

Presentation and investigation of a DC-DC boost converter with input from solar system

Saeed Danyali ^{1,*}, Mohammadamin Shirkhani ¹, Zohreh Dadvand ¹ and Amirmohammad Shekarbeigi ¹

¹Department of Electrical Engineering, Ilam University, Ilam, Iran

E-mails: s.danyali@ilam.ac.ir ; ma.shirkhani@ilam.ac.ir ; zohreh.dadvand@gmail.com ; m.beigii1998@gmail.com

Abstract

Nowadays, due to the increase in the use of renewable energies, power converters have also gained special importance. Due to the low voltage level of renewable systems, many DC-DC boost converters have been proposed to increase this voltage level. In this article, a DC-DC boost converter is investigated. The input of this converter is supplied from a photovoltaic system. The converter reviewed in this paper has only one power switch and compared to many other converters, it has a smaller number of switches, which makes the circuit simpler than other converters. This converter also has three capacitors, three diodes and three inductors. The structure of this converter has been compared with a number of structures proposed in other studies and it has been observed that it has a simpler structure than many other structures. The performance of the proposed converter has been performed in the MATLAB/Simulink software environment and the obtained results have been fully presented in the simulation section.

Keywords

DC-DC Boost Converter, Photovoltaic System, Power Electronic, Renewable Energy Systems

ارائه و بررسی یک مبدل DC-DC افزایشده با ورودی از سیستم خورشیدی

سعید دانیالی^{۱*}، محمدامین شیرخانی^۱، زهره دادوند^۱ و امیرمحمد شکرپیگی^۱

گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

ایمیل نویسندگان: m.beigii1998@gmail.com; zohreh.dadvand@gmail.com; ma.shirxhani@ilam.ac.ir; s.danyali@ilam.ac.ir

چکیده

امروزه با توجه به افزایش استفاده از انرژی های تجدیدپذیر، مبدل های قدرت نیز اهمیت ویژه ای پیدا کرده اند. باتوجه به پایین بودن سطح ولتاژ سیستم های تجدیدپذیر، مبدل های DC-DC افزایشده بسیاری به منظور افزایش این سطح ولتاژ پیشنهاد شده اند. در این مقاله یک مبدل DC-DC افزایشده بررسی شده است که ورودی این مبدل، از سمت یک سیستم فتوولتائیک تامین می شود. مبدل بررسی شده در این مقاله فقط دارای یک کلید قدرت می باشد که در مقایسه با بسیاری از مبدل های دیگر، تعداد کلید کمتری دارد و از این جهت باعث ساده تر شدن مدار، نسبت به مدارهای دیگر می باشد. این مبدل همچنین دارای سه خازن، سه دیود و سه سلف می باشد. ساختار این مبدل، با تعدادی ساختار پیشنهادی در مطالعات دیگر مقایسه شده و مشاهده شده است که ساختار ساده تری نسبت به بسیاری از ساختارهای دیگر، دارد. عملکرد مبدل پیشنهادی، در محیط نرم افزار متلب/سیمولینک بررسی شده است و نتایج بدست آمده به صورت کامل در بخش شبیه سازی ارائه و بررسی شده است.

کلمات کلیدی: مبدل DC-DC افزایشده، سیستم فتوولتائیک، الکترونیک قدرت، انرژی های تجدیدپذیر

نام نویسنده مسئول: سعید دانیالی

ایمیل نویسنده مسئول: s.danyali@ilam.ac.ir

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۰۵

تاریخ(های) اصلاح مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۲۸

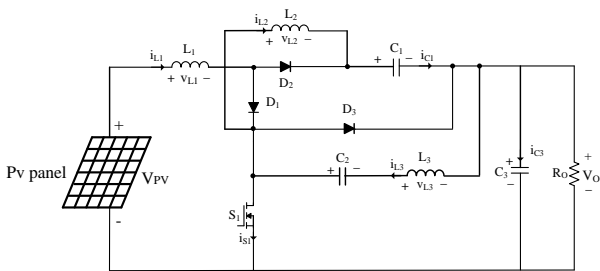
۱- مقدمه

و خازن ها است. انواع مبدل های الکترونیک قدرت شامل مبدل های DC به DC، AC به AC، AC به DC و DC به AC می باشد. [۹-۱۱].

به منظور تنظیم ولتاژ خروجی ثابت در شرایط مختلف از مبدل DC-DC استفاده می کنند. مبدل DC-DC یک میدلی است که ولتاژ DC یک منبع را از یک سطح ولتاژ به سطح ولتاژ دیگر تبدیل میکند. مبدل های DC-DC به طور عمده در منابع تغذیه سوئیچینگ و موتور های DC به کار می روند و جریان ورودی اغلب جریان تنظیم نشده است که از یکسوسازها وارد مدار میشوند و سپس میتوان آن را به سطح ولتاژ دلخواه تغییر داد [۱۴-۱۲]. همچنین این مبدل ها شامل مبدل کاهنده، افزایشده، افزایشده-کاهنده، مبدل چوک و مبدل های تمام پل میباشد که همه مبدل های DC-DC بر پایه مبدل کاهنده و مبدل افزایشده بوده و یا ترکیبی از این دو مدار هستند. مبدل های DC-DC دارای ساختارهای مختلفی می باشند که از نواح آن ها میتوان به مبدل باک، بوست، باک-بوست، مبدل کاک و... اشاره کرد [۱۵ و ۱۶]. منبع [۱۷] یک مبدل DC-DC ابشاری هیبریدی که قابلیت بهره ولتاژ بالا داراست توضیح میدهد. ساختار این مبدل مبتنی بر خازن و سلف های جفت شده میباشد در آن سیم پیچ های اولیه سلف تزویج شده به صورت موازی و سیم پیچ های ثانویه به صورت سری به هم متصل می شوند. البته سلول های چند برابر کننده ولتاژ که از دیود-خازن و سلف تزویج تشکیل شده اند و باعث انتقال انرژی و بالا بردن ولتاژ میشوند. مبدل مورد نظر مزایای بسیار زیادی از جمله کاهش تنش ولتاژ کلیدهای قدرت و همچنین بهبود یافتن بهره ولتاژ را نیز دارا میباشد. همچنین این ساختار برای بهبود راندمان منبع تغذیه و افزایش طول عمر منبع تغذیه ورودی بسیار مفید میباشد. در [۱۸] طراحی و تحلیل یک مبدل تقویت کننده DC-DC کارآمد با فناوری MPPT بهبود یافته مورد بررسی قرار گرفته است. مهم ترین بخش و ویژگی این ساختار نسبت به ساختار های سنتی اجرای الگوریتم MPPT Advanced Perturb &

امروزه در جهان برای تولید انرژی الکتریسیته، بیشتر از سوخت های فسیلی استفاده می شود که باعث تولید دی اکسید کربن بیشتر و در نتیجه اثرات مخرب بر محیط زیست می شود. یکی از راه های غلبه بر این مشکل استفاده از انرژی های تجدید پذیر می باشد، در نتیجه ایده استفاده از منابع انرژی های تجدیدپذیر بجای منابع انرژی متداول فسیلی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است و توجه پژوهشگران را به استفاده از انرژی های-تجدیدپذیر بخصوص سلول های خورشیدی بیشتر کند. [۵-۱] همچنین در این سالها استفاده از انرژی های تجدیدپذیر و پاک همانند انرژی خورشیدی که شامل مزایایی بسیار زیادی نسبت به سوخت های فسیلی میباشد افزایش چشمگیری داشته است. انرژی خورشیدی یک فناوری سازگار با محیط زیست، یک منبع انرژی عالی و یکی از مهم ترین منابع انرژی تجدید پذیر و سبز است. انرژی خورشیدی تابشی از نور خورشید است که می تواند مهار شده و با استفاده از تکنولوژی های مختلف به انرژی الکتریکی تبدیل شود. تبدیل مستقیم انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی را می توان با استفاده از سلول های خورشیدی انجام داد. عملکرد سیستم های فتوولتائیک در تبدیل انرژی خورشیدی به توان الکتریکی، به شدت تابعی از شرایط محیطی همانند میزان تابش خورشیدی، دمای محیط، باد، رطوبت و سایر پارامترهای محیطی میباشد در نتیجه بررسی تغییر این پارامترها در طراحی و بررسی عملکرد این سامانه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. [۸-۶]. مبدل های الکترونیک قدرت معمولاً شامل چند طبقه تبدیل قدرت می باشند و عملکرد هر طبقه از طبقه دیگر توسط عناصر ذخیره کننده انرژی نظیر خازن ها و سلف ها مجزا می شود. به هر طبقه تبدیل توان، یک مبدل گفته می شود. در سیستم های الکترونیک قدرت هر مبدل شامل عناصر نیمه هادی قدرت قابل کنترل با سیگنال های الکترونیکی و عناصر ذخیره کننده انرژی نظیر سلف ها

سلف می باشد. این مبدل دارای دو حالت عملکردی می باشد که در ادامه به هر کدام از آنها به صورت جداگانه پرداخته شده است.

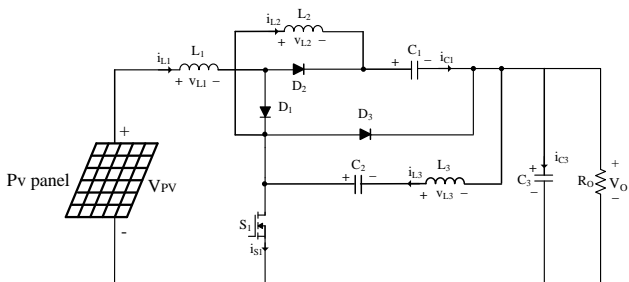


شکل شماره ۱: ساختار مبدل DC-DC افزایشده بررسی شده.

۲-۱. حالت عملکردی اول

در اولین حالت عملکردی مدار، کلید S1 روشن است و دیود D1 هدایت را انجام می دهد درحالی که دیودهای D2 و D3، خاموش هستند و هدایت انجام نمی دهند. در این حالت، جهت جریان عبوری از سلف های L2 و L1، در خلاف جهت یکدیگر هستند و جریان عبوری از کلید S1، برابر $i_{L2} + i_{D1} + i_{L3}$ می باشد. خازن C1 توسط جریان L2 و خازن C2، توسط جریان L3 شارژ می شود. ولتاژ دو سر L1، L2 و L3 به ترتیب در معادلات ۱ تا ۳ نشان داده شده اند. همانطور که مشاهده می شود، ولتاژ i_{L1} برابر با مقدار ولتاژ PV می باشد. شکل ۲، نشان دهنده وضعیت عملکردی مبدل در حالت اول می باشد.

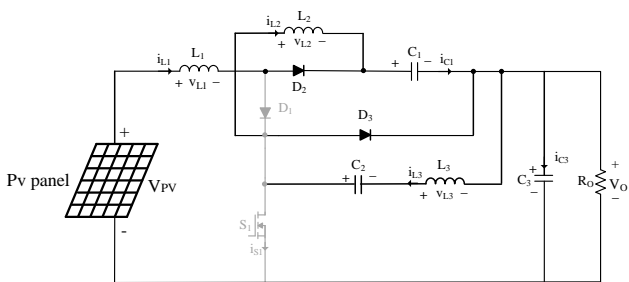
$$\begin{aligned} V_{L1} &= V_{PV} & (1) \\ V_{L2} &= V_{C1} & (2) \\ V_{L3} &= V_{C3} & (3) \end{aligned}$$



شکل شماره ۲: نحوه عملکرد مبدل DC-DC افزایشده مورد بررسی در حالت عملکردی اول.

۲-۲. حالت عملکردی دوم

نحوه عملکرد مبدل در حالت عملکردی دوم، در شکل ۳، نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده است، در این وضعیت، کلید S1 خاموش می شود و برخلاف حالت قبل، دیودهای D2 و D3 روشن هستند و هدایت را انجام می دهند درحالی که در این حالت، دیود D1 خاموش می باشد.



شکل شماره ۳: نحوه عملکرد مبدل DC-DC افزایشده مورد بررسی در حالت عملکردی دوم.

Observation (APO) میباشد. اجرای این الگوریتم در مبدل باعث میشود که مبدل مدنظر بر نوسانات توان خروجی سلول های خورشیدی غلبه کند و تولید توان خروجی از ارایه های PV به حداکثر میزان خود برسد. اضافه کردن پارامترهایی نظیر پارامتر LC بیشتر نیز اثرات مثبت دارد و باعث کاهش تلفات تبدیل توان در مبدل میشود. در منبع [۱۹] طرح جدیدی از مبدل های DC-DC را ارائه شده است که همراه با بهره بالا و با راندمان بالا میباشد و کاربرد آن هم برای منابع ولتاژ با ورودی کم مانند سلول های فتوولتائیک (PV) بیشتر مد نظر قرار میگیرد. با این حال این مبدل امکان استفاده از کنترل کننده مشتق انتگرال را به منظور بهبود عملکرد سیستم را برای ما فراهم می کند که ولتاژهای DC کمتر را به ولتاژهای بالاتر بدون به خطر انداختن بهره و بازده با استفاده از یک سلف تزویج افزایش میدهد. همچنین از سلف تزویج نیز در انتخاب ماسفت مناسب برای به دست آوردن راندمان بالا و بهره بالا استفاده میشود. برای این کار از عملکرد سلف تزویج برای افزایش بهره مبدل با استفاده از جریان های ناشی استفاده کرد. همچنین کاهش ولتاژ با استفاده از فعال کردن خازن های منبع صورت میگیرد. نتایج شامل دستیابی به راندمان بالا می باشد و در نهایت ولتاژ بار ثابت را حفظ می کند. مقاله [۲۰] یک مبدل تقویت کننده رزونانس دوالتایی با پل کامل dc-dc ایزوله مورد بررسی قرار داده است. این مبدل برای کاربردهایی که ولتاژ ورودی و محدوده بار وسیعی را می طلبند مناسب است. از این مبدل میتوان به عنوان یک مبدل DC-DC Front-End استفاده کرد که میتوان ولتاژ پایین متغیر را از منبع تغذیه تقویت کند و آن را به یک لینک DC ولتاژ بالا که یک اینورتر را تغذیه میکند متصل کرد.

همچنین مقایسه ها نشان میدهد مبدل پیشنهادی بر تمامی اشکالات مبدل های تقویت کننده dc-dc ایزوله معمولی غلبه می کند. منبع [۲۱] یک مبدل DC-DC جدید پیشنهاد می کند. ساختار مبدل مد نظر شامل سه کلید، دو دیود و سه سلف است که به منظور ایجاد یک ساختار جدید و تقویت شده میباشد و قابلیت هایی از جمله قابلیت افزایش ولتاژ بالا برای پنل های PV را به همراه دارد. همچنین این ساختار مزایایی مثل قابلیت مبدل فوق فزاینده، تنش ولتاژ پایین در عناصر فعال، و بازده متوسط است. در [۲۲] ساختار به مطالعه یک مبدل تقویت کننده DC-DC بدون ترانسفورماتور که با ساختار جدیدی همراه است میپردازد. این ساختار شامل یک خازن سوئیچ با یک کنترلر حالت لغزشی (SMC) به منظور کاهش تنش ولتاژ روی کلید قدرت و افزایش بهره ولتاژ DC میباشد. این قابلیت با استفاده از یک بلوک پیش تقویت کننده که شامل یک سلف اضافی در سمت ورودی است انجام می شود. از قابلیت دیگر بلوک خازن سوئیچ کاهش تنش های ولتاژی را روی کلید قدرت اصلی و سایر دیودها میباشد. نتایج مبدل مورد بحث شده شامل بهره بالای DC و تحت چرخه کاری کمتری کار کند (کارکرد با مقادیر کم چرخه کاری به طور مستقیم تلفات دینامیکی در مدار را کاهش می دهد و راندمان بالاتری می دهد).

در این مقاله، یک ساختار ساده مبدل DC-DC افزایشده پیشنهاد شده است. در این مبدل، یک سیستم فتوولتائیک به عنوان ورودی مبدل در نظر گرفته شده است و نتایج بدست آمده در محیط نرم افزار متلب/سیمولینک، ارائه و بررسی شده اند. این مبدل دارای دو حالت عملکردی می باشد که در مقاله به آن اشاره و راجب هر حالت، جداگانه بحث شده است. همچنین نحوه بدست آمدن اندازه هر کدام از عناصر مدار نیز به طور کامل ارائه شده است.

۲- مبدل DC-DC افزایشده پیشنهادی و حالت های عملکردی آن

ساختار مبدل DC-DC افزایشده بررسی شده در این مقاله، در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیداست، این مبدل دارای تنها یک کلید قدرت می باشد که این مورد می تواند مزیت این ساختار از نظر سادگی و پیاده سازی ساده ی آن باشد. همچنین این مبدل دارای سه خازن، سه دیود و سه

همچنین حداقل مقدار خازن C3، مطابق فرمول ۱۷ بدست می آید. در این فرمول، ΔV_{C3} نشان دهنده ریبیل ولتاژ عبوری از خازن C3 می باشد.

$$C_0 = I_{Co} \cdot \frac{D}{\Delta V_{out} \cdot f_s} \quad (17)$$

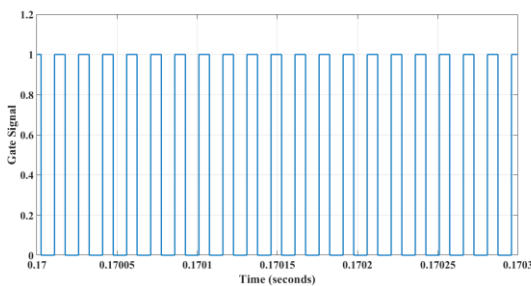
۴- نتایج شبیه سازی

همانطور که پیشتر نیز گفته شد، شبیه سازی مبدل آورده شده در این مقاله، در محیط نرم افزار متلب/سیمولینک ۲۰۱۸b انجام شده است. اندازه هر کدام از عناصر این مبدل در شبیه سازی، مطابق با مقادیر ارائه شده در جدول ۱ فرض شده است و باتوجه به آنها، شبیه سازی انجام و نتایج بدست آمده در ادامه ارائه و بررسی شده اند. همچنین باید این نکته را ذکر کرد که سیستم فتولتائیک فرض شده دارای ۵ رشته موازی است که در هر رشته، ۵ ماژول به صورت سری به یکدیگر متصل شده اند و نوع ماژول نیز Certain Teed Apollo، می باشد. مشخصات این ماژول، در جدول ۲ ذکر شده است.

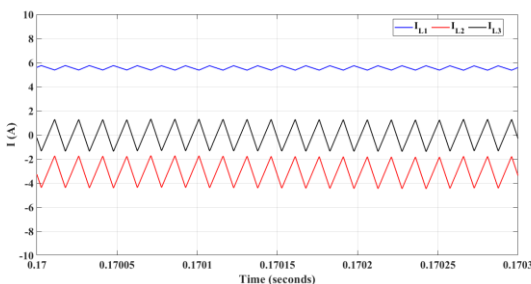
جدول شماره ۱. مقادیر فرض شده برای عناصر مبدل در شبیه سازی

عناصر	مقدار
L1	۴۶۶ μ H
L2	۱۱۶ μ H
L3	۱۱۶ μ H
C1	۱۲۰ μ F
C2	۲۵۰۰ μ F
C3	۲۵۰۰ μ F
Vin	۲۷ V
Ro	۵۰ Ω

شکل ۴، سیگنال گیت سوئیچ S1 را نشان می دهد. همچنین شکل ۵، نشان دهنده شکل موج جریان عبوری از سلف های L1، L2 و L3 می باشد و همانطور که واضح است و از روابط بیان شده قبل هم می توان دریافت کرد، جریان عبوری از سلف L1، دارای سطح جریان بیشتری نسبت به دو سلف دیگر دارد.



شکل شماره ۴: سیگنال گیت کلید S1.



شکل شماره ۵: جریان سلف های L1، L2 و L3.

ولتاژ درین-سورس سوئیچ S1، در شکل ۶ نشان داده شده است و مقدار

در این حالت، به منظور اینکه جهت جریان های L1 و L2 را همانند حالت قبل حفظ کنیم، بایستی قطبیت سلف های L1 و L2 را برعکس کنیم و دلیل روشن بودن دیودهای D2 و D3 در این حالت، همین برعکس شدن قطبیت سلف های L1 و L2 می باشد. انرژی ذخیره شده در سلف های L1، L2 و L3 در حالت قبل، در این حالت به خازن های C1، C2 و C3 منتقل می شود. ولتاژ دو سر سلف های L1، L2 و L3 در این حالت، به ترتیب در فرمول های ۴ تا ۶ بیان شده اند.

$$V_{L1} = V_{in} - V_{C1} \quad (4)$$

$$V_{L2} = V_{C1} - V_{out} \quad (5)$$

$$V_{L3} = V_{C2} - V_{out} \quad (6)$$

۳- طراحی عناصر مبدل

انتخاب و تعیین مقادیر سلف ها و خازن ها که عناصر ذخیره کننده جریان و ولتاژ هستند، در نحوه عملکرد مبدل های DC-DC بسیار مهم هستند. باید توجه کرد که حداکثر ریبیل جریان سلف ها و حداکثر ریبیل ولتاژ خازن ها نباید بیشتر از ۱۰ درصد مقدار جریان عبوری سلف و ولتاژ دو سر خازن باشد. در ادامه به بررسی روابط تعیین مقدار سلف های L1، L2 و L3 و همچنین خازن های C1، C2 و C3 می پردازیم و هر کدام را مورد بررسی قرار می دهیم.

ولتاژ ایجاد شده و جریان عبوری از سلف L1 را می توان به ترتیب طبق روابط ۷ و ۸، مطابق زیر بدست آورد:

$$V_{in} = L1 \frac{di_{L1}}{D \cdot T} \quad (7)$$

$$\Delta I_{L1} = \frac{V_{in} \cdot D \cdot T}{L1} \quad (8)$$

مشابه فرمول ۸، می توان فرمول ۹ را برای سلف L2 نیز مطابق زیر نوشت:

$$\Delta I_{L2} = V_{C1} \cdot D \cdot \frac{1}{L2 - f_s} \quad (9)$$

برای بدست آوردن ولتاژ خازن C1 می توان از فرمول ۱۰ استفاده کرد:

$$V_{C1} \cdot D \cdot \frac{1}{L2 - f_s} = V_{in} \left(\frac{1}{1-D} \right) \cdot \frac{1}{L2 - f_s} \quad (10)$$

طبق معادلات ارائه شده در فرمول ۹ و ۱۰، می توانیم فرمول ۱۱ را مطابق زیر بدست آوریم:

$$\Delta I_{L2} = V_{in} \left(\frac{D}{1-D} \right) \cdot \frac{1}{L2 - f_s} \quad (11)$$

بنابراین می توان گفت که حداقل مقداری که باید برای سلف L1 باید مورد استفاده قرار بگیرد، از طریق فرمول ۱۲ بدست می آید:

$$L1 = \frac{V_{out} \cdot (1-D)^2 \cdot D}{\Delta I_{L1} \cdot f_s} \quad (12)$$

که در این فرمول ها، توضیح پارامتر های استفاده شده به شرح زیر است:

ΔI_{L1} : ریبیل جریان سلف L1

f_s : فرکانس کلیدزنی کلید قدرت

D: چرخه کار

V_{out} : ولتاژ خروجی DC

باتوجه به اینکه ΔI_{L2} ریبیل جریان سلف L2 می باشد، رابطه ۱۳ بیانگر حداقل مقدار سلف L2 می باشد:

$$L2 = \frac{V_{out} \cdot (1-D)^2 \cdot D}{\Delta I_{L2} \cdot (1-D) \cdot f_s} \quad (13)$$

رابطه ۱۴ نیز، حداقل مقدار سلف L3 را نشان می دهد:

$$L3 = \frac{V_{out} \cdot (1-D)^2 \cdot D}{\Delta I_{L3} \cdot (1-D) \cdot f_s} \quad (14)$$

حداقل مقدار خازن C1 نیز طبق رابطه ۱۵ بدست می آید:

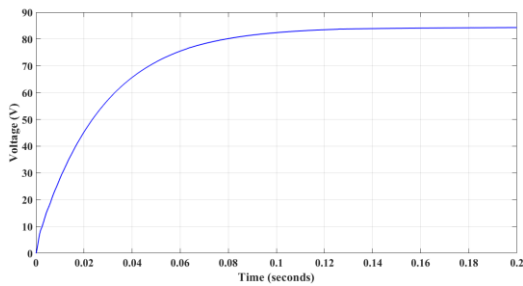
$$C1 = \frac{I_o \cdot D}{\Delta V_{C1} \cdot (1-D) \cdot f_s} \quad (15)$$

در رابطه بالا، ΔV_{C1} بیانگر ریبیل ولتاژ عبوری از خازن C1 می باشد.

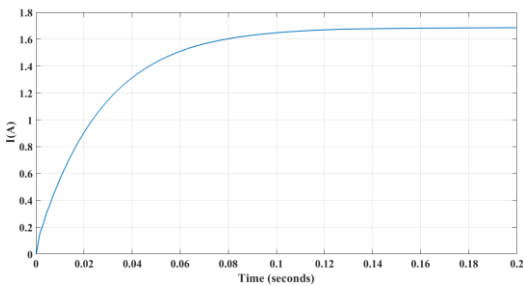
رابطه ۱۶، بیانگر حداقل مقداری خازن C2 می باشد که در این رابطه، ΔV_{C3} ،

ریبیل ولتاژ عبوری از خازن C2 می باشد.

$$C1 = \frac{I_o \cdot D}{\Delta V_{C1} \cdot (1-D) \cdot f_s} \quad (16)$$



شکل شماره ۹: شکل موج ولتاژ خروجی



شکل شماره ۱۰: شکل موج جریان خروجی

شکل ۹ و ۱۰، به ترتیب بیانگر شکل موج ولتاژ و جریان خروجی مبدل می باشد. ولتاژ و جریان خروجی مبدل بعد از گذراندن شرایط اولیه به ترتیب به ۸۴ ولت و ۱.۶۸ آمپر می رسند. بنابراین می توان گفت که توان خروجی مبدل برابر با ۱۴۱ وات می باشد.

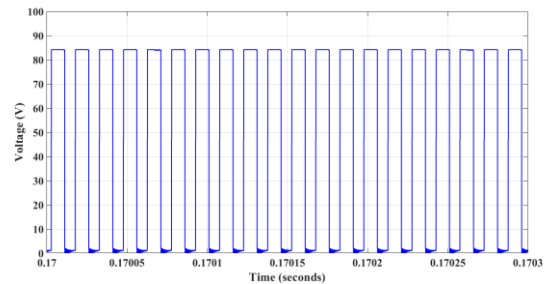
۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مقاله یک ساختار مبدل DC-DC افزایش دهنده بررسی شده است. این مبدل به منظور استفاده در سیستم های انرژی تجدیدپذیر مورد بحث قرار گرفته است و از یک سیستم خورشیدی فتوولتائیک برای ورودی این مبدل استفاده شده است. سیستم فتوولتائیک در نظر گرفته شده در شبیه سازی دارای ۴ رشته موازی است که در هر رشته، ۵ ماژول به صورت سری به یکدیگر متصل شده اند. این مبدل با توجه به داشتن تنها یک کلید قدرت در ساختار خود، دارای ساختار ساده ای است و می توان به راحتی آن را پیاده سازی کرد. همچنین باید این نکته را ذکر کرد که این مبدل دارای دو حالت عملیاتی می باشد. همچنین دیگر اجزای تشکیل دهنده این ساختار شامل سه سلف، سه خازن و سه دیود می باشد. مقداری ولتاژ ورودی در شبیه سازی برابر ۲۷ ولت می باشد در حالی که ولتاژ خروجی به حدود ۸۴ ولت می رسد. نتایج شبیه سازی های انجام شده که در محیط متلب/سیمولینک انجام شده است، عملکرد مبدل پیشنهادی را تایید می کند.

مراجع

- [1] Danyali S, Aghaei O, Shirkhani M, Aazami R, Tavooosi J, Mohammadzadeh A, Mosavi A. A New Model Predictive Control Method for Buck-Boost Inverter-Based Photovoltaic Systems. Sustainability. 2022 Sep 19;14(18):11731.
- [2] Iranmehr H, Aazami R, Tavooosi J, Shirkhani M, Azizi AR, Mohammadzadeh A, Mosavi AH, Guo W. Modeling the price of emergency power transmission lines in the reserve market due to the influence of renewable energies. Frontiers in Energy Research. 2022 Jan 13;9:792418.
- [3] Aazami R, Heydari O, Tavooosi J, Shirkhani M, Mohammadzadeh A, Mosavi A. Optimal Control of an Energy-Storage System in a Microgrid for Reducing Wind-Power Fluctuations. Sustainability. 2022 May 19;14(10):6183.

ولتاژ حداکثری آن، برابر با ۸۴ ولت می باشد. همانطور که از شکل ۴ و ۶ می توان متوجه شد، این مبدل در حالت کلیدزنی سخت، کار می کند که این باعث ایجاد مقداری تلفات می شود.

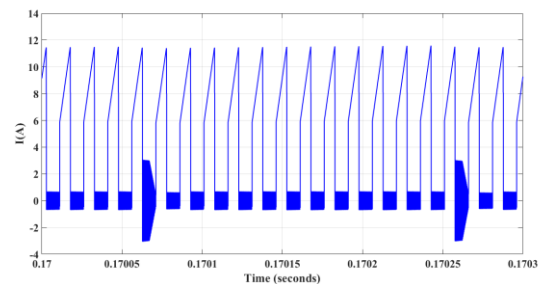


شکل شماره ۶: شکل موج ولتاژ درین-سورس کلید S1

جدول شماره ۲: مشخصات ماژول Certain Teed Apollo

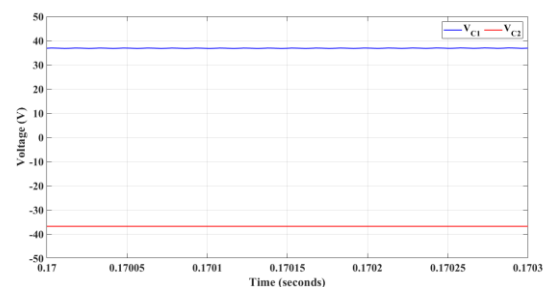
مقدار	پارامتر
۵۱.۹۴۳۵ W	حداکثر توان
۸.۷ V	ولتاژ مدار باز
۶.۷۹ V	ولتاژ در نقطه توان حداکثر
۱۴	تعداد سلول در هر ماژول
۸.۰۷ A	جریان اتصال کوتاه
۷.۶۵ A	جریان در نقطه توان حداکثر

جریان درین-سورس کلید S1 در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۷ مشاهده می شود، حداکثر جریان عبوری از این کلید به حدود ۱۱.۵ آمپر می رسد و در حالت مینیمم، این جریان بین ۰.۶۵ و -۰.۶۵ آمپر نوسان می کند که می توان گفت مقدار موثر آن، برابر همان صفر آمپر می باشد.



شکل شماره ۷: شکل موج جریان درین-سورس کلید S1

ولتاژ دوسر خازن های C1 و C2، در شکل ۸ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود ولتاژ دوسر خازن C1 برابر ۵۰ ولت و ولتاژ دوسر خازن C2 حدودا برابر با ۵۰- ولت می باشد.



شکل شماره ۸: شکل موج ولتاژ دوسر خازن C1 و C2

- [22] Qi Q, Ghaderi D, Guerrero JM. Sliding mode controller-based switched-capacitor-based high DC gain and low voltage stress DC-DC boost converter for photovoltaic applications. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2021 Feb 1;125:106496.
- [4] Feyzi MR, Niapour SK, Danyali S, Shafiei M. Supplying a Brushless DC Motor by z-source PV power inverter with FLC-IC MPPT by DTC drive. In 2010 International Conference on Electrical Machines and Systems 2010 Oct 10 (pp. 694-699). IEEE.
- [5] Tavooosi J, Shirkhani M, Azizi A. Control engineering solutions during epidemics: A review. *International Journal of Modelling, Identification and Control*. 2021;39(2):97-106.
- [6] Hosseini SH, Danyali S, Goharrizi AY, Sarhangzadeh M. Three-phase four-wire grid-connected PV power supply with accurate MPPT for unbalanced nonlinear load compensation. In 2009 IEEE International Symposium on Industrial Electronics 2009 Jul 5 (pp. 1099-1104). IEEE.
- [7] Tawalbeh M, Al-Othman A, Kafiah F, Abdelsalam E, Almomani F, Alkasrawi M. Environmental impacts of solar photovoltaic systems: A critical review of recent progress and future outlook. *Science of The Total Environment*. 2021 Mar 10;759:143528.
- [8] Tavooosi J, Shirkhani M, Azizi A, Din SU, Mohammadzadeh A, Mobayen S. A hybrid approach for fault location in power distributed networks: Impedance-based and machine learning technique. *Electric Power Systems Research*. 2022 Sep 1;210:108073.
- [9] Hosseini SH, Nejabatkhah F, Niapour SK, Danyali S. Supplying a brushless dc motor by z-source PV power inverter with FL-IC MPPT. In The 2010 International Conference on Green Circuits and Systems 2010 Jun 21 (pp. 485-490). IEEE.
- [10] Feyzi MR, Niapour SK, Nejabatkhah F, Danyali S, Feizi A. Brushless DC motor drive based on multi-input DC boost converter supplemented by hybrid PV/FC/battery power system. In 2011 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE) 2011 May 8 (pp. 000442-000446). IEEE.
- [11] Mumtaz F, Yahaya NZ, Meraj ST, Singh B, Kannan R, Ibrahim O. Review on non-isolated DC-DC converters and their control techniques for renewable energy applications. *Ain Shams Engineering Journal*. 2021 Dec 1;12(4):3747-63.
- [12] Hosseini SH, Nejabatkhah F, Danyali S, Niapour SK. Grid-connected three-input PV/FC/Battery power system with active power filter capability. In 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies 2011 Dec 5 (pp. 1-7). IEEE.
- [13] Haghi M, Danyali S, Thurow K, Warnecke JM, Wang J, Deserno TM. Hardware prototype for wrist-worn simultaneous monitoring of environmental, behavioral, and physiological parameters. *Applied Sciences*. 2020 Aug 7;10(16):5470.
- [14] Danyali S, Moradkhani A, Aazami R, Haghi M. New dual-input zero-voltage switching DC-DC boost converter for low-power clean energy applications. *IEEE Transactions on Power Electronics*. 2021 Apr 9;36(10):11532-42.
- [15] Guo X, Shirkhani M, Ahmed EM. Machine-Learning-Based improved smith predictive control for MIMO processes. *Mathematics*. 2022 Oct 9;10(19):3696.
- [16] Danyali S, Moradkhani A, Aazami R, Mejbelt MT. New Dual-Source High-Gain ZVS DC-DC Converter for Integrating Renewable Power Source and Battery Storage. *Electric Power Systems Research*. 2022 Dec 1;213:108740.
- [17] Hu X, Ma P, Wang J, Tan G. A hybrid cascaded DC-DC boost converter with ripple reduction and large conversion ratio. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*. 2019 Feb 8;8(1):761-70.
- [18] Raj A, Praveen RP. Highly efficient DC-DC boost converter implemented with improved MPPT algorithm for utility level photovoltaic applications. *Ain Shams Engineering Journal*. 2022 May 1;13(3):101617.
- [19] Ali CB, Khan AH, Pervez K, Awan TM, Noorwali A, Shah SA. High efficiency high gain DC-DC boost converter using PID controller for photovoltaic applications. In 2021 International Congress of Advanced Technology and Engineering (ICOTEN) 2021 Jul 4 (pp. 1-7). IEEE.
- [20] Goyal VK, Shukla A. Isolated DC-DC boost converter for wide input voltage range and wide load range applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2020 Oct 13;68(10):9527-39.
- [21] Ahmed HY, Abdel-Rahim O, Ali ZM. New high-gain transformerless dc/dc boost converter system. *Electronics*. 2022 Feb 26;11(5):734.