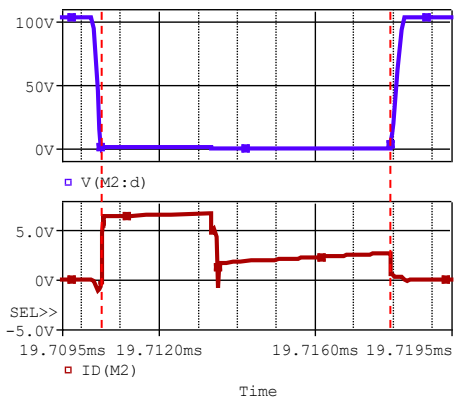




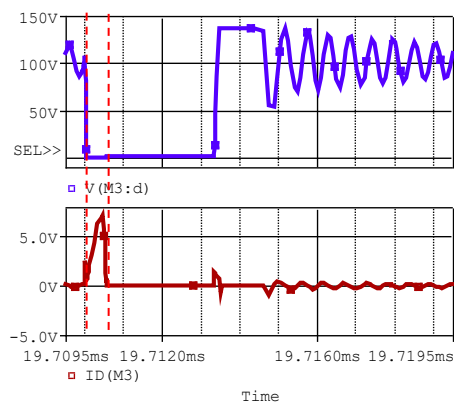
(الف)



(ب)

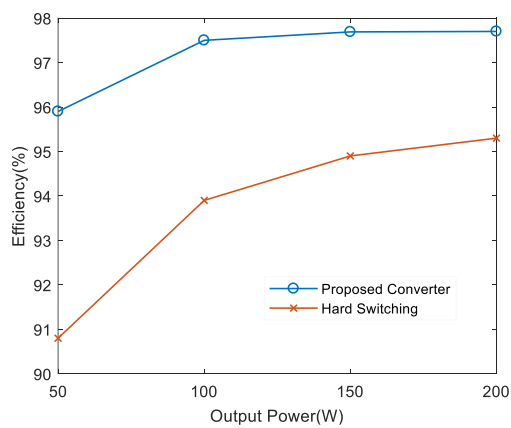


(ج)

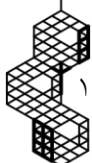


(د)

شکل (۹): الف- پالس گیت سوئیچ ها ب - ولتاژ (بالا) و جریان (پائین) سوئیچ S_1 ج - ولتاژ (بالا) و جریان (پائین) سوئیچ S_2 د- ولتاژ (بالا) و جریان (پائین) سوئیچ S_a



شکل (۱۰): مقایسه‌ی راندمان مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ سخت بر حسب توان خروجی



۶- نتیجه گیری

در این مقاله، یک مبدل دو ورودی بوست سوئیچینگ نرم با قابلیت اصلاح ضریب توان پیشنهاد شده است که تنها از یک سوئیچ کمکی برای دستیابی به شرایط سوئیچینگ نرم استفاده می کند. مشخصات مدار کمکی ساده است و تعداد عناصر کمی دارد. تمامی المان-های نیمه هادی تحت شرایط سوئیچینگ نرم روشن و خاموش می شوند. حالت های عملکرد مبدل پیشنهادی در حالت CCM توضیح داده شده است. یک مدارکنترلر با قابلیت اصلاح ضریب توان پیشنهاد شده است و با استفاده از آن مبدل شبیه سازی شده است. مقدار اعوجاج هارمونیک کل برای جریان ورودی برق متناوب ۰/۲۸ و مقدار ضریب توان ۰/۹۸ حاصل شده است که نشان دهنده صحت عملکرد مدار کنترلر است. نتایج شبیه سازی نمونه اولیه ی مبدل پیشنهادی، تحلیل نظری آن را تایید می کند. استرس ولتاژ و جریان سوئیچ ها در مقایسه با مبدل بوست دو ورودی سوئیچینگ سخت در شرایط یکسان افزایش نمی یابد. این مبدل می تواند در محدوده ی وسیعی از بار در شرایط سوئیچینگ نرم کار کند. و راندمان مبدل پیشنهادی نسبت به مبدل دو ورودی سوئیچینگ سخت ۲.۳ درصد بهبود یافته است.

مراجع

- [1] K. Gummi and M. Ferdowsi. "Derivation of new double-input dc-dc converters using h-bridge cells as building blocks. in *Industrial Electronics*", in *34th Annual Conference of IECON, 2008*, doi:10.1109/IECON.2008.4758403.
- [2] M. Anish John Paul, C. Agees Kumar and J. Jerusalin Carol, "Investigation on extendable multiport DC-DC boost converter for hybrid renewable energy systems", *Journal for Control, Measurement, Electronics, Computing and Communications*, vol.62, no.4, pp. 486-502, 2021, doi:10.1080/00051144.2021.1985704.
- [3] V. Prabhala, P. Fajri, V. Gouribhatla, B. Baddipadiga and M. Ferdowsi, "A DC-DC converter with high voltage gain and two input boost stages", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol.31, no.6, pp. 4206-4215, 2015, doi:10.1109/TPEL.2015.2476377
- [4] B. Nguyen, H. Cha, T. Nguyen and H. Kim, "Family of integrated multi-input multi-output DC-DC power converters", *International Power Electronics Conference Niigata, IEEE.2018*, doi:10.23919/IPEC.2018.8507791.
- [5] K. Varesi, S.H. Hosseini, M. Sabahi and E. Babaei, "Modular non-isolated multi-input high step-up dc-dc converter with reduced normalised voltage stress and component count", *IET Power electronics*. vol.11, no.6, pp. 1092-1100, 2018, doi:10.1049/iet-pel.2017.0483.
- [6] S.A. Gorji, M. Ektesabi and J. Zheng. "Double-input boost/Y-source DC-DC converter for renewable energy sources", in *2016 IEEE 2nd Annual Southern Power Electronics Conference, 2016*, doi:10.1109/SPEC.2016.7846020.
- [7] S.A. Gorji, H.G. Sahebi, M. Movahed and M. Ektesabi, "Multi-Input Boost DC-DC Converter with Continuous Input-Output Current for Renewable Energy Systems", in *4th International Future Energy Electronics Conference, 2019*, doi:10.1109/IFEEEC47410.2019.9014953.
- [8] S.H. Mirlohi, M.R. Yazdani, and M.R. Amini, "A ZVT Auxiliary Circuit for High Step-Up Multi-Input Converters with Diode-Capacitor Multiplier", *Majlesi Journal of Electrical Engineering*. vol.15, no.2, pp. 53-64, 2021, doi:10.52547/mjee.15.2.53.
- [9] M. Delshad, A.T. Harchegani, M. Karimi and M. Mahdavi, "A new ZVT Multi Input Converter for hybrid sources systems". in *International Conference on Applied Electronics, 2016*, doi:10.1109/AE.2016.7577242.
- [10] N. Anandh, "Double input soft-transition DC-DC converter for photo-voltaic applications", in *International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology, 2016*, doi:10.1109/RTEICT.2016.7808217.
- [11] M. Foroughi and M.R. Amini, "A New Dual Input Boost Converter with Zero Voltage Switching", *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Electrical Engineering*, pp. 1-9, 2020, doi:10.1007/s40998-020-00383-9.
- [12] R.J. Wai, C.Y. Lin, J.J. Liaw and Y.R. Chang, "Newly designed ZVS multi-input converter". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.58, no.2, pp. 555-566, 2011, doi:10.1109/TIE.2010.2047834.
- [13] M.R. Amini, M. Mahdavi, A. Emrani and H. Farzanehfard, "Soft switching bridgeless power factor correction with reduced conduction losses and no stresses", *IET Power Electronics*, vol.5, no.3, pp. 334-340, 2012, doi:10.1049/iet-pel.2011.0101.



- [14] A. Emrani, M.R. Amini and H. Farzanehfard, "Soft single switch resonant buck converter with inherent PFC feature", *IET Power Electronics*, vol.6, no.3, pp. 516-522, 2013, doi:10.1049/iet-pel.2012.0092.
- [15] Moury, S. and J. Lam. "New soft-switched high frequency multi-input step-up/down converters for high voltage DC-distributed hybrid renewable systems". in *Energy Conversion Congress and Exposition*, 2017, doi:10.1109/ECCE.2017.8096923.
- [16] M.M. Amin and O.A. Mohammed. "A novel grid-connected multi-input boost converter for HEVs: Design and implementation". in *2012 IEEE International Electric Vehicle Conference*. 2012, doi:10.1109/IEVC.2012.6183243.
- [17] M. Foroughi, M.R. Amini, M.R. Yazdani and E. Adib, "A New Dual Input Boost Converter with Coupled Inductors", *International Journal of Electronics*, Published Online, Sep. 2022, doi:10.1080/00207217.2022.2118856.

زیر نویس ها

-
- 1 Renewable energy sources
 - 2 Multi-input converters
 - 3 Modular
 - 4 Boost converter
 - 5 Continues current mode
 - 6 Hard switching
 - 7 Soft switching
 - 8 Power factor correction
 - 9 Discontinues current mode

