یک مبدل بسیار کاهنده با استرس ولتاژ پایین روی کلیدهای قدرت و بازیابی انرژی سلف نشتی

عبدالغفار معماریان [۱]، ، مجید دلشاد[۲،*]، سید مهدی سجادیه[۳]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی ، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
*۲- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی ، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
delshad@khuisf.ac.ir
۳- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی ، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۳۰

چکیده: در این مقاله یک مبدل بسیار کاهنده با کلیدزنی در ولتاژ صفر ارایه گردیده است که از تکنیک سلف تزویج شده و خازن سری برای کاهش بهره استفاده شده است. بنابراین استرس ولتاژ روی سوییچ‌ها کاهش می‌یابد. مدار کمکی حداقل تعداد المان را دارا است از طرفی کلید کمکی نیز بصورت ZV کلیدزنی می‌گردد و مشکل بازیابی معکوس دیود هرزگرد نیز حل شده است. انرژی سلف نشتی در خازن C تخلیه می‌شود و به نحو مناسبی به خروجی منتقل می‌گردد. در نتیجه خازن C نه تنها انرژی سلف نشتی را جذب می‌کند بلکه موجب کاهش بیشتر بهره ولتاژ نیز می‌گردد. از آنجایی‌که سوییچ‌ها بصورت مکمل کلیدزنی می‌شوند پیاده سازی مدار کنترل آن ساده است. نتایج شبیه سازی بیانگر افزایش راندمان به میزان ۴ درصد نسبت به نمونه سوییچینگ سخت می‌باشد. همچنین برای تایید درستی تحلیل‌های تئوری مبدل بسیار کاهنده پیشنهادی، مبدل طراحی و یک نمونه عملی ۵۰ وات از آن ساخته شده است.

واژه‌های کلیدی: کلیدزنی در ولتاژ صفر، مبدل بسیار کاهنده، بازیابی انرژی سلف نشتی، سلف تزویج شده

۱- مقدمه

یکی از مهمترین و اصلی‌ترین رویکردهایی که امروزه طراحان دستگاه-های الکترونیکی به دنبال آن هستند کاهش حجم و وزن دستگاه می-باشد، از این رو افزایش چگالی توان در منبع تغذیه مورد استفاده در این دستگاه‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است[۱]. افزایش فرکانس جهت کاهش حجم المان‌های پسیو راهکار اصلی جهت کاهش حجم مبدل است. اما به کارگیری فرکانس‌های بالا سبب افزایش تلفات سوئیچینگ و نیز کاهش راندمان مدار می‌شود. لذا استفاده از تکنیک‌های سوئیچینگ نرم برای کاهش تلفات و افزایش فرکانس سوئیچینگ مدار غیر قابل اجتناب است.

در مبدل باک معمولی[۱] کلید مبدل به صورت سخت کلیدزنی[۲] می‌شود، لذا تلفات کلیدزنی این مبدل بالا بوده و راندمان کلی مبدل را تحت تأثیر قرار می‌دهد به همین دلیل نمی‌توان فرکانس کلیدزنی را به منظور افزایش چگالی توان و کاهش حجم و وزن المان‌های پسیو افزایش داد. لذا با توجه به مشکلات مطرح شده، مبدل باک به منظور استفاده در کاربردهای بسیار کاهنده ی ولتاژ [۳] مناسب نمی‌باشد. از این رو تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌ی مبدل‌های DC-DC بسیار کاهنده صورت گرفته است که هر کدام بهبودهایی را حاصل کرده‌اند. با توجه به محدودیت‌های مبدل باک مهمترین چالش‌های مبدل‌های DC-DC بسیار کاهنده‌ی غیر ایزوله شامل مسئله ضریب وظیفه[۴]، اسپایک[۵] و استرس ولتاژ [۶] جریان المان‌های نیمه هادی، نحوه کلیدزنی المان‌های

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.3.4]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

قدرت، بازیابی معکوس[۷] دیود و افزایش فرکانس کلیدزنی می‌باشد[۱۰]-[۶].

به منظور حل مشکل اسپایک ولتاژ ناشی از رزونانس انرژی سلف نشتی با خازن پارازیتی کلیدهای خاموش، راهکارهایی برای بازیابی انرژی سلف نشتی ارائه شده‌اند، ازجمله ایده‌ی مدار محدودکننده غیرفعال ارائه شده در [۱۱] می‌باشد که در آن انرژی سلف نشتی در بازه هرزگردی جذب خازن محدودکننده شده و در بازه انتقال توان به خروجی منتقل می‌شود. اما مشکل این مبدل این است که کلید مبدل به صورت سخت کلیدزنی می‌شود که برای حل این مشکل مدار محدودکننده فعال ارائه شده در [۱۲] و [۱۳] معرفی شد که در آن علاوه بر بازیابی انرژی سلف نشتی، هر دو کلید مبدل به صورت نرم کلیدزنی می‌شوند، اما در صورت درهم تنیده کردن مبدل تعداد کلیدها افزایش یافته و هزینه‌ی مدار بالا می‌رود. ایده‌ی دیگر برای خنثی کردن اسپایک ولتاژ ناشی از انرژی سلف نشتی، ایده‌ی ترکیب مبدل‌های هیبریدی در [۱۴] و [۱۵] با مبدل باک که در آن سلف‌های تزویج شده[۸] در قسمت خروجی مبدل قرار دارند و انرژی سلف نشتی به طور مستقیم طی یک فرایند غیر رزونانسی به خروجی منتقل می‌شود. انرژی سلف نشتی را علاوه بر ایده‌های گفته شده در بالا، با ایده‌های متفاوتی بازیابی می‌کنند ازجمله این که با به کارگیری انرژی سلف نشتی در جهت دشارژ خازن موازی با کلیدهای خاموش مبدل و به دنبال آن روشن شدن دیود موازی معکوس آن‌ها، شرایط کلیدزنی نرم را برای این کلیدها فراهم می‌کنند که ایده ادغام سلف تزویج شده با خازن سری شده که در [۱۶] ارائه شده است از همین ایده بهره برده است. در این مبدل علاوه بر کاهش بهره و افزایش ضریب وظیفه، اسپایک ولتاژ ناشی از انرژی سلف نشتی کاملاً مهارشده است و از طرفی همه‌ی کلیدهای این مبدل به صورت نرم کلیدزنی می‌شوند اما درهر صورت این مبدل با سه کلید کار می‌کند.

یکی از راه‌های ایجاد شرایط کلیدزنی در جریان صفر[۹] برای زمان روشن شدن سوییچ سری نمودن یک سلف یا دیود با آن می‌باشد. در زمان خاموش شدن، سلف مبدل باعث ایجاد جهش ولتاژ روی سوییچ می‌گردد. بنابراین یک منبع جریان پالسی برای ایجاد جریان سلف به وسیله فراهم کردن یک مسیر موازی، قبل از خاموش شدن سوییچ، لازم می‌باشد[۱۷]. اما مشکل اصلی این مبدل وجود تلفات روشن شدن خازنی[۱۰] در مبدل می‌باشد. در مرجع [۱۸] یک مبدل باک پیشنهاد شده است که تحت شرایط ولتاژ گذار صفر ZVT[۱۱] ، عمل می‌کند. در این مبدل برای ایجاد منبع جریان پالس مقداری انرژی باید در خازنی که به خازن کمکی معروف است ذخیره شود و سپس قبل از روشن شدن سوییچ اصلی در منبع جریان پالس تزریق گردد. مشکل اصلی این مبدل تعداد بالای المان‌های کمکی و پیچیدگی عملکرد آن است. در مرجع [۱۹] یک مبدل باک پیشنهاد شده است که در آن از تکنیک‌های سوئیچینگ در جریان صفر و ولتاژ صفر به طور همزمان استفاده شده است که به ZVZCT[۱۲] موسوم است. با انجام این کار علاوه بر کاهش دادن جریان دنباله‌ای، مساله تلفات خازنی در لحظه روشن شدن نیز حل گردیده است. انرژی مدار کمکی در این مبدل به ورودی منتقل می‌گردد ولی تعداد المان مدار کمکی بسیار بالا است و تلفات هدایتی در آن به همین دلیل بالا است، ضمن اینکه قیمت مبدل نیز افزایش می‌یابد. در مرجع [۲۰] یک مدار کمکی جدید ارایه شده بطوریکه سوییچ اصلی بصورت ZV و سوییچ کمکی بصورت ZC کلیزنی می‌گردند و از آنجایی‌که سوییچ کمکی مدت زمان کوچکی روشن است و بعد از روشن شدن سوییچ اصلی خاموش می‌شود جریان گردشی در مدار بالا نیست و راندمان بالا می‌رود ولی از مشکلات این مبدل تلفات خازنی در سوییچ کمکی[۱۳] و انتقال انرژی مدار کمکی به ورودی به جای خروجی است.

در این مقاله یک مبدل بسیار کاهنده با کلیدزنی نرم ارایه گردیده است، بطوریکه مدار کمکی حداقل تعداد المان را دارا است و هردو سوییچ بصورت ZV روشن و خاموش می‌شوند و لذا تلفات روشن شدن خازنی ندارند. از طرفی دیود هرزگرد بصورت ZC خاموش می‌گردد و مشکل بازیابی معکوس دیود نیز حل شده است. استرس ولتاژ روی سوییچ‌ها کاهش یافته در نتیجه می‌توان از سوییچ‌هایی با مقاومت درین – سورس کوچکتر استفاده نمود، لذا تلفات هدایتی نیز کاهش می‌یابد. طراحی مدار کنترل نیز ساده و بصورت PWM[۱۴] می‌باشد. بنابراین با کمترین تعداد المان اضافی نسبت به مبدل باک متداول هم کلیدزنی نرم برای سوییچ‌ها فراهم گشته و هم بهره ولتاژ بصورت موثر کاهش یافته است.

در ابتدا در قسمت دوم مبدل بسیار کاهنده پیشنهادی توصیف و عملکرد آن توضیح داده می‌شود و سپس در قسمت سوم روند طراحی المان‌ها بیان می‌شود. همچنین نتایج شبیه سازی و عملی مبدل پیشنهادی در قسمت‌های چهارم و پنجم ارایه شده‌اند. در نهایت در قسمت‌های ششم و هفتم مبدل پیشنهادی با مبدل‌های دیگر مقایسه می‌گردد.

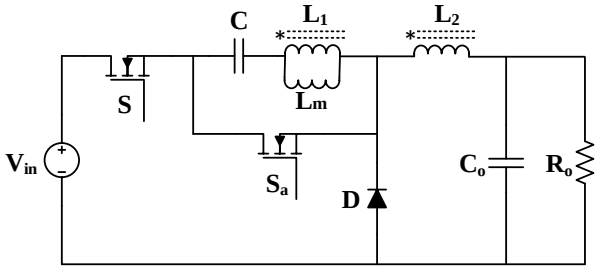
۲- توصیف مبدل بسیار کاهنده پیشنهادی

در شکل (۱) مبدل کاهنده پیشنهادی آورده شده است. همانطور که از شکل مشخص است مبدل دارای دو سوئیچ S و S_a، یک جفت سلف تزویج L_1-L_2، یک دیود هرزگرد D و دو خازن C_o و C و یک خازن اسنابر C_S می‌باشد. شکل (۲) شکل موج‌های کلیدی مبدل را نشان می‌دهد. در مبدل ارائه شده سوئیچ کمکی S_a به همراه سلف نشتی و خازن C شرایط کلید زنی ZV را برای هر دو سوئیچ اصلی و کمکی را فراهم می‌کنند و سلف کوپل شده به کمک خازن C نقش کاهش بیشتر بهره ولتاژ را بازی می‌کنند.

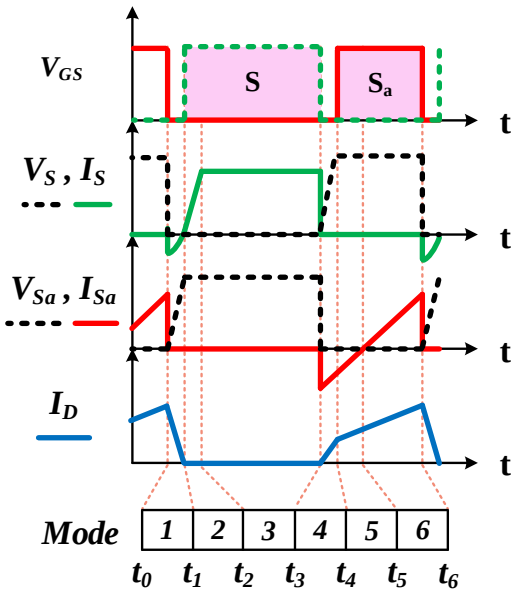
۲-۱-عملکرد مبدل بسیار کاهنده

مبدل بسیار کاهنده پیشنهادی دارای ۶ وضعیت عملکردی در یک سیکل می‌باشد. سوئیچ کمکی S_a به صورت مکمل با سوئیچ اصلی روشن می‌شود و با سوئیچ اصلی همپوشانی ندارد. از طرفی انرژی سلف نشتی در خازن C ذخیره شده و به خروجی منتقل می‌گردد و اسپایک ولتاژ دوسر سوئیچ مشاهده نمی‌گردد. شکل (۲) شکل موج‌های کلیدی مبدل را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.3.4]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023



شکل (۱): نمای شماتیک مبدل بسیار کاهنده پیشنهادی



شکل (۲): شکل موج‌های کلیدی مبدل بسیار کاهنده پیشنهادی

قبل از وضعیت اول سوئیچ کمکی S_a روشن و سوئیچ اصلی S خاموش است و دیود هرزگرد D روشن و انرژی سلف‌های تزویج در خروجی تخلیه می‌شود. شکل‌های (۳) تا (۸) مدارهای معادل وضعیت‌های مختلف مبدل را نشان می‌دهد.

وضعیت اول:

این وضعیت با خاموش شدن سوئیچ S_a آغاز می‌گردد. سلف نشتی در این حالت شروع به دشارژ خازن اسنابر سوئیچ اصلی S و شارژ سوئیچ کمکی S_a می‌نماید. این وضعیت با تخلیه کامل خازن و روشن شدن دیود بدنه سوئیچ S ادامه می‌یابد. بعد از روشن شدن دیود بدنه سوئیچ اصلی می‌تواند تحت شرایط ZV روشن شود.

وضعیت دوم:

این وضعیت با انتقال جریان از دیود بدنه سوئیچ S به خود سوئیچ S آغاز شده و جریان خطی افزایش می‌یابد تا به سطح I_{Lm} برسد. از طرفی جریان دیود هرزگرد نیز خطی کاهش یافته تا در انتهای این وضعیت جریان آن صفر شده و به صورت ZC خاموش گردد.

وضعیت سوم:

این وضعیت با ثابت شدن جریان در سطح I_{Lm} آغاز شده و سلف L_m شروع به شارژ شدن به صورت خطی می‌نماید که به خاطر بزرگ بودن سلف مغناطیس کنندگی از شیب جریان آن صرف‌نظر گردیده است. در این وضعیت انرژی از ورودی به خروجی منتقل می‌شود. این وضعیت با خاموش شدن سوئیچ اصلی پایان می‌یابد.

وضعیت چهارم:

این وضعیت با خاموش شدن سوییچ S آغاز می‌شود. در این وضعیت جریان مغناطیسی کنندگی شروع به شارژ خازن اسنابر C_s به صورت خطی نموده تا ولتاژ آن به سطح V_{in} برسد و این وضعیت پایان یابد.

$$V_{CS}(t) = \frac{I_{Lm}}{C_S}(t - t_3) \quad (۱)$$

$$\Delta t_4 = \frac{V_{in}C_S}{I_{Lm}} \quad (۲)$$

وضعیت پنجم:

با شارژ کامل خازن C_S، دیود هرزگرد D روشن شده، از طرفی دیود بدنه سوئیچ کمکی S_a نیز هدایت می‌کند. در نتیجه L_m شروع به دشارژ در خروجی از طریق دیود D و خازن C نیز شروع به شارژ توسط سلف نشتی از طریق دیود بدنه S_a می‌نماید. در انتهای این وضعیت جریان دیود بدنه به صفر می‌رسد.

وضعیت ششم:

در این وضعیت جریان از دیود بدنه S_a به خود S_a که در وضعیت قبل روشن شده است منتقل می‌شود و در نتیجه خازن C شروع به دشارژ می‌کند و انرژی خود را از طریق سوئیچ کمکی S_a به سلف مغناطیس کنندگی منتقل می‌نماید. این وضعیت با خاموش شدن سوئیچ کمکی S_a پایان می‌پذیرد.

۳- آنالیز مبدل پیشنهادی

در این قسمت مبدل پیشنهادی تحلیل گردیده و بهره ولتاژ، استرس ولتاژ روی المان‌ها و طراحی المان‌های پسیو ارائه می‌شود.

۳-۱- بهره مبدل

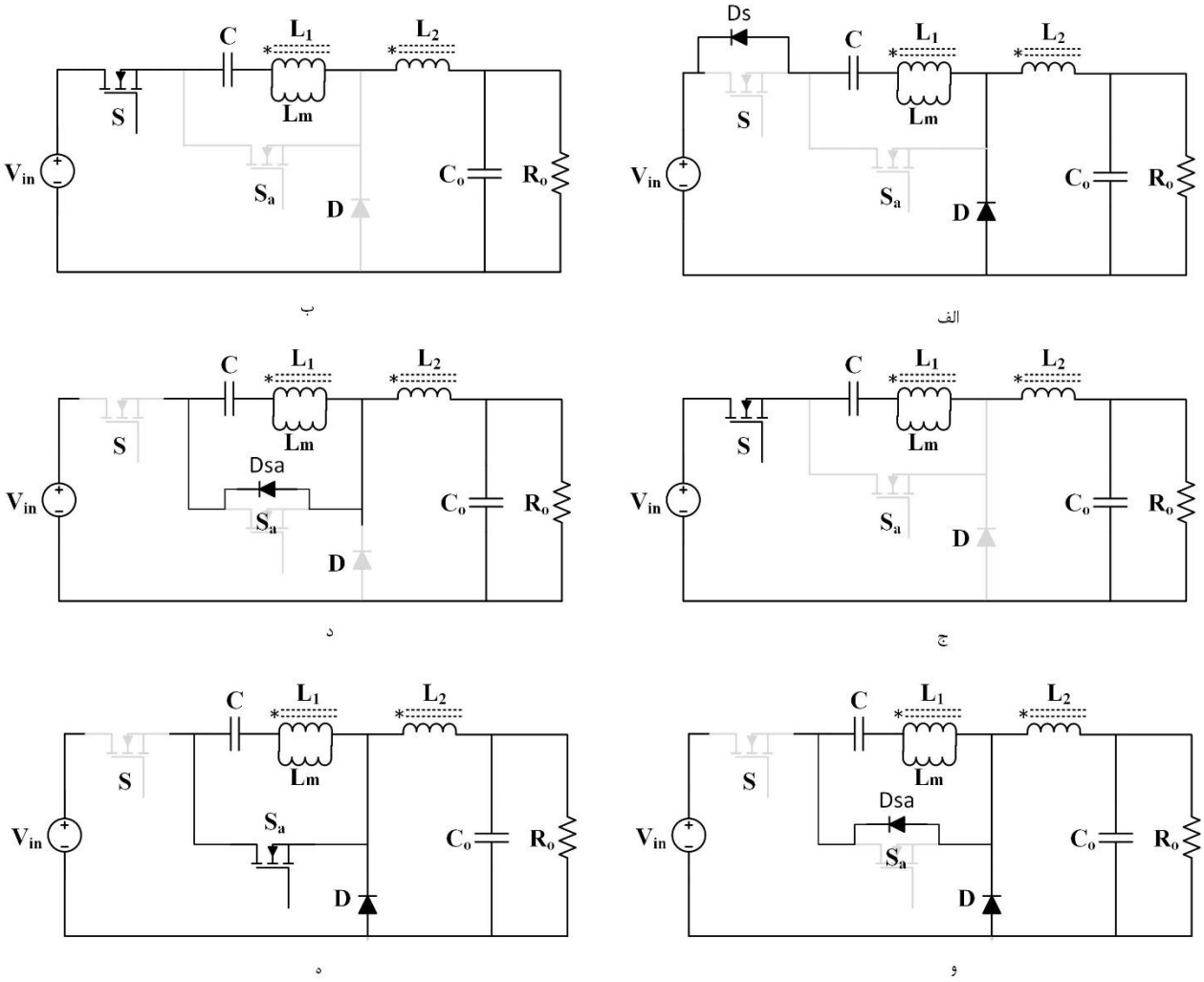
با نوشتن رابطه بالانس ولت- ثانیه روی L_m داریم.

$$\frac{n(V_{in}-V_C-V_O)}{n+1}DT + (-V_C)(1-D)T = 0 \quad (۳)$$

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{D}{n+1} \quad (۴)$$

از رابطه (۳) مشاهده می‌گردد، هرچه نسبت دور بیشتر انتخاب گردد، بهره ولتاژ کوچک‌تر و ضریب وظیفه بزرگتری می‌توان انتخاب نمود تا مشکل استرس دیود هرزگرد نیز حل شود.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.3.4]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]



شکل (۳): مدارهای معادل مبدل بسیار کاهنده پیشنهادی در وضعیت‌های مختلف الف-وضعیت اول ب- وضعیت دوم ج-وضعیت سوم د-وضعیت چهارم و- وضعیت پنجم ه-وضعیت ششم

۳-۱ استرس ولتاژ المان‌ها

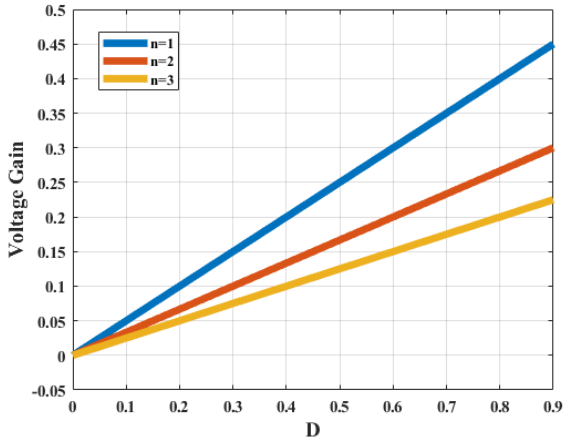
در مبدل ارائه شده با نوشتن KVL در حلقه ورودی هنگامی‌که سوئیچ S خاموش و سوئیچ S_a روشن است، ولتاژ دوسر سوئیچ اصلی برای V_{in} است.

$$V_S = V_{in} \quad (۵)$$

هنگامی‌که سوئیچ اصلی روشن و سوئیچ کمکی خاموش است ولتاژ دو سر سوئیچ کمکی عبارت است از:

$$V_{Sa} = V_{L1} + V_C = \frac{nV_{in}}{n+1} \quad (۶)$$

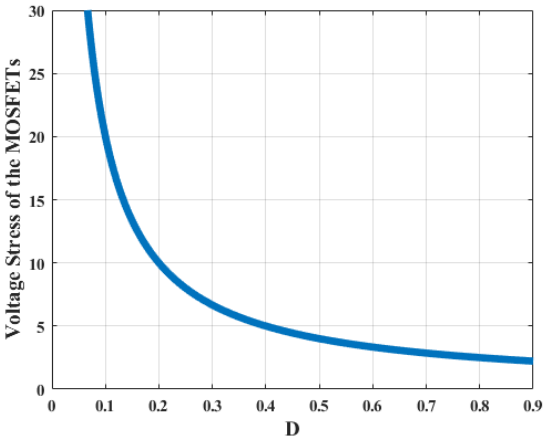
شکل (۵) استرس ولتاژ سوییچ‌ها برحسب تغییرات ضریب وظیفه را نشان می‌دهد. با توجه به بهره پایین مبدل می‌توان ضریب وظیفه را بزرگ انتخاب نمود و استرس ولتاژ روی سوییچ‌ها را کاهش داد.



شکل (۴): مدار معادل وضعیت اول مبدل پیشنهادی

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.3.4]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023



شکل (۵): استرس ولتاژ سوییچ‌ها برحسب تغییرات ضریب وظیفه

۳-۱- طراحی سلف مغناطیس کنندگی

با استفاده از رابطه پایه سلف می‌توان به راحتی سلف مغناطیس کنندگی را محاسبه کرد.

$$i_{Lm} = \frac{V_o}{nR_o} \quad (۷)$$

$$L_m = \frac{V_{Lm}\Delta t}{\Delta i_{Lm}} = \frac{nV_o(1-D)}{\Delta i_{Lm} f} \quad (۸)$$

۳-۲ طراحی خازن‌های مبدل پیشنهادی

$$i_c = C\frac{d_v}{d_t} \quad (۹)$$

$$C = \frac{i_c \Delta t}{\Delta V_c} = \frac{i_{Lm}(1-D)}{2\Delta V_c f} = \frac{V_o(1-D)}{2nR_o f \Delta V_c} \quad (۱۰)$$

با استفاده از رابطه پایه خازن به راحتی مقدار خازن C به دست می‌آید. رابطه خازن C_o نیز شبیه مبدل باک پایه می‌باشد.

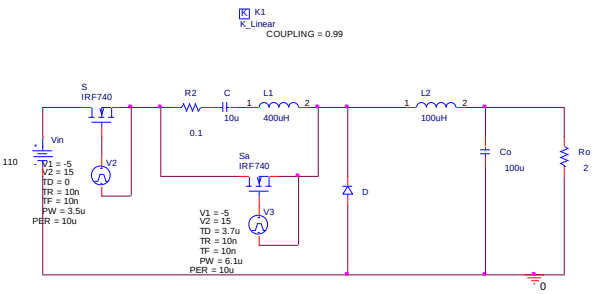
$$C_o = \frac{V_o D}{\delta \Delta V_o f} \quad (۱۱)$$

۴- شبیه سازی مبدل بسیار کاهنده پیشنهادی

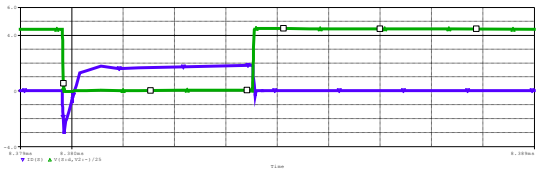
مبدل پیشنهادی برای ولتاژ خروجی ۱۲ ولت، ولتاژ ورودی ۱۱۰ ولت و در توان ۵۰ وات در نرم افزار PSPICE شبیه‌سازی گردیده‌است. در جدول (۱) مشخصات المان‌های طراحی شده آورده شده و شماتیک مبدل بسیار کاهنده پیشنهادی شبیه سازی شده در شکل (۶) نشان داده شده است. در شکل (۷) شکل موج جریان و ولتاژ شبیه‌سازی سوییچ اصلی S نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشخص است جریان در لحظه روشن شدن سوییچ منفی است و در نتیجه دیود بدنه روشن و شرایط کلیدزنی در ولتاژ صفر برای آن فراهم است. همچنین در لحظه خاموش شدن نیز به خاطر خازن اسنابر ولتاژ با شیب بالا می‌رود و کلیدزنی در ولتاژ صفر برای آن اثبات می‌گردد. شکل (۸) شکل موج جریان و ولتاژ سوییچ کمکی S_a را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد جریان سوییچ کمکی نیز در این مبدل در لحظه روشن شدن سوییچ منفی است و شرایط ZV برقرار است.. از طرفی همانطور که در شکل (۹) مشخص است، دیود D به خاطر کاهش تدریجی جریان هنگام خاموش شدن در جریان صفر کلیدزنی می‌گردند و لذا مشکل بازیابی معکوس ندارند. بنابراین تلفات مدار بسیار کاهش می‌یابد.

جدول (۱): مشخصات مبدل پیشنهادی و مقادیر المان‌های آن

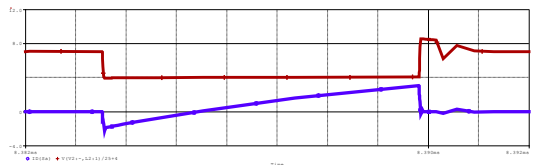
مقدار/نام قطعه	المان ها/ مشخصات
۱۲V	Vo
۱۱۰V	Vin
IRF۷۴۰	Power switch
MUR۸۶۰	Diode D
۲	Turns ratio=N
۰,۹۹	K
۱۰μF	C
۱۰۰μF	C_o
۵۰W	P_O
۱۰۰kHz	fs



شکل (۶): شماتیک مبدل شبیه سازی شده مبدل پیشنهادی در نرم افزار PSPICE



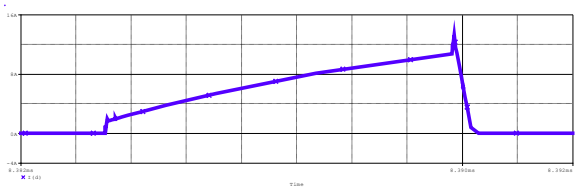
شکل (۷): شکل موج جریان (آبی) و ولتاژ(سبز) سوئیچ S مبدل شبیه سازی شده در مقیاس(1μs/div, 1A/div, 25V/div)



شکل (۸): شکل موج جریان (پایین) و ولتاژ(بالا) سوئیچ S_a مبدل شبیه سازی شده در مقیاس(1μs/div, 4A/div, 100V/div)

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

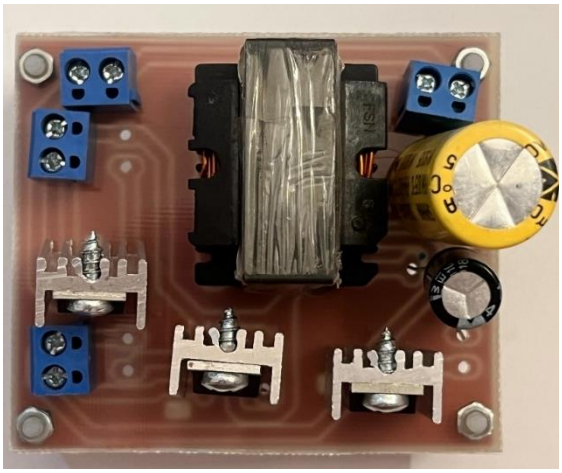
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.3.4]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023



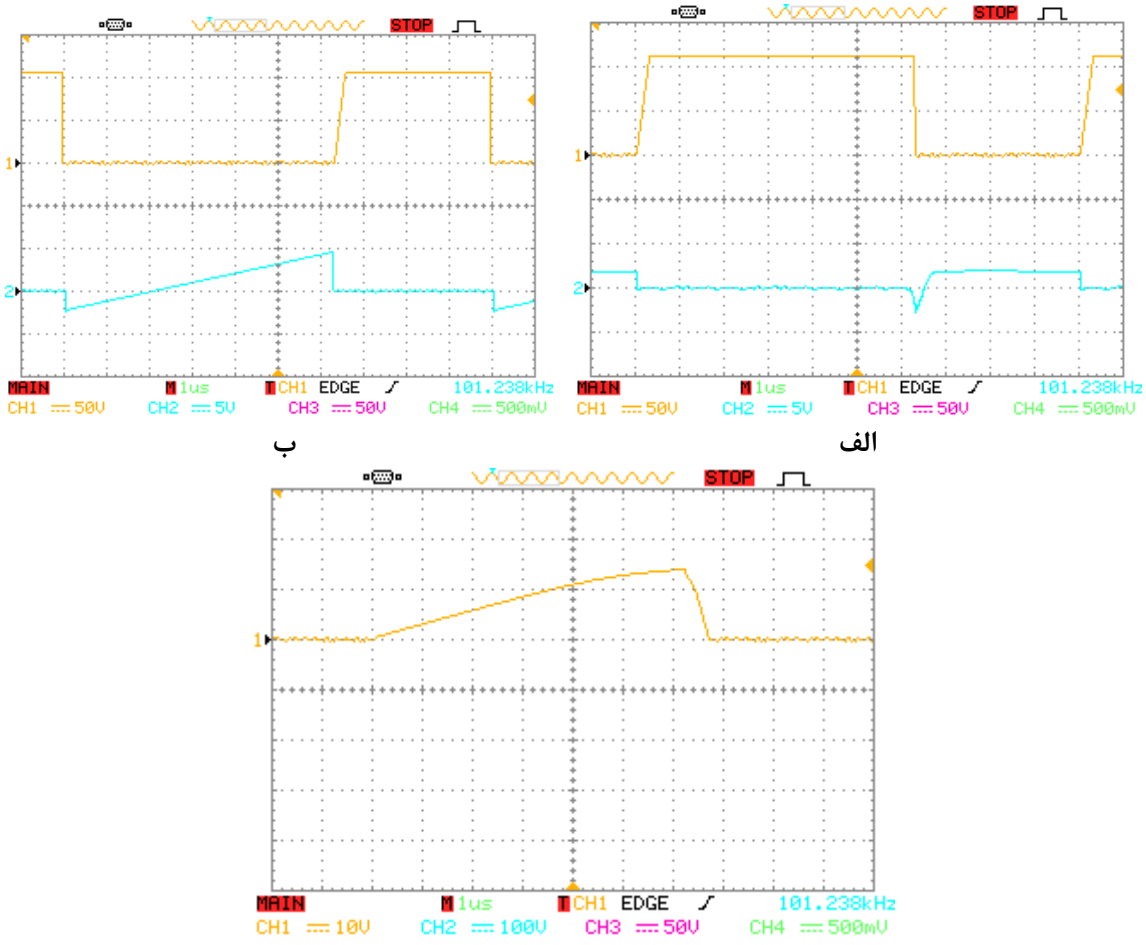
شکل (۹): شکل موج جریان دیود D مبدل شبیه سازی شده در مقیاس (1μs/div, 4A/div)

۵- نتایج آزمایشگاهی مبدل بسیار کاهنده پیشنهادی

در نهایت در شکل (۱۰) تصویر مبدل پیاده سازی شده نشان داده شده است. این مبدل در توان ۵۰ وات برای اثبات نتایج شبیه سازی مبدل ساخته شده است و پارامترهای آن مطابق جدول (۱) می‌باشد. شکل (۱۱) شکل موج‌های ولتاژ و جریان سوییچ‌ها و جریان دیود مدار را نشان می‌دهد که نتایج حاصل از شبیه سازی را تایید می‌کند. همانطور که مشاهده می‌گردد جریان در هنگام روشن شدن سوییچ‌ها منفی است و دیود بدنه آن‌ها هدایت می‌کند و شرایط ZV برقرار است. جریان تنها دیود مدار نیز با شیب افزایش و کاهش یافته است و شرایط ZC برای روشن و خاموش شدن آن فراهم است. لذا مشکل بازیابی معکوس برای آن وجود ندارد.



شکل (۱۰): تصویر مبدل پیشنهادی ساخته شده



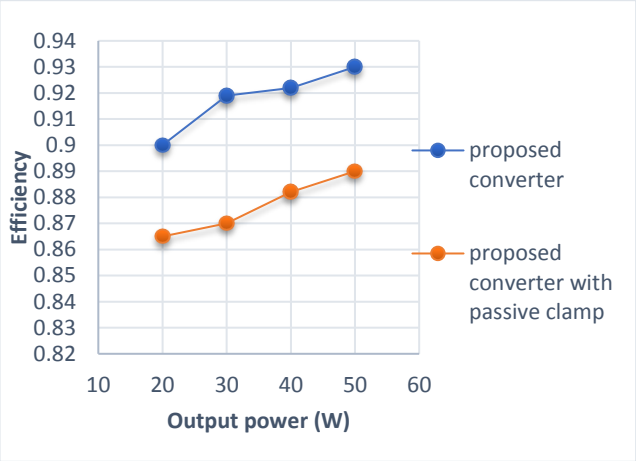
شکل (۱۱): شکل موج‌های عملی مبدل پیشنهادی ساخته شده الف-شکل موج ولتاژ و جریان سوییچ اصلیS ب- شکل موج ولتاژ و جریان سوییچ Sa ج-شکل موج جریان دیود D

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.3.4]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023

۶- مقایسه راندمان مبدل پیشنهادی

در شکل (۱۲) راندمان مبدل پیشنهادی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در بار کامل، بهترین راندمان ۹۳ درصد حاصل شده است و با توجه به اینکه در بار سبک شرایط کلیدزنی نرم از دست می‌رود با کاهش توان از راندمان مبدل کاسته شده است، بطوریکه در بار ۲۰ وات به ۹۰ درصد رسیده است. مشخص است که راندمان در بار کامل ۴ درصد نسبت به نمونه سوئیچینگ سخت آن بهبود داشته است.



شکل (۱۲): نمودار بازده مبدل پیشنهادی در مقایسه با نمونه سویچینگ سخت آن

۷- مقایسه مبدل پیشنهادی با مبدل‌های مشابه پیشین

در این قسمت مبدل پیشنهادی با مبدل‌های پیشین در جدول (۲) مقایسه شده است. همانطور که از جدول مشخص است مبدل پیشنهادی کمترین تعداد المان و همچنین پیچیدگی عملکرد را دارد. بهره ولتاژ آن نیز کمتر از بقیه است. ولی جریان گردشی در مدار کمکی مبدل‌های [۳۵] و [۳۶] کمتر از مبدل پیشنهادی است. از طرفی مبدل‌های دیگر سلف کوپل شده ندارند لذا وزن و حجم کمتری دارند. از لحاظ نوع کلیدزنی به غیر از مبدل [۳۵] که کلیدزنی درجریان صفر است بقیه به صورت کلیدزنی در ولتاژ صفر عمل می‌کنند لذا تلفات روشن شدن خازنی ندارند.

جدول (۲): جدول مقایسه مبدل پیشنهادی با مبدل‌های پیشین

مرجع / پارامتر	[۱۷]	[۱۸]	[۱۹]	[۲۰]	مبدل پیشنهادی
تعداد المان	۹	۱۱	۱۲	۱۲	۸
نوع کلیدزنی	ZCT	ZVT	ZVT	ZVZCT	ZVT
بهره ولتاژ	D	D	D	D	D/(n+1)
تعداد سوییچ	۲	۲	۲	۲	۲
تعداد سلف تزویج	۰	۰	۰	۰	۱

۸- نتیجه گیری

در این مقاله یک مبدل بسیار کاهنده با کلیدزنی در ولتاژ صفر ارایه گردیده است، بطوریکه مدار کمکی حداقل تعداد المان را دارا است و هردو سوییچ بصورت ZV روشن و خاموش می‌شوند، لذا تلفات روشن شدن خازنی ندارند. از طرفی دیود هرزگرد بصورت ZC خاموش می‌گردد و مشکل بازیابی معکوس دیود نیز حل شده است. استرس ولتاژ روی سوییچ‌ها کاهش یافته در نتیجه می‌توان از سوییچ‌هایی با مقاومت درین – سورس کوچکتر استفاده نمود، لذا تلفات هدایتی نیز کاهش می‌یابد. طراحی مدار کنترل نیز ساده و بصورت PWM می‌باشد. بنابراین با کمترین تعداد المان اضافی نسبت به مبدل باک متداول هم کلیدزنی نرم برای سوییچ‌ها فراهم گشته و هم بهره ولتاژ بصورت موثر کاهش یافته است.

مراجع

[۱] جلیلی جلیل، میرطلائی سید محمد مهدی، محمدی محمدرضا، مجیدی سید بهروز. مبدل کلیدزنی بهره ولتاژ بالای ورودی جریان با جریان موثر سلف تزویج کم. نشریه علمی-تخصصی تحقیقات نوین در سیستم‌های قدرت هوشمند. ۱۴۰۱; ۱۱ (۴): ۷-۱

[۲] اهری دنیا، شاهقلیان غضنفر، میرطلایی محمدمهدی. شبیه سازی رفتار مبدل باک بوست ترکیبی با ولتاژ خروجی مثبت و بررسی ریپل ولتاژ در خروجی. نشریه علمی-تخصصی تحقیقات نوین در سیستم‌های قدرت هوشمند. ۱۳۹۹; ۹ (۳): ۸-۱

[3] Peiravan, Z., Delshad, M., Amini, M. A New Soft Switching Interleaved Flyback Converter with Recovery Leakage Inductance Energy. Journal of Intelligent Procedures in Electrical Technology, 2022; 13(50): 31-46.

[4] Ilic, M., Maksimovic, D., “Interleaved zero-current-transition buck converter”, Industry Applications, IEEE Transactions on, vol.43, no.6, pp.1619, 1627, Nov. 2007.

[5] Zhiliang Zhang, Eberle, W., Yan-Fei Liu, Sen, P.C., “A nonisolated ZVS asymmetrical buck voltage regulator module with direct energy transfer”, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol.56, no.8, pp.3096, 3105, Aug. 2009.

[6] Jong-Bok Baek, Woo-In Choi, Bo-Hyung Cho, “Digital adaptive frequency modulation for bidirectional DC–DC converter”, Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol.60, no.11, pp.5167, 5176, Nov. 2013.

[7] orrell, A, Castilla, M., Miret, J., Matas, J., Garcia de Vicuna, L., “Control design for multiphase synchronous buck converters based on exact constant Resistive Output Impedance”, Industrial Electronics, IEEE Transactions on , vol.60, no.11, pp.4920, 4929, Nov. 2013.

[8] Hangseok Choi, “Interleaved Boundary Conduction Mode (BCM) buck Power Factor Correction (PFC) converter”, Power Electronics, IEEE Transactions on, vol.28, no.6, pp.2629, 2634, June 2013.

[9] GacioVaquero,D.,Campa,L.,“Interleaved buck converter for fast PWM dimming of high-brightness LEDs”,Power Electronics, IEEE Transactions on, vol.26, no.9, pp.2627, 2636, Sept. 2011.

[10] Meynard, T.A., Huselstein, J.-J., “Multicell interleaved flyback using intercell transformers”, Power Electronics, IEEE Transactions on, vol.22, no.5, pp.1662, 1671, Sept. 2007.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.3.4]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

[11] Xiong Du, Luowei Zhou, Heng-Ming Tai., "Double-frequency buck converter", Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol.56, no.5, pp.1690, 1698, May 2009.
[12] Yao, K., Mao Ye, Ming Xu, Lee, F.C., "Tapped-inductor buck converter for highstep-down DC-DC conversion", Power Electronics, IEEE Transactions on, vol.20, no.4, pp.775, 780, July 2005.
[13] Dong Wang, Xiangning He; Jianjiang Shi, "Design and analysis of an interleaved flyback–forward boost converter with the current autobalance characteristic", Power Electronics, IEEE Transactions on, vol.25, no.2, pp.489, 498, Feb. 2010.
[14] Esteki, M, Adib, E., Farzanehfard, H., Arshadi, S.A., "Auxiliary circuit for zero-voltage-transition interleaved pulse-width modulation buck converter"
[15] Asghari, A., "Ultra-high step-down ZVS synchronous buck converter with low switch voltage stress" IET Power Electronics, 2020.
[16] Biswas, M., Majhi, S., Nemade, H., "Two-phase high efficiency interleaved buck converter with improved step-down conversion ratio and low voltage stress" IET Power Electronics, 2019
[17] E. Adib and H. Farzanehfard, "New zero current transition PWM converters," IET Power Electron, 2006, pp. 2131–2136.
[18] E. Adib and H. Farzanehfard, "New zero voltage transition PWM converters," IET Power Electron., 2006, pp. 801–806
[19] E. Adib H. Farzanehfard, "Family of zero current zero voltage transition PWM converters," IET Power Electron., Vol. 1,no. 2, pp. 214–223, 2008
[20] Lee, S. S. "Step-down converter with efficient ZVS operation with load variation," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 61, no. 1, pp. 591–597, 2014

زیرنویس‌ها:

1 Conventional buck converter
2 Hard switching
3 High step-down
4 Duty cycle
5 Voltage spike
6 Voltage stress
7 Reverse recovery
8 Coupled inductor
9 Zero current switching
10 Capacitive turn-on losses
11 Zero voltage transition
12 Zero voltage zero current switching
13 Auxiliary circuit
14 Pulse width modulation

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.3.4]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

A high Step-down Converter with Low Voltage Stress on Power Switches and Leakage Inductance Energy Recovery

Abdolghafar Memarian[1], Majid Delshad[2], Mahdi Sajadieh[3]

1- PhD student – Faculty of Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, a.memarian@khuisf.ac.ir
2- Associate Professor – Faculty of Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, delshad@khuisf.ac.ir
3- Assistant Professor – Faculty of Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran, m.sajadieh@khuisf.ac.ir

Abstract: In this paper, a zero-voltage switching step-down converter is presented, which uses the technique of coupled inductor and series capacitor to reduce the voltage gain. Therefore, the voltage stress on the switches is reduced. The auxiliary circuit has the minimum number of elements, on the other hand, the auxiliary switch is also switched under ZV, and the reverse recovery problem of the freewheeling diode is also solved. The energy of the leakage inductor is discharged to the capacitor C and is properly transferred to the output. As a result, the capacitor C not only absorbs the energy of the leakage inductance, but also causes a further decrease in the voltage gain. Since the switches are operated complementary, it is easy to implement the control circuit. The simulation results show an increase in efficiency by 4% compared to the hard switching counterpart. Also, to confirm the correctness of the theoretical analyzes of the proposed high step-down converter, a 50 W practical prototype has been made.

Keywords: Zero voltage switching, High step-down converter, leakage inductance energy recovery, coupled inductor.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.2.3.4]
Journal of Novel Researches on Smart Power Systems - Vol. 12 - No. 2- Summer 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]