

The Charging Circuit of the Energy Storage System of the Multi-Input Converter with High Gain (Design, Simulation and Laboratory Investigation)

Donya Taheri^{1,2}, M.Sc., Ghazanfar Shahgholian^{1,2}, Associate Professor, Mohammad Mehdi Mirtalaei^{1,2}, Assistant Professor

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

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

Abstract:

In this article, a multi-input non-isolated converter topology with high gain is proposed for clean energy applications that require an energy storage system. The techniques of voltage multiplier cell and coupling inductor have been used to design the circuit, and by combining them, it is possible to use switches with low voltage stress and as a result, low conductivity. The charging performance of the energy storage system is explained and the structure and performance of the proposed converter are investigated for the design of a non-isolated multi-input converter with high voltage gain. The precise design method for the correct operation of the converter is presented and the simulation results of the converter performance are shown. Finally, in order to verify the accuracy of the results obtained from the simulation of the proposed converter, a laboratory sample has been made and a comparison has been made between the results.

Keywords: Multi-input converter, Storage system, Clean energy, Coupling inductor, Voltage multiplier cell.

Received: 25 November 2022

Revised: 30 December 2022

Accepted: 13 February 2023

Corresponding Author: Dr. Ghazanfar Shahgholianzaban, shahgholian@iaun.ac.ir

DOI: <http://dx.doi.org/10.30486/teeges.2023.1976354.1056>



مدار شارژ سیستم ذخیره‌کننده انرژی مبدل چندورودی با بهره بالا (طراحی، شبیه‌سازی و بررسی آزمایشگاهی)

دنیا طاهری^۱، کارشناسی ارشد، غضنفر شاهقلیان^۲، دانشیار، سید محمد مهدی میرطلایی^۱، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

۲- مرکز تحقیقات ریزشبکه‌های هوشمند، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

چکیده: در این مقاله یک توپولوژی مبدل غیرایزوله چندورودی با بهره بالا برای کاربردهای انرژی‌های پاک که نیاز به سیستم ذخیره‌ساز انرژی دارند پیشنهاد شده است. در این مبدل از تکنیک‌های سلول چند برابرکننده ولتاژ و همچنین سلف تزویج برای طراحی مدار استفاده شده که با ترکیب آنها امکان استفاده از کلیدهایی با استرس ولتاژ پایین و در نتیجه رسانایی کم وجود دارد. عملکرد شارژ سیستم ذخیره انرژی توضیح داده شده و برای طراحی مبدل چند ورودی غیرایزوله با بهره ولتاژ بالا ساختار و عملکرد مبدل پیشنهادی بررسی شده است. روش طراحی دقیق به‌منظور عملکرد صحیح مبدل ارائه شده و نتایج شبیه‌سازی عملکرد مبدل نشان داده شده است. در انتها جهت تأیید صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی مبدل پیشنهادی، یک نمونه آزمایشگاهی از مبدل پیشنهادی برای تأمین بار ۴۰۰ ولت-۴۰۰ وات ساخته شده و مقایسه بین نتایج انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: مبدل چندورودی، سیستم ذخیره‌ساز، انرژی‌های پاک، سلف تزویج، سلول چندبرابر کننده ولتاژ

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۰۴

تاریخ بازنگری مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۱/۲۴

نویسنده‌ی مسئول: دکتر غضنفر شاهقلیان، shahgholian@iaun.ac.ir

DOI: <http://dx.doi.org/10.30486/teeges.2023.1976354.1056>





۱- مقدمه

مبدل‌های الکترونیک قدرت چندورودی بهترین گزینه امیدوارکننده برای استفاده کامل از مزایای باتری‌ها و خازن‌های بسیار بزرگ هستند. سیستم‌های تولید انرژی خورشیدی عمدتاً در طی روز قادر به تولید انرژی هستند و در صورت نیاز به ذخیره انرژی برای مصارف آتی، هزینه‌های بالایی را متحمل می‌شوند [۱]. نوع دیگری از چنین سیستم‌های که از منابع تجدیدپذیر تغذیه می‌نمایند، توربین‌های بادی هستند. یکی از عیوب چنین سیستمی لزوم نصب و استقرار در حوزه‌های بادگیر جغرافیایی است [۲،۳]. از دیگر سیستم‌های تولید انرژی می‌توان به پیل‌های سوختی اشاره کرد. پیل‌های سوختی فناوری جدیدی برای تولید انرژی هستند که بدون ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی و صوتی، از ترکیب مستقیم بین سوخت و اکسیدکننده، انرژی الکتریکی با بازدهی بالا تولید می‌کنند. در پیل‌های سوختی، عمدتاً گاز هیدروژن به‌عنوان سوخت استفاده می‌شود و از واکنش آن با اکسیژن، علاوه بر انرژی الکتریکی، آب و حرارت نیز تولید می‌گردد. از مشکلات عمده پیل‌های سوختی می‌توان به دینامیک کند پیل سوختی و تغییرات وسیع ولتاژ خروجی با تغییرات بار اشاره کرد [۴]. با تأمل در نقاط قوت و ضعف هر یک از سیستم‌های مذکور، می‌توان نتیجه گرفت که با ترکیب این سیستم‌های تولید انرژی، علاوه بر بهره‌گیری از نقاط قوت هر یک، نقاط ضعف آن‌ها را می‌توان به حداقل رساند [۵].

وظیفه اصلی مبدل‌های چند-ورودی این است که با توجه به شرایط و توان قابل تولید توسط هر منبع، انرژی را از آنها دریافت و یک ولتاژ رگوله شده، با توان ثابتی را در اختیار مصرف‌کننده خود قرار دهد. محصول تولید شده، یک سیستم تولید انرژی ترکیبی از این منابع تولید انرژی است که دارای پتانسیل تولید انرژی برق با حداقل هزینه و سازگار با شرایط جوی مختلف است. در برخی از کاربردها که نیازی به بهره ولتاژ بالا و ایزولاسیون نیست، استفاده از مبدل‌های چند-ورودی غیر ایزوله به‌دلیل ساختار ساده‌تر و راندمان بالا و همچنین هزینه کمتر، بسیار بیشتر از مبدل‌های چند-ورودی ایزوله رایج است [۶].

تاکنون مطالعات مختلفی در کاربرد مبدل‌ها انجام شده و برای بهبود عملکرد آنها توپولوژی یا روش کنترلی جدید پیشنهاد شده است. یک مبدل dc/dc سه پورت بهره بالا در مرجع [۷] ارائه شده که دو مسیر مجزا برای انتقال توان از منبع ورودی به بار خروجی فراهم کرده است، به‌طوری که کار اجزای سازنده در هر مد عملکرد تغییر می‌کند. در این مبدل، از تکنیک سلف‌های تزویج برای افزایش ولتاژ استفاده می‌شود و همچنین برای کاهش اثر سلف ناشی و برای ایجاد شرایط کلیدزنی نرم، از دو مدار کلمپ فعال استفاده شده است. این مبدل دارای یک پورت برای دستگاه‌های ذخیره‌سازی انرژی است که هر منبع ورودی و همچنین دستگاه ذخیره انرژی می‌تواند مستقیماً از منبع تولید انرژی صرف‌نظر از وضعیت توان بار مسیر منحصر به فرد جریان برق را برای تامین بار خروجی فراهم می‌کند. بنابراین، به‌منظور کاهش تعداد المان‌های مبدل، برخی از اجزاء در حالت‌های عملیاتی مختلف به اشتراک گذاشته می‌شوند. در مرجع [۸] یک روش عمومی برای بدست آوردن مبدل‌های غیرایزوله dc/dc بهره بالا با استفاده از مبدل‌های dc-dc معمولی با مداری که از یک سلف و سلول‌های ضرب‌کننده ولتاژ تشکیل شده، ارائه شده است. در مرجع [۹]، یک مبدل dc/dc دوطرفه بهره بالا/پایین دو طرفه سه-پورت با یک سلف کوپل شده برای سیستم‌های فتوولتائیک (PV) ارائه شده است. این نوع مبدل ترکیبی از یک مبدل بهره بالا بوده که برای افزایش ماژول PV به باس ۲۰۰ ولت DC و یک مبدل دوطرفه شارژ/دشارژ باتری برای تشکیل یک مبدل دوطرفه سه پورت استفاده می‌شود. هنگامی که انرژی کافی از ماژول‌های PV تامین می‌شود، مبدل می‌تواند خروجی ماژول‌های PV را افزایش دهد و در حین شارژ همزمان باتری، انرژی را به باس DC برساند. با این حال، زمانی که هیچ انرژی از ماژول‌های PV تامین نمی‌شود، ولتاژ باس DC توسط باتری تامین می‌شود. این مبدل برای کاربردهای فتوولتائیک مناسب است و نکته قابل تامل در این مبدل ایزوله بودن این توپولوژی است که باعث افزایش پیچیدگی ساختار و حجم مدار و افزایش هزینه‌های ساخت می‌شود. در مرجع [۱۰]، ساختار مبدل دو ورودی غیرایزوله با استرس ولتاژ کم در عناصر نیمه‌رسانا و ریپل جریان ورودی کم پیشنهاد شده است. در این توپولوژی هنگامی که کلیدها خاموش می‌شوند، دو سلف ورودی سری می‌شوند و ریپل جریان ورودی کاهش می‌یابد. این توپولوژی از تکنیک مدار ضرب‌کننده ولتاژ و سلف تزویج استفاده کرده است. نسبت تبدیل ولتاژ با نسبت دور سلف جفت شده و چرخه وظیفه کلیدهای قدرت کنترل شده که باعث انعطاف نسبت تبدیل در این توپولوژی شده است. استفاده از سلول ضرب‌کننده ولتاژ نه تنها باعث افزایش ولتاژ می‌شود، بلکه میزان استرس ولتاژ روی کلیدها و دیودها را نیز کاهش داده است.

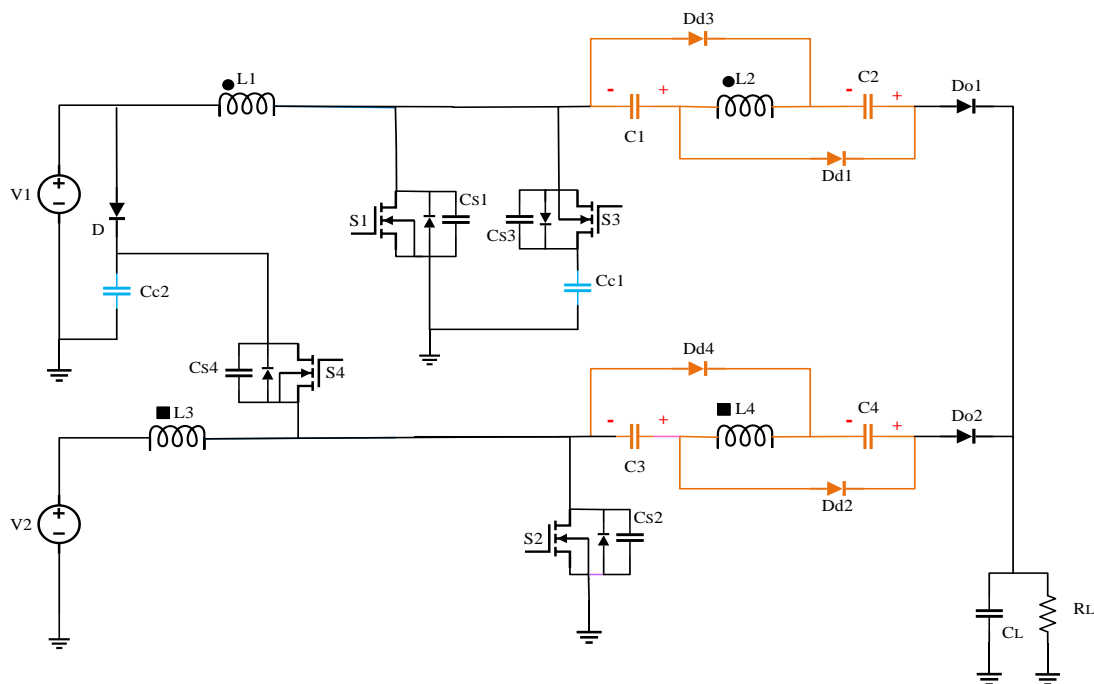
یک مبدل چندورودی غیرایزوله با بهره بالا در این مقاله پیشنهاد شده که به کمک روش‌های کلیدزنی نرم بهره ولتاژ آن افزایش داده شده است. ترکیب روش سلول ضرب‌کننده ولتاژ و سلف تزویج با هدف افزایش ولتاژ در مبدل استفاده شده است. برای کاهش استرس



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. عملکرد شارژر سیستم ذخیره ساز انرژی در توپولوژی مبدل پیشنهادی ارایه شده است.

۲- حالت‌های عملیاتی مبدل در حالت شارژ

شکل (۱) ساختار مبدل پیشنهادی dc/dc چندورودی غیرایزوله بهره بالا را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود برای افزایش بهره ولتاژ در مبدل از ترکیب روش سلول ضرب‌کننده ولتاژ به همراه سلف تزویج استفاده شده است. اضافه کردن سلول چند برابرکننده ولتاژ، مقدار سلف نشتی و نسبت دور ترانس را افزایش می‌دهد و باعث کاهش حجم مدار می‌گردد. در حالتی که دیود D دیود روشن باشد، عملیات شارژر سیستم ذخیره‌ساز انرژی آغاز می‌شود و فاز بالایی از طریق فاز پایین ذخیره‌ساز انرژی را شارژ می‌کند و فاز بالا به عنوان تأمین‌کننده بار خروجی عمل می‌کند. حالت تخلیه ESS در مرجع [۱۱] به طور کامل آورده شده و همچنین وضعیت‌های عملکرد مبدل در این حالت به طور کامل بررسی شده است.



شکل (۱): ساختار مبدل پیشنهادی چندورودی غیر-ایزوله بهره بالا

در حالت شارژر ESS، میزان توان تولیدی توسط منبع فوقانی، بسیار بیشتر از توان مورد نیاز بار است بنابراین، انرژی اضافی به منظور شارژر ESS، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این حالت، مبدل پیشنهادی مشابه با یک مبدل باک عمل می‌کند و از طریق فاز پایینی، ESS را شارژ می‌کند و فاز بالا نقش تأمین‌کننده بار خروجی را ایفا می‌کند. کلید زنی در این حالت به صورت کلیدزنی سخت انجام می‌شود، زیرا مبدل به صورت مبدل باک عمل می‌کند و مبدل باک به خودی خود دارای راندمان بالای ۹۰ درصد است. بنابراین در این حالت از کلیدزنی سخت استفاده می‌شود که هم مدار پیچیده‌تر نشود و هم دارای راندمان مناسبی است. در این حالت کلید S2 همواره خاموش است و کلید S4 به عنوان کلید اصلی مبدل عمل می‌کند. مطابق شکل (۱)، مبدل پیشنهادی در حالت شارژر ESS، در یک دوره کلیدزنی دارای ۲ حالت عملیاتی است.

الف- حالت یک: محدوده زمانی در این حالت بین t_0 و t_1 است. این حالت از جایی شروع می‌شود که کلید S4، همچنان روشن است. جریان I_{Lm2} مثبت می‌شود و مقدار آن شروع به افزایش می‌کند. مدار معادل این وضعیت در شکل (۲)، نشان داده شده است. در این حالت روابط زیر برقرار است:

$$V_{cc2} = V_1 \quad (1)$$



$$V_{Lm2} = V_1 - V_2 \quad (2)$$

$$i_{Lm2}(t) = i_{Lm2}(t_0) + \frac{V_{Lm2}}{L_{m2}}(t - t_0) \quad (3)$$

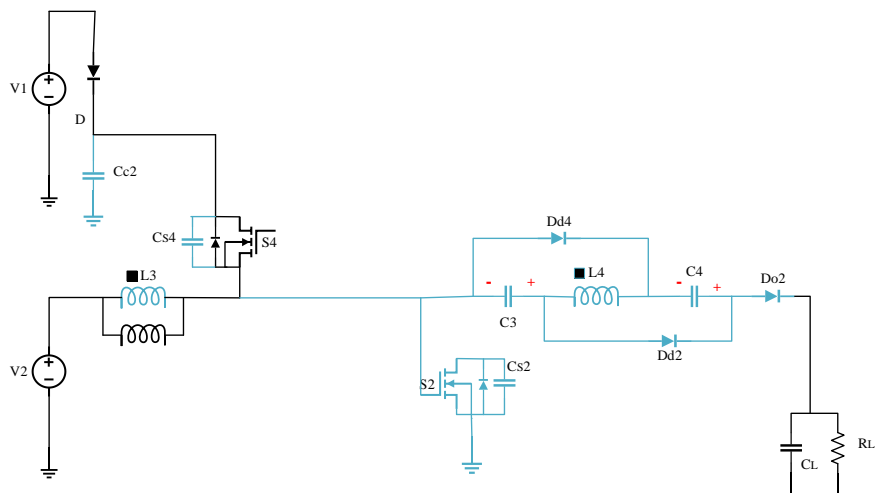
$$i_{Lm2}(t) = i_{Lm2}(t_0) + \frac{V_2 - V_1}{L_{m2}}(t - t_0) \quad (4)$$

ب- حالت دوم: محدوده زمانی در این حالت بین t_1 و t_2 است. این حالت از جایی شروع می‌شود که کلید S_4 روشن است. جریان i_{Lm2} مثبت می‌شود و مقدار آن شروع به افزایش می‌کند. مدار معادل این وضعیت در شکل (۳)، نشان داده شده است. روابط مربوط به این حالت عملیاتی به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

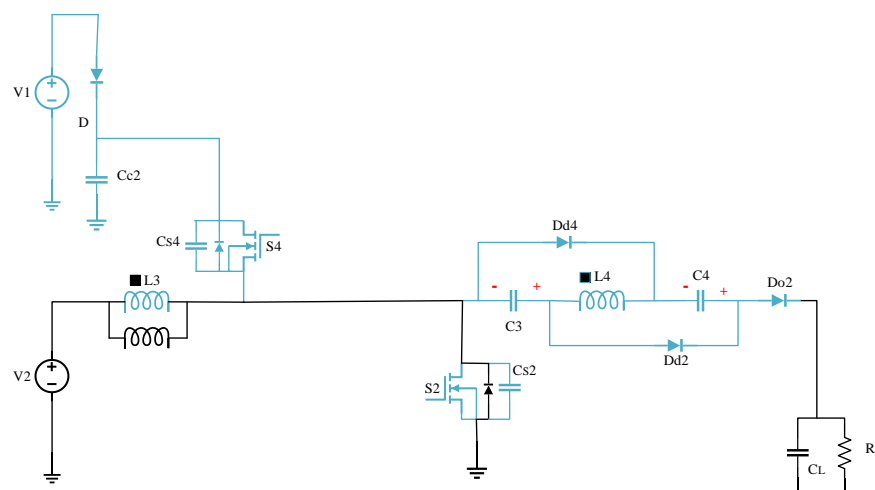
$$V_{Lm2} = V_2 \quad (5)$$

$$i_{Lm2}(t) = i_{Lm2}(t_1) + \frac{V_{Lm2}}{L_{m2}}(t - t_1) \quad (6)$$

$$i_{Lm2}(t) = i_{Lm2}(t_1) + \frac{V_2}{L_{m2}}(t - t_1) \quad (7)$$



شکل (۲): حالت اول عملکرد مبدل در فاصله زمانی t_0 الی t_1



شکل (۲): حالت دوم عملکردی مبدل در فاصله زمانی t_0 الی t_1



۳- طراحی المان‌های مبدل پیشنهادی

در این قسمت رابطه‌های المان‌های مبدل پیشنهادی شامل خازن‌های خروجی و سلف تزویج بیان می‌شود.

۳-۱- محاسبه سلف

در اکثر مواقع بهتر است مقدار سلف I_m طوری انتخاب شود که مبدل مورد نظر در حداکثر مقدار توان خروجی دارای ۲۰ درصد ریپل جریان بر روی سلف باشد. حداقل مقدار اندوکتانس مغناطیسی مورد نیاز برای نگه داشتن مبدل در حالت CCM را می‌توان به شرح زیر بیان کرد.

$$\Delta I_{lm} = 20\% I_{lm} \quad (8)$$

$$\Delta I_{lm} = 2 I_{lm} \quad (9)$$

۳-۲- محاسبه مقاومت بار

حداکثر مقاومت بار (R_{lBCM}) 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:

$$p = p_1 + p_2 \quad (10)$$

$$p = \frac{v_o^2}{R_L} \quad (11)$$

$$R_{lBCM} = 5 R_L \quad (12)$$

با توجه به توان نامی خروجی، مدار معادل مبدل و شکل موج متوسط جریان سلف در حالت BCM جریان متوسط سلف به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$I_{lm} = I_{lm} (1-D) \rightarrow I_{lm} = \frac{(n+1) I_o}{(1-D)} \quad (13)$$

$$\Delta I_{lm} = \frac{v_{lm} DT}{L_m} \quad (14)$$

با جایگذاری روابط بالا مقدار سلف L_m برابر است با:

$$L_m = \frac{D(1-D)^2 R_{lBCM}}{2(n+1)[(1+2n)-nD] f_s} \quad (15)$$

۳-۳- محاسبه خازن خروجی

مقدار خازن خروجی C_o اصولاً با توجه به ریپل ولتاژ خروجی انتخاب می‌شود. ریپل ولتاژ خروجی مجاز ۰/۱ 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:

$$C_o = \frac{I_o D}{\Delta V_{co} f_s} \quad (16)$$

د- محاسبه خازن‌های C_1 و C_2 : مقدار خازن سویچ، اساساً به ریپل ولتاژ خازن و سطح توان خروجی بستگی دارد. مقادیر خازن‌های C_1 و C_2 از رابطه زیر تعیین می‌شوند:

$$C_1 = \frac{I_o(1-D)}{\Delta V_{c1} f_s} \quad (17)$$

ی- محاسبه خازن‌های C_{c1} و C_{c2} : مقادیر خازن‌های C_1 و C_2 از رابطه زیر تعیین می‌شوند:

$$C_{c1} = \frac{(2+4n-2nD)V_o}{\Delta V_{Cc1} f_s DR_L} \quad (18)$$



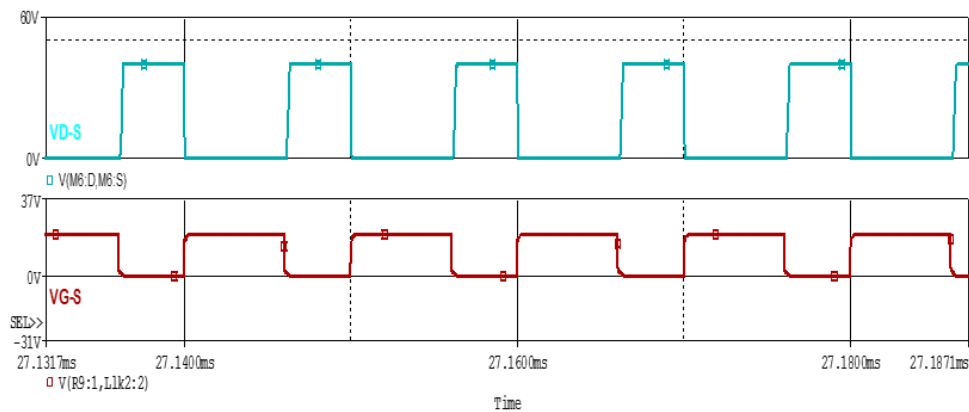


۴- نتایج شبیه‌سازی

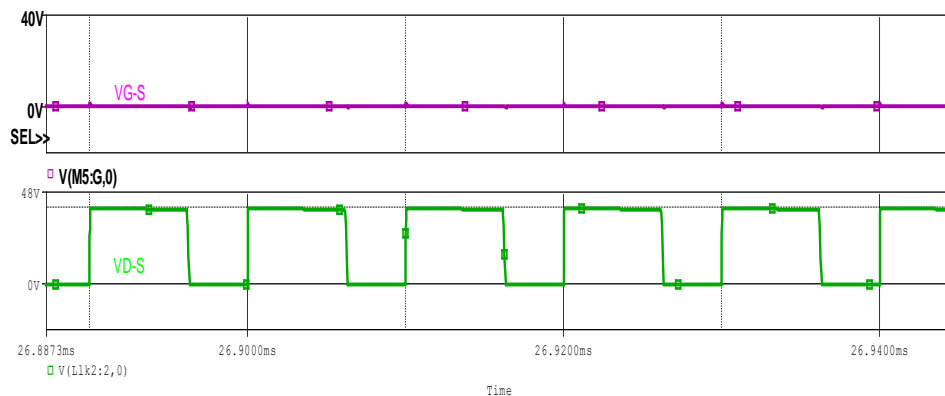
تعدادی از نتایج شبیه‌سازی مبدل پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار ارکد برای تایید تحلیل نظری مبدل پیشنهادی در این قسمت نشان داده شده است. مبدل ۴۰۰ وات و منبع تغذیه ورودی اول و دوم به ترتیب ۴۰ ولت و ۲۴ ولت است.

ولتاژ خروجی ۴۰۰ ولت و فرکانس کلیدزنی ۱۰۰ کیلوهرتز است. اندوکتانس اولیه و ثانویه به ترتیب ۱ و ۶ هانری است. خازن‌های خروجی، کلیدزنی و کلمپ به ترتیب ۲۴، ۳۸ و ۴/۷ میکروفاراد است. نتایج شبیه‌سازی تابعی از زمان نشان داده شده و محور زمان برحسب میلی-ثانیه است.

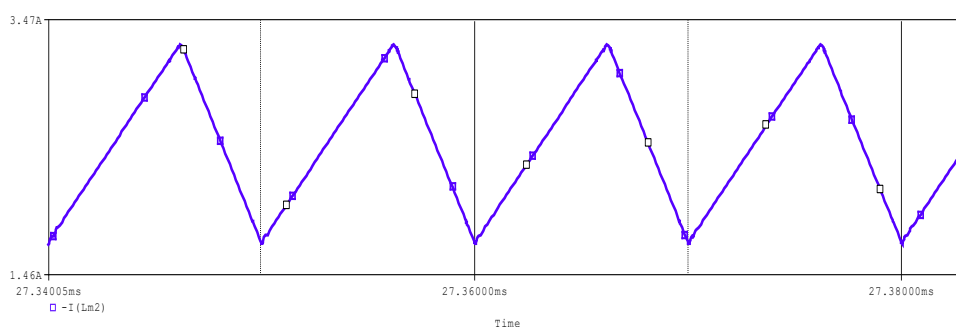
در حالت شارژ ESS، ولتاژهای ورودی، پارامترهای اصلی برای طراحی سلف مبدل باک هستند تا در حالت BCM کار کند. با فرض ولتاژهای ورودی اول (V_1) و دوم (V_2) به ترتیب ۴۰ و ۲۴ ولت و سیکل وظیفه (D) بیشتر یا برابر ۰/۵ و مقدار نسبت تبدیل برای سلف‌های تزویج فاز بالا (n_1) برابر با ۲/۱۴ و برای سلف‌های تزویج فاز پایین (n_2) برابر با ۴/۰۴ است. تمام مقادیر مربوط طراحی سلف و ... مشابه با حالت تخلیه است. ولتاژ گیت-سورس و درین-سورس در کلید S_4 در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ولتاژ گیت-سورس در کلید S_2 برابر با صفر بوده و در واقع این کلید خاموش است. ولتاژ گیت-سورس و درین-سورس در کلید S_2 نیز در شکل (۳) آمده است. جریان سلف نشستی در حالت شارژ ESS در شکل (۴)، نشان داده شده است.



شکل (۳): موج ولتاژ گیت-سورس و درین-سورس کلید S_4 در حالت شارژ ESS



شکل (۴): موج ولتاژ گیت-سورس و درین-سورس کلید S_1 در حالت شارژ ESS

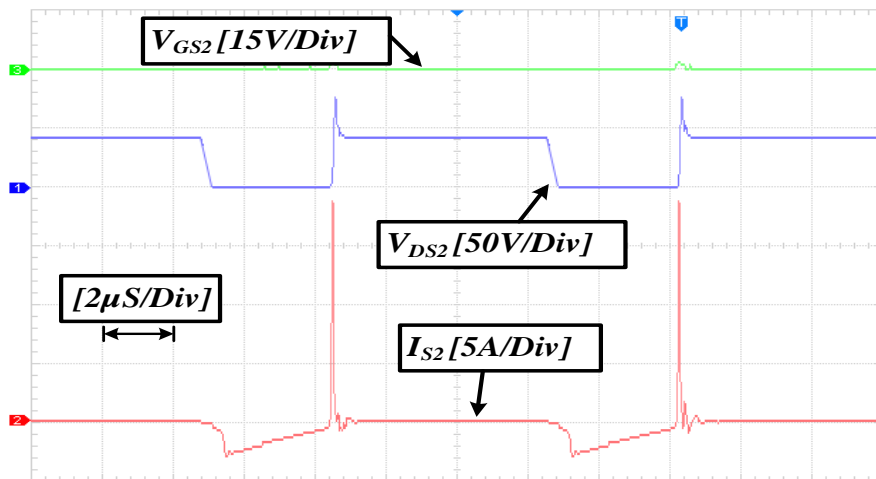


شکل (۵): موج جریان سلف در حالت شارژ ESS

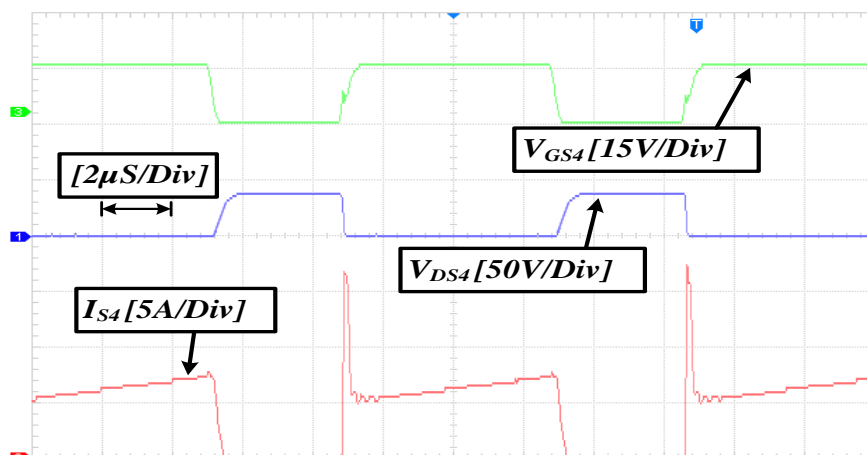


۵- نتایج آزمایشگاهی

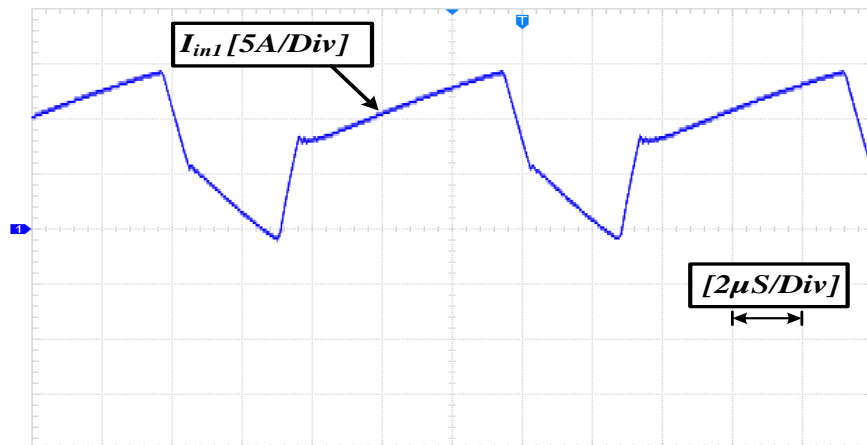
شکل (۵)، وضعیت کلید S_2 در حالت شارژ ESS را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود کلید S_2 در این حالت خاموش است و فقط دیود آن هدایت می‌کند. شکل (۶)، وضعیت کلید S_4 در حالت شارژ ESS را نشان می‌دهد. شکل‌های (۷) و (۸)، موج جریان ورودی از منبع ۴۰ و ۲۴ ولت را به ترتیب نشان می‌دهند.



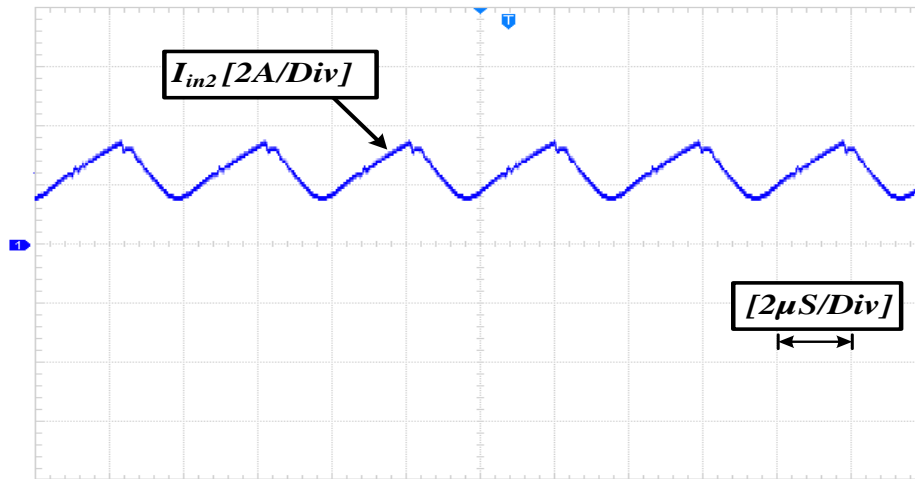
شکل (۶): وضعیت کلید S_2 در حالت شارژ ESS



شکل (۷): وضعیت کلید S_4 در حالت شارژ ESS



شکل (۸): موج جریان ورودی از منبع ۴۰ ولت در حالت شارژ ESS



شکل (۹): موج جریان ورودی از منبع ۲۴ ولت در حالت شارژ ESS

۶- نتیجه گیری

یک مدار شارژ برای مبدل چندورودی غیرایزوله بهره بالا در این مقاله پیشنهاد شده که از ترکیب روش سلف تزویج همراه مدار ضرب کننده ولتاژ برای افزایش قابل توجه بهره مبدل استفاده شده است. با توجه به نتایج حاصل شده از شبیه سازی، مبدل پیشنهادی دارای افزایش بهره ولتاژ مناسب است و دارای بالاترین راندمان ممکن در یک محدوده از بار است. جهت تأیید درستی نتایج حاصل از شبیه سازی مبدل پیشنهادی، یک نمونه آزمایشگاهی از مبدل پیشنهادی ساخته شد که نتایج عملی به دست آمده از مبدل پیشنهادی به منظور تأیید تحلیل نظری مبدل پیشنهادی ارایه شد و صحت نتایج شبیه سازی نشان داده شد.

مراجع

- [1] S. Jain and V. Agarwal, "A single-stage grid connected inverter topology for solar PV systems with maximum power point tracking", *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 22, no. 5, pp. 1928-1940, Sept. 2007, doi: 10.1109/TPEL.2007.904202.
- [2] M. K. Asy'ari, A. Musyafa', K. Indriawati, "Design of wind turbine output voltage control systems in multi-input buck converter using fuzzy logic control for battery charging", *Proceeding of the IEEE/ICAMIMIA*, pp. 249-252, Oct. 2019, doi: 10.1109/ICAMIMIA47173.2019.9223417.
- [3] A.M. Al-Modaffer, A.A. Chlahawi, H.A. Wahhab, "Non-isolated multiple input multilevel output DC-DC converter for hybrid power system", *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*. Vol. 19, no. 2, pp. 635-643, Aug. 2020, DOI: <http://doi.org/10.11591/ijeecs.v19.i2.pp635-643>.
- [4] A. Macias Fernandez, M. Kandidayeni, L. Boulon, H. Chaoui, "An adaptive state machine based energy management strategy for a multi-stack fuel cell hybrid electric vehicle", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 69, no. 1, pp. 220-234, Jan. 2020, doi: 10.1109/TVT.2019.2950558.
- [5] A. Affam, Y.M. Buswig, A.K.B.H. Othman, N.B. Julai, O. Qays, "A review of multiple input DC-DC converter topologies linked with hybrid electric vehicles and renewable energy systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 135, Article Number: 110186, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2020.110186.
- [6] F. Mumtaz, N.Z. Yahaya, S.T. Meraj, B. Singh, R. Kannan, O. Ibrahim, "Review on non-isolated DC-DC converters and their control techniques for renewable energy applications", *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 12, no. 4, pp. 3747-3763, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.asej.2021.03.022.
- [7] R. Faraji, L. Ding, T. Rahimi, M. Kheshti, M.R. Islam, "Soft-switched three-port dc-dc converter with simple auxiliary circuit", *IEEE Access*, vol. 9, pp. 66738-66750, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3076183.



- [8] L. Schmitz, D.C. Martins, R.F. Coelho, "Comprehensive conception of high step-up dc-dc converters with coupled inductor and voltage multipliers techniques", *IEEE Trans. on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 67, no. 6, pp. 2140- 2151, June 2020, doi: 10.1109/TCSI.2020.2973154.
- [9] Y. E. Wu, "Novel High Efficiency Three-Port Bidirectional Step-up/Step-down DC/DC Converter for Photovoltaic Systems," in *2020 IEEE 3rd International Conference on Electronics Technology (ICET)*, 2020, pp. 289-296.
- [10] A. Samadian, S.M. Hashemzadeh, M.G. Marangalu, M. Maalandish, S.H. Hosseini, "A new dual-input high step-up DC-DC converter with reduced switches stress and low input current ripple", *IET Power Electronics*, vol. 14, no. 9, pp. 1669-83, July 2021, doi: 10.1049/pe12.12143.
- [11] D. Taheri, G. Shahgholian, MM. Mirtalaei. "Design of a non-isolated multi-input converter with soft switching and high step-up voltage gain", *Iranian Electric Industry Journal of Quality and Productivity*, vol. 10, no. 2, pp. 75-87, July 2021.

