

## A New Soft Switching Two Input Converter for Hybrid Green Energy Systems

Ahmed Abdulkadhim Issa Albehadili<sup>1</sup>, MSc., Mohammad Hosein Ershadi<sup>2</sup>, Assistant Professor

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Khorasgan, Isfahan, Iran

<sup>2</sup>Department of Electrical Engineering, Khomeinishahr Branch, Islamic Azad University, khomeinishahr, Iran

### Abstract:

In this paper, a new two-input converter with zero voltage switching for green energy hybrid systems is presented. In the proposed converter, a new auxiliary circuit is used to create zero voltage switching with the least number of auxiliary elements. The auxiliary circuit not only provides zero voltage switching conditions, but also absorbs the energy of the leakage inductance and prevents voltage spikes across the main switches. On the other hand, the use of coupled-inductors also increases the gain of the converter and greatly reduces the voltage stress on the switches. The proposed converter has been designed with a 120 watts power and simulated in PSICE software, and also a prototype has been made to prove the theoretical analysis of the circuit.

**Keywords:** Two-input boost converter, Coupling inductors, Zero voltage switching, Auxiliary circuit

**Received:** 21 November 2023

**Revised:** 28 January 2024

**Accepted:** 24 February 2024

**Corresponding Author:** Dr. Mohammad Hosein Ershadi, ershadi@iaukhsh.ac.ir

DOI: <http://dx.doi.org/10.30486/teeges.2024.2001875.1115>



## فناوری‌های نوین مهندسی برق در سیستم انرژی سبز

### یک مبدل دو ورودی جدید با کلیدزنی نرم برای سیستم‌های هیبرید انرژی سبز

احمد عبدالکاظم عیسی<sup>۱</sup>، کارشناسی ارشد، محمد حسین ارشادی<sup>۲</sup>، استادیار

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

۲- دانشکده مهندسی برق، واحد خمینی شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خمینی شهر، ایران

**چکیده:** در این مقاله یک مبدل دو ورودی جدید با کلیدزنی در ولتاژ صفر برای سیستم‌های هیبرید انرژی سبز ارائه شده است. در مبدل پیشنهادی از یک مدار کمکی جدید برای ایجاد شرایط کلیدزنی در ولتاژ صفر با کمترین تعداد المان کمکی استفاده شده است. مدار کمکی نه تنها شرایط کلیدزنی در ولتاژ صفر را فراهم می‌کند بلکه انرژی سلف ناشی را نیز در خود جذب کرده و مانع جهش‌های ولتاژ دو سر سوییچ‌های اصلی مدار می‌شود. از طرفی استفاده از سلف‌های تزویج شده نیز بهره مبدل را افزایش داده و استرس ولتاژ روی سوییچ‌ها را به شدت کاهش می‌دهد. مبدل پیشنهادی در توان ۱۲۰ وات طراحی و در نرم افزار PSpice شبیه سازی شده است و همچنین برای اثبات تحلیل‌های تئوری مدار یک نمونه آزمایشگاهی از آن ساخته شده است.

**واژه‌های کلیدی:** مبدل دو ورودی، کلیدزنی نرم، بهره ولتاژ بالا، کلیدزنی در ولتاژ صفر

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۳۰

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵

نویسنده مسئول: دکتر محمد حسین ارشادی، [ershadi@iaukhsh.ac.ir](mailto:ershadi@iaukhsh.ac.ir)

DOI: <http://dx.doi.org/10.30486/teeges.2024.2001875.1115>





## ۱- مقدمه

در حال حاضر با توجه به کاهش سوخت‌های فسیلی و آلودگی این نوع انرژی‌ها، انرژی خورشیدی، انرژی باد و... مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر روز به روز در حال افزایش است [۱-۳]. با این حال، در بیشتر موارد، این انرژی‌ها به تنهایی نمی‌توانند انرژی لازم را تامین کنند [۴]. به عنوان مثال، هنگامی که از انرژی خورشیدی استفاده می‌شود، به یک منبع ثانویه برای تامین برق در تاریکی نیاز است، یا برای مثال در یک خودروی برقی کم مصرف، حتی اگر نیروی مورد نیاز از نور خورشید در طول روز تامین شود. هنگامی که خودرو در حال شتاب‌گیری است، به منبع ثانویه نیاز دارد تا نیروی مورد نیاز برای شتاب‌گیری خودرو را تامین کند [۵-۷]. امروزه تعداد برنامه‌هایی که به بیش از یک منبع تغذیه نیاز دارند در حال افزایش است. بنابراین باید روش‌هایی برای استفاده از منابع مختلف ارائه شود. می‌توان منابع را به‌طور جداگانه توسط مبدل مناسب با تزریق به خط ولتاژ استفاده کرد، اما روش مذکور با استفاده از مبدل جداگانه برای هر منبع، که تا حد زیادی هزینه مورد نیاز را افزایش می‌دهد [۸،۹]. بسته به تعداد موارد درگیر متفاوت است. به همین دلیل تحقیقاتی برای به دست آوردن مبدل‌هایی انجام شده است که بتوانند روی منابع مختلف کار کنند و توان خروجی را تامین کنند و مبدل‌های چند ورودی با هدف کاهش هزینه‌ها و افزایش راندمان معرفی شده‌اند. در این رویکرد، یک مبدل چند ورودی قدرت الزامات لازم را فراهم می‌کند [۱۰]. از مزایای این روش می‌توان به بهینه سازی، کاهش اندازه مدار و تعداد قطعات و در نتیجه کاهش هزینه‌ها اشاره کرد [۱۱-۱۵].

مبدل‌های چند ورودی را می‌توان به دو دسته مبدل‌های متصل<sup>۱</sup> مغناطیسی و مبدل‌های متصل الکتریکی، بسته به نحوه انتقال توان به خروجی تقسیم کرد. [۱۶-۲۰] در ترانسفورماتورهای متصل مغناطیسی، توان مورد نیاز از طریق ایجاد جریان در هسته ترانسفورماتور و انتقال آن به خروجی [۲۱-۲۳] تامین می‌شود، اما در ترانسفورماتورهای متصل گالوانیکی، توان مورد نیاز از طریق اتصال صحیح اولیه ترانسفورماتور به ترانسفورماتور تامین می‌شود [۲۴،۲۵].

مبدل‌های دو ورودی به خاطر امکان استفاده از دو منبع جداگانه و مجتمع سازی دو مبدل در یک مبدل بسیار در سیستم‌های انرژی سبز متداول گشته‌اند [۲۶]. این مبدل‌ها بایستی دارای بهره ولتاژ بالا باشند تا هم بتوانند ولتاژ پایین سلول‌های خورشیدی و پیل‌های سوختی و غیره را افزایش دهند و هم از استرس ولتاژ روی سوئیچ‌ها بکاهند تا امکان استفاده از سوئیچ‌های ارزان‌تر با مقاومت درین-سورس پایین‌تر فراهم شده و تلفات هدایتی نیز کاهش یابد [۲۷-۲۹]. همچنین استفاده از تکنیک‌های کلیدزنی نرم<sup>۲</sup> امکان افزایش فرکانس کلیدزنی<sup>۳</sup> و افزایش چگالی توان<sup>۴</sup> مبدل را فراهم می‌سازد [۳۰-۳۲].

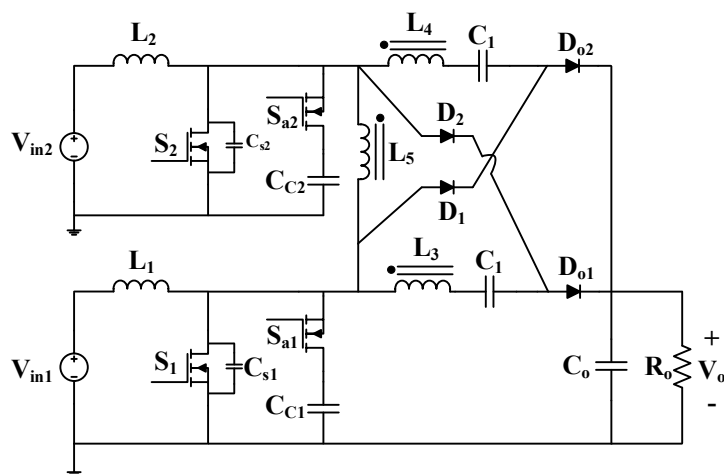
در این مقاله یک مبدل دو ورودی تک خروجی جدید با بهره ولتاژ بالا و راندمان بالا ارائه شده است. از طرفی کلیدزنی در ولتاژ صفر<sup>۵</sup> برای همه سوئیچ‌های مبدل از جمله سوئیچ‌های کمکی فراهم شده است. از ویژگی‌های دیگر مبدل ریپل جریان پایین ورودی و تعداد المان پایین مدار کمکی می‌باشد. در واقع نوآوری مبدل استفاده از خازن‌های کلمپ برای جذب انرژی سلف نشستی<sup>۶</sup> برای جلوگیری از جهش‌های ناخواسته<sup>۷</sup> دوسر سوئیچ و همزمان ایجاد شرایط کلیدزنی در ولتاژ صفر برای سوئیچ‌های اصلی و کمکی است. همچنین سوئیچ‌های کمکی بصورت مکمل<sup>۸</sup> با سوئیچ‌های اصلی روشن می‌شوند لذا تولید پالس‌های کنترل آن پیچیده نیست و با یک گیت نقیض<sup>۹</sup> امکان پذیر است.

در این مقاله ابتدا مبدل پیشنهادی معرفی و شرح عملکرد آن ارائه می‌شود سپس در بخش ۳ مبدل به صورت کامل تحلیل شده و نتایج شبیه سازی و عملی آن در بخش ۴ آورده شده است. نهایتاً مبدل پیشنهادی با مبدل‌های مشابه مقایسه می‌گردد.

## ۲- مبدل دو ورودی-تک خروجی پیشنهادی

مبدل دو ورودی-تک خروجی پیشنهادی در شکل ۱ آورده شده است. این مبدل دارای دو قسمت عمده می‌باشد. قسمت اول برای افزایش بهره است که دارای یک هسته با سه سلف  $L_1$ - $L_2$ - $L_3$ ، دو سلف ورودی  $L_1$  و  $L_2$ ، دو سوئیچ اصلی  $S_1$  و  $S_2$ ، دو خازن سری  $C_1$  و  $C_2$  و دو دیود  $D_1$  و  $D_2$ ، دو دیود خروجی  $D_{o1}$  و  $D_{o2}$  و یک خازن خروجی  $C_o$  می‌باشد. قسمت دوم مدار کمکی شامل سوئیچ‌های کمکی  $S_{a1}$  و  $S_{a2}$ ، خازن‌های  $C_{c1}$  و  $C_{c2}$  و خازن‌های اسنابر  $C_{s1}$  و  $C_{s2}$  می‌باشد که سوئیچ‌های آن به صورت مکمل با سوئیچ‌های اصلی روشن و خاموش می‌شوند و شرایط کلیدزنی در ولتاژ صفر را برای سوئیچ‌ها فراهم می‌کند.





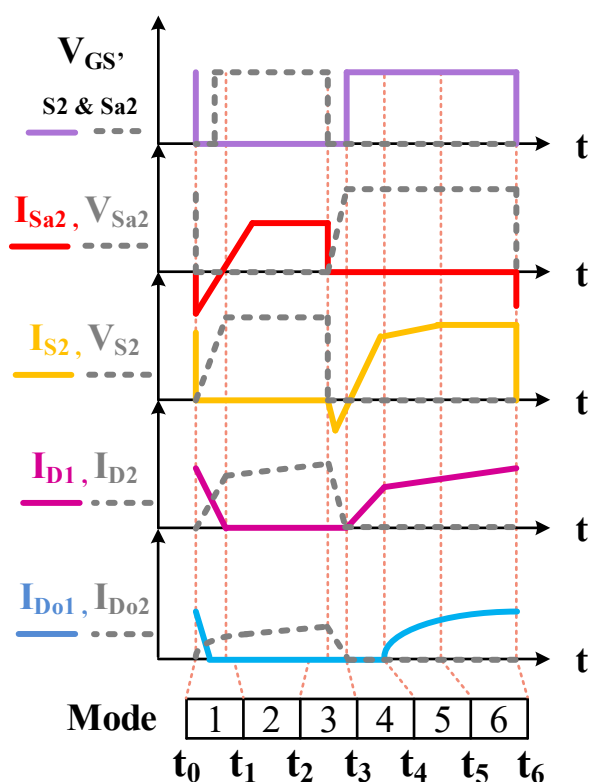
شکل (۱): نمای شماتیک مبدل دو ورودی پیشنهادی

## ۱-۲- عملکرد مبدل پیشنهادی

مبدل پیشنهادی دارای ۶ وضعیت عملکرد است. شکل ۲ موج‌های کلیدی مبدل را نشان می‌دهد. برای سادگی تحلیل فرضیات زیر در نظر گرفته شده است.

- خازن‌های  $C_1$  و  $C_2$  و  $C_0$  به اندازه کافی بزرگ هستند و در تحلیل، ولتاژ آنها ثابت فرض می‌شود.
- سلف‌های  $L_1$  و  $L_2$  به اندازه کافی بزرگ هستند و جریان آنها ثابت فرض می‌شود.
- المان‌های نیمه هادی ایده آل فرض می‌شوند.

مدارهای معادل هر وضعیت در شکل ۳ نشان داده شده است. سوئیچ‌های اصلی با اختلاف فاز  $180^\circ$  درجه کلیدزنی می‌شوند. قبل از وضعیت اول سوئیچ‌های  $S_2$  و  $S_{a1}$  روشن و  $S_{a2}$  و  $D_{o1}$  خاموشند. همچنین دیود  $D_{o1}$  روشن و  $D_{o2}$  خاموش است.



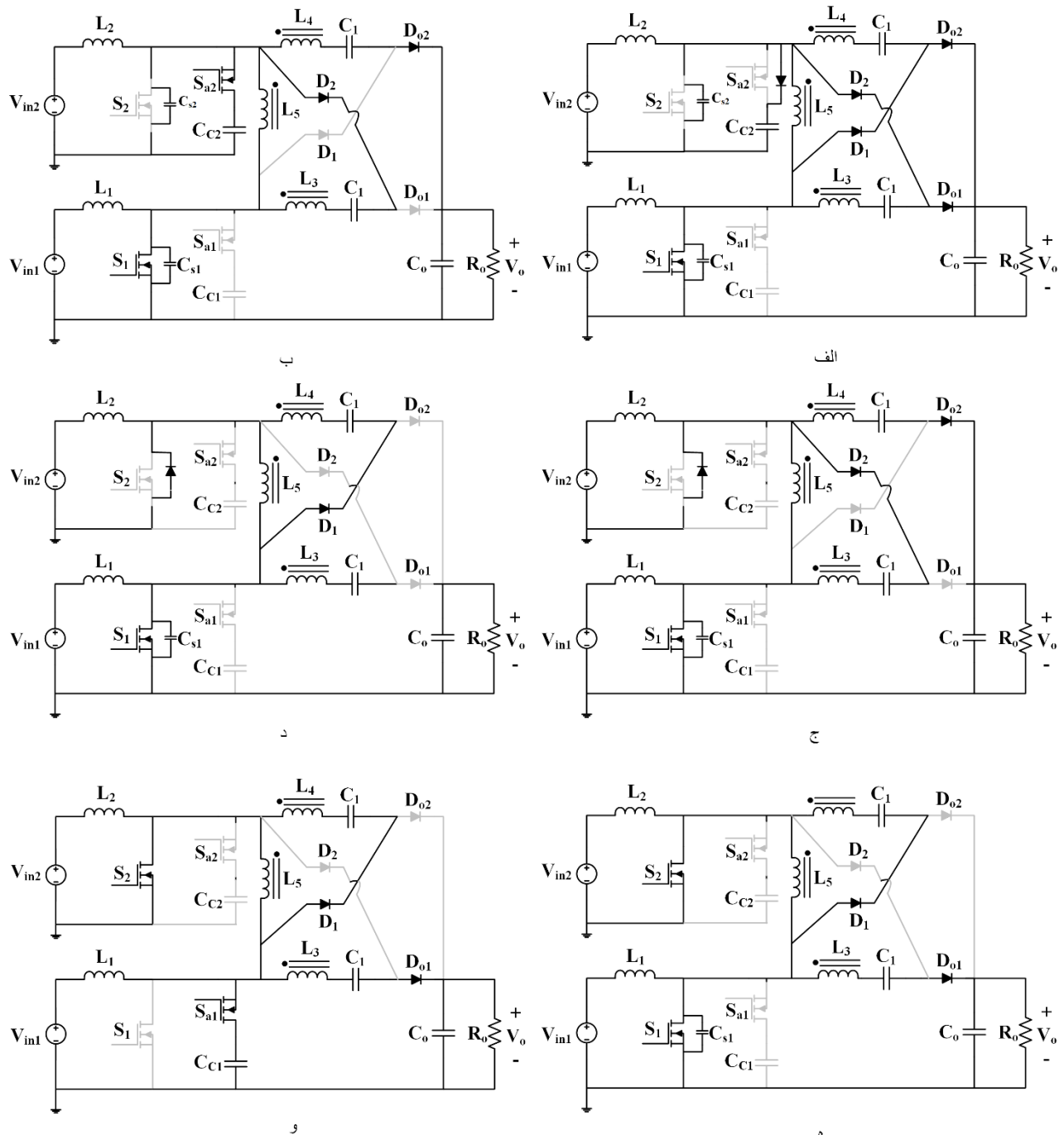
شکل (۲): شکل موج‌های کلیدی مبدل دو ورودی پیشنهادی



وضعیت اول: در این وضعیت سوئیچ  $S_2$  خاموش می‌شود. سلف نشستی، ترانسفورمر سه سیم پیچ خازن ضربه گیر  $S_{a2}$  را به صورت رزونانسی دشارژ می‌کند و موجب می‌گردد تا دیود بدنه آن روشن شود. از طرفی خازن  $S_2$  توسط  $L_2$  خطی شارژ می‌شود. دیود  $D_2$  نیز به صورت ZC روشن می‌شود. این وضعیت با شارژ کامل  $C_{s2}$  تا مقدار  $\frac{V_0}{2n+2}$  به پایان می‌رسد.

وضعیت دوم: با شارژ کامل  $C_{s2}$ ، دیود  $D_{o2}$  روشن می‌شود و سلف  $L_2$  شروع به تخلیه در بار می‌کند. از طرفی  $D_2$  روشن است و خازن  $C_1$  از مسیر آن شارژ می‌شود و خازن  $C_2$  از طریق  $D_{o2}$  دربار دشارژ می‌شود.

وضعیت سوم: در این وضعیت جریان  $S_1$  و  $S_{a2}$  ثابت شده و  $L_1$  خطی شارژ می‌شود و  $L_2$  خطی دشارژ می‌گردد. این وضعیت با خاموش شدن  $S_{a2}$  تمام می‌شود.



شکل (۳): وضعیت‌های عملکرد مبدل در یک سیکل کلیدزنی الف-وضعیت اول ب- وضعیت دوم ج- وضعیت سوم د-وضعیت چهارم ه-وضعیت پنجم و- وضعیت ششم





وضعیت چهارم: این وضعیت با خاموش شدن  $S_{a2}$  آغاز و خازن  $C_{S2}$  توسط سلف نشستی به صورت رزونانسی دشارژ و دیود بدنه  $S2$  روشن می‌شود. از این لحظه به بعد  $S2$  می‌تواند تحت شرایط ZV روشن شود. این وضعیت با شارژ کامل  $C_{S2}$  تا سطح  $\frac{V_o}{2n+2}$  تمام می‌شود. وضعیت پنجم: در این وضعیت دیودهای  $D_1$  و  $D_{o1}$  روشن هستند و خازن  $C_2$  از طریق  $D_1$  شارژ می‌شود و خازن  $C_1$  از مسیر  $D_{o1}$  در خروجی تخلیه می‌شود. وضعیت ششم: در این وضعیت جریان سوئیچ‌های  $S_2$  و  $S_{a1}$  ثابت شده و سلف  $L_2$  خطی شارژ می‌شود. این وضعیت با خاموش شدن سوئیچ اصلی  $S_2$  پایان می‌پذیرد.

### ۳- تحلیل مدار پیشنهادی

در این قسمت مبدل پیشنهادی به صورت کامل از نظر استرس ولتاژ المان‌ها، بهره و ... بررسی می‌گردد.

#### ۳-۱- بهره مبدل

با نوشتن بالانس ولت ثانیه روی سلف‌های ورودی  $L_1$  و  $L_2$ ، ولتاژ خازن‌های  $C_{C1}$  و  $C_{C2}$  به دست می‌آید. همچنین با نوشتن یک رابطه KVL در خروجی بهره به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$V_{in}DT + (V_{in} - V_{CC})(1 - D)T = 0 \quad (1)$$

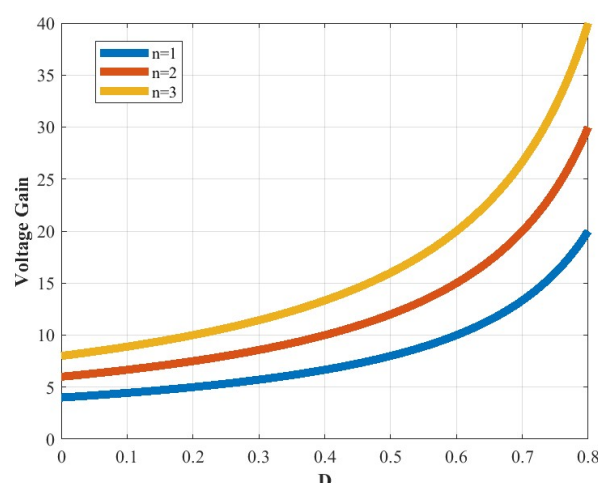
$$V_{CC} = \frac{V_{in}}{1 - D} \quad (2)$$

$$V_o = 2V_{L5} + V_{L3} + V_{L4} \quad (3)$$

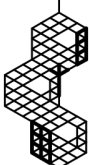
$$M = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{2(n+1)}{1-D} \quad (4)$$

$$n = \frac{nL_4}{nL_5} = \frac{nL_3}{nL_5} \quad (5)$$

شکل ۴ نمودار بهره را به ازای مقادیر مختلف ضریب وظیفه و نسبت دور را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش نسبت دور بهره افزایش می‌یابد.



شکل (۴): نمودار بهره را به ازای مقادیر مختلف ضریب وظیفه و نسبت دور





### ۳-۲- استرس سوئیچ‌ها و دیودها

برای محاسبه استرس ولتاژ سوئیچ‌ها و دیودها کافیهست یک KVL در حلقه آنها وقتی المان خاموش است نوشت و ماکزیمم ولتاژ استرس را محاسبه نمود. از آنجایی که سوئیچ‌های اصلی و کمکی در یک حلقه با خازن کلمپ سری هستند و به صورت مکل روشن می‌شوند لذا با روشن شدن یک سوئیچ سوئیچ دیگر خاموش بوده و ولتاژ آنها برابر خازن کلمپ می‌گردد که مطابق با رابطه‌های ۲ و ۴ می‌توان مقدار آنها را مطابق رابطه ۶ به دست آورد.

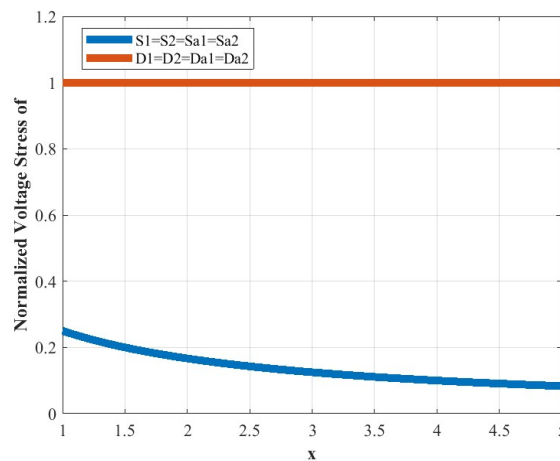
$$V_{S1} = V_{S2} = V_{Sa1} = V_{Sa2} = \frac{V_{in}}{1-D} = \frac{V_o}{2n+2} \quad (6)$$

$$V_{Do1} = V_{Do2} = V_{D1} = V_{D2} = V_o \quad (7)$$

$$I_{av}(D_{O1}) = I_{av}(D_{O2}) = \frac{I_o}{2} \quad (8)$$

$$I_{av}(D_1) = I_{av}(D_2) = \frac{I_o}{2} \quad (9)$$

شکل ۵ نمودار استرس المان‌های مبدل را بر حسب تغییرات نسبت دور نشان می‌دهد.



شکل (۵): نمودار استرس المان‌های مبدل را بر حسب تغییرات نسبت دور

### ۳-۳- طراحی سلف $L_1$ و $L_2$

برای طراحی سلف‌های ورودی با سستی از رابطه‌ی پایه استفاده کرد.

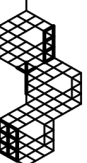
$$L_1 = L_2 = \frac{V_{in}D}{f\Delta I_L} = \frac{2V_{in}D}{fI_{in}} \quad (10)$$

### ۳-۴- طراحی خازن‌های $C_1$ و $C_2$ و $CC_1$ و $CC_2$

با داشتن ریپل مجاز خازن‌های  $C_1$  و  $C_2$  و  $CC_1$  و  $CC_2$  و استفاده از رابطه بیس خازن می‌توان اندازه خازن‌ها را محاسبه کرد.

$$C_1 = C_2 = \frac{I_o}{2f\Delta V_C} \quad (11)$$

$$CC_1 = CC_2 = \frac{(n+1)I_o}{4f\Delta V_{CC}} \quad (12)$$





#### ۴- نتایج شبیه‌سازی مبدل دو ورودی بسیار افزاینده پیشنهادی

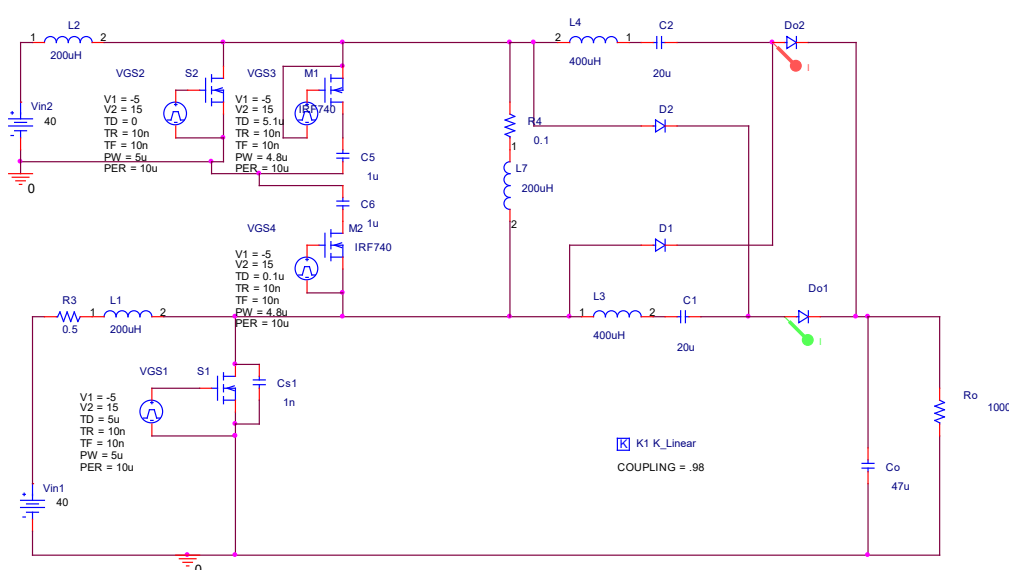
مبدل دو ورودی پیشنهادی برای توان ۱۲۰ وات و ولتاژ خروجی ۳۸۰ ولت شبیه‌سازی شده و تمامی المان‌ها و مقادیرهای آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده‌است. به منظور بررسی صحت عملکرد تحلیل‌های صورت گرفته مبدل پیشنهادی در نرم افزار PSpice شبیه‌سازی شده است.

شماتیک مبدل شبیه‌سازی شده در شکل (۶) و نتایج شبیه‌سازی آن در شکل‌های (۷) تا (۱۰) نشان داده شده‌است. شکل‌های (۷) و (۸) شکل موج ولتاژ و جریان سوئیچ‌های  $S_1$  و  $S_{a1}$  را نشان می‌دهند با توجه به این شکل‌ها، جریان سوئیچ در لحظه روشن شدن سوئیچ‌ها منفی بوده و دیود بدنه سوئیچ هدایت کرده و شرایط کلیدزنی ZVS برای سوئیچ‌ها برقرار است. بنابراین سوئیچ‌ها تلفات روشن شدن خازنی ندارند. سوئیچ‌های  $S_2$  و  $S_{a2}$  نیز دقیقاً شبیه سوئیچ‌های مذکور می‌باشند.

در شکل (۹) شکل موج جریان دیودهای  $D_{o1}$  و  $D_{o2}$  آورده شده‌است که نشان دهنده ZCS روشن و خاموش شدن آنها است. شکل (۱۰) شکل موج جریان دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  مبدل پیشنهادی نشان داده شده‌است. شرایط این دیودها نیز مانند دیودهای خروجی است و بنابراین دیودها مشکل بازیابی معکوس ندارند.

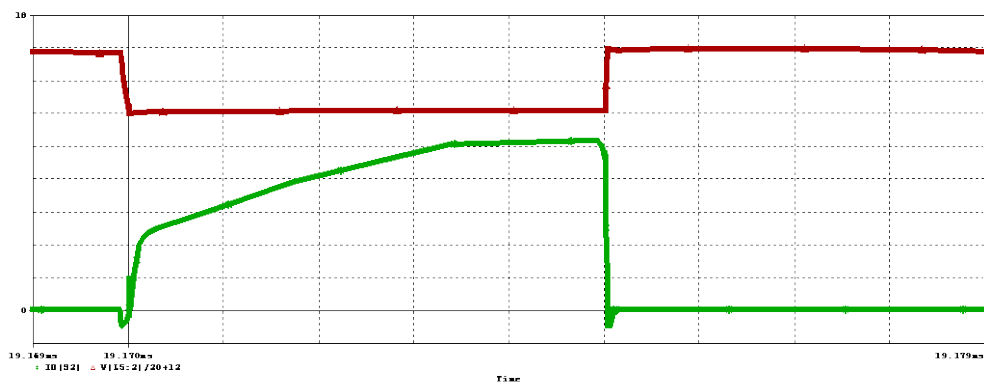
جدول (۱): مشخصات مبدل پیشنهادی و مقادیر المان‌های آن

| نام قطعه/مقدار | المان‌ها/ مشخصات      |
|----------------|-----------------------|
| IRF740         | Switches              |
| MUR860         | All diodes            |
| 200 $\mu$ H    | $L_1, L_2$            |
| 200 $\mu$ H    | $L_m$                 |
| 1nF            | $C_{s1}, C_{s2}$      |
| 10 $\mu$ F     | $C_1, C_2, C_c$       |
| 47 $\mu$ F     | $C_o$                 |
| 1.4            | n                     |
| 120W           | $P_o$                 |
| 380V           | ولتاژ خروجی ( $V_o$ ) |
| 100kHz         | فرکانس کلیدزنی        |

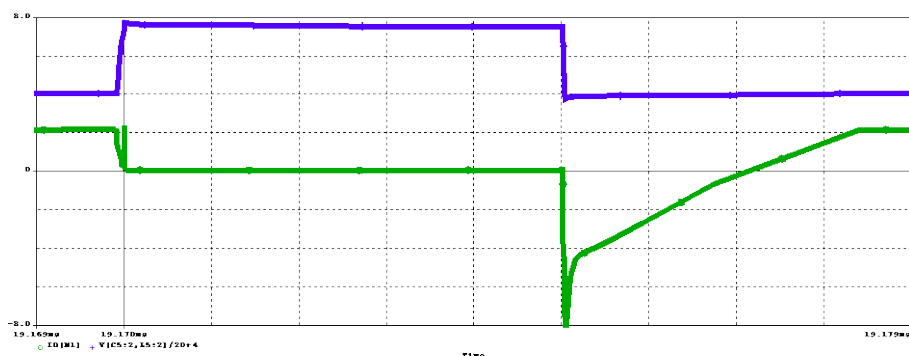


شکل (۶): شماتیک مبدل شبیه‌سازی شده بسیار افزاینده دو ورودی پیشنهادی در نرم افزار PSpice

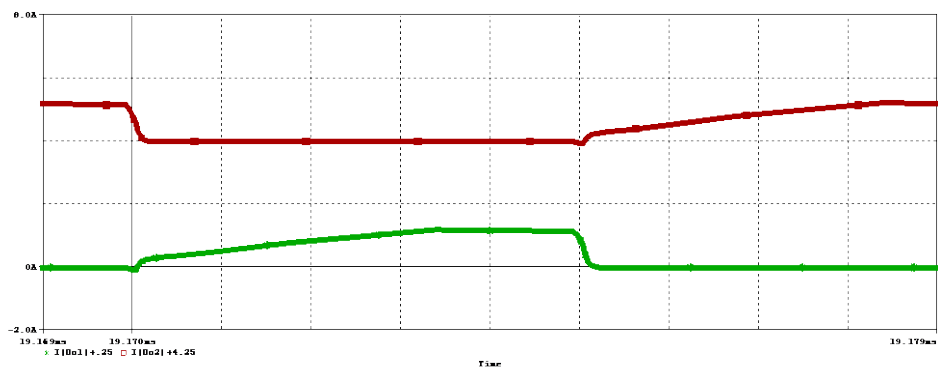




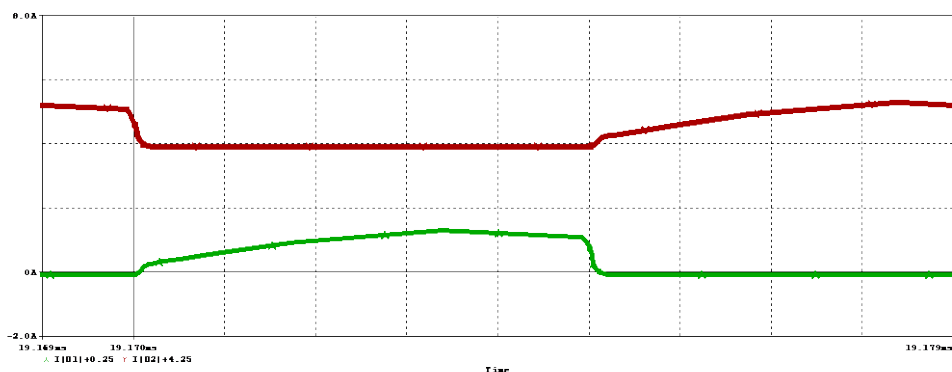
شکل (۷): شکل موج ولتاژ (بالا) و جریان (پایین) سوئیچ  $S_1$  مبدل شبیه سازی شده ( $40V/div, 2A/div, 1\mu s/div$ )



شکل (۸): شکل موج ولتاژ (بالا) و جریان (پایین) سوئیچ  $S_{a1}$  مبدل شبیه سازی شده ( $40V/div, 2A/div, 1\mu s/div$ )



شکل (۹): شکل موج جریان دیود  $D_{o1}$  (پایین) و  $D_{o2}$  (بالا) مبدل شبیه سازی شده ( $2A/div, 1\mu s/div$ )

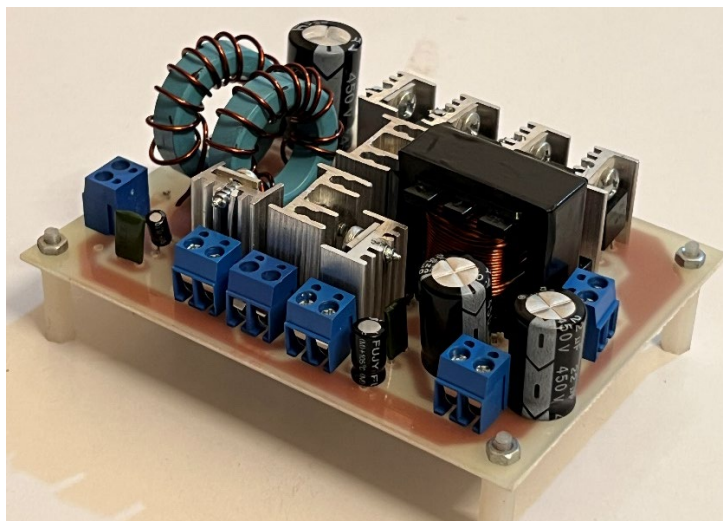


شکل (۱۰): شکل موج جریان دیود  $D_2$  (بالا) و جریان دیود  $D_1$  (پایین) مبدل شبیه سازی شده ( $2A/div, 1\mu s/div$ )



## ۵- نتایج عملی مبدل دو ورودی پیشنهادی

برای بررسی صحت تحلیل‌های تئوری، یک نمونه آزمایشگاهی ۱۲۰ وات از مبدل پیشنهادی پیاده‌سازی شده و مورد آزمایش قرار گرفته‌است. تصویر نمونه آزمایشگاهی مبدل پیشنهادی در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود. شکل موج‌های عملی مربوط به ولتاژ و جریان سوئیچ‌ها و دیودهای مبدل پیشنهادی در شکل (۱۲) نشان داده شده‌است. با توجه به این شکل‌ها، همه‌ی سوئیچ‌ها و دیودهای مبدل پیشنهادی تحت شرایط کلیدزنی نرم عمل می‌کنند. شکل‌های ۱۲الف و ب شرایط ZVS برای لحظه‌های روشن شدن کلیدهای اصلی و کمکی  $S_1$ ,  $S_{a1}$  مبدل را نشان می‌دهد و همان‌گونه که مشخص است، بیشینه ولتاژ کلیدهای اصلی مبدل ۸۰ ولت می‌باشد؛ بنابراین موجب کاهش تلفات هدایتی مبدل پیشنهادی می‌شود.



شکل (۱۱): نمونه آزمایشگاهی مبدل پیشنهادی پیاده سازی شده

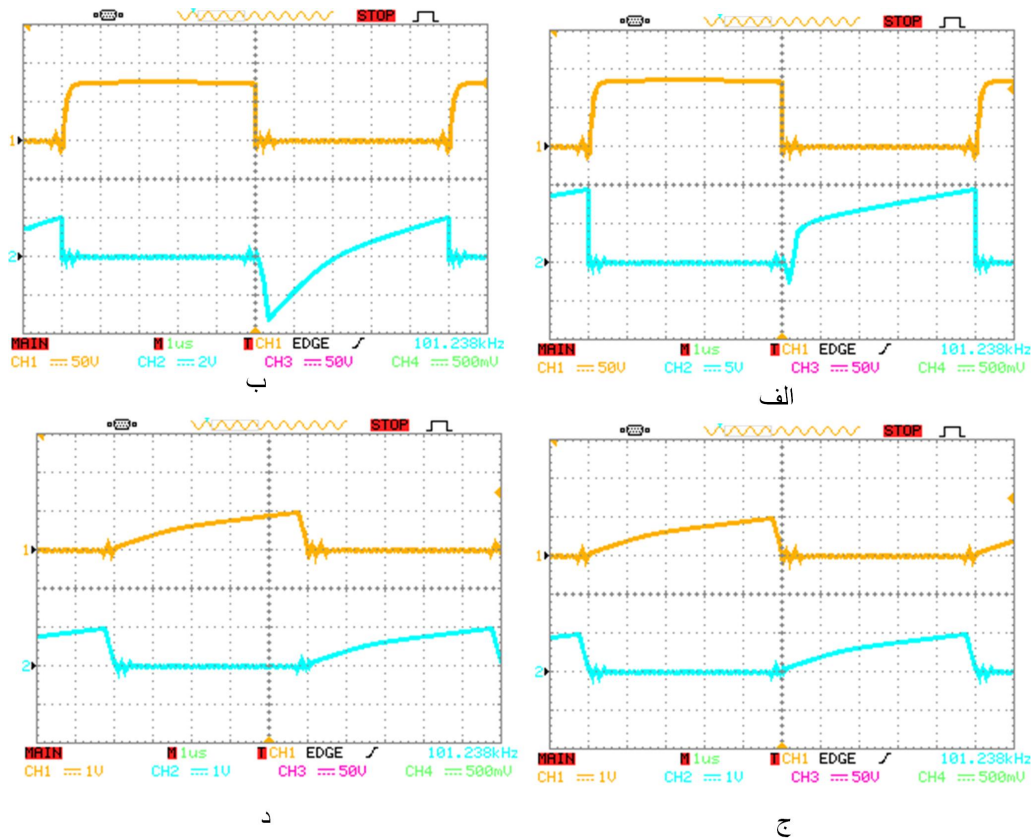
در شکل‌های (۱۲) ج و د عملکرد کلیدزنی نرم را به ترتیب برای دیودهای  $D_{O1}$  و  $D_{O2}$  و دیودهای  $D_1$  و  $D_2$ ، را نشان می‌دهد که در لحظه‌ی روشن و خاموش شدن آن‌ها شرایط ZCS برقرار است.

## ۶- مقایسه مبدل دو ورودی پیشنهادی با مبدل‌های دو ورودی پیشین

در این قسمت مبدل دو ورودی پیشنهادی با مبدل‌های دو ورودی دیگر از نظر تعداد المان، نوع کلیدزنی، استرس ولتاژ روی سوئیچ‌ها و بهره مقایسه می‌شود. همان‌طور که در جدول (۲) آورده شده است، مبدل پیشنهادی از مبدل‌های [۳۱] و [۳۲] دارای تعداد المان بالاتری است ولی بهره مبدل پیشنهادی بسیار بالاتر و استرس ولتاژ روی سوئیچ‌ها بسیار پایین‌تر از مبدل‌ها می‌باشد. در ضمن ریفیل مرجع [۳۱] بالا است و برای انرژی سبز مناسب نیست. مبدل‌های [۳۰] و [۳۳] علاوه بر تعداد المان بالاتر دارای بهره پایین‌تر و استرس بالاتر از مبدل پیشنهادی هستند. از طرفی سوئیچ‌های مبدل [۳۳] دارای تلفات خازنی روشن شدن می‌باشد.

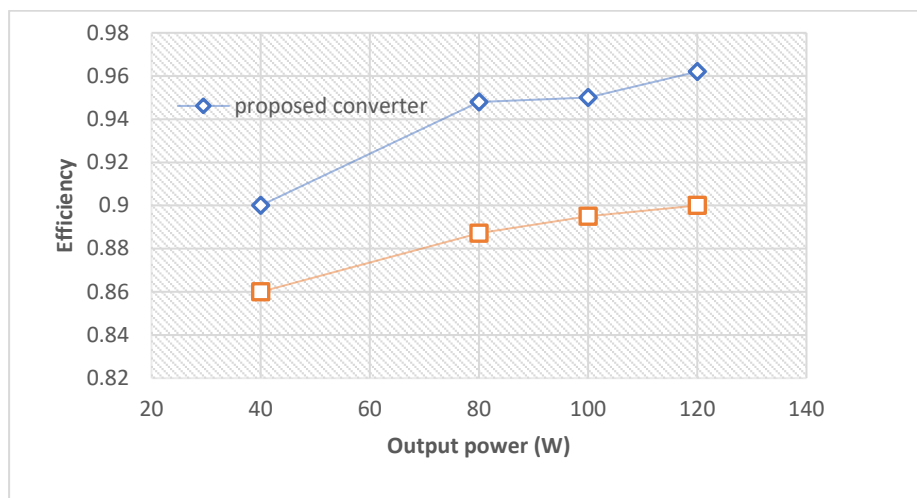
جدول (۲): مقایسه پارامترهای مبدل دو ورودی با مبدل‌های ارائه شده پیشین

| مبدل پیشنهادی         | [۳۳]        | [۳۲]    | [۳۱]        | [۳۰]    | مرجع                  |
|-----------------------|-------------|---------|-------------|---------|-----------------------|
| پارامتر               |             |         |             |         |                       |
| تعداد المان           | ۲۰          | ۱۱      | ۱۶          | ۲۰      | تعداد المان           |
| تعداد سوئیچ           | ۲           | ۳       | ۳           | ۳       | تعداد سوئیچ           |
| نوع کلیدزنی           | ZC          | ZV      | ZV          | ZV      | نوع کلیدزنی           |
| بهره ولتاژ            | $(n+1)/1-D$ | $1/1-D$ | $(n+1)/1-D$ | $2/1-D$ | بهره ولتاژ            |
| استرس ولتاژ روی سوئیچ | $V_o/(n+1)$ | $V_o$   | $V_o/(n+1)$ | $V_o/2$ | استرس ولتاژ روی سوئیچ |
| ریپل جریان ورودی      | پایین       | پایین   | بالا        | پایین   | ریپل جریان ورودی      |

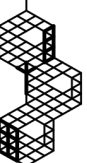


شکل (۱۲) شکل موج‌های عملی مبدل دو ورودی پیشنهادی الف- شکل موج ولتاژ (بالا) و جریان (پایین) سوئیچ  $S_1$  ب- شکل موج ولتاژ (بالا) و جریان (پایین) سوئیچ  $S_{a1}$  ج- شکل موج جریان دیودهای  $D_1$  و  $D_2$  (بالا) د- شکل موج جریان دیودهای  $D_{o1}$  و  $D_{o2}$  (بالا)

در شکل (۱۳) نمودار راندمان مبدل بسیار افزایشده دو ورودی پیشنهادی نسبت به مبدل بسیار افزایشده دو ورودی سوئیچینگ سخت (بدون مدار کمکی) نشان داده شده است. به خاطر وجود سلف تزویج شده در مدار لازم است که حتماً برای مبدل سوئیچینگ سخت از مدار کلمپ برای سوئیچ‌ها استفاده شود که به خاطر وجود مقاومت در این مدار تلفات مدار افزایش یافته و موجب کاهش راندمان شده است. همان‌طور که در شکل (۱۸) نیز مشخص است راندمان مبدل در شرایط سوئیچینگ نرم نسبت به مبدل در شرایط سوئیچینگ سخت افزایش یافته است. علت کاهش محسوس راندمان در بار سبک از بین رفتن کلیدزنی نرم در بار سبک می‌باشد. با توجه به شکل (۱۳)، راندمان مبدل پیشنهادی در توان نامی ۱۲۰ وات ۹۶٪ بوده که نسبت به نمونه سوئیچینگ سخت حدود ۶٪ افزایش یافته است.



شکل (۱۳): نمودار بازده مبدل پیشنهادی نسبت به مبدل بسیار افزایشده دو ورودی سخت



## ۷- نتیجه گیری

در این مقاله، یک مبدل دو ورودی با توپولوژی جدید ارایه گردید تا بتواند در کاربردهای انرژی سبز که منابع فوتوولتاییک و پیل سوختی به صورت هیبرید استفاده می شوند به کار رود. مبدل پیشنهادی دارای رپیل جریان ورودی پایین است تا امکان استحصال ماکزیمم توان فراهم باشد. از طرفی تعداد المان مدار کمکی در آن پایین است تا مدار کمکی تلفات محسوسی به مبدل تحمیل نکند و عملکرد آن را پیچیده نسازد. نتایج عملی نشان می دهد که سویچ ها به خاطر کلیدزنی در ولتاژ صفر فاقد تلفات روشن شدن خازنی هستند و دیودها نیز به خاطر خاموش شدن تحت جریان صفر مشکل بازیابی معکوس ندارند. لذا راندمان مبدل بالا است و در بار کامل به ۹۶ درصد می رسد. همچنین از آنجایی که سویچ های کمکی بصورت مکمل با سویچ های اصلی عمل می کنند پیاده سازی مدار کنترل ساده است.

## مراجع

- [1] A. Iranpour Mobarakeh, R. Sadeghi, H. Saghafiesfahani and M. Delshad, "Techno-economic energy management of micro-grid in the presence of distributed generation sources based on demand response programs", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 141, no. 2, pp. 128-134, May 2022, doi:10.1016/j.ijepes.2022.108169.
- [2] P. C. Heris, Z. Saadatizadeh and E. Babaei, "A New Two Input-Single Output High Voltage Gain Converter With Ripple-Free Input Currents and Reduced Voltage on Semiconductors," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, no. 8, pp. 7693-7702, Aug. 2019, doi: 10.1109/TPEL.2018.2880493.
- [3] N. Zanatta, T. Caldognetto, D. Biadene, G. Spiazzi and P. Mattavelli, "A Two-Stage DC-DC Isolated Converter for Battery-Charging Applications," in *IEEE Open Journal of Power Electronics*, vol. 4, pp. 343-356, 2023, doi: 10.1109/OJPEL.2023.3271227.
- [4] D. Liu and H. Li, "A ZVS Bi-Directional DC- DC Converter for Multiple Energy Storage Elements," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 21, pp. 1513-1517, 2006, doi: 10.1109/TPEL.2006.882450.
- [5] D. Liu and H. Li, "A novel multiple-input ZVS bidirectional DC-DC converter," in *Industrial Electronics Society, 2005*, pp. 134-140, doi: 10.1109/IECON.2005.1568969.
- [6] R. Wai, C. Lin, J. Liaw, and Y. Chang, "Newly designed ZVS multi input converter," *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 58, pp. 555566, 2011, doi: 10.1109/TIE.2010.2047834.
- [7] Y. Liu and Y. Chen, "A systematic approach to synthesizing multi input DC-DC converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 24, no. 1, pp. 116-127, 2009, doi: 10.1109/TPEL.2008.2009170.
- [8] A. Lavanya, J. D. Navamani, K. Vijayakumar, and R. Rakesh, "Multiinput DC-DC converter topologies-a review," in *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, 2016, pp. 2230-2233, doi: 10.1109/ICEEOT.2016.7755089.
- [9] K. P. Yalamanchili, M. Ferdowsi, and K. Corzine, "New double input dc/dc converters for automotive applications," in *2006 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2006, pp. 106. 114, doi: 10.1109/VPPC.2006.364366.
- [10] Y. Chen, Y. Liu, and S. Lin, "Double-input PWM DC/DC converter for high-/low-voltage sources," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 5, pp. 1538-1545, 2006, doi: 10.1109/TIE.2006.882001.
- [11] A. Iranpour Mobarakeh, R. Sadeghi, H. Saghafi Esfahani and M. Delshad, "Optimal planning and operation of energy hub by considering demand response algorithms and uncertainties based on problem-solving approach in discrete and continuous space", *Electric Power Systems Research*, vol. 214, Part A, 2023, 108859, doi:10.1016/j.epsr.2022.108859.
- [12] A. T. Harchegani and M. Mahdavi, "A New Soft Switching Dual Input Converter for Renewable Energy Systems," *Journal of Power Electronics*, vol. 17, no. 5, pp. 1127-1136, 2017, doi: 10.6113/JPE.2017.17.5.1127.
- [13] K. Gummi and M. Ferdowsi, "Double-input dc-dc power electronic converters for electric-drive vehicles—Topology exploration and synthesis using a single-pole triple-throw switch," *IEEE*





- Transactions on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 2, pp. 617-623, 2010, doi: 10.1109/TIE.2009.2032762.
- [14] M. Forouzes, Y. P. Siwakoti, S. A. Gorji, F. Blaabjerg, and B. Lehman, "Step-up DC-DC converters: a comprehensive review of voltage-boosting techniques, topologies, and applications," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 12, pp. 9143-9178, 2017, doi: 10.1109/TPEL.2017.2652318.
- [15] G. Palumbo and D. Pappalardo, "Charge pump circuits: An overview on design strategies and topologies," *IEEE Circuits and Systems Magazine*, vol. 10, no. 1, pp. 31-45, 2010, doi: 10.1109/MCAS.2009.935695.
- [16] J. A. Starzyk, Y.-W. Jan, and F. Qiu, "A DC-DC charge pump design based on voltage doublers," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 48, no. 3, pp. 350-359, 2001, doi: 10.1109/81.915390.
- [17] M. Delshad and H. Farzanehfard, "A new isolated bidirectional buck-boost PWM converter," 1st *Power Electronic & Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC)*, Tehran, Iran, 2010, pp. 41-45, doi: 10.1109/PEDSTC.2010.5471860.
- [18] M. S. Makowski, "Realizability conditions and bounds on synthesis of switched-capacitor DC-DC voltage multiplier circuits," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 44, no. 8, pp. 684-691, 1997, doi: 10.1109/81.611263.
- [19] Y. Lei and R. C. N. Pilawa-Podgurski, "A general method for analyzing resonant and soft-charging operation of switched-capacitor converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 10, pp. 5650-5664, 2014, doi: 10.1109/TPEL.2014.2377738.
- [20] H. S. Chung, "Design and analysis of a switched-capacitor-based stepup DC/DC converter with continuous input current," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 46, no. 6, pp. 722-730, 1999, doi: 10.1109/81.768828.
- [21] F. Ghasemi, M. R. Yazdani and M. Delshad, "Step-Up DC-DC Switching Converter With Single Switch and Multi-Outputs Based on Luo Topology," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 16871-16882, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3150316.
- [22] F. L. Luo, "Luo-converters, voltage lift technique," in *PESC 98 Record. 29th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference (Cat. No. 98CH36196)*, 1998, vol. 2: IEEE, pp. 1783-1789.
- [23] F. L. Luo, "Luo-converters, a series of new DC-DC step-up (boost) conversion circuits," in *Proceedings of Second International Conference on Power Electronics and Drive Systems*, 1997, vol. 2: IEEE, pp. 882- 888, doi: 10.1109/PEDS.1997.627511.
- [24] F. L. Luo, "Six self-lift DC-DC converters, voltage lift technique," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 48, no. 6, pp. 1268-1272, 2001, doi: 10.1109/41.969408.
- [25] M. Zhu and F. Luo, "Series SEPIC implementing voltage-lift technique for DC-DC power conversion," *IET Power Electronics*, vol. 1, no. 1, pp. 109-121, 2008, doi: 10.1049/iet-pel:20060494.
- [26] Y. Jiao, F. Luo, and M. Zhu, "Voltage-lift-type switched-inductor cells for enhancing DC-DC boost ability: principles and integrations in Luo converter," *IET Power electronics*, vol. 4, no. 1, pp. 131-142, 2011, doi: 10.1049/iet-pel.2010.0021.
- [27] Y. Tang, T. Wang, and D. Fu, "Multicell switched-inductor/switched capacitor combined active-network converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 30, no. 4, pp. 2063-2072, 2014, doi: 10.1109/TPEL.2014.2325052.
- [28] M. Delshad and E. Shahri, "A new soft switching interleaved boost converter with high voltage gain," *The 8th Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI) Association of Thailand - Conference*, 2011, pp. 744-747, doi: 10.1109/ECTICON.2011.5947947
- [29] M. K. Kazimierzczuk, *Pulse-width modulated DC-DC power converters*. John Wiley & Sons, 2015.
- [30] M. Delshad, A. T. Harchegani, M. Karimi and M. Mahdavi, "A new ZVT Multi Input Converter for hybrid sources systems," *2016 International Conference on Applied Electronics (AE)*, Pilsen, Czech Republic, 2016, pp. 61-64, doi: 10.1109/AE.2016.7577242
- [31] B. W. Williams, "Unified synthesis of tapped-inductor DC-to-DC converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 29, no. 10, pp. 5370-5383, 2013, doi: 10.1109/TPEL.2013.2291561.
- [32] D. A. Grant, Y. Darroman, and J. Suter, "Synthesis of tapped-inductor switched-mode converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 22, no. 5, pp. 1964-1969, 2007, doi: 10.1109/TPEL.2007.904215.





- [33] M. Vesali, H. Ranjbar and A. Motamedi-Nasab, "A Two Input High Step Converter with Zero Current Switching Condition for Switches Turn-On Instances", *Technovations of Electrical Engineering in Green Energy System*, vol. 1, no. 2, pp. 63-76, 2022; doi: 10.30486/teeges.2022.1960073.1017

## زیر نویس ها

- 
- <sup>1</sup> Coupled
  - <sup>2</sup> Soft switching
  - <sup>3</sup> Switching frequency
  - <sup>4</sup> Power density
  - <sup>5</sup> Zero voltage switching
  - <sup>6</sup> Leakage inductance
  - <sup>7</sup> Spike
  - <sup>8</sup> Complement
  - <sup>9</sup> Not
  - <sup>10</sup> Snubber

