Journal of **N**ovel **R**esearches on **S**mart **P**ower **S**ystems - Vol. 14 - No. 2 – Summer 2025
P-ISSN: 2322-2468, E-ISSN: 2981-0272, https://jeps.dezful.iau.ir/

Research Article

A New High Step-Up Soft-Switched DC-DC Converter, Consisting of Resonant Switched Capacitor and Conventional Boost Converters

Afshin Etesami Renani[1], *Ph.D. Student*, **Majid Delshad**[*2], *Associate Professor*, **Mohammad Reza Amini**[3], *Assistant Professor*

[1] Department of Electrical Engineering, Isf.C, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, etesami.afshin@gmail.com
[2] Department of Electrical Engineering, Isf.C, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, delshad@khuisf.ac.ir
[3] Department of Electrical Engineering, Isf.C, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, mr.amini@khuisf.ac.ir

Abstract:
In this paper, a high step-up soft-switched resonant converter is introduced, in which a resonant switched capacitor converter is combined with a conventional boost converter. The voltage gain of the introduced converter is much larger compared to the combined converters. In this converter, in order to increase the voltage gain, in addition to increasing the duty factor of the main switch, the number of switched capacitor cells can also be increased. Soft switching of the switches reduces switching losses and increases the efficiency of the converter. Continuous input and output currents, as well as eliminating the reverse recovery effect of the diodes, are other advantages of this converter. The proposed converter with a power of 200W and an output voltage of 380V is simulated in Spice software and the results obtained are in good agreement with theoretical analyses.

Keywords: High Step-Up Converters, Resonant Switched-Capacitor Converters, Switched-Capacitor Converters, Zero Voltage Switching and Zero Current Switching.

Received: 30 Apr. 2025
Revised: 11 July 2025
Accepted: 30 July 2025

*** Corresponding Author:** Dr. Majid Delshad

Citation: A. Etesami Renani, M. Delshad, M.R. Amini, "A New High Step-Up Soft-Switched DC-DC Converter, Consisting of Resonant Switched Capacitor and Conventional Boost Converters", Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, vol.14, no.2, pp.19-34, (in Persian).

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]

مقاله پژوهشی

مبدل بسیار افزاینده جدید با کلیدزنی نرم، متشکل از مبدلهای کلیدخازنی رزونانسی و بوست

افشین اعتصامی رنانی[۱]، دانشجوی دکتری، **مجید دلشاد***[۲]، دانشیار، **محمدرضاامینی**[۳]، استادیار

۱-گروه مهندسی برق، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، etesami.afshin@gmail.com
۲- گروه مهندسی برق، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، delshad@khuisf.ac.ir
۳- گروه مهندسی برق، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران، mr.amini@Khuisf.ac.ir

چکیده: در این مقاله، یک مبدل بسیار افزاینده رزونانسی با کلیدزنی نرم معرفی شده است که در آن، مبدل کلیدخازنی رزونانسی با مبدل بوست کلاسیک، ترکیب شده اند. بهره ولتاژ مبدل معرفی شده در مقایسه با مبدلهای ترکیب شده، به مراتب بزرگتر است. در این مبدل، جهت افزایش بهره ولتاژ، علاوه بر افزایش ضریب وظیفه کلید اصلی، می توان تعداد سلولهای کلیدخازنی را نیز افزایش داد. کلیدزنی نرم کلیدها، موجب کاهش تلفات کلیدزنی و افزایش راندمان مبدل می شود. جریانهای پیوسته ورودی و خروجی، همچنین حذف اثر بازیابی معکوس دیودها، از دیگر مزایای این مبدل است. مبدل پیشنهادی با توان ۲۰۰ وات و ولتاژ خروجی ۳۸۰ ولت در نرم‌افزار Spice شبیه‌سازی شده و نتایج به‌دست‌آمده تطابق خوبی با تحلیل‌های تئوری دارند.

کلمات کلیدی: کلیدزنی در ولتاژ صفر، کلیدزنی در جریان صفر، مبدلهای بسیار افزاینده، مبدلهای کلیدخازنی و مبدلهای کلیدخازنی رزونانسی.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۴/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۵/۸

* **نام نویسنده مسئول:** دکتر مجید دلشاد
نشانی نویسنده مسئول: اصفهان، بلوار ارغوانیه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، گروه مهندسی برق

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025

۱- مقدمه

مبدل‌های DC-DC با قابلیت افزایش ولتاژ، به طور گسترده در کاربردهای گسترده تبدیل توان، در محدوده ولتاژ کسری از ولت تا ده‌ها هزار ولت و در سطوح توان از میلی وات تا مگاوات، مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مقالات مختلف، تکنیک‌های متنوع تقویت ولتاژ، موجود است که در آنها از عناصر ذخیره سازی انرژی یعنی سلف‌ها و خازن‌ها و یا ترانسفورماتورها به همراه سوئیچها و دیودها در مدارها استفاده می‌شود. عمده این تکنیک‌ها عبارتند از تکنیک کلیدخازنی[۱] یا پمپ شارژ[۲]، ضرب‌کننده های ولتاژ[۳]، تکنیک کلیدسلفی[۴]، کوپلینگ مغناطیسی[۵] و مبدلهای چندطبقه یا چند سطحی[۶]، که هر کدام بسته به کاربرد، از نظر هزینه، پیچیدگی، چگالی توان، قابلیت اطمینان و راندمان، مزایا و معایب خاص خود را دارند [۲-۱]. مبدل‌های غیرایزوله با بهره ولتاژ بالا، به‌منظور دستیابی به راندمان بالا و کاهش هزینه‌ها استفاده قرار می‌شوند. این مبدل‌ها به دو دسته اصلی بدون کوپلینگ مغناطیسی و با کوپلینگ مغناطیسی، تقسیم بندی می شوند. تعداد زیادی از مبدل‌ها بر پایه کوپلینگ مغناطیسی توسعه یافته‌اند و در انها از سلف کوپل شده، استفاده می شود. در این مبدل‌ها، با افزایش نسبت دور سلف کوپل‌شده، می‌توان به بهره ولتاژ بالا دست یافت. با این حال، وجود اندوکتانس نشتی، در سلف کوپل‌شده امری اجتناب‌ناپذیر است. این پدیده می‌تواند منجر به ایجاد ولتاژهای ناگهانی و افزایش استرس ولتاژ بر روی کلید در لحظه خاموش شدن آن شود [۴-۳]. بعنوان مثال در [۴-۳] از کوپلینگ مغناطیسی استفاده شده است. در [۳]، سلف تزویج شده، سه سیم پیچه و در [۴]، دو سیم پیچه است. گرچه استفاده از کوپلینگ مغناطیسی یک روش موثر جهت افزایش بهره است، ولی استفاده از هسته های مغناطیسی موجب افزایش حجم مدار، هزینه و تلفات می شود. استفاده از مبدلهای کلیدخازنی بصورت موثری، موجب رفع مشکلات یاد شده می شود.

تمرکز اصلی این مقاله بر یکی از تکنیکهای کلیدخازنی و ترکیب آن با مبدل بوست[۷] می باشد، لذا پس از بررسی اجمالی مبدل بوست، به مرور کلی تکنیک کلیدخازنی و مزایا و معایب آن پرداخته می شود. مبدل پایه مورد استفاده در اکثر مبدلهای افزاینده ولتاژ ، مبدل بوست است. استفاده گسترده از این مبدل، به دلایل تعداد کم عناصر، ساده بودن مدل‌سازی، همچنین طراحی، پیاده‌سازی و ساخت آسان می باشد. علاوه بر ویژگی‌های فوق، مبدل بوست دارای چندین نقص نیز هست که از آن جمله می توان به سوئیچینگ سخت[۸] و بازیابی معکوس[۹] شدید در دیود خروجی، اشاره نمود که هر دو مورد ذکر شده، باعث کاهش راندمان مبدل می‌شوند، از دیگر معایب این مبدل که در طراحی سیستم کنترلی نمایان می شود، ویژگی‌های فاز غیر حداقل[۱۰] به دلیل وجود صفر در نیم صفحه راست[۱۱]، می باشد، که منجر به طراحی کنترلر با پهنای باند بالا و دشوار می‌شود، همچنین در ضریب وظیفه[۱۲] متوسط، بهره ولتاژ و چگالی توان پایین هستند، که باعث عملکرد ناکارآمد در کاربردهای ولتاژ و توان بالا می شوند. یک راه حل جهت افزایش بهره مبدل، انتخاب ضریب وظیفه بزرگ است، که موجب مشکلاتی نظیر ناپایداری و افت راندمان مبدل می شود، همچنین در ضریب وظیفه بزرگ به کلید و دیود با تحمل ولتاژ و جریان بزرگ، احتیاج است و افزایش مقاومت داخلی این المانها، باعث افزایش تلفات و کاهش راندمان می شود. برای رفع چالشهای فوق، از تکنیکهای ذکرشده، استفاده می شود که در اکثر آنها، تلاش درجهت کاهش ضریب وظیفه مبدل است، زیرا با کاهش ضریب وظیفه، هم راندمان و کارایی مبدل افزایش می‌یابد و هم به المانهای با تحمل ولتاژ و جریان کمتر نیاز است [۶-۵]. مبدل‌های قدرتی که فقط از سوئیچها و خازن‌ها تشکیل شده‌اند، مدت‌هاست که شناخته شده اند و عمدتاً به عنوان ضرب‌کننده‌های ولتاژ دیود-خازن، یا تکنیکهای کلیدخازنی مورد استفاده قرار می‌گیرند. تکنیک کلیدخازنی یک روش تقویت ولتاژ شناخته شده مبتنی بر مدارهای پمپ شارژ است که در بسیاری از مبدل‌ها استفاده می‌شود. پمپ شارژ یک مدار الکترونیکی است که ولتاژ تغذیه را به ولتاژ خروجی که چندین برابر بیشتر از ولتاژ تغذیه است، تبدیل می‌کند. افزایش سطح ولتاژ در یک مدار پمپ شارژ، صرفاً از انتقال انرژی خازنی حاصل می‌شود و شامل انتقال انرژی مغناطیسی نمی‌شود، درنتیجه برخلاف سایر مبدل‌های سنتی که از سلف استفاده می‌کنند، مدارهای پمپ شارژ فقط از خازن‌ها و سوئیچها یا دیودها ساخته شده‌اند و در میان رویکردهای متعدد برای پیاده‌سازی مدارهای پمپ شارژ، توپولوژی‌های[۱۳] کلیدخازنی به دلیل مدولار[۱۴] بودن ساختاری و قابلیت مجتمع سازی[۱۵] و ادغام روی سیلیکون بسیار محبوب هستند[۹-۷]. در مقایسه با مبدل‌های قدرت با ذخیره‌سازی انرژی القایی و خازنی، مبدل‌های کلیدخازنی چندین ویژگی مفید دارند. آن‌ها از هیچ قطعه مغناطیسی استفاده نمی‌کنند و برای مجتمع کردن بسیار مناسب هستند در نتیجه، مبدل‌های کلیدخازنی دارای اندازه کوچک، وزن پائین، چگالی توان بالا، راندمان بالا و بهره انتقال ولتاژ بالا هستند. کنترل ولتاژ خروجی در

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025

کاهش بار، بدون نیاز به بارهای مجازی یا تکنیک‌های کنترل پیچیده، امکان‌پذیر است. هنگامی که اینگونه مبدلها بدون بار هستند، ولتاژ خروجی، توسط توپولوژی مبدل تعیین می‌شود. علاوه بر این، با کاهش فرکانس سوئیچینگ[۱۶]، می‌توان کل تلفات توان را به صفر کاهش داد، در حالی که تنظیم ولتاژ خروجی[۱۷] بدون بار به خوبی حفظ می‌شود. این نوع عملکرد، برای کاربردهای باتری‌خور با مدیریت توان، که در آن مبدل باید تقریباً با بار صفر کار کند، بسیار مناسب است. یکی از ویژگیهای اینگونه مدارها، این است که برای مبدل‌هایی که در حالت ناپیوسته جریان[۱۸] ورودی کار می‌کنند، خازن‌های سوئیچ‌شده می‌توانند تا ولتاژ منبع شارژ شوند و انرژی را در طول دوره ناپیوسته جریان ورودی که سوئیچ اصلی خاموش است، ذخیره کنند. خازنها در طول دوره روشن بودن کلید اصلی به عملیات تبدیل می‌پیوندند و انرژی ذخیره‌شده در آنها از طریق مبدل به بار تحویل داده می‌شود. علیرغم مزایای ذکر شده، اینگونه مبدلها دارای مشکلاتی نیز می باشند، یکی از مشکلات مبدل‌های کلیدخازنی این است که تضمین تنظیم خوب ولتاژ خروجی در حضور تغییرات گسترده بار و به ویژه در حضور تغییرات ولتاژ ورودی دشوار است. تنظیم ولتاژ پیوسته قابل دستیابی است، اما موجب کاهش راندمان مبدل می شود. حتی با وجود اجزای ایده‌آل، مبدل کلیدخازنی دارای مقاومت خروجی غیر صفر است و تلفات مدار با افزایش بار زیاد می شود [۱۳-۱۰]. مشکل دیگر این است که بهره ولتاژ و سطح توان قابل دستیابی در اینگونه مبدلها محدود است و روش مؤثری برای گسترش این طرح‌ها برای دستیابی به بهره ولتاژ یا سطح توان بالاتر، مورد بحث قرار نگرفته است و این موضوع به دلیل محدودیت‌های عملی در خازن‌ها و کلیدها می باشد، لذا کاربردهای مبدل‌های کلیدخازنی عمدتاً به سطوح توان پایین و متوسط چند ده وات محدود می‌شود [۱۸-۱۴]. یکی دیگر از مشکلات برخی ساختارهای کلیدخازنی، اتصال کوتاه شدن متناوب بخشی از خازن‌ها توسط کلید است. در نتیجه این موضوع، تنش‌های جریان[۱۹] رخ می دهد که ناشی از تخلیه نامطلوب خازنهاست و حتی ممکن است خطرناک باشد چون موجب تحمیل بار اضافی بر منبع ورودی و کلید می شود. برای کاهش این تنش‌های جریان، لازم است سلف‌های محدودکننده جریان را در مدار درنظر گرفت، ولی این سلف‌ها نیز مشکل تنش‌های جریان را به طور کامل حل نمی‌کنند. به دلیل چنین تنش‌هایی، تعداد سلول‌های کلیدخازنی استفاده شده در مبدلها محدود می شود [۲۱-۱۹]. در [۲۲] یک مبدل رزونانسی افزاینده[۲۰] مبتنی بر تکنیک کلید خازنی ارائه شده است. در این مبدل افزاینده با اضافه کردن تعداد متفاوتی از سلول‌های دیود خازنی، نسبت‌های تبدیل ولتاژ خروجی متفاوتی از ۲ تا هر عدد صحیحی بدست می آید. در این مبدل جهت دستیابی به کلیدزنی جریان صفر[۲۱]، از یک مخزن رزونانسی[۲۲]، شامل یک سلف کوچک، استفاده شده است، بنابراین تنش‌های جریان که ناشی از تخلیه نامطلوب خازنهاست و معمولاً در مدارهای کلید خازنی کلاسیک وجود دارد، حذف می شود. به علت عملکرد فرکانس بالای مبدل، چگالی توان زیاد است [۲۲]. در ادامه به نحوه عملکرد مبدل پرداخته می شود. علیرغم مزایای ذکر شده برای مبدل ارائه شده در [۲۲]، این مبدل نیز معایب موجود در اکثر مبدلهای کلیدخازنی کلاسیک را داراست که از آن جمله می توان به عدم تضمین تنظیم خوب ولتاژ خروجی در حضور تغییرات گسترده بار و به ویژه در حضور تغییرات ولتاژ ورودی، کاهش راندمان مبدل در تنظیم ولتاژ پیوسته، مقاومت خروجی غیر صفر و افزایش تلفات مدار با افزایش بار و محدود بودن بهره ولتاژ و سطح توان قابل دستیابی به دلیل محدودیت‌های عملی در خازن‌ها و سوئیچ‌ها، اشاره نمود [۲۲-۱۱]. مبدل‌های کلیدخازنی در ترکیب با مبدل‌های القایی کاربردهایی دارند و جهت رفع مشکلات هریک از ساختارهای مبدل بوست و مبدلهای کلیدخازنی، ترکیب مبدلها در ساختارهای مختلف، پیشنهاد شده است [۲۵-۲۳]. در این مقاله یک مبدل بسیار افزاینده جدید پیشنهاد شده است که در آن مبدل بوست کلاسیک با مبدل کلیدخازنی رزونانسی معرفی شده در [۲۲] ترکیب شده اند. هدف از طراحی این مبدل، افزایش بهره ضمن کاهش استرس ولتاژ المانها و کاهش ضریب وظیفه کلیدها است، تا امکان استفاده از المانهای با کیفیت فراهم شود و با کاهش تلفات، راندمان مبدل افزایش یابد. در بخش دوم، ابتدا مبدل ارائه شده در [۲۲] معرفی و مزایا و معایب آن بررسی شده است و سپس، مبدل پیشنهادی توصیف شده و عملکرد آن بصورت مشروح، توضیح داده شده است. در بخش سوم آنالیز مبدل پیشنهادی انجام شده و بهره ولتاژ مبدل و استرس ولتاژ المانهای فعال، محاسبه شده است، همچنین در این بخش، طراحی المانهای مبدل نیز انجام شده است. نتایج شبیه سازی مبدل پیشنهادی در بخش چهارم ارائه شده و در بخش پنجم، نتایج مقایسه با مبدلهای دیگر بررسی شده است و در پایان، در بخش ششم، نتیجه گیری ارائه شده است.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025

۲-توصیف مبدل رزونانسی افزاینده کلیدخازنی و مبدل بسیار افزاینده پیشنهادی

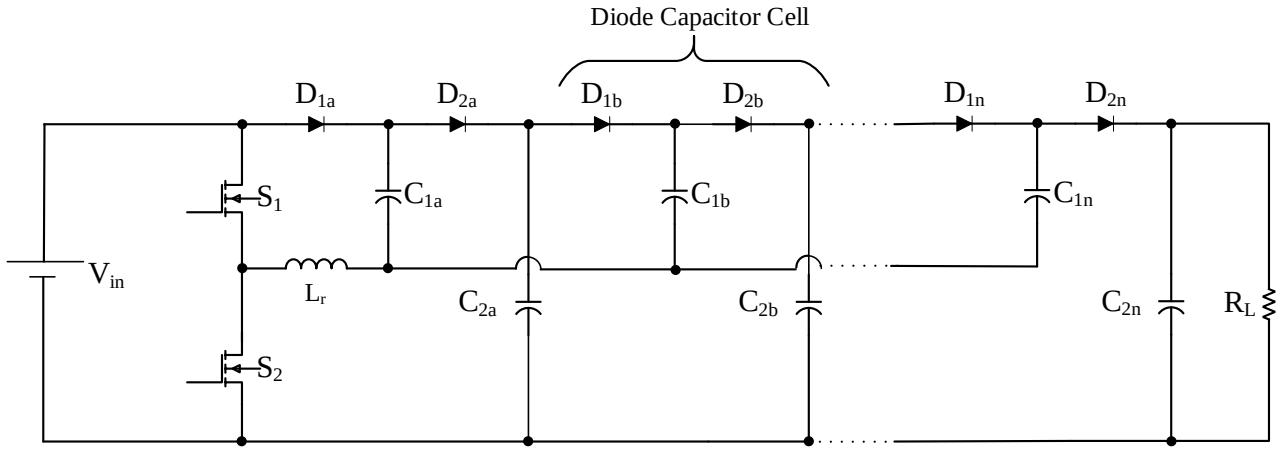
در این قسمت ابتدا مبدل ارائه شده در [۲۲] را بررسی نموده و سپس تحلیل و بررسی مبدل پیشنهادی، ارائه می شود.

۲-۱- بررسی مبدل رزونانسی افزاینده کلید خازنی پیشنهاد شده در [۲۲]

در شکل (۱) مبدل افزاینده کلیدخازنی ارائه شده در [۲۲] نشان داده شده است. این مبدل شامل کلیدهای S_1 و S_2 و سلولهای دیودخازنی است و هر سلول دیودخازنی شامل دو دیود D_1 و D_2 و دو خازن C_1 و C_2 می باشد. هر دو کلید با ضریب وظیفه نصف بدون همپوشانی، کار می کنند. سلف کوچک L_r جهت رفع تنشهای جریان که در اکثر مبدلهای کلیدخازنی وجود دارد، استفاده شده است. بهره ولتاژ مبدل، توسط رابطه (۱) تعیین می شود [۲۲]. در این رابطه G معرف بهره ولتاژ مبدل و n بیانگر تعداد بلوکهای دیود خازنی است.

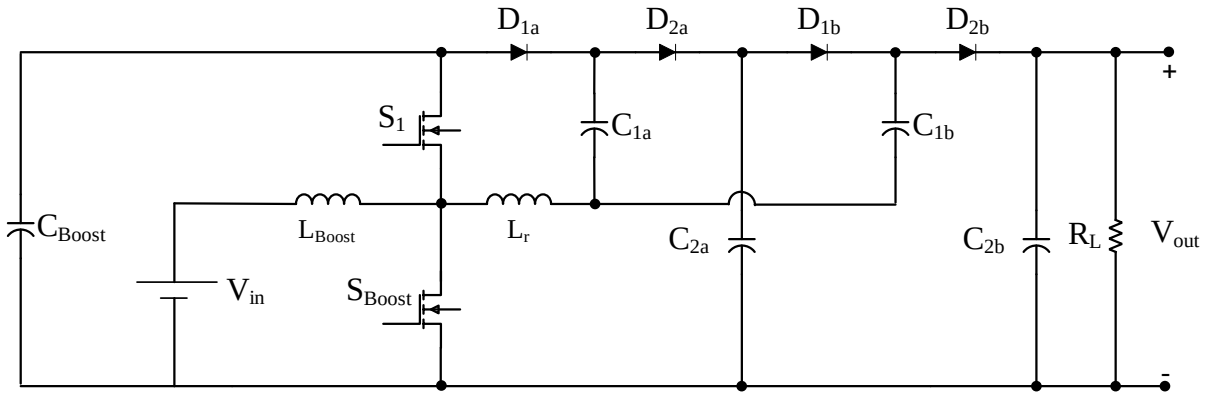
$$G = 1 + n \quad (۱)$$

با توجه به رابطه (۱)، بهره ولتاژمبدل، ارتباطی با ضریب وظیفه ندارد و فقط با تعداد سلولهای دیود خازنی متناسب است. با توجه به وجود مقاومت سری معادل در اکثر خازنها و دیودها، در عمل ظرفیت خازنها باید بصورتی انتخاب شود، تا اثرات ناشی از افت ولتاژ خازنها و دیودها، روی راندمان مبدل تاثیرگذار نباشد. با توجه به رابطه بهره، برای ساخت مبدل بسیار افزاینده، نیاز به تعداد زیادی بلوک دیود و خازن است، همچنین پارامتری برای کنترل ولتاژ خروجی وجود ندارد. برای رفع مشکلات ذکر شده و در تکمیل طرح فوق، از ساختار دیود خازنی ذکر شده، در ترکیب با مبدل بوست استفاده می شود.



شکل (۱): نمای شماتیک مبدل رزونانسی افزاینده کلید خازنی ارائه شده در [۲۲]

Figure (1): Schematic view of the step-up switch capacitor resonant converter presented in [22]



شکل (۲): نمای شماتیک مبدل رزونانسی بسیار افزاینده کلید خازنی پیشنهادی

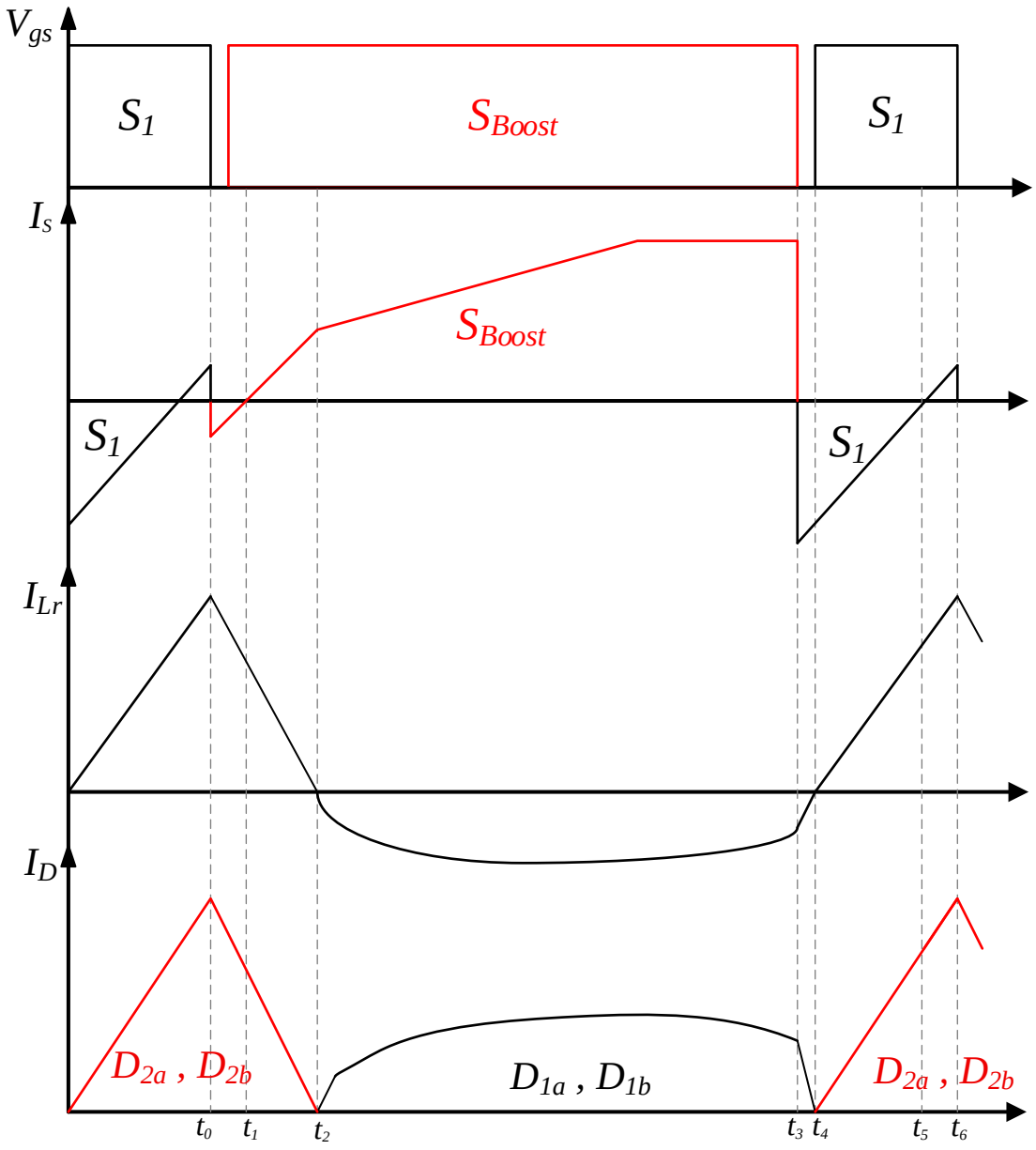
Figure (2): Schematic view of the proposed high step-up switch capacitor resonant converter.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025

۲-۲-بررسی مبدل بسیار افزاینده پیشنهادی

در شکل (۲) مبدل بسیار افزاینده پیشنهادی، نشان داده شده است. مشابه مبدل پیشنهاد شده در [۲۲]، این مبدل نیز شامل دو کلید S_1 و S_{Boost} و سلف L_r می باشد ولی ضریب وظیفه هر کلید با توجه به بهره مدار و سیستم کنترلی تعیین می شود. در این مدار از دو سلول دیودخازنی شامل چهار دیود D_{1a} و D_{2a} و D_{1b} و D_{2b} و چهار خازن C_{1a} و C_{2a} و C_{1b} و C_{2b} استفاده شده است. علاوه بر المانهای ذکر شده، خازن C_{Boost} و سلف L_{Boost} نیز بنحوی به مدار اضافه شده اند که ساختار مبدل بوست کلاسیک با مبدل کلیدخازنی رزونانسی ترکیب شوند.



شکل (۳): شکل موجهای کلیدی مبدل پیشنهادی

Figure (3): Key waveforms of the proposed converter

مبدل دارای۶ وضعیت عملکرد در یک سیکل کلیدزنی است. شکل (۳) شکل موجهای اصلی مبدل بسیار افزاینده پیشنهادی و شکل (۴) مدارهای معادل وضعیتهای مختلف مبدل را نشان می دهد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025

وضعیت اول: این وضعیت با خاموش شدن کلید S_1 آغاز می شود، در این وضعیت دیودهای D_{1a} و D_{1b} بصورت معکوس بایاس شده و خاموش هستند. در حین این وضعیت خازنهای C_{1a} و C_{1b} از طریق دیودهای D_{2a} و D_{2b} در خازنهای C_{2a} و C_{2b} دشارژ می شوند. جریان سلف رزونانس، که پیش از این وضعیت، به ماکزیمم مقدار خود رسیده بود، شروع به کاهش می نماید. باتوجه به پیوسته بودن جریان سلف اصلی، جریان از کلید S_1 به دیود بدنه S_{Boost} منتقل شده و جریان این کلید منفی می شود. در حین این وضعیت، کلیدزنی S_{Boost} انجام می شود و در زمان کلیدزنی، جریان در دیود بدنه این کلید جاری است. کمی پس از کلیدزنی و در پایان این وضعیت جریان به صفر رسیده و دیود بدنه، در شرایط جریان و ولتاژ صفر خاموش شده و جریان از دیود بدنه، به کلید انتقال می یابد.

وضعیت دوم: این وضعیت با مثبت شدن جریان S_{Boost} آغاز می شود، روشن شدن این کلید تحت شرایط ولتاژ و جریان صفر انجام می شود، چون جریان از دیود بدنه به کلید منتقل می شود. در حین این وضعیت جریانهای دیودهای D_{2a} و D_{2b} درحال کاهش است و در پایان این وضعیت به صفر می رسند در نتیجه دو دیود در شرایط جریان صفر خاموش شده و موجب حذف اثر بازیابی معکوس دیودها می شود. در این وضعیت نیز مشابه وضعیت قبل، خازنهای C_{1a} و C_{1b} دشارژ می شوند. در حین این وضعیت دیودهای D_{1a} و D_{2a} همچنان خاموش هستند. جریان سلف رزونانس، درحال کاهش است و در پایان این وضعیت صفر می شود.

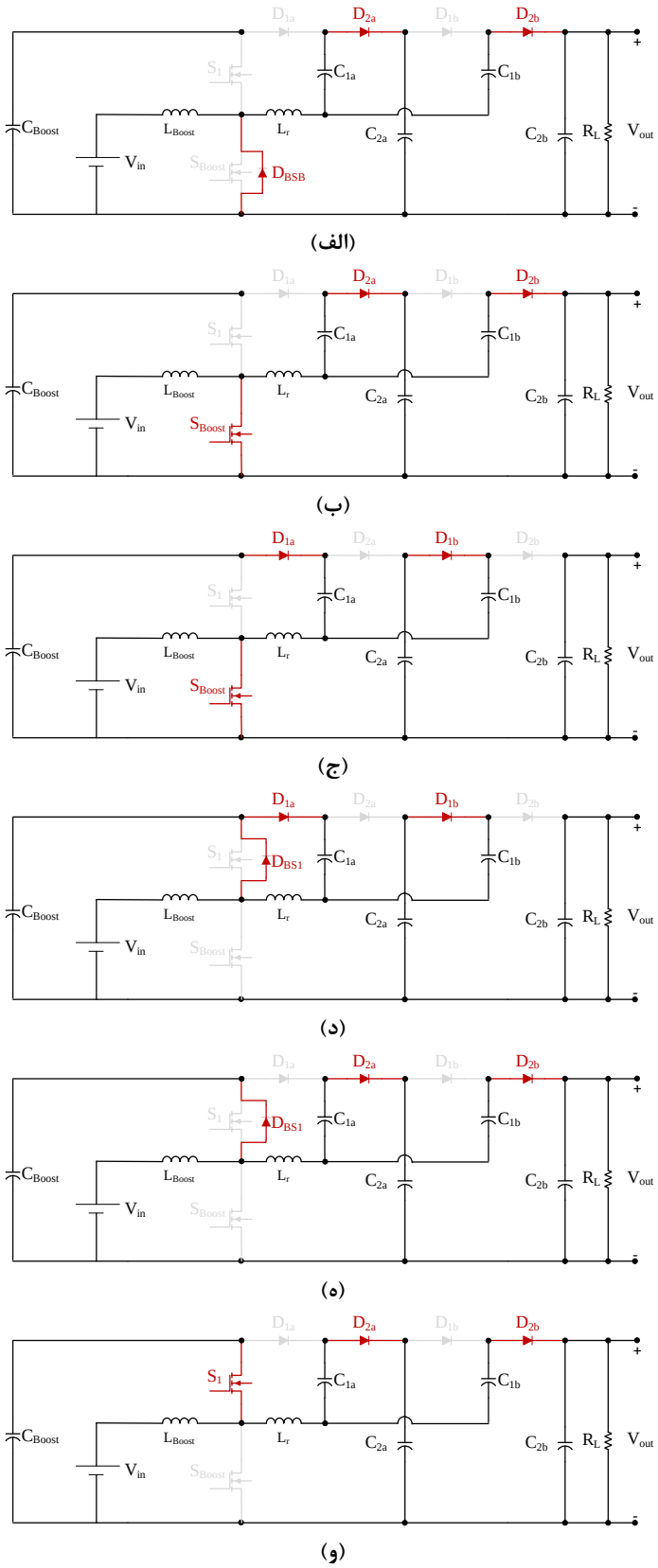
وضعیت سوم: در شروع این وضعیت ولتاژ خازنهای C_{1a} و C_{1b} بترتیب با ولتاژ خازنهای C_{Boost} و C_{2a} برابر می شود در نتیجه دیودهای D_{1a} و D_{1b} تحت شرایط ولتاژ و جریان صفر روشن می شوند، چون در ابتدای این وضعیت جهت جریان سلف رزونانس، عکس شده و در جهت منفی افزایش می یابد. در این وضعیت خازنهای C_{Boost} و C_{2a} از طریق دیودهای D_{1a} و D_{1b} در خازنهای C_{1a} و C_{1b} دشارژ می شوند. در این وضعیت خازن C_{2b} وظیفه تامین ولتاژ خروجی را بر عهده دارد. در حین این وضعیت دیودهای D_{2a} و D_{2b} خاموش هستند. این وضعیت با خاموش شدن کلید S_{Boost} پایان می یابد.

وضعیت چهارم: در پایان وضعیت قبل، کلید S_{Boost} خاموش می شود و به علت پیوسته بودن جریان سلف اصلی، جریان به دیود بدنه کلیدS_1 منتقل می شود، در نتیجه در شروع این وضعیت، دیود بدنه کلید S_1 تحت شرایط جریان صفر، روشن می شود و درنتیجه جریان کلید منفی است. در انتهای این وضعیت و زمانی که ولتاژ خازنهای C_{Boost} و C_{2a}، بترتیب با ولتاژ خازنهای C_{1a} و C_{1b} برابر می شوند دیودهای D_{1a} و D_{1b} تحت شرایط ولتاژ و جریان صفر خاموش می شوند، چون قدر مطلق جریان سلف رزونانس، کاهش یافته و در پایان این وضعیت صفر می شود. در حین این وضعیت دیودهای D_{2a} و D_{2b} همچنان خاموش هستند. مشابه وضعیت قبل،در این وضعیت نیز خازن C_{2b} وظیفه تامین ولتاژ خروجی را بر عهده دارد.

وضعیت پنجم: این وضعیت با کلیدزنی S_1 آغاز می شود. در شروع این وضعیت جریان از دیود بدنه S_1 عبور می کند و درنتیجه جریان این کلید منفی است. در شروع این وضعیت، جهت جریان سلف رزونانس عوض شده و زمانی که ولتاژ خازنهای C_{1a} و C_{1b} بترتیب با ولتاژ خازنهای C_{2a} و C_{2b} برابر می شوند، دیودهای D_{2a} و D_{2b} در شرایط ولتاژ و جریان صفر روشن می شوند. در پایان این وضعیت جریان دیود بدنه به کلید S_1 منتقل می شود. در خلال این وضعیت دیودهای D_{1a} و D_{1b} خاموش باقی می مانند.

وضعیت ششم: در شروع این وضعیت جریان دیود بدنه به کلید S_1 منتقل می شود، درنتیجه این کلید در شرایط ولتاژ و جریان صفر روشن می شود. در پایان این وضعیت کلید S_1 خاموش می شود. در خلال این وضعیت دیودهای D_{1a} و D_{1b} خاموش و دیودهای D_{2a} و D_{2b} روشن باقی می مانند.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025



شکل (۴): مدارهای معادل مبدل پیشنهادی در الف)وضعیت اول ب)وضعیت دوم ج)وضعیت سوم د)وضعیت چهارم ه)وضعیت پنجم و)وضعیت ششم

Figure (4): Equivalent circuits of the proposed converter in a) first state b) second state c) third state d) fourth state e) fifth state f) sixth state

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025

۳-آنالیز مبدل بسیار افزاینده پیشنهادی

در این قسمت ابتدا با نوشتن معادله بالانس ولت-ثانیه[۲۳] برای سلف اصلی، بهره مبدل محاسبه و سپس با توجه به مدارهای معادل هر وضعیت، استرس ولتاژ سوئیچها و دیودها را محاسبه نموده و سپس جهت تحلیل دقیق تر، روابط طراحی المان‌ها ارائه می‌شود.

۳-۱- بهره مبدل

جهت محاسبه بهره ولتاژ مبدل، از ریپل ولتاژ خازنها ، مقدار سلف رزونانسی و زمانهای مرده کوچک صرفنظر می کنیم. فرض می شود خازن C_{Boost} تا ولتاژ V_m شارژ شده باشد، پس از آن معادله بالانس ولت ثانیه برای سلف اصلی، نوشته می شود.

$$V_{in}DT + (V_{in} - V_m)(1-D)T = 0 \rightarrow V_m = \frac{V_{in}}{1-D} \quad (۲)$$

در وضعیت سوم خازن C_{Boost} بصورت رزونانسی در خازن C_{1a} دشارژ می شود و در پایان وضعیت چهارم ولتاژ این دو خازن برابر می شود.

$$V_{C_{1a}} = V_{C_{Boost}} = V_m \quad (۳)$$

در وضعیت ششم با روشن شدن کلید S_1 ، خازن C_{2a} از طریق دیود D_{2a} بصورت سری با خازن C_{1a} و سلف رزونانس L_r و خازن C_{Boost} قرار می‌گیرد درنتیجه خازن C_{2a} تا سطح دوبرابر ولتاژ خازن C_{Boost} شارژ می‌شود.

$$V_{C_{2a}} = V_{C_{1a}} + V_{C_{Boost}} = 2V_m \quad (۴)$$

در وضعیت ششم مشخص است که زمانیکه کلید S_1 وصل می‌شود، خازن C_{2b} از طریق دیود D_{2b} بصورت سری با باخازن C_{1b} و سلف رزونانس L_r و C_{Boost} قرار می‌گیرد درنتیجه خازن C_{2b} تا سطح سه برابر ولتاژ خازن C_{Boost} شارژ می‌شود.

$$V_{C_{2b}} = V_{C_{1b}} + V_{C_{Boost}} = 3V_m \quad (۵)$$

$$V_{C_{2b}} = V_O = 3V_m = \frac{3.V_{in}}{1-D} \rightarrow G = \frac{V_O}{V_{in}} = \frac{3}{1-D} \quad (۶)$$

در حقیقت با استفاده از دو سلول دیود خازن، بهره ولتاژ $3V_m$ حاصل می‌شود، در این مدار چنانچه خروجی از خازن C_{2a} گرفته شود بهره ولتاژ برابر با $2V_m$ خواهد بود. یعنی این مدار می‌تواند بعنوان یک مدار با چند خروجی با بهره‌های متفاوت استفاده شود. با استفاده از سلولهای بیشتر، بهره‌های ولتاژ بزرگتر نیز حاصل می‌شود. بهره یک مبدل با n سلول دیود خازنی با استفاده از رابطه (۷) محاسبه می شود.

$$G = \frac{V_O}{V_{in}} = \frac{n+1}{1-D} \quad (۷)$$

۳-۲- استرس ولتاژ المان‌ها

جهت محاسبه استرس ولتاژ المانها، بیشترین ولتاژ روی هر المان در حالت خاموش بودن را با نوشتن رابطه محاسبه می کنیم.

$$V_{S_{Boost}} = V_{C_{Boost}} = V_m \quad (۸)$$

$$V_{S_1} = V_{C_{Boost}} = V_m \quad (۹)$$

$$V_{D_{1a}} = V_{C_{2a}} - V_{C_{Boost}} = 2V_m - V_m = V_m \quad (۱۰)$$

$$V_{D_{1b}} = V_{C_{2b}} - V_{C_{2a}} = 3V_m - 2V_m = V_m \quad (۱۱)$$

$$V_{D_{2a}} = V_{C_{2a}} - V_{C_{Boost}} = 2V_m - V_m = V_m \quad (۱۲)$$

$$V_{D_{2b}} = V_{C_{2b}} - V_{C_{2a}} = 3V_m - 2V_m = V_m \quad (۱۳)$$

با توجه به معادلات (۸) تا (۱۳) معلوم است که حداکثر ولتاژ روی هر المان V_m است و با توجه به مقایسه روابط (۳) و (۷) مشخص است که استرس ولتاژ هر المان یک سوم ولتاژ خروجی است و این موضوع، استفاده از المانهای با توان مصرفی کمتر، جهت افزایش راندمان را امکانپذیر می سازد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025

جدول (۱): مقادیر عددی معمول اینوتر و سلول خورشیدی، برای سلول خورشیدی با توان ۸۰۰ وات بر متر مربع
Table (1): Typical numerical values of inverter and solar cell, for a 800 watts per square meter solar cell

پارامتر	مقدار
ولتاژ مدارباز سلول خورشیدی- ولتاژ ورودی مبدل	۳۰-ولت
توان خروجی ماکزیمم سلول خورشیدی- توان مبدل	۲۰۰-وات
ولتاژ ورودی اینورتر- ولتاژ خروجی مبدل	۳۸۰-ولت

۳-۳- طراحی المانهای مبدل

چنانچه هدف استفاده از این مبدل برای ارتباط بین سلول خورشیدی و اینورتر باشد، ورودی مبدل، خروجی سلول خورشیدی و خروجی مبدل، ورودی اینورتر است. در جدول (۱) مقادیر عددی معمول، برای اینوتر و سلول خورشیدی داده شده است[۲۷-۲۸]. با توجه به رابطه (۷) و مقادیر جدول (۱) مقدار ضریب وظیفه انتخاب می شود و بر اساس روابط طراحی مبدل بوست، پارامترهای مبدل طراحی می شوند. معادلات (۱۴) تا (۱۸) روابط طراحی مبدل را نشان می دهند [۵] و جدول (۲) مقادیر المانهای طراحی شده را نشان می دهد.

$$L_{Boost} = \frac{V_{in}.D}{\Delta I_L.f_{SW}} \quad (۱۴)$$

$$\Delta I_L = 10\% I_{in} \quad (۱۵)$$

$$I_{in} = \frac{P_{out}}{\eta.V_{in}} \quad (۱۶)$$

$$C_{Boost} = \frac{D.I_{Out}}{\Delta V_{Out}.f_{SW}} \quad (۱۷)$$

$$\Delta V_{out} = 1\% V_{out} \quad (۱۸)$$

جدول (۲): مشخصات و مقادیر المانهای مبدل پیشنهادی
Table (2): Specifications and values of the proposed converter elements

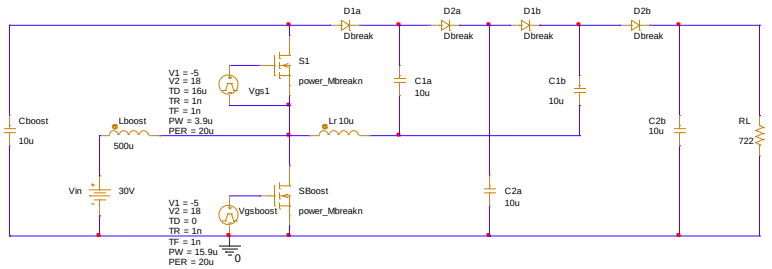
المان ها/مشخصات	مقدار
خازنها	۱۰-میکروفاراد
سلف اصلی	۵۰۰-میکروهانری
سلف رزونانس	۱۰-میکروهانری
ولتاژ ورودی	۳۰-ولت
فرکانس کلیدزنی	۵۰-کیلوهرتز
ولتاژ خروجی	۳۸۰-ولت
توان خروجی	۲۰۰-وات

۴-نتایج شبیه سازی

برای اثبات درستی تحلیل های صورت گرفته در بخش های قبل، مبدل پیشنهادی طراحی و سپس در نرم افزار Pspice شبیه سازی شده است. نمای شماتیک مبدل شبیه سازی شده در شکل (۵) نشان داده می شود. با توجه به آنالیز مبدل پیشنهادی در قسمت قبل، المان های مبدل برای توان ۲۰۰ وات طراحی و شبیه سازی می‌گردد. شکلهای (۶) و (۷) شکل موجهای شبیه سازی جریان کلیدهای S_1 و S_{Boost} مبدل پیشنهادی را نشان می دهد. همانطور که مشخص است هردو کلید در شرایط ولتاژ و جریان صفر روشن می شوند. جریان دیودهای D_{1a} و D_{1b} در شکل (۸) و جریان دیودهای D_{2a} و D_{2b} در شکل (۹) آورده شده

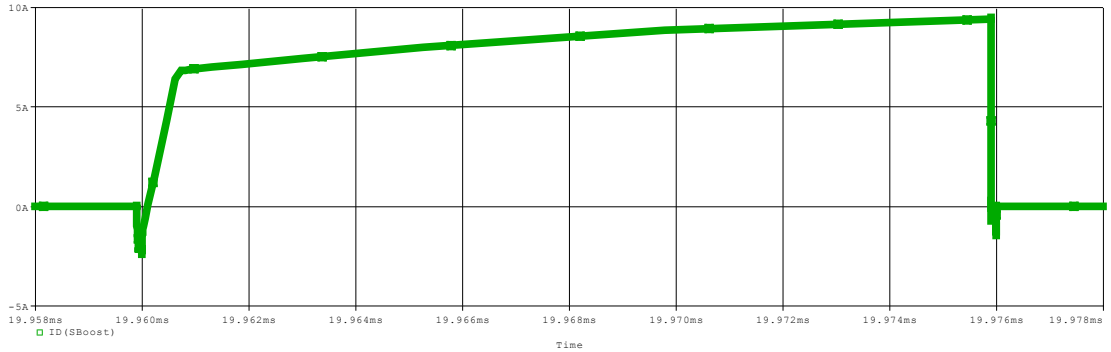
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025

است و همانطور که مشاهده می گردد همه دیودها روشن و خاموش شدنشان در شرایط جریان صفر است. شکل (۱۰) شکل موج جریان سلف رزونانس را نشان می دهد.



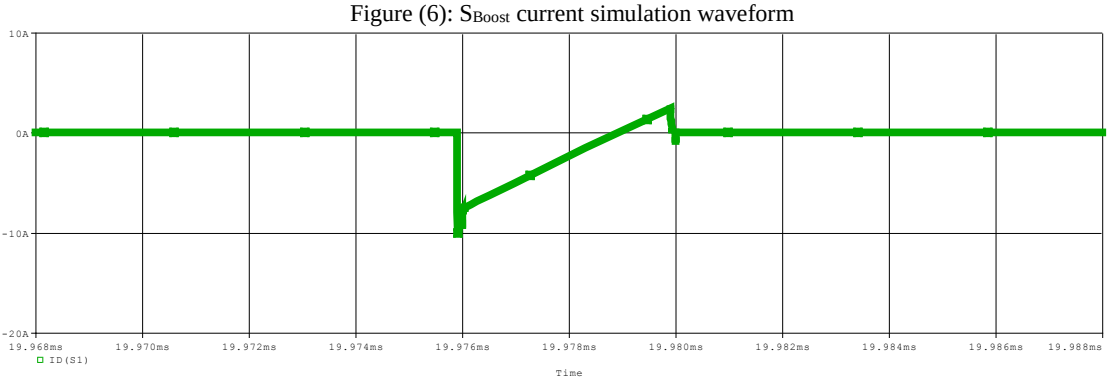
شکل(۵): شماتیک مبدل شبیه سازی شده پیشنهادی

Figure (5): Schematic of the proposed simulated converter.



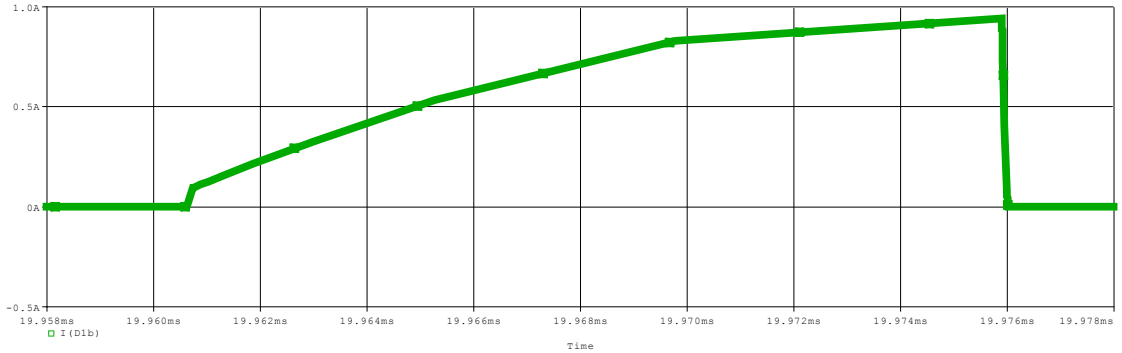
شکل(۶): شکل موج شبیه سازی جریان کلید S_{Boost}

Figure (6): S_{Boost} current simulation waveform



شکل(۷): شکل موج شبیه سازی جریان کلید S_1

Figure (7): S_1 current simulation waveform

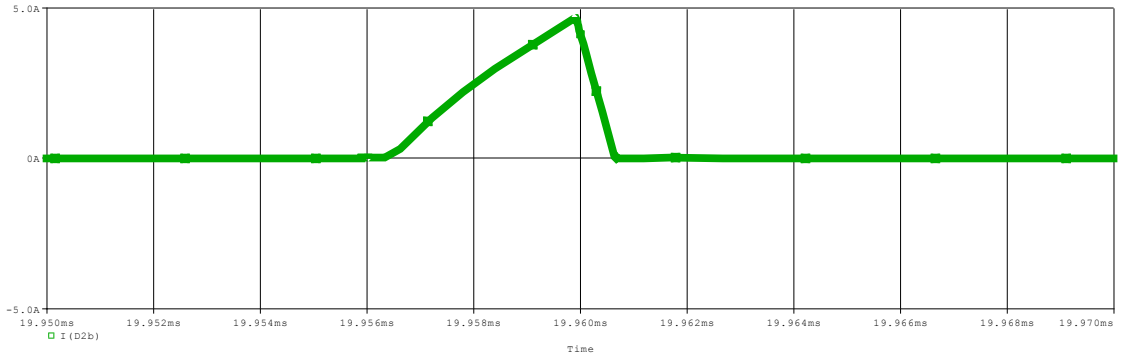


شکل(۸): شکل موج شبیه سازی جریان دیودهای D_{1a} و D_{1b}

Figure (8): D_{1a} and D_{1b} current simulation waveform

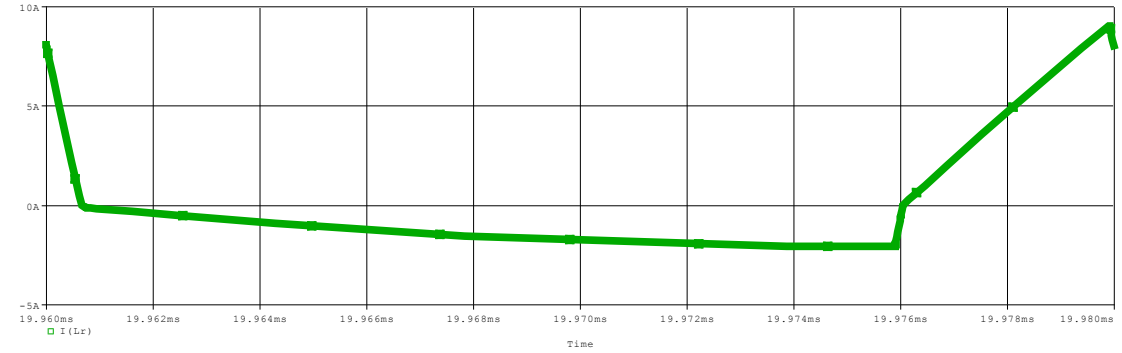
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025



شکل(۹): شکل موج شبیه سازی جریان دیودهای D_{2a} و D_{2b}

Figure (8): D_{2a} and D_{2b} current simulation waveform



شکل(۱۰): شکل موج شبیه سازی جریان سلف L_r

Figure (10): L_r current simulation waveform

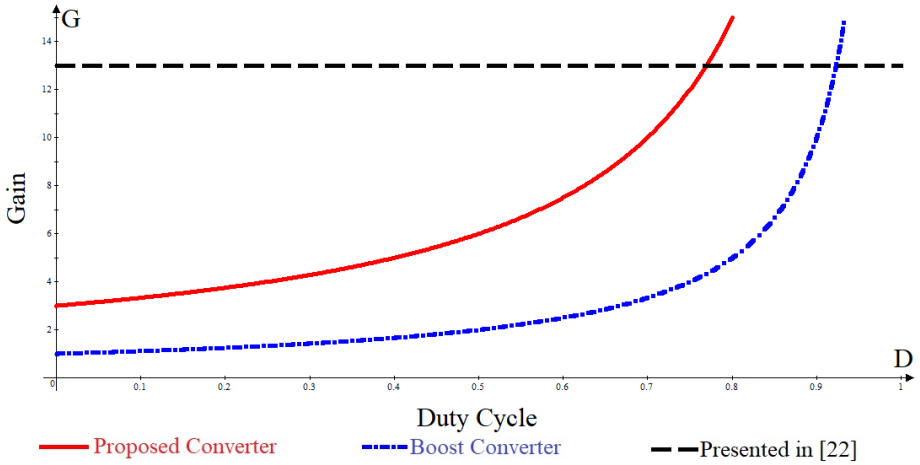
۵-مقایسه مبدل پیشنهادی با مبدلهای پیشین

جهت مقایسه مبدل پیشنهادی با مبدل بوست و مبدل رزونانسی کلیدخازنی ارائه شده در [۲۲]، منحنی تغییرات بهره سه مبدل برحسب تغییرات ضریب وظیفه در شکل (۱۱) و منحنی تغییرات بهره برحسب تعداد سلولهای دیود خازنی در شکل (۱۲) رسم شده اند. همچنین در شکل (۱۳) ولتاژ کلید برحسب ولتاژ خروجی هر مبدل نمایش دادخ شده است.

همانگونه که پیش از این نیز به آن اشاره شد، چنانچه استفاده از مبدل، جهت اتصال سلول خورشیدی به اینورتر باشد، بهره باید حدود ۱۳ باشد. با مشاهده شکل (۱۱) مشخص است که جهت داشتن چنین بهره ای در مبدل بوست به ضریب وظیفه های نزدیک به ۱ احتیاج است و با توجه به ناپایداری مبدل بوست در ضریب وظیفه های بالا، عملا استفاده از مبدل بوست برای داشتن بهره های بالا امکانپذیر نیست. با توجه به شکل (۱۱) مشخص است که مبدل پیشنهادی، بهره مورد نیاز را با ضریب وظیفه معمول، تامین می نماید. در شکل (۱۲) منحنی تغییرات بهره بر حسب تعداد سلولهای دیود خازنی نشان داده شده است. همانطور که مشخص است برای داشتن بهره ۱۳ با استفاده از مبدل کلیدخازنی رزونانسی، احتیاج به ۱۲ سلول دیود خازنی است و با توجه به اینکه در هر سلول دیودخازنی ۲ دیود و ۲ خازن استفاده می شود، تعداد المانهای مورد نیاز بسیار زیاد و غیر معمول است، درصورتیکه برای رسیدن به بهره حدود ۱۳ با استفاده از مبدل پیشنهادی، فقط به دو سلول دیود خازنی احتیاج است. در شکل (۱۳) استرس ولتاژ کلید برحسب ولتاژ خروجی هرمبدل نشان داده شده است. با توجه به منحنی های رسم شده مشخص است که برای رسیدن به ولتاژهای خروجی زیاد در مبدل بوست، استرس ولتاژ کلید بسیار زیاد است که مستلزم استفاده از کلید

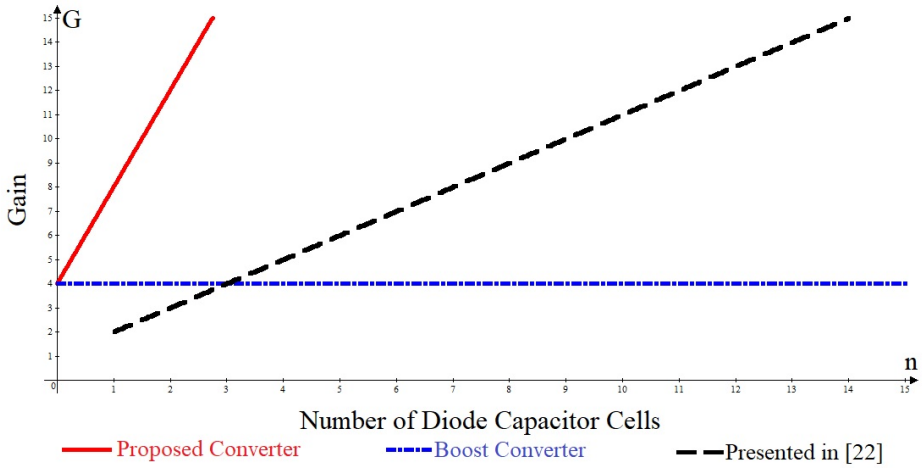
[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544] Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025 [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

با مقاومت بزرگ است و این موضوع موجب افزایش تلفات مبدل است. در مبدل پیشنهادی، استرس ولتاژ کلید سه برابر کمتر از ولتاژ خروجی است و این موضوع موجب استفاده از کلیدهای با کیفیت بالاتر، تلفات کمتر و راندمان بالاتر می شود.



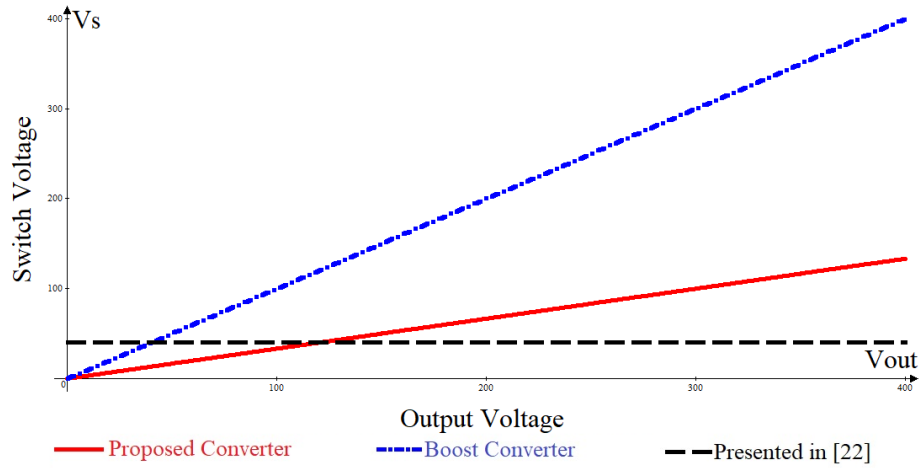
شکل(۱۱): مقایسه تغییرات بهره مبدلها برحسب تغییرات ضریب وظیفه

Figure (11): Comparison of converters gain changes versus duty cycle changes



شکل(۱۲): مقایسه تغییرات بهره مبدلها برحسب تعداد سلولهای دیود خازنی در ضریب وظیفه ۷۵ درصد

Figure (12): Comparison of converters gain changes versus number of diode capacitor cells at a duty cycle of 0.75



شکل(۱۳): مقایسه تغییرات ولتاژ کلید مبدلها برحسب تغییرات ولتاژ خروجی با دو سلول دیود خازنی

Figure (13): Comparison of converters switch voltage changes versus output voltage changes with two diode capacitor cells

[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544] [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025

در جدول (۳) مقایسه مبدل پیشنهادی با مبدل بوست و سه مبدل دیگر انجام شده است. با توجه به استفاده از سلفهای تزویج شده در مبدلهای [۳] و [۴] و تعداد قطعات زیاد در این مبدلها، این دو مبدل، حجم بیشتری را اشغال کرده و ضمن افزایش هزینه های ساخت، تلفات آهنی مبدلها افزایش می یابد. مبدل [۳] زمین مشترک بین ورودی و خروجی ندارد. در بین مبدلهای مقایسه شده، تنها مبدلی که در آن، کلید در شرایط ولتاژ و جریان صفر روشن می شود، مبدل پیشنهادی است که این موضوع، موجب کاهش چشمگیر تلفات کلیدزنی می شود. مبدل پیشنهادی از مزایای جریان پیوسته ورودی و زمین مشترک برخوردار است و به علت عدم استفاده از سلف تزویج در ساختار، از مزایای تلفات آهنی، حجم و قیمت کمتر نیز بهره می برد.

Table (3): Comparison of the proposed high step-up converter with previous converters

جدول (۳): مقایسه مبدل بسیار افزاینده پیشنهادی با مبدلهای پیشین

پارامتر	تعداد قطعات				شرایط کلیدزنی	زمین مشترک بین ورودی و خروجی	جریان پیوسته ورودی
	هسته های مغناطیسی	کلیدها	دیودها	خازنها			
مبدل پیشنهادی	۱	۲	۴	۵	ZVS-ZCS turn-on	دارد	دارد
مبدل بوست	۱	۱	۱	۱	Hard	دارد	دارد
[۲۲]	۰	۲	۴	۴	ZCS turn-on/ ZCS turn-off	دارد	ندارد
[۳]	۴+۱^{3w}	۲	۸	۲	ZCS turn-on	ندارد	دارد
[۴]	۳+۱^{2w}	۱	۵	۴	ZCS turn-on	دارد	دارد

۶-نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک مبدل بسیار افزاینده با بهره ولتاژ بالا طراحی و ارائه شد که با استفاده از تکنیک کلیدخازنی و بدون نیاز به سلف‌های کوپل‌شده، استرس ولتاژ کلیدها را کاهش می‌دهد. عدم استفاده از سلف تزویج و ترانسفورماتور در مبدل پیشنهادی موجب کاهش حجم مبدل می شود. مبدل پیشنهادی دارای ویژگی‌هایی از جمله کلیدزنی در ولتاژ و جریان صفر، ریپل جریان ورودی پایین و عدم مشکل بازیابی معکوس در دیودها است. این مبدل همچنین از استرس ولتاژ پایین بر روی کلیدها و دیودها بهره‌مند است که موجب استفاده از المانهای با کیفیت بالا و تلفات اهمی کمتر می شود. همچنین به علت کلیدزنی نرم تلفات کلیدزنی نیز پائین است و این نکات موجب افزایش راندمان مبدل می شود.

References

مراجع

[1] M. Forouzesh, 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," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 32, no. 12, pp. 9143-9178, Dec. 2017, doi: 10.1109/TPEL.2017.2652318.

[2] Q. Zhao and F. C. Lee, "High-efficiency, high step-up DC-DC converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 18, no. 1, pp. 65–73, Jan. 2003.

[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544] Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025 [Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[3] E. Rezai, M. Delshad, B. Fani, "A New high step-up converter with zero current switching and low input current", Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, vol. 13, no. 2, pp. 49-61, September 2024 (in Persian).
[4] R. Sareban, M. R. Amini, M. Delshad, M. R. Yazdani, "A Quadratic High Step-Up Converter with Zero-Current Switching", Journal of Novel Researches on Smart Power Systems, vol. 13, no. 3, pp. 1-13, December 2024 (in Persian).
[5] M.K.Kazimierczuk, Pulse-WidthModulated DC-DC Power Converters. Chichester, U.K.: Wiley, 2008.
[6] F. L. Tofoli, D. de Castro Pereira, W. J. de Paula, and D. de Sousa Oliveira Junior, "Survey on non-isolated high-voltage step-up DC-DC ´ topologies based on the boost converter," IET Power Electron., vol. 8, no. 10, pp. 2044–2057, 2015.
[7] G. Palumbo and D. Pappalardo, "Charge pump circuits: An overview on design strategies and topologies," IEEE Circuits Syst. Mag., vol. 10, no. 1, pp. 31–45, First Quarter 2010.O.
[8] R. Guo, Z. Liang, and A. Q. Huang, "A family of Multimodes charge pump based DC-DC converter with high efficiency over wide input and output range," IEEE Trans. Power Electron., vol. 27, no. 11, pp. 4788–4798, Nov. 2012.
[9] W. Qian, D. Cao, J. G. Cintron-Rivera, M. Gebben, D. Wey, and F. Z. Peng, "A switched-capacitor DC-DC converter with high voltage gain and reduced component rating and count," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 48, no. 4, pp. 1397–1406, Jul./Aug. 2012.
[10] M. D. Seeman, "A design methodology for switched-capacitor DC-DC converters," Univ. California, Berkeley, Berkeley, CA, USA, Tech. Rep.. UCB/EECS-2009-78, May 2009.
[11] F.L.Luo,"Switched-capacitorized DC/DC converters," in Proc. IEEE 6th Int. Power Electron. Motion Control Conf., 2009, pp. 1074–1079.P.
[12] S.Lee, P.Kim, and S. Choi, "High step-up soft-switched converters using voltage multiplier cells," IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, no. 7, pp. 3379–3387, Jul. 2013.
[13] K. Kesarwani and J. T. Stauth, "Resonant and multi-mode operation of flying capacitor multi-level DC-DC converters," in Proc. IEEE 16th Workshop Control Model. Power Electron., 2015, pp. 1–8.
[14] M. S. Makowski and D. Maksimovic, "Performance limits of switchedcapacitor DC-DC converters," in Proc. IEEE 26th Annu. Power Electron. Spec. Conf., 1995, pp. 1215–1221.H.
[15] M. D. Seeman and S. R. Sanders, "Analysis and optimization of switchedcapacitor DC-DC converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 23, no. 2, pp. 841–851, Mar. 2008.
[16] B. Wu, S. Li, K. M. Smedley, and S. Singer, "A family of two-switch boosting switched-capacitor converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 10, pp. 5413–5424, Oct. 2015.
[17] D. Cao and F. Z. Peng, "Zero-current-switching multilevel modular switched-capacitor DC-DC converter," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 46, no. 6, pp. 2536–2544, Nov./Dec. 2010.
[18] Y. Lei and R. C. N. Pilawa-Podgurski, "A general method for analyzing resonant and soft-charging operation of switched-capacitor converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 10, pp. 5650–5664, Oct. 2015.
[19] Y. Berkovich, B. Axelrod, and A. Shenkman, "A novel diode-capacitor voltage multiplier for increasing the voltage of photovoltaic cells," in Proc. IEEE 11th Workshop Control Model. Power Electron., 2008, pp. 1–5.
[20] S. R. Sanders, E. Alon, H. P. Le, M. D. Seeman, M. John, and V. W. Ng, "The road to fully integrated DC–DC conversion via the switchedcapacitor approach," IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, no. 9, pp. 4146–4155, Sep. 2013.
[21] Y. Lei and R. C. N. Pilawa-Podgurski, "A general method for analyzing resonant and soft-charging operation of switched-capacitor converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 30, no. 10, pp. 5650–5664, Oct. 2015.
[22] K. K. Law, K. W. E. Cheng, and Y. P. B. Yeung, "Design and analysis of switched-capacitor-based step-up resonant converters," IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers, vol. 52, no. 5, pp. 943–948, May 2005.
[23] D. Sadeghpour and J. Bauman, "A Generalized Method for Comprehension of Switched-Capacitor High Step-Up Converters Including Coupled Inductors and Voltage Multiplier Cells," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 37, no. 5, pp. 5801-5815, May 2022.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025

[24] V. Karthikeyan, S. Kumaravel and G. Gurukumar, "High Step-Up Gain DC–DC Converter With Switched Capacitor and Regenerative Boost Configuration for Solar PV Applications," in IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 66, no. 12, pp. 2022-2026, Dec. 2019.
[25] X. Zhu, B. Zhang, Z. Li, H. Li and L. Ran, "Extended Switched-Boost DC-DC Converters Adopting Switched-Capacitor/Switched-Inductor Cells for High Step-up Conversion," in IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 5, no. 3, pp. 1020-1030, Sept. 2017.
[26] Z. Yang, Z. Wang, B. Hu, M. Wu, Z. Hou and J. Zhang, "A Step-up DC-DC Converter with Self-boost Charge-Pump-Type Switched capacitor," 2023 26th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Zhuhai, China, 2023, pp. 119-123.
[27] Y. Chen, A. Q. Huang and X. Yu, "A High Step-Up Three-Port DC–DC Converter for Stand-Alone PV/Battery Power Systems," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 28, no. 11, pp. 5049-5062, Nov. 2013, doi: 10.1109/TPEL.2013.2242491.
[28] A. M. S. S. Andrade, L. Schuch and M. L. da Silva Martins, "Analysis and Design of High-Efficiency Hybrid High Step-Up DC–DC Converter for Distributed PV Generation Systems," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 66, no. 5, pp. 3860-3868, May 2019, doi: 10.1109/TIE.2018.2840496.

زیرنویس‌ها:

1. Switch capacitor
2. Charge pump
3. Voltage multipliers
4. Switch inductor
5. Magnetic coupling
6. Multilevel
7. Boost converter
8. Hard switching
9. Reverse recovery
10. Non-minimum phase
11. Right half plain zero
12. Duty cycle
13. Topology
14. Modular
15. Integration
16. Switching frequency
17. Output voltage regulation
18. Discontinuous current mode
19. Current spikes
20. High step-up resonance converter
21. Zero current switching
22. Resonance tank
23. Volt-second balance equation

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.82362/jeps.2025.2.544]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 14 - No. 2- Summer 2025