

## بررسی و مرور مبدل های دو جهته غیرایزوله بسیار افزاینده/کاهنده

فرزانه حیدری<sup>۱</sup>، محمد روح اله یزدانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد الکترونیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، farzaneh\_heidari777@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، m.yazdani@khuisf.ac.ir

چکیده - مبدل های دو جهته  $DC-DC$  با بهره ولتاژ بالا در بسیاری از کاربردها مانند سیستم انرژی فوتوولتائیک، پیل سوختی، منابع تغذیه بدون وقفه و وسایل نقلیه مورد نیاز است. مبدل های دو جهته غیر ایزوله بسیار کاهنده/افزاینده عموماً از مشکلاتی نظیر استرس بالای سوئیچهای قدرت، بازده پایین و تعداد زیاد المان ها رنج می برند. در این تحقیق ابتدا ساختارهای مبدل های دو جهته غیر ایزوله معرفی و مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه به بررسی و مرور مهم ترین توپولوژی های ارائه شده در مقالات دو جهته بسیار کاهنده/افزاینده که در آن استرس ولتاژ قطعات نیمه هادی کم است پرداخته می شود و مزایا و معایب آنها بصورت جدول دسته بندی شده است. کلید واژه- مبدل دو جهته- بسیار کاهنده/افزاینده- غیرایزوله

سوئیچینگ سخت، عبور توان به طور ناگهانی قطع و وصل می گردد که این عمل باعث ایجاد جریان و ولتاژ پالسی می شود. در ضمن این مساله باعث افزایش استرس سوئیچها، تلفات سوئیچینگ و ایجاد نویز EMI می شود. معمولاً در این نوع مبدل ها توان خروجی با تغییر ضریب وظیفه کنترل می شود. علت ایجاد تلفات سوئیچینگ، همپوشانی جریان و ولتاژ سوئیچ در مدت زمان تغییر سوئیچ از حالت روشن به خاموش و بالعکس می باشد که به این نوع سوئیچینگ اصطلاحاً سوئیچینگ سخت گفته می شود. روش دیگری که در مبدل های سوئیچینگ استفاده می شود سوئیچینگ نرم است. در این روش با اضافه کردن مدار کنترل، ولتاژ یا جریان در لحظه سوئیچینگ صفر می شود که مشکلات موجود در روش سوئیچینگ سخت حل می شود. مبدل هایی که در ولتاژ صفر سوئیچ میکنند را ZVS می نامند و مبدل هایی که در جریان صفر سوئیچ میکنند را ZCS می نامند. سوئیچینگ نرم در مبدل های ایزوله دو جهته که اغلب به شکل های نیم پل و تمام پل هستند به وسیله انرژی القایی ذخیره شده در ترانس برای دشارژ خازن سوئیچ های مبدل امکان پذیر است [۵] - [۸].

انواع مختلف مبدل های دو جهته را میتوان به دو دسته مبدل

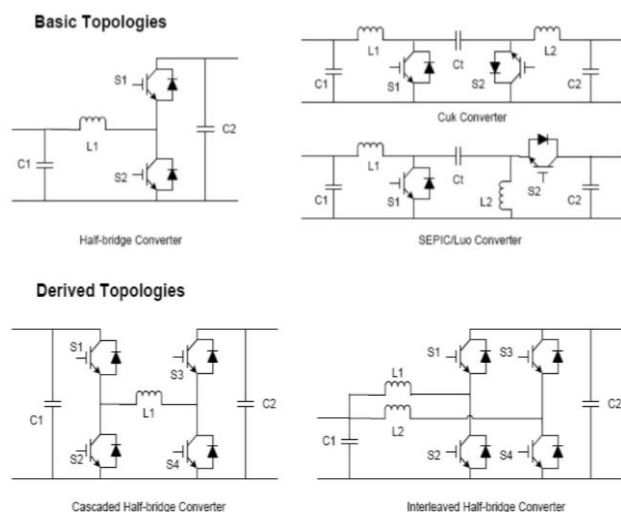
### ۱- مقدمه

با تشدید آلودگی محیط زیست توسط سوخت های فسیلی، انرژی های پاک در جهان از اهمیت خاصی برخوردار شده اند و سیستم های تولید انرژی تجدیدپذیر مانند فوتوولتائیک، پیل سوختی و انرژی بادی مورد توجه قرار گرفته اند. بنابراین نیاز به باتری و مبدل دوطرفه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. مبدل های دوطرفه می توانند توان را در هر دو جهت انتقال دهند [۲] - [۱].

مبدل های دو جهته  $DC-DC$  کاربردهایی نظیر شارژ و دشارژ باتری، کاربردهای پیل سوختی، منابع تغذیه بی وقفه (UPS)، درایوهای موتور سیستم های توان هیبریدی اشاره کرد. در واقع مبدل دو جهته مبدلی است که در آن امکان انتقال توان بین دو منبع در هر دو جهت وجود دارد. با توجه به اینکه مبدل های دو طرفه می توانند توازن را در هر دو جهت انتقال دهند این مبدل ها بطور وسیع برای ایجاد توازن در بار مورد استفاده قرار می گیرند [۴] - [۳]. مبدل های سوئیچینگ را می توان به دو دسته مبدل های سوئیچینگ نرم و سخت تقسیم نمود. در مبدل های

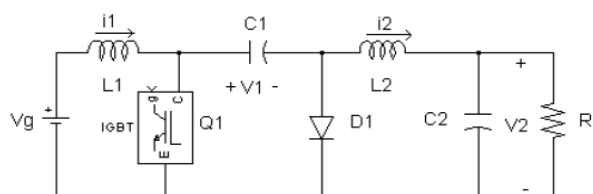
## ۲- مروری بر مزایا و معایب مبدل های دو جهته غیر ایزوله

چندین مبدل های DC-DC دو جهته غیر ایزوله که در پایین بیان می شود در مراجع [۲۲-۲۵] گزارش شده است.



شکل ۱: مبدل های DC-DC دو جهته غیر ایزوله [۲۲-۲۵]

برای مبدل چوک-چوک غیر ایزوله بازده پایین می باشد و همچنین رنج تغییرات ولتاژ کم می باشد.



شکل ۲: مدار شکل مبدل چوک [۲۶]

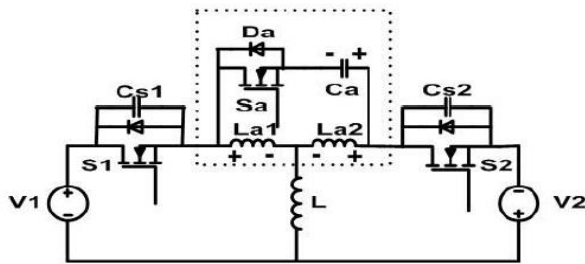
در مبدل های دو جهته بر پایه سلف کوپل شده علی رقم اینکه در ضریب وظیفه مناسب به بهره بالا / کم دست می یابند، ولی عموماً استرس ولتاژ قطعات سری با سلف های کوپل شده بالا می باشد و همچنین مشکلات سلف نشستی موجود در این مبدل ها ایجاد مشکل می کند [۲۷] - [۲۹]. در مبدل با سلف تزویج می توان با تنظیم نسبت تبدیل به بهره ولتاژ بالا رسید اما در بعضی موارد ساختار پیچیده ای دارند. ولی در کل استفاده از سلف های تزویج باعث افزایش بهره ولتاژ می شود. مبدل های دو جهته بر پایه خازن های سوئیچ شده، اگر چه به بهره های ولتاژ بسیار بالا / پایین قابل دست یابی است ولی کنترل عملکرد مبدل در حالت

های دو جهته ایزوله و مبدل های دو جهته غیر ایزوله تقسیم نمود. در زمانی که هر دو طرف مدار نمیتوانند همزمان زمین شوند و به بهره ولتاژ بالایی نیاز است، مبدل های دو جهته نوع ایزوله استفاده می شود [۹] - [۱۰]. مبدل های DC-DC ایزوله دو جهته اغلب یک نوع عایق سازی الکتریکی را میان ولتاژ سطح پایین و ولتاژ سطح بالا ایجاد می کند. از ترانسفورماتور جهت رسیدن به این هدف استفاده می شود. جهت تغذیه ترانسفورماتور انرژی DC باید به انرژی AC تبدیل و سپس انرژی AC توسط یکسوکننده به انرژی DC برای استفاده بار تبدیل می گردد. جهت به حداقل رسانیدن اندازه، وزن و در نهایت قیمت ترانسفورماتور، زیاد بودن فرکانس AC باید ممکن شود که این افزایش فرکانس توسط شرایط کاری ترانزیستور و تلفات کلیدزنی محدود می شود باید به این نکته توجه داشت که منابع اصلی اتلاف کننده انرژی در طرف اولیه (ولتاژ پایین) قرار دارند، زیرا که جریان زیادی در این قسمت از این منابع عبور می کند [۱۱] - [۱۸]. مبدل های ایزوله شده شامل فلائی بک، فوروارد- فلائی بک، تمام پل و نیم پل می باشند که با تنظیم تعداد دور ترانس می تواند به بهره ولتاژ بالا برسند. تعداد سوئیچ ها در این نوع مبدل ها معمولاً بین ۴ تا ۸ سوئیچ می باشد. مبدل های دو جهته غیر ایزوله به دلیل عدم استفاده از ترانسفورمر و بازده نسبی بیشتر نسبت به مبدل های ایزوله و همچنین سادگی کنترل و هزینه کم مورد توجه می باشند. با این حال به دلیل بالا بودن سطح ولتاژ در سمت ولتاژ بالا، استرس ولتاژ قطعات نیمه هادی عموماً در این مبدل ها بالاست [۱۹] - [۲۰]. مبدل های غیر ایزوله چند سطحی شامل کلید- خازن، چوک- چوک، سپیک- زتا، باک- بوست، سلف های تزویج شده می باشد در این مبدل ها به دلیل تعداد سوئیچ اکتیو و تعداد اجزا پسیو کمتر، هزینه این مبدل ها نسبت به مبدل های نوع ایزوله کمتر می باشد [۲۱].

در این مقاله توپولوژی مبدل های DC-DC دو جهته غیر ایزوله بررسی می شود و همچنین به بررسی مزایا و معایب آنها پرداخته می شود و نیز به مرور برخی از مقالات ارائه شده در این زمینه پرداخته شده است، در آخر نیز نتایج مقایسه در جدول بیان می شود.

۲۰۱۹ و آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراگان)

که مبتنی بر تکنولوژی کلمپ اکتیو است و شرایط سوئیچینگ نرم برای سوئیچ‌های اصلی مبدل چه در حالت عملکرد مستقیم و چه در حالت عملکرد معکوس فراهم می‌کند.

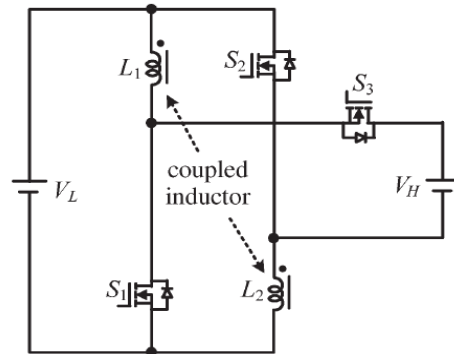


شکل ۵: مبدل دو جهته مرجع [۳۴]

مبدل دو جهته پیشنهادی مقاله بالا دو حالت عملکرد مستقیم و معکوس دارد. در حالت عملکرد مستقیم، سوئیچ  $S_2$  همواره خاموش بوده و با کنترل سوئیچ  $S_1$  توان بطور مستقیم از منبع  $V_1$  به منبع  $V_2$  انتقال می‌یابد و در حالت عملکرد معکوس، سوئیچ  $S_1$  همواره خاموش بوده و با کنترل سوئیچ  $S_2$  انتقال توان بطور معکوس و از منبع  $V_2$  به منبع  $V_1$  می‌باشد. بطور کلی عملکرد مبدل به گونه‌ای است که سوئیچ‌های مبدل دو جهته در هر دو حالت عملکرد مستقیم و معکوس در شرایط ولتاژ صفر و جریان صفر (ZVZCS) روشن و در شرایط ZVS خاموش می‌شوند. همچنین سوئیچ کمکی در شرایط ولتاژ و جریان صفر (ZVZCS) روشن و در شرایط ZCS خاموش می‌شود. این مقاله به کمک مدار کمکی کلمپ اکتیو و با حداقل تعداد المان‌های اضافی و بدون افزایش استرس ولتاژ بر روی سوئیچ‌های اصلی، شرایط سوئیچینگ نرم را برای سوئیچ‌های مبدل فراهم می‌کند [۳۴].

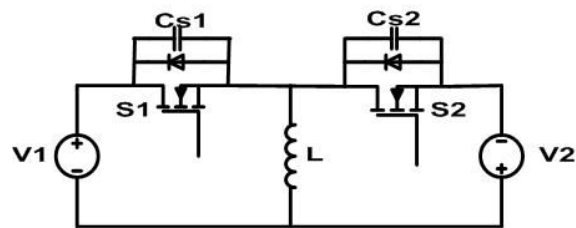
در مقاله زیر مبدل DC-DC دو جهته بسیار کاهنده/افزاینده با استرس ولتاژ سوئیچ کم ارائه شده است. مبدل پیشنهادی متشکل از ۴ خازن تقسیم-شش ماسفت-۲ سلف است. دو خازن در سمت ولتاژ بالا هستند که توسط یک مبدل بوست دو فاز در هم‌تنیده در مد بسیار افزاینده در وضعیت سری شارژ و در وضعیت موازی دشارژ می‌شوند و در مقابل در مد بسیار کاهنده خازن‌ها توسط یک مبدل باک در هم‌تنیده در وضعیت موازی شارژ و در وضعیت سری دشارژ می‌شوند. همچنین دو خازن در مسیر توان برای کاهش استرس ولتاژ ماسفت‌ها و افزایش نسبت تبدیل کاهنده/افزاینده وجود دارد. بنابراین این مبدل می‌تواند بدون استفاده از ترانسفورمر یا ضریب وظیفه بسیار زیاد/کم برای سوئیچ

گذرا بسیار مشکل است و همچنین در این مبدل‌ها تعداد سوئیچ‌ها به شدت بالا می‌باشد که این موضوع افزایش شدید پیچیدگی و قیمت را در پی دارد [۳۰].



شکل ۳: مبدل dc-dc دو جهته بر اساس سلف کوپل [۳۱]

مبدل‌های دو جهته پایه نظیر باک/بوست، باک-بوست/باک-بوست و غیره در کاربردهای با نسبت تبدیل ولتاژ بسیار زیاد/کم از زیاد/کم بودن ضریب وظیفه رنج می‌برند. همچنین در صورت بالا بودن سطح ولتاژ در این مبدل‌ها، طراح مجبور به استفاده از قطعات ولتاژ بالا می‌شود که استفاده از قطعات ولتاژ بالا خود موجب کاهش بازده مبدل و افزایش هزینه تمام شده سیستم می‌شود [۳۲] - [۳۳].



شکل ۴: مبدل باک-بوست دو جهته شده [۳۴]

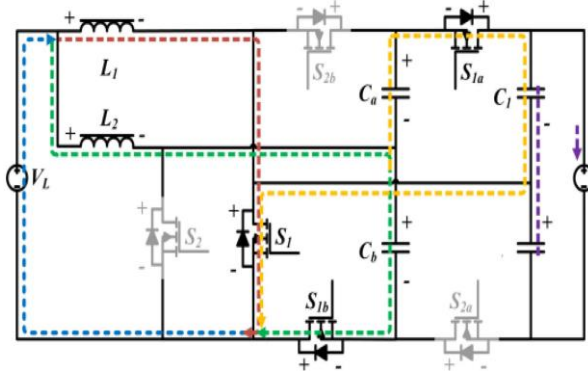
در مبدل دو جهته سوئیچینگ نرم باک-بوست شکل بالا در حالت عملکرد مستقیم، سوئیچ  $S_2$  همواره خاموش بوده و با کنترل سوئیچ  $S_1$  توان در جهت مستقیم منتقل می‌گردد. در حالت عملکرد معکوس، سوئیچ  $S_1$  همواره خاموش بوده و با کنترل سوئیچ  $S_2$  توان در جهت معکوس منتقل می‌شود [۳۴].

در مرجع [۳۴] یک مبدل دو جهته سوئیچینگ نرم باک-بوست با استفاده از مدار کمکی کلمپ اکتیو ارائه شده است که عملکرد آن مشابه مبدل معمول دو جهته باک-بوست می‌باشد با این تفاوت که سوئیچ کمکی  $S_a$ ، خازن  $C_a$  و سلف‌های  $L_{a1}$  و  $L_{a2}$  اضافه شده‌اند. این چهار المان مدار کمکی را تشکیل می‌دهند

۱۳۹۴-۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراگان)

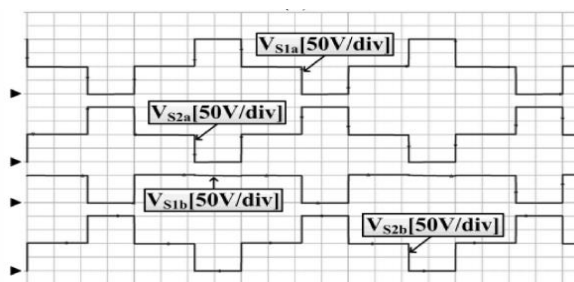
وضعیت ۳  $t_2 < t < t_3$ : این مد زمانی که سوئیچ  $S_1$  در زمان  $t_2$  روشن می شود آغاز می شود. عملکرد مبدل در این وضعیت شبیه وضعیت ۱ است و هر دو سلف های  $L_1$  و  $L_2$  توسط  $V_1$  که بین  $S_1$  و  $S_2$  می باشد به ترتیب شارژ می شوند، همچنین  $S_{1a}$  و  $S_{1b}$  و  $S_{2a}$  و  $S_{2b}$  خاموش هستند.

وضعیت ۴  $t_3 < t < t_4$ : زمانی که  $S_2$  در زمان  $t_3$  خاموش می شود دیود بدنه های  $S_{1a}$  و  $S_{1b}$  شروع به هدایت می کنند. در طول این وضعیت خازن های  $C_1$  و  $C_2$  شارژ می شوند.



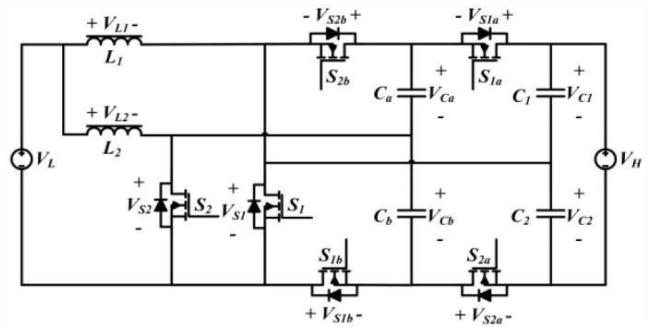
شکل ۹: مدار معادل وضعیت ۴ در مد افزایشده [۳۵]

از این مقاله می توانیم دریابیم که نسبت تبدیل مبدل پیشنهادی در وضعیت افزایشده چهار برابر بیشتر از نمونه متعارف است، همچنین نسبت تبدیل در وضعیت کاهشده یک چهارم همتای متعارف است. استرس ولتاژ همه سوئیچها برابر با  $\frac{V_H}{4}$  قبل از روشن شدن و بعد از خاموش شدن می باشد که مقداری کمتر از مبدل های دو جهته باک و بوست معمولی است و این می تواند تلفات سوئیچینگ را در زمان روشن و خاموش شدن سوئیچها کم کند. یکی دیگر از مزایای مبدل پیشنهادی این است که بدون اضافه کردن مدار کنترلی اضافی میتوان تقسیم جریان بین ماژول های درهمتنیده را فراهم کرد. بهره مبدل پیشنهادی در وضعیت افزایشده ۹۳٫۲٪ می باشد و در وضعیت کاهشده ۹۳٫۶٪ می باشد.



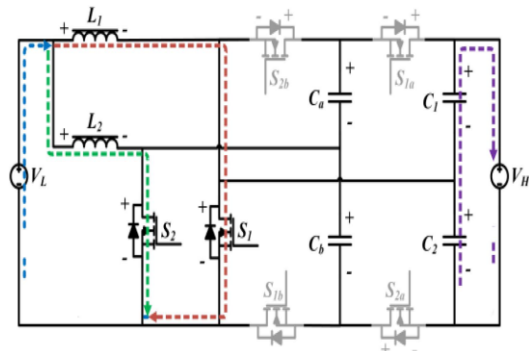
شکل ۱۰: شکل موج های ولتاژ سوئیچ های  $S_{1a}$  و  $S_{2a}$  و  $S_{1b}$  و  $S_{2b}$  در وضعیت افزایشده [۳۵]

ها نسبت تبدیل بسیار کاهشده/افزاینده را فراهم کند. مزیت این مبدل پیشنهادی استرس ولتاژ سوئیچ کم است که یک چهارم ولتاژ بالاست. مبدل پیشنهادی دارای ۴ مد عملکرد متمایز در افزایشده و ۴ مد عملکرد در کاهشده دارد. در اینجا بطور مختصر عملکرد مبدل در مد افزایشده بیان می شود [۳۵].



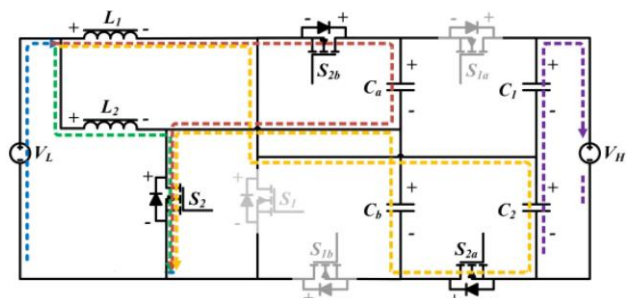
شکل ۶: مبدل دو جهته dc-dc بسیار کاهشده/افزاینده [۳۵]

وضعیت ۱  $t_0 < t < t_1$ : سوئیچ های  $S_1$  و  $S_2$  روشن هستند و زیر نشان داده شده است. همچنین جریان سلف های  $L_1$  و  $L_2$  بصورت خطی افزایش می یابد.



شکل ۷: مدار معادل وضعیت ۱ و ۳ در مد افزایشده [۳۵]

وضعیت ۲  $t_1 < t < t_2$ : در زمان  $t_1$  سوئیچ  $S_1$  خاموش می شود و دیود بدنه  $S_{2a}$  و  $S_{2b}$  شروع به هدایت کردن میکنند در طول این وضعیت سوئیچ  $S_2$  روشن باقی می ماند و سپس به ترتیب جریان سلف های  $L_1$  بصورت خطی کاهش و  $L_2$  افزایش می یابند.



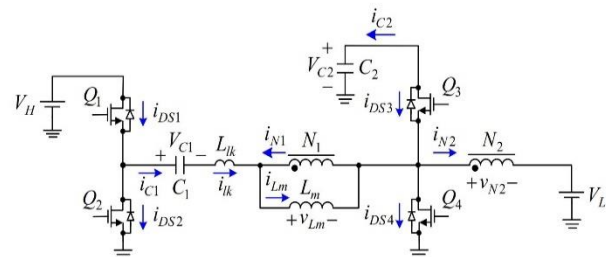
شکل ۸: مدار معادل وضعیت ۲ در مد افزایشده [۳۵]

### ۳- نتیجه گیری

مبدل های دو جهته اهمیت زیادی در کاربردهایی نظیر شارژ و دشارژ باتری، کاربردهای پیل سوختی، منابع تغذیه بی وقفه (UPS)، درایوهای موتور سیستم های توان هیبریدی دارند. در این مقاله توپولوژی های مختلف مبدل های دو جهته بسیار کاهنده/افزاینده بررسی شده است. همچنین به مزایا و معایب آنها پرداخته شده است، بر اساس مقالات جدید پارامترهای مهم نظیر بهره، تعداد المان های پسیو و اکتیو و استرس ولتاژ سوئیچ ها مقایسه شده است و همچنین در جدول ۱ دسته بندی های مختلف مبدل ها بررسی شده است که مشاهده می شود مرجع [۳۶] نسبت به بقیه بهتر است.

شکل زیر مبدل دو جهته پیشنهادی مرجع [۳۶] را نشان می دهد که از ۴ سوئیچ  $Q_1$  و  $Q_2$  و  $Q_3$  و  $Q_4$  و دو خازن انتقال انرژی  $C_1$  و  $C_2$  و یک سلف القایی، متشکل از سیم پیچ اولیه  $N_1$  و سیم پیچ ثانویه  $N_2$ ، علاوه بر این ترانزیستور های  $Q_1$  و  $Q_3$  بطور همزمان رانده میشوند و ترانزیستور های  $Q_1$  و  $Q_2$  نیز با هم رانده میشوند اگرچه ۴ سوئیچ در این مدار وجود دارد تنها دو گیت درایور برای راندن آنها مورد نیاز است.

این مبدل دارای ۱۰ وضعیت عملکرد در مد افزایشنده و ۱۰ وضعیت عملکرد در مد کاهنده دارد. در مد کاهنده نسبت تبدیل ولتاژ متناظر بسیار کمتر از مبدل باک متعارف است. علاوه براین با ضریب وظیفه خطی ولتاژ خروجی متفاوت است. در مد افزایشنده بهره ولتاژ بسیار بیشتر از مبدل بوست متعارف است. در مد کاهنده سوئیچ های  $Q_1$  و  $Q_2$  در شرایط ZVS روشن و سوئیچ های  $Q_3$  و  $Q_4$  در شرایط ZVS خاموش می شوند. انرژی سلف نشتی می تواند بازیابی شود.



شکل ۱۱: مبدل کاهنده دو جهته مرجع [۳۶]

جدول ۱: مقایسه مبدل های پیشنهاد شده

نوع مبدل	باک متعارف	بوست متعارف	باک/بوست متعارف	تمام پل	مبدل پیشنهادی [۳۶]	مبدل پیشنهادی [۳۵]
بهره ولتاژ	$D$	$\frac{1}{1-D}$	$\frac{D}{1-D}$	$D \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)$	$D \cdot \left(\frac{N_2+N_1}{N_1}\right)$	$\frac{D}{4}$
تعداد سوئیچ	۱	۱	۱	۴	۴	۶
تعداد دیود	۱	۱	۱	۴	۰	۰
تعداد سلف کوپل شده	۰	۰	۰	۱	۰	۰
تعداد خازن	۱	۱	۱	۲	۳	۴
استرس ولتاژ سوئیچ	$V_{in}$	$V_o$	$V_{in}$	$V_{in}$	$V_{ds1} = V_{ds2}$ $V_{ds3} = V_{ds4}$	$\frac{VH}{4}$
ایزولاسیون	غیر ایزوله	غیر ایزوله	غیر ایزوله	ایزوله	غیر ایزوله	غیر ایزوله



مراجع

- [19] I.-D. Kim, S.-H. Paeng, J.-W. Ahn, E.-C. Nho, and J.-S. Ko, "New bidirectional ZVS PWM sepic/zeta DC-DC converter," in *Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium on*, pp. 555-560, 2007.
- [20] M. R. Mohammadi and H. Farzanehfard, "A new bidirectional ZVSPWM Cuk converter with active clamp," in *Electrical Engineering (fCEE), 2011 19th Iranian Conference on*, pp. 1-6, 2011.
- [21] R. J. Wai and R. Y. Duan, "High-efficiency bidirectional converter for power sources with great voltage diversity," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 5, Sep. 2007.
- [22] M. Ortúzar, J. Dixon, J. Moreno, "Ultracapacitor-Based Auxiliary Energy System for an Electric Vehicle: Implementation and Evaluation" in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 54, issue 4, Aug. 2007, pp. 2147-2156.
- [23] R. M. Schupbach, C. Bald, "Comparing DC-DC Converters for Power Management in Hybrid Electric Vehicles," in *IEEE 2003 International Electric Machines and Drives Conference, 2003*, vol. 3, pp. 1369-1374.
- [24] J. Czogalla, J. Li, C.R. Sullivan, "Automotive Application of Multi-Phase Coupled-Inductor DC-DC Converter," in *IEEE 2003 Industry Applications Conference, 2003*, vol. 3, pp. 1524-1529.
- [25] M. Gerber, J. A. Ferreira, N. Seliger, I. W. Hofsjager, "Design and Evaluation of an Automotive Integrated System Module," in *IEEE 2005 Industry Applications Conference, 2005*, vol. 2, pp. 1144-1151.
- [26] R. Sankarganesh, S. Thangavel "Maximum Power Point Tracking in PV System using Intelligence based P&O Technique and Hybrid Cuk Converter" in Department of EEE, K.S.R. College of Engineering Tiruchengode-637 215, Tamilnadu, India
- [27] B. Narasimharaju, S. Dubey, and S. Singh, "Design and analysis of coupled inductor bidirectional DC-DC converter for high-voltage diversity applications," *IET Power Electronics*, vol. 5, pp. 998-1007, 2012. [*Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 59, pp. 422-434, 2012.
- [28] R.-J. Wai and R.-Y. Duan, "High-efficiency bidirectional converter for power sources with great voltage diversity," *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol. 22, pp. 1986-1996, 2007.
- [29] J.-P. Lee, H. Cha, D. Shin, K.-J. Lee, D.-W. Yoo, and J.-Y. Yoo, "Analysis and Design of Coupled Inductor for Two-Phase Interleaved DC-DC Converters," *Journal of power electronics*, vol. 13, pp. 339-348, 2013.
- [30] M. Jang and V. G. Agelidis, "A minimum power-processing-stage fuel cell energy system based on a boost-inverter with a bidirectional backup battery storage," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 26, no. 5, May 2011.
- [31] Lung-Sheng Yang and Tsorng-Juu Liang, "Analysis and Implementation of a Novel Bidirectional DC-DC Converter" *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*, VOL. 59, NO. 1, JANUARY 2012.
- [32] I.-D. Kim, S.-H. Paeng, J.-W. Ahn, E.-C. Nho, and J.-S. Ko, "New bidirectional ZVS PWM sepic/zeta DC-DC converter," in *Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium on*, pp. 555-560, 2007.
- [33] M. R. Mohammadi and H. Farzanehfard, "A new bidirectional ZVSPWM Cuk converter with active clamp," in *Electrical Engineering (fCEE), 2011 19th Iranian Conference on*, pp. 1-6, 2011.
- [34] M. R. Mohammadi and H. Farzanehfard, "Soft switching bidirectional buck-boost converter with clamp active" in *Electrical Engineering (ICEE), 2010 18th Iranian Conference*, 18-481
- [1] R. Gules, J. D. P. Pacheco, H. L. Hey, and J. Imhoff, "A maximum power point tracking system with parallel connection for PV stand-alone applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 7, Jul. 2008.
- [2] R. J. Wai, R. Y. Duan, and K. H. Jheng, "High-efficiency bidirectional dc-dc converter with high-voltage gain," *IET Power Electron.*, vol. 5, no. 2, Feb. 2012.
- [3] L. Sheng, T. Liang, "Analysis and Implementation of a Novel Bidirectional DC-DC Converter," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 59, no. 1, Jun 2012.
- [4] P. Das, S. Ahmad Mousavi, G. Moschopoulos "Analysis and Design of a Nonisolated Bidirectional ZVS-PWM DC-DC Converter With Coupled Inductors" *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 10, Oct 2010.
- [5] G. Chen, Y.-S. Lee, S. Y. R. Hui, D. Xu and Y. Wang, "Actively clamped bidirectional flyback converter," *IEEE Trans. Industrial Electronics* vol. 47, no. 4, pp. 770-779, Aug. 2000.
- [6] M. Jain, M. Daniele, and P. K. Jain, "A bidirectional DC-DC converter topology for Low power application," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 15, no. 4, pp. 595-606, July 2000.
- [7] F. Z. Peng, H. Li, G.J. Su, and J.S. Lawler, "A new ZVS bidirectional DC-DC converter for fuel cell and battery application," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 19, no. 1, pp. 54-65, Jan 2004.
- [8] L. Zhu, "A novel soft-commutating isolated boost full-bridge ZVS-PWM DC-DC converter for bidirectional high power applications," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 21, no. 2, pp. 422-429, March 2006.
- [9] R.-Y. Duan, J.-D. Lee, "High-efficiency bidirectional DC-DC converter with coupled inductor" *ITE Power Electron.*, vol. 5, Iss. 1, Mar 2011.
- [10] R.-J. Wai, R.-Y. Duan, K.-H. Jheng, "High-efficiency bidirectional DC-DC converter with coupled inductor" *ITE Power Electron.*, vol. 5, Iss. 2, July 2011.
- [11] M. Gang, Q. Wenlong, L. Yuanyuan, and L. Bin, "A novel soft switching bidirectional DC/DC converter," in *Proc. ICEMS, 2005*, vol. 2, pp. 1075-1079.
- [12] W. Yu and J. S. Lai, "Ultra high efficiency bidirectional dc-dc converter with multi-frequency pulse width modulation," in *Proc. IEEE APEC, 2008*, pp. 1079-1084.
- [13] J. Wang, F. Z. Peng, J. Anderson, A. Joseph, and R. Buffenbarger, "Low cost fuel-cell converter system for residential power generation," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 5, pp. 1315-1322, Sep. 2004.
- [14] H. J. Chiu and L. W. Lin, "A bidirectional DC-DC converter for fuel cell electric vehicle driving system," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 21, no. 4, pp. 950-958, Jul. 2006.
- [15] D. Xu, C. Zhao, and H. Fan, "A PWM plus phase-shift control bidirectional DC-DC converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 3, pp. 666-675, May 2004.
- [16] H. Xiao and S. Xie, "A ZVS bidirectional DC-DC converter with phase shift plus PWM control scheme," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 23, no. 2, pp. 813-823, Mar. 2008.
- [17] J. Chang, T. Sun, and A. Wang, "Highly compact AC-AC converter achieving a high voltage transfer ratio," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 49, no. 2, pp. 345-352, Apr. 2002.
- [18] H. Li and F. Z. Peng, "Modeling of a new ZVS bi-directional dc-dc converter," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 40, no. 1, pp. 272-283, Jan. 2004.



چهارمین کنفرانس ملی ایده‌های نو در مهندسی برق



۱۳۹۴-۲۰ آبان ماه - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

- [35] Molavi, N.; Esteki, M.; Adib, E.; Farzanehfard, H., "High step-up/down DC-DC bidirectional converter with low switch voltage stress," in Power Electronics, Drives Systems & Technologies Conference (PEDSTC), 2015 6th , vol., no., pp.162-167, 3-4 Feb. 2015
- [36] Yau, Y.T.; Jiang, W.Z.; Hwu, K.I., "Bidirectional Operation of High Step-Down Converter," in Power Electronics, IEEE Transactions on , vol.30, no.12, pp.6829-6844, Dec. 2015