



Technovations of Electrical Engineering in Green Energy System

Research Article

(2023) 2(3):1-12

High Step-up Switched-Capacitor Current-Fed Soft-Switching Converter

Jalil Jalili^{1,2}, *Ph.D Student*, Sayyed Mohammad Mehdi Mirtalaei^{1,2}, *Assistant Professor*,
Mohammadreza Mohammadi^{1,2}, *Assistant Professor*, Sayyed Behrooz Majidi^{1,2}, *Assistant Professor*

¹ *Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran*

² *Smart Microgrid Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran*

Abstract:

In this paper, a non-isolated current-fed high step-up soft-switching converter, is presented. In proposed converter are used of 2-stge switched capacitor and a soft switching active cell. Compared to its high step-up counterpart, the proposed converter has a higher voltage gain. In this converter, an active clamp circuit is used to absorb the energy of leakage inductor, therefore, the ZVS for switches. Also, voltage stresses on the switches are low. In this paper, the operational principle and characteristics of proposed converter are presented, and in order to verify the proposed converter, a 20-400V, 200W prototype converter is simulated and implemented and experimental results are provided.

Keywords: Switched-capacitor converter, Soft-switching, Coupled inductor, High step-up.

Received: 24 December 2022

Revised: 30 March 2023

Accepted: 18 April 2023

Corresponding Author: Dr. Sayyed Mohammad Mehdi Mirtalaei, mirtalaei.iaun@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.30486/teegee.2023.1980856.1065> 1173





مبدل کلیدزنی نرم بهره ولتاژ بالای با استفاده از خازن سوئیچ‌شونده با ورودی منبع جریان

جلیل جلیلی^۱، دانشجوی دکتری، سید محمد مهدی میرطلاتی^۲، استادیار، محمدرضا محمدی^۱، استادیار، سید بهروز مجیدی^۱، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران
 ۲- مرکز تحقیقات ریزشبکه های هوشمند، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

چکیده: در این مقاله یک مبدل کلیدزنی نرم بهره ولتاژ بالای غیره‌ایزوله با ورودی جریان ارائه شده است. مبدل پیشنهادی ترکیبی از یک مبدل بوست کلیدخازنی دو وضعیتی (2-SSC) و یک سلول کلیدزنی نرم فعال است. در این مبدل برای تحقق افزایش بهره ولتاژ از یک سلف کوپل شده استفاده شده است. این مبدل در مقایسه با مبدل‌های مشابه دارای بهره ولتاژ بالاتری است. با استفاده از یک مدار کلپ اکتیو در این مبدل انرژی سلف ناشی جذب شده است، از اینرو کلیدها در شرایط ZVS کار می‌کنند. همچنین تنش ولتاژ بر روی کلیدها پایین است. در این مقاله عملکرد اولیه مبدل به‌طور کامل تشریح شده و نتایج شبیه‌سازی و یک نمونه آزمایشگاهی ساخته شده برای ولتاژ ورودی ۲۰ ولت و خروجی ۴۰۰ ولت در توان ۲۰۰ وات به‌طور کامل ارائه شده است.

واژه های کلیدی: مبدل کلیدخازنی، کلیدزنی نرم، سلف تزویج، بهره ولتاژ بالا.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹

نویسنده‌ی مسئول: دکتر سید محمد مهدی میرطلاتی ، mirtalaei.iaun@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.30486/teegees.2023.1980856.1065>



انسان عصر جدید همیشه به دنبال جایگزین مناسب برای نیرو تجدیدناپذیر فسیلی بوده است. نیروهای زیادی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته‌اند که می‌توان به نیرو باد، نیرو امواج دریا و نیرو خورشیدی اشاره کرد [۲،۱]. نیروهایی همچون نیرو باد و نیرو امواج دریا به دلیل اینکه همیشگی نیستند، از قابلیت اطمینان کمتری برخوردار هستند [۳]. نیرو خورشیدی می‌تواند جایگزین بسیار خوبی برای نیرو فسیلی باشد [۴]. تبدیل نور خورشید به نیروی الکتریکی توسط سلول خورشیدی به دلیل مزایایی مانند عدم آلودگی هوا، نداشتن سر و صدا، قابلیت اطمینان بالا، قیمت پایین بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند [۵].

سلول‌های خورشیدی ولتاژ بالایی را تولید نمی‌کنند. به همین دلیل نمی‌توان ولتاژ تولید شده توسط سلول‌های خورشیدی را به مصرف‌کننده‌های برق شهر متصل کرد. از طرفی ولتاژ تولیدی توسط سلول خورشیدی به صورت مستقیم است، در صورتی که بسیاری از مصرف‌کننده‌های با ولتاژی متناوب با فرکانس ۵۰ تا ۶۰ هرتز کار می‌کنند. یکی از راه‌حل‌ها، سری کردن سلول‌های خورشیدی است. با سری کردن چندین صفحه خورشیدی می‌توان به ولتاژ مستقیم بالا دست یافت و سپس ولتاژ مستقیم را به ولتاژ متناوب تبدیل کرد. اما سری کردن صفحه‌های خورشیدی در مواقعی که سایه است، باعث کاهش بازده صفحه خورشیدی می‌شود [۶].

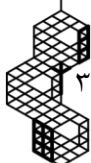
از آنجایی که صفحه‌های خورشیدی ولتاژ پایینی تولید می‌کنند، برای ایجاد برق شبکه ۲۲۰ ولت متناوب به مبدل بهره ولتاژ بالا نیاز است. ولتاژ صفحه خورشیدی که ولتاژی در حدود ۲۰ الی ۴۵ ولت را تولید می‌کند توسط یک مبدل افزایش‌دهنده ولتاژ ۱ به حدود ۴۰۰ ولت می‌رسد و ولتاژ به دست آمده توسط یک اینورتر به ولتاژ ۲۲۰ ولت متناوب تبدیل می‌شود [۸،۷].

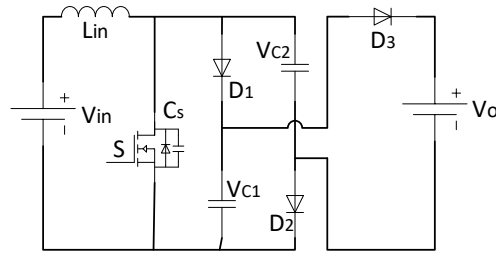
مبدل‌هایی مانند مبدل بوست مرسوم نمی‌توانند بهره بالایی داشته باشند. تنش^۲ ولتاژ بالا بر روی کلید و همچنین راندمان پایین این مبدل از معایب آن است. به همین دلیل مبدل‌های بهره ولتاژ بالای متنوعی ارائه می‌شود که بهره بالاتری نسبت به مبدل بوست مرسوم دارند. مبدل‌های بهره ولتاژ بالا را می‌توان به دو دسته ایزوله و غیره‌ایزوله تقسیم کرد. مبدل‌های غیره‌ایزوله به دلیل قابلیت اطمینان بالا و همچنین هزینه‌های پایین از محبوبیت بالایی برخوردار هستند [۹، ۱۰].

مبدل شکل (۱)، یک مبدل افزایش‌دهنده ولتاژ کلیدخازنی دو وضعیتی^۳ (2-SSC) است [۱۱]. بهره مبدل شکل (۱) از مبدل بوست مرسوم بالاتر است، اما به دلیل کلیدزنی سخت کماکان راندمان این مبدل همانند مبدل بوست مرسوم پایین است. همچنین تنش ولتاژ بر روی کلید این مبدل بالا است. بالا بودن تنش ولتاژ بر روی کلید باعث افزایش R_{on} و در نتیجه سبب افزایش تلفات و کاهش راندمان می‌شود. ایده اصلی در این مقاله یک مبدل کلیدزنی نرم کلیدخازنی بهره ولتاژ بالا با استفاده از سلف تزویج است. در این مقاله ترکیبی از یک مبدل بوست کلیدخازنی و یک سلول کلیدزنی نرم فعال ارائه می‌شود. با استفاده از مدار کلمپ اکتیو شرایط کلیدزنی نرم ZVS^4 برای کلیدها فراهم می‌شود. در این مبدل بهره ولتاژ بالا بوده و تنش ولتاژ بر روی کلیدها پایین است. توصیف و عملکرد مبدل پیشنهادی در بخش ۲ آورده شده است. در بخش ۳ به ملاحظات طراحی بهره ولتاژ و سلف مغناطیس‌کنندگی اشاره شده است. همچنین در بخش ۴ و ۵ به ترتیب نتایج شبیه‌سازی و عملی مبدل ارائه شده است.

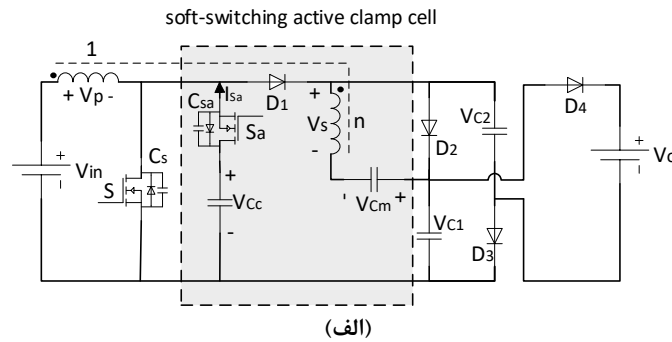
۲- توصیف مبدل و عملکرد آن

مبدل کلیدزنی نرم آبشاری بهره ولتاژ بالای پیشنهادی در شکل (۲) نمایش داده شده است. این مبدل دارای دو کلید S و S_a و پنج خازن C_0, C_m, C_c, C_1, C_2 و دو سلف تزویج و چهار دیود D_1, D_2, D_3 و D_4 است. سلف نشستی نیز با L_k نمایش داده شده است. عملکرد مبدل پیشنهادی در هشت مد مطابق شکل (۳) ارائه شده و شکل موج‌های ولتاژ و جریان در شکل (۴) نمایش داده شده است. در تحلیل عملکرد مدارها، مبدل در وضعیت پایدار و المان‌ها به صورت ایده‌آل و خازن‌ها به اندازه کافی بزرگ و نسبت دور سیم‌پیچ‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. همچنین عملکرد مبدل در حالت هدایت پیوسته^۵ بررسی می‌شود.

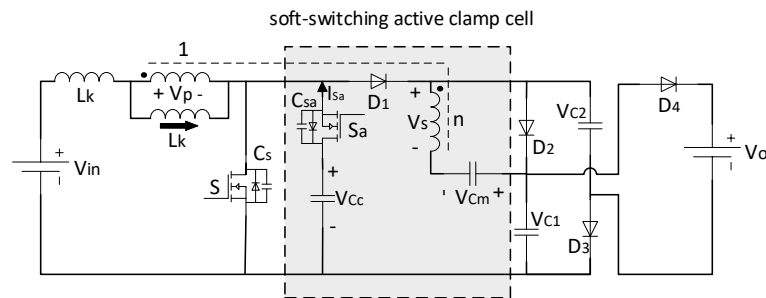




شکل (۱): مبدل کلید خازنی 2-SSC [۷]



(الف)

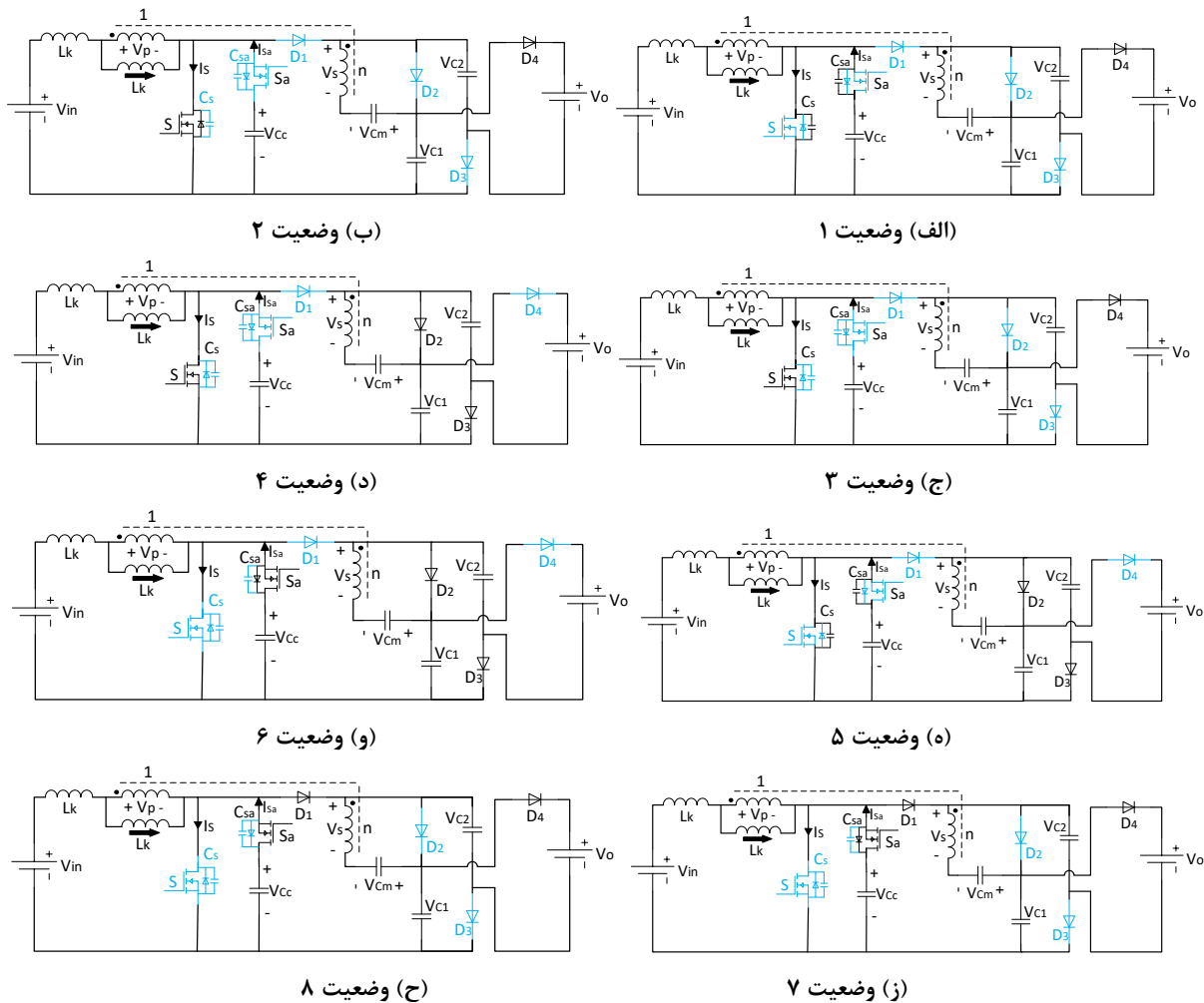


(ب)

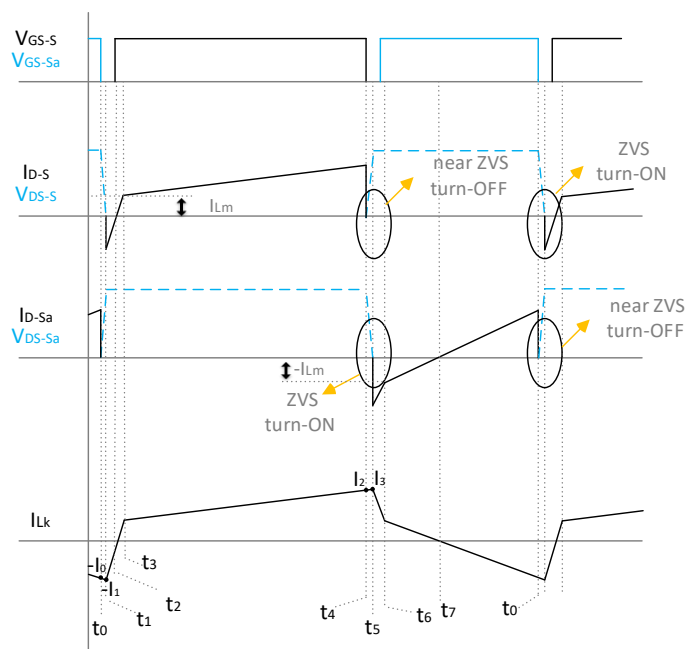
شکل (۲): مبدل کلیدزنی نرم بهره ولتاژ بالای پیشنهادی و مدار معادل. (الف) مبدل پیشنهادی. (ب) مدار معادل.

الف- وضعیت ۱: در فاصله زمانی t_0 الی t_1 مطابق شکل (۳-الف) هر دو کلید خاموش است. ولتاژ خازن C_s صفر و ولتاژ خازن C_{sa} حداکثر می‌شود. در این مد دیودهای D_4 روشن و دیودهای D_1 و D_2 و D_3 خاموش و جریان سلف ناشی منفی و کاهشی است.

ب- وضعیت ۲: در فاصله زمانی t_1 الی t_2 مطابق شکل (۳-ب) است. در زمان t_1 دیود بدنه کلید اصلی شروع به هدایت می‌کند. همچنین بعد از روشن شدن دیود بدنه، کلید اصلی تحت شرایط ZVS روشن می‌شود. در این فاصله زمانی جریان دیود بدنه به صورت خطی افزایش می‌یابد و در پایان این فاصله زمانی به صفر می‌رسد. در این وضعیت جریان سلف ناشی منفی به صورت خطی افزایشی است. جریان I_1 در رابطه (۱) مقدار جریان سلف ناشی در زمان t_1 می‌باشد.



شکل (۳): مدار معادل مبدل پیشنهادی برای هر فاصله زمانی



شکل (۴): شکل موج‌های مبدل پیشنهادی





$$i_{LK}(t) = -I_1 + \frac{V_{in} + \frac{V_{Cm}}{n}}{L_{LK}}(t - t_1) \quad (1)$$

$$i_{D1,4}(t) = \frac{I_{Lm} - (-I_1 + \frac{V_{in} + \frac{V_{Cm}}{n}}{L_{LK}}(t - t_1))}{n} \quad (2)$$

ج- وضعیت ۳: در فاصله زمانی t_2 الی t_3 مطابق شکل (۳-ج) است. در این فاصله زمانی دیود بدنه کلید اصلی خاموش می‌شود و کلید اصلی کماکان در حال هدایت است. جریان کلید به صورت خطی افزایش می‌یابد. در پایان این فاصله زمانی جریان کلید به I_{Lm} می‌رسد. جریان سلف نشستی در این وضعیت به صورت افزایشی است.

$$i_{LK}(t) = I_{Lm} + \frac{\frac{V_{o1} - V_{Cm}}{n}}{L_{LK}}(t - t_3) \quad (3)$$

د- وضعیت ۴: در فاصله زمانی t_3 الی t_4 مطابق شکل (۳-د) است. در این فاصله زمانی جریان کلید اصلی بیش از جریان I_{Lm} است، بنابراین دیودهای D_1 و D_4 خاموش دیودهای D_2 و D_3 روشن می‌شوند. در این وضعیت جریان سلف نشستی مثبت و به صورت افزایشی است.

ه- وضعیت ۵: در فاصله زمانی بین t_4 الی t_5 مطابق شکل (۳-ه) کلید اصلی خاموش می‌شود. ولتاژ خازن C_s حداکثر و ولتاژ خازن C_{sa} صفر می‌شود. در این فاصله زمانی دیودها تغییر وضعیت نمی‌دهند و جریان سلف نشستی کماکان مثبت و افزایشی است.
و- وضعیت ۶: در فاصله زمانی t_5 الی t_6 مطابق شکل (۳-و) دیود بدنه کلید کمکی روشن می‌شود و جریان کلید کمکی به صورت خطی افزایش می‌یابد. در پایان این فاصله زمانی جریان کلید به $-I_{Lm}$ می‌رسد. در این وضعیت جریان سلف نشستی مثبت و به صورت کاهشی است.

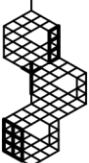
$$i_{LK}(t) = I_3 - \frac{\frac{V_{o1} - V_{Cm}}{n} + V_{Cc} - V_{in}}{L_{LK}}(t - t_5) \quad (4)$$

$$i_{D2,3}(t) = \frac{(I_3 - \frac{\frac{V_{o1} - V_{Cm}}{n} + V_{Cc} - V_{in}}{L_{LK}}(t - t_5)) - I_{Lm}}{n} \quad (5)$$

ز- وضعیت ۷: در فاصله زمانی t_6 الی t_7 مطابق شکل (۳-ز) کلید کمکی روشن می‌شود جریان کلید بزرگ‌تر از $-I_{Lm}$ می‌شوند، در نتیجه دیود D_2 و D_3 خاموش و دیودهای D_1 و D_4 روشن می‌شود. در این وضعیت جریان سلف نشستی به صورت کاهشی است.

$$i_{LK}(t) = I_{Lm} - \frac{\frac{V_{Cc} - V_{Cm}}{n} + V_{Cc} - V_{in}}{L_{LK}}(t - t_6) \quad (6)$$

ح- وضعیت ۸: در فاصله زمانی t_7 الی t_0 مطابق شکل (۳-ح) است. در ابتدای این فاصله زمانی جریان دیود بدنه کلید کمکی صفر می‌شود و جریان توسط کلید کمکی هدایت می‌شود. در این وضعیت جریان سلف نشستی به صورت کاهشی است.



$$i_{LK}(t) = \frac{V_{Cc} - V_{Cm} + V_{Cc} - V_{in}}{L_{LK}}(t - t_7) \quad (7)$$

۳- ملاحظات طراحی

در این قسمت به بهره ولتاژ و طراحی سلف مغناطیس‌کنندگی اشاره می‌شود.

۳-۱- بهره ولتاژ

با استفاده از تعادل ولت-ثانیه جریان سلف نشستی i_{LK} می‌توان ولتاژ خازن C_C را بدست آورد. ولتاژ خازن C_C با صرفه نظر از موجودار شدن ولتاژ به صورت زیر است:

$$V_{Cc} = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (8)$$

طبق شکل (۳ ج) و (۳ ر) ولتاژ کلیدها نیز برابر است با ولتاژ خازن C_C . همچنین اثبات می‌شود که ولتاژ خازن V_{Cm} برابر است با:

$$V_{Cm} = \frac{n}{1-D} V_{in} \quad (9)$$

ولتاژ خازن‌های C_1 و C_2 برابر است با:

$$V_{C1} = V_{C2} = \frac{n+1}{1-D} V_{in} \quad (10)$$

ولتاژ خروجی مبدل برابر است با:

$$V_o = V_{C1} + V_{C2} - V_{Cc} \quad (11)$$

با توجه به روابط (۸) تا (۱۰) بهره مبدل به صورت زیر است.

$$M = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{2n+1}{1-D} \quad (12)$$

همچنین بهره ولتاژ موثر یا غیره ایده‌آل مبدل با در نظر گرفتن سلف نشستی برابر است با:

$$M \approx \left(\frac{2n+1}{1-D} \right) \frac{1}{\left(1 + \frac{2n^2 L_k f_s}{R_L D^2} + \frac{2n^2 L_k f_s}{R_L (1-D)^2} \right)} \quad (13)$$

بر طبق این معادله (۱۳) با افزایش بار و سلف نشستی بهره مبدل کاهش می‌یابد.

۳-۲- طراحی سلف مغناطیس‌کنندگی

اهمیت این بخش در این است که با طراحی بهینه سلف مغناطیس‌کنندگی و نسبت دور اولیه به ثانویه، می‌توان به ولتاژ خروجی مطلوب با کمترین حجم مبدل رسید. برای محاسبه نسبت دور مبدل از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$$n = \frac{M(1-D)-1}{2} \quad (14)$$

مطابق با توان خروجی و بهره ولتاژ مبدل میانگین جریان سلف مغناطیس‌کنندگی برابر است با:

$$I_{Lm(avg)} = \frac{(2n+1)V_o}{(1-D)R_L} \quad (15)$$

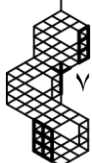
در رابطه (۱۵) R_L ، بار خروجی مبدل می‌باشد. همچنین میزان موجودار شدن سلف مغناطیس‌کنندگی برابر است با:

$$\Delta I_{Lm} = \frac{DV_{in}}{L_m f_s} \quad (16)$$

در رابطه (۱۶) f_s ، فرکانس کلیدزنی مبدل می‌باشد. بر اساس روابط (۱۳) تا (۱۵)، حداقل مقدار سلف مغناطیس‌کنندگی برابر است با:

$$I_{Lm} > \frac{D(1-D)^2 R_L}{(1+2n)^2 f_s} \quad (17)$$

از رابطه (۱۷) می‌توان دریافت که سلف سیم پیچ اولیه ترانس چه مقدار است. سپس مقدار سیم پیچ دوم ترانس Π^2 برابر مقدار سیم پیچ اولیه ترانس در نظر گرفته می‌شود. لازم به ذکر است برای اندازه‌گیری سلف نشستی در این مقاله، دو سر سیم پیچ ثانویه را اتصال کوتاه کرده و مقدار سیم پیچ در طرف اولیه به وسیله RLC متر اندازه‌گیری می‌شود.





۴- نتایج شبیه‌سازی

نتایج شبیه‌سازی برای یک مبدل ۲۰۰ وات مطابق جدول (۱) در نرم افزار PSPICE انجام شده و در شکل (۵) ارائه شده است. در شکل (۵)، مبدل شبیه‌سازی شده و شکل موج‌های مبدل پیشنهادی نمایش داده شده است. همانطور که در شکل (۵-آ) دیده می‌شود، نسبت دور مبدل ۴ در نظر گرفته شده است. همچنین چرخه وظیفه مبدل تقریباً ۰/۶ در نظر گرفته شده است. بر طبق رابطه (۱۴) برای قرار گرفتن سلف L_m در حالت هدایت پیوسته، مقدار سلف مغناطیس‌کنندگی در ۰/۲۰٪ از بار نامی مبدل باید بیش از ۶۵ میکرو هانری باشد. در شکل (۵-ب)، شکل موج گیت-سورس کلیدها نمایش داده شده است. شکل (۵-ج)، شکل موج ولتاژ درین-سورس و جریان کلید اصلی را نمایش می‌دهد. ولتاژ درین-سورس کلید اصلی حدود ۶۰ ولت است. شکل (۵-د)، ولتاژ درین-سورس و جریان کلید کمکی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود تنش ولتاژ بر روی هر دو کلید باهم برابر است. بازده مبدل پیشنهادی در بارهای بین ۵۰-۲۰۰ وات شبیه‌سازی و در شکل (۶) نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود بالاترین بازده در این مبدل حدود ۰/۹۵/۸ است. با توجه به شکل (۶) هر چه توان مبدل کاهش یابد بازدهی مبدل نیز کاهش می‌یابد. مبدل ساخته شده مشابه مبدل شبیه‌سازی شده و بر طبق جدول (۱) است. جدول (۲) تلفات هدایتی عناصر مختلف مبدل را در توان ۵۰ و ۲۰۰ وات را نشان می‌دهد. تلفات هدایتی هر یک از عناصر در شبیه‌ساز محاسبه شده و در جدول (۲) آورده شده است.

۵- آزمایشگاهی مبدل ساخته شده

برای ساخت مبدل پیشنهادی از کلیدهای ۱۰۰ ولتی IRF540 با مقاومت هدایتی ۰/۰۷ اهم استفاده شده است که می‌تواند تنش ولتاژ ۷۰ ولتی مبدل پیشنهادی را تحمل کند. همچنین از دیودهای MUR460 با ولتاژ معکوس ۴۶۰ ولت و ولتاژ فوروارد ۱/۲۵ ولتی استفاده شده است.

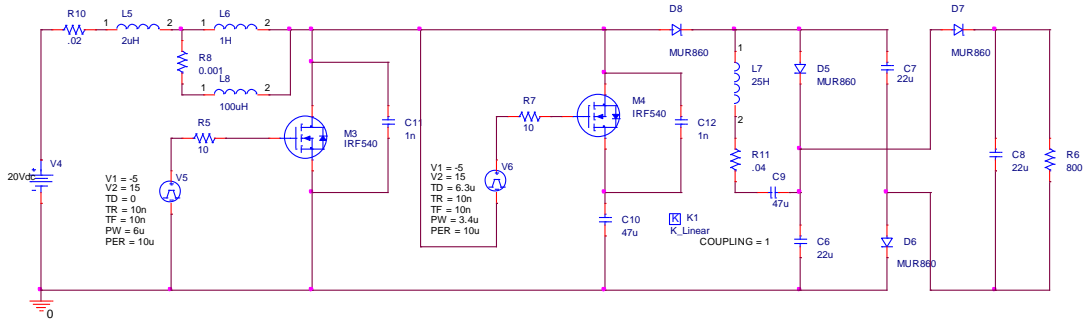
جدول (۱): مشخصات مبدل شبیه‌سازی شده

عناصر	نماد	مقادیر
توان	P_o	۲۰۰ وات
ولتاژ ورودی	V_{in}	۲۰ ولت
ولتاژ خروجی	V_o	۴۰۰ ولت
فرکانس کلید	f_s	۱۰۰ کیلو هرتر
خازن	C_1	۲۲ میکرو فارار
خازن	C_2	۲۲ میکرو فارار
خازن	C_o	۲۲ میکرو فارار
خازن	C_c	۴۷ میکرو فارار
خازن	C_m	۴۷ میکرو فارار
خازن	C_s, S_a	۲ نانو فاراد
سلف مغناطیس‌کنندگی	L_m	۱۰۰ میکرو فاراد
سلف نشتی	L_{Lk}	۲ میکرو فاراد
کلید	S, S_a	IRF540
دیود	D_1, D_2, D_3, D_4	MUR460
نسبت دور ترانس	$1/n$	۵

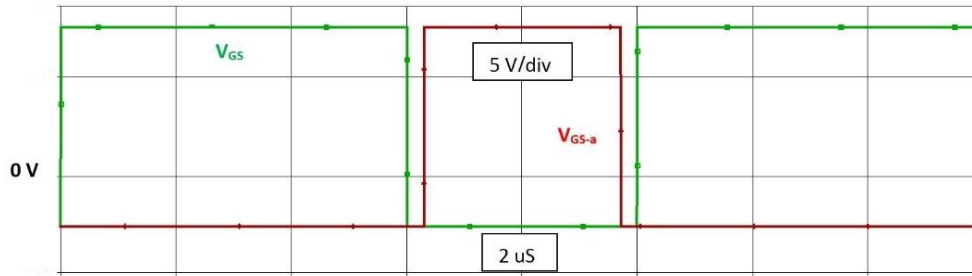
جدول (۲): تلفات عناصر هدایتی در شبیه‌ساز PSPICE

راندمان (درصد)	تلفات کل (وات)	تلفات دیگر عناصر (وات)	تلفات هدایتی سلف (وات)	تلفات هدایتی دیودها (وات)	تلفات هدایتی کلید (وات)	توان (وات)
۹۴/۷	۱۰/۶	۰/۹	۰/۸	۲/۷	۶/۲	۲۰۰
۹۳/۳	۳/۳۵	۰/۲۵	۰/۵	۰/۴۵	۲/۱۵	۵۰

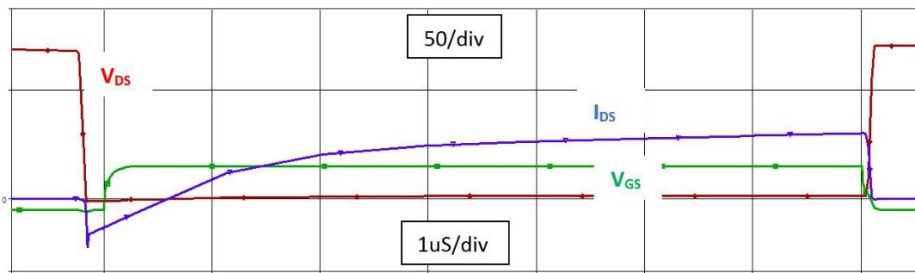




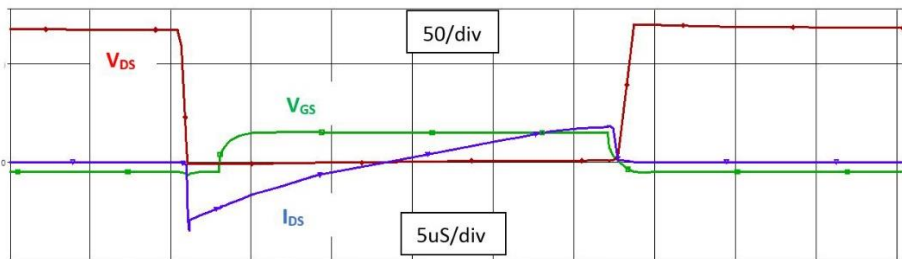
(الف)



(ب)



(ج)



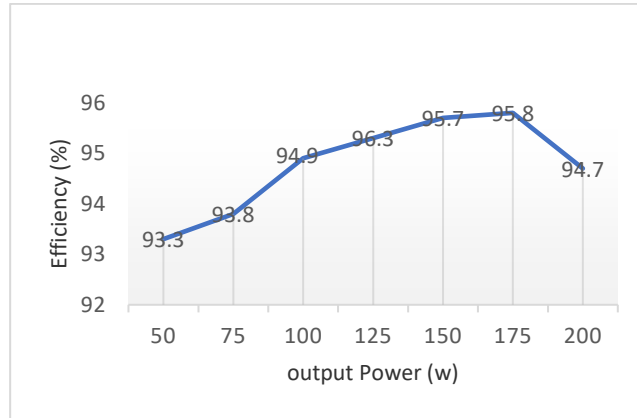
(د)

شکل (۵): شبیه‌سازی مبدل پیشنهادی در نرم افزار PSPICE. (الف) مبدل شبیه‌سازی شده. (ب) ولتاژ گیت-سورس کلیدها (ج) ولتاژ و جریان کلید اصلی. (د) ولتاژ و جریان کلید کمی.

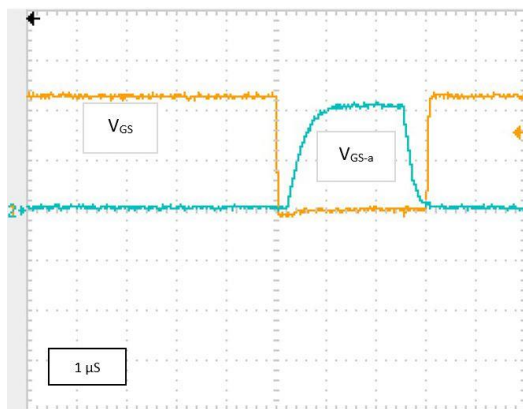
همان طور که مشاهده می‌شود شکل (۷-آ) موج ولتاژ گیت-سورس کلیدها را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل (۷-آ) ولتاژ گیت-سورس مبدل دارای زمان مرده حدود ۳۰۰ نانو ثانیه است. شکل (۷-ب) شکل موج ولتاژ درین-سورس و جریان کلید اصلی را نمایش می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، کلید در زمان روشن شدن به صورت ZVS است. شکل (۷-ج) شکل موج ولتاژ درین-سورس و جریان کلید کمی را نمایش می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، کلید در زمان روشن شدن به صورت ZVS است. تنش ولتاژ بر روی کلیدها حدود ۶۰ ولت است که به نسبت ولتاژ خروجی بسیار پایین است. همچنین مشاهده می‌شود که جریان کلیدها به دلیل افزایش بودن مبدل قابل توجه است.



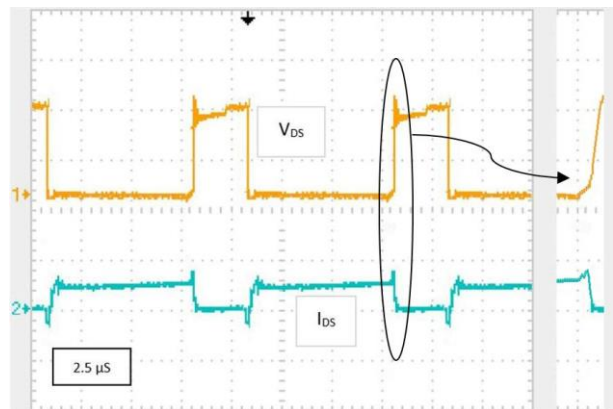
در جدول (۳) عملکرد مبدل های بوست مرسوم، مبدل [۷] و مبدل پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. در مبدل پیشنهادی بهره ولتاژ از دو مبدل بوست مرسوم و مبدل [۷] بالاتر است. تعداد کلیدهای مبدل پیشنهادی برای رسیدن به کلیدزنی نرم از مبدل بوست بیشتر است. همچنین برای رسیدن به بهره ولتاژ بالاتر از یک سلف بیشتر برای ایجاد تزویج استفاده شده است.



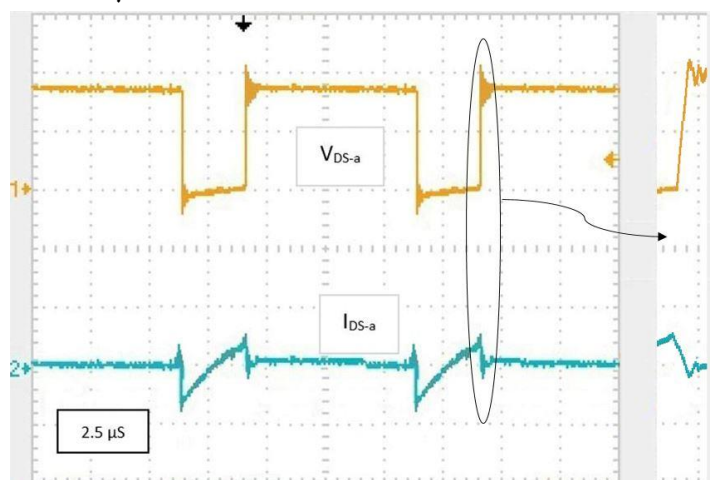
شکل (۶): بازده مبدل پیشنهادی در توان های مختلف.



(ب)



(الف)



(ج)

شکل (۷): نتایج آزمایشگاهی. الف) شکل موج ولتاژ گیت-سورس کلیدها (۵ V/div). ب) شکل موج ولتاژ و جریان کلید اصلی (۳۰/div). ج) شکل موج ولتاژ درین-سورس و جریان کلید کمکی (۳۰/div).



جدول ۳- مقایسه بین مبدل پیشنهادی و مبدل‌های مشابه

	مبدل بوست مرسوم	مبدل [۷]۱	مبدل پیشنهادی
تعداد کلید	۱	۲	۲
تعداد دیود	۱	۲	۴
تعداد سلف	۱	۲	۲
بهره ولتاژ	$\frac{1}{1-D}$	$\frac{1+n}{1-D}$	$\frac{2n+1}{1-D}$
نوع کلیدزنی	کلیدزنی سخت	ZVS	ZVS

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مبدل بهره ولتاژ بالا پیشنهاد شده که ترکیبی از یک مبدل افزایش‌دهنده ولتاژ کلیدخازنی و یک سلول کلیدزنی نرم فعال است. در این مبدل شرایط کلیدزنی نرم ZVS توسط مدار کلمپ‌اکتیو محقق شده است. به دلیل وجود شرایط کلیدزنی نرم مبدل پیشنهادی دارای بازدهی بالایی است. مبدل در ابتدا شبیه‌سازی شده و سپس یک نمونه آزمایشگاهی نیز در توان ۲۰۰ وات ساخته شده است. همچنین مبدل پیشنهادی با مبدل‌های دیگر مقایسه و نتایج مقایسه تشریح شده است.

سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از رساله دکتری در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از همکاران حوزه پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی و داوران محترم که ما را در انجام و ارتقای کیفی این مقاله یاری نموده‌اند، اعلام نمایند.

مراجع

- [1] A. Annuk, "Methods for increasing shares of self-consumption in small PV solar energy applications," *9th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA)*, 2020, pp. 184–187, doi: 10.1109/ICRERA49962.2020.9242902.
- [2] M. Foroughi, M. Amini, E. Adib, "Providing a Dual-Input Soft-Switching Boost Converter with Power Factor Correction Capability," *Technovations in Electrical Engineering & Green Energy System*, vol. 1, no. 4, pp. 1–13, 2023, doi: 10.30486/teeges.2022.1965800.1030.
- [3] R. R. Gopi and S. Sreejith, "Converter topologies in photovoltaic applications—A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 94, pp. 1–14, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.047.
- [4] W. Li and X. He, "Review of Nonisolated High-Step-Up DC/DC Converters in Photovoltaic Grid-Connected Applications," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 4, pp. 1239–1250, Apr. 2011, doi: 10.1109/TIE.2010.2049715.
- [5] A. Chub, D. Vinnikov, F. Blaabjerg, and F. Z. Peng, "A Review of Galvanically Isolated Impedance-Source DC–DC Converters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 4, pp. 2808–2828, Apr. 2016, doi: 10.1109/TPEL.2015.2453128.
- [6] S. M. M. Mirtalaei, R. Jaber, "Analysis of a high step-up boost-flyback converter for solar energy applications," *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, vol. 9, no. 34, pp. 19–28, Aug. 2018, doi: 20.1001.1.23223871.1397.9.34.3.4.
- [7] Y. Zhao, W. Li, and X. He, "Single-phase improved active clamp coupled-inductor-based converter with extended voltage doubler cell," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 27, no. 6, pp. 2869–2878, 2011, doi: 10.1109/TPEL.2011.2176752.
- [8] J. Jalili, S. M. M. Mirtalaei, M. R. Mohammadi, and B. Majidi, "A ZVS high step-up converter based on an integrated boost-cuk topology," *Electrical Engineering*, pp. 1–10, 2021, doi: 10.1007/s00202-021-01340-3.
- [9] D. Taheri, G. Shahgholian, and M. M. Mirtalaei, "Analysis, design and implementation of a high step-up multi-port non-isolated converter with coupled inductor and soft switching for photovoltaic applications,"



- IET Generation, Transmission & Distribution*, vol. 16, no. 17, pp. 3473–3497, 2022, doi: 10.1049/gtd2.12537.
- [10] J. Jalili, S. M. M. Mirtalaei, M. Mohammadi, and S. B. Majidi, “A non-isolated high step-up soft-switching converter with coupled-inductor,” *Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology*, no. Articles in Press, pp. 1–14, 2022, doi.org/10.1007/s00202-021-01340-3.
- [11] A. Amir, A. Amir, C. H. Seng, A. El Khateb, J. Selvaraj, and N. A. Rahim, “Application of modified classical numerical methods for DMPPT on Buck and Boost converters,” *Solar Energy*, vol. 173, pp. 437–448, 2018, doi:10.1016/j.solener.2018.07.088.

زیر نویس ها

-
- ¹ High step-up voltage converter
 - ² Stress
 - ³ 2-Stage Switched Capacitor
 - ⁴ Zero-Voltage Switching (ZVS)
 - ⁵ Continuous Conduction Mode (CCM)
 - ⁶ Ripple

