

۲۰۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

مبدل باک-بوست جدید بدون سویچ کمکی

شهرزاد جهانگیری^۱، مجید دلشاد^۲

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) ، FirstAuthor@Email

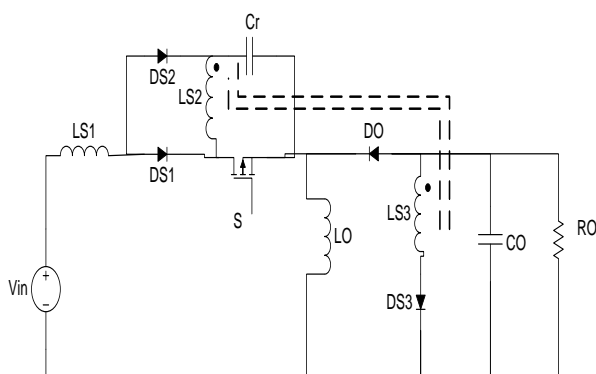
^۲دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) ، delshad@khuisf.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک مبدل باک-بوست با کلید زنی نرم و بدون استفاده از سوئیچ کمکی ارایه شده است. این مبدل بصورت PWM کنترل می شود و برای ایجاد شرایط کلیدزنی نرم در آن از یک مدار کمکی بدون هیچ سوئیچ اضافه ای استفاده شده است. این مدار کمکی شرایط کلیدزنی نرم را برای سویچها فراهم می کند و استرس ولتاژ و جریان بالایی به مبدل تحمیل نمی کند. سوئیچ مبدل در شرایط ZCS روشن و در شرایط ZVS تقریبی خاموش می شود. همچنین دیود های کمکی تحت شرایط ZCS روشن می شود. از طرفی انرژی موجود در مدار کمکی به نحو مناسب از طریق سلف کوپل شده به خروجی فرستاده می شود. در نهایت به منظور تصدیق آنالیز تئوری مبدل پیشنهادی، نتایج شبیه سازی آن آورده شده است.

کلید واژه- مبدل باک-بوست، ZCS ، ZVS

پیشنهادی از یک مبدل باک-بوست متداول و یک مدار کمکی که شامل سلفهای $LS1, LS2, LS3$ و دیودهای $DS1-DS3$ و یک خازن رزونانس Cr می باشد تشکیل شده است. سلفهای $LS2$ و $LS3$ با یکدیگر کوپل شده اند.

سلف $LS1$ در واقع شرایط ZCS را برای روشن شدن سویچ و خازن Cr شرایط ZVS را برای خاموش شدن آن فراهم می نمایند. بقیه المانهای کمکی نیز وظیفه بازیابی انرژی ذخیره شده در خازن مدار کمکی را بر عهده دارند.



شکل ۱-نمای شماتیک مبدل باک-بوست پیشنهادی

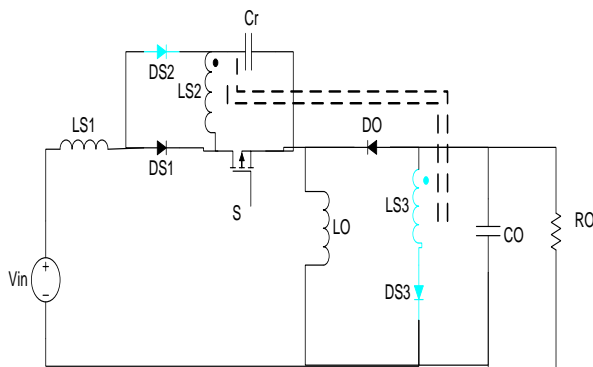
۱- مقدمه

برای افزایش چگالی توان، کاهش تلفات کلیدزنی و نویز EMI و ایجاد کلید زنی نرم می توان از اسنابرهای مناسب استفاده نمود. بیشتر مبدل های مدرن امروزی از تکنیک های سویچینگ نرم استفاده می کنند، تا هم از تلفات کلیدزنی و استرس روی سویچ ها بکاهند و dv/dt و di/dt را محدود کنند و هم با امکان افزایش فرکانس کلیدزنی از سایز المان های پسیو مبدل نیز کاسته شود که در نتیجه حجم و وزن مبدل کاهش می یابد همچنین این کار موجب می شود تعداد هارمونیک های جریان و ولتاژ نیز کاهش یابد که نتیجه آن کم شدن تداخلات الکترومغناطیس EMI خواهد بود. تکنیک های سویچینگ نرم با روشن و خاموش نمودن ادوات نیمه هادی در جریان صفر یا ولتاژ صفر تلفات سویچینگ و EMI را در مبدلها کاهش می دهد [۱]-[۵].

۲- مبدل باک-بوست پیشنهادی

مبدل باک-بوست پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می گردد، مبدل باک-بوست

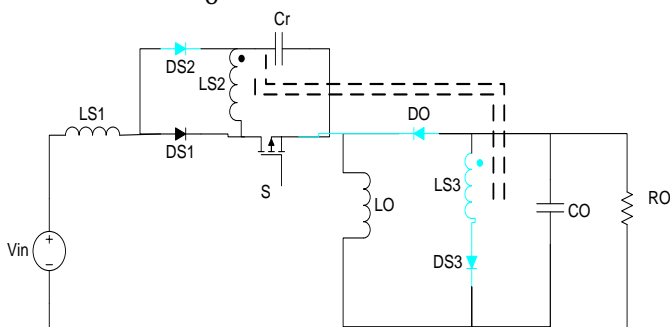
ناگهانی جریان جلوگیری می نماید. با روشن شدن سویچ DS_1 نیز تحت شرایط ZCS روشن شده و جریان سویچ به طور خطی و با شیب $V_{in}/(L_{S1})$ افزایش می یابد. همچنین یک رزونانس بین C_r و L_{S2} بوجود آمده ولتاژ C_r شروع به کاهش و جریان L_{S2} شروع به افزایش می نماید. مدار معادل این وضعیت در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳- مدار معادل وضعیت اول مبدل پیشنهادی

وضعیت دوم: هنگامیکه جریان سویچ به جریان خروجی رسید ، DO به صورت ZCS خاموش شده و رزونانس وضعیت قبل نیز همچنان ادامه می یابد جریان سویچ مطابق با رابطه زیر افزایش می یابد. این وضعیت با تخلیه کامل خازن رزونانس پایان می پذیرد.

$$I_s = I_o - \frac{V_{in}}{L_o}(t - t_1) \quad (1)$$



شکل ۴- مدار معادل وضعیت دوم مبدل پیشنهادی

وضعیت سوم: در این وضعیت دیود DS_2 تحت شرایط ZVS روشن شده و در نتیجه ولتاژ دوسر L_{S2} صفر شده و جریان سلف L_{S2} ثابت باقی می ماند. ولتاژ خازن رزونانس در این وضعیت صفر باقی می ماند.

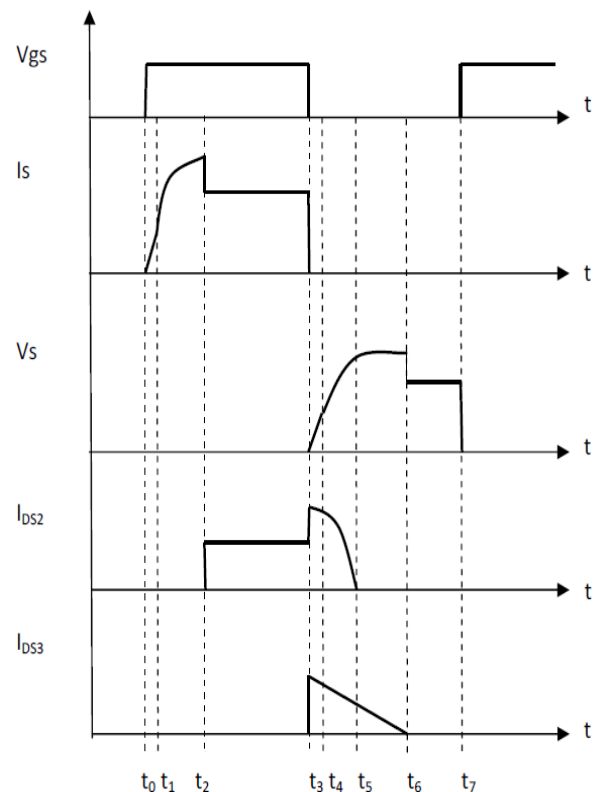
۳- عملکرد مبدل باک-بوست پیشنهادی

مبدل باک-بوست پیشنهادی دارای هفت وضعیت عملکرد در یک سیکل سویچینگ می باشد. شکل موجهای کلیدی در شکل ۲ آورده شده است.

برای سادگی تحلیل فرضیات زیر در نظر گرفته شده است. سلف L_o و خازن C_o به اندازه کافی بزرگ هستند در نتیجه جریان L_o و همچنین ولتاژ خروجی در یک سیکل ثابت در نظر گرفته می شود.

از پارامترهای پارازیتی سویچ و دیودهای مدار صرف نظر شده است.

قبل از وضعیت اول سویچ و کلیه دیودهای کمکی خاموش هستند و دیود DO روشن جریان L_o در خروجی تخلیه می شود. سلفهای LS_1, LS_2, LS_3 بدون جریان هستند.

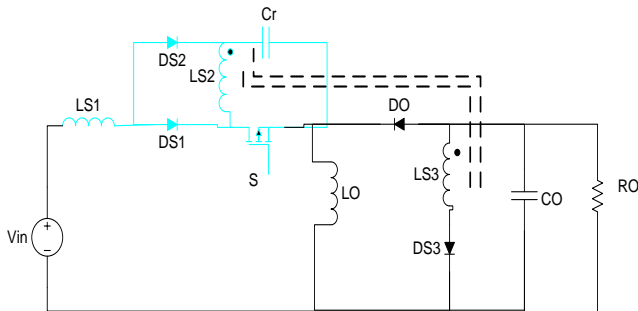


شکل ۲- شکل موجهای کلیدی مبدل باک-بوست پیشنهادی

وضعیت اول: این وضعیت با روشن شدن سویچ تحت شرایط ZCS آغاز می گردد، زیرا سلف LS_1 با آن سری است و از تغییر

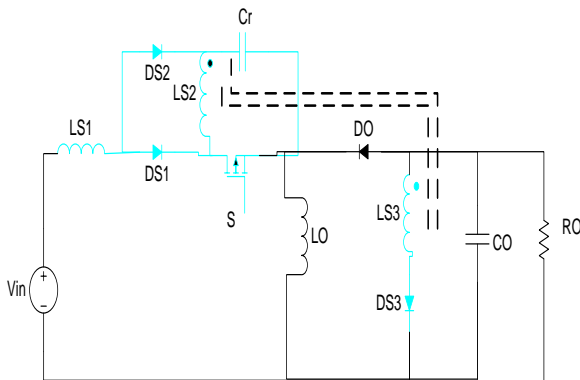
۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

وضعیت ششم: هنگامیکه جریان L_{S1} صفر گردید D_{S2} نیز ZCS خاموش شده و این وضعیت آغاز می‌شود و L_{S3} شروع به دشارژ در خروجی می‌نماید.



شکل ۸- مدار معادل وضعیت ششم مبدل پیشنهادی

وضعیت هفتم: هنگامیکه L_{S3} به طور کامل تخلیه گردید D_{S3} نیز بصورت ZCS خاموش شده و مبدل مانند یک مبدل بوست معمولی به کار خود ادامه می‌دهد. (سلف ورودی در خروجی تخلیه می‌شود.)



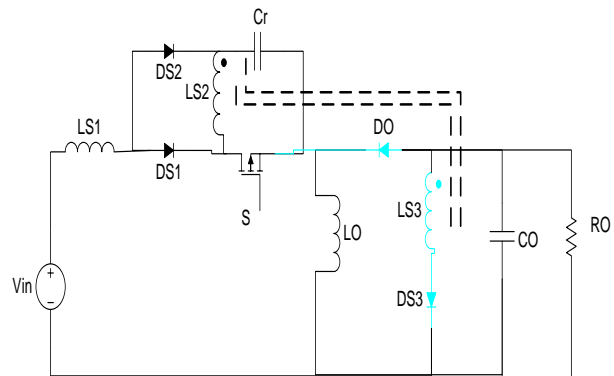
شکل ۹- مدار معادل وضعیت هفتم مبدل پیشنهادی

۴- طراحی مبدل باک-بوست پیشنهادی

طراحی المانهای اصلی مبدل باک-بوست مانند مبدل باک - بوست متداول می‌باشد. بنابراین تنها لازمست المانهای کمکی مدار نظیر L_{S1}, L_{S2}, L_{S3} و C_r طراحی گردند. المانهای C_r و L_{S1} مطابق مقاله [۵] از رابطه‌های زیر محاسبه می‌گردد.

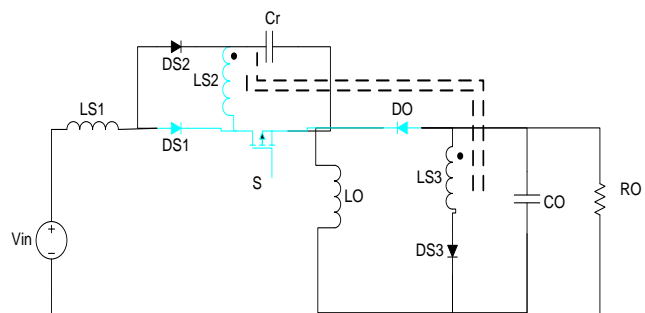
$$C_r = \frac{i_{sw} \cdot t_f}{2 \cdot V_{sw}} \quad (2)$$

$$L_{S1} = \frac{V_{sw} \cdot t_r}{2 i_{sw}} \quad (3)$$



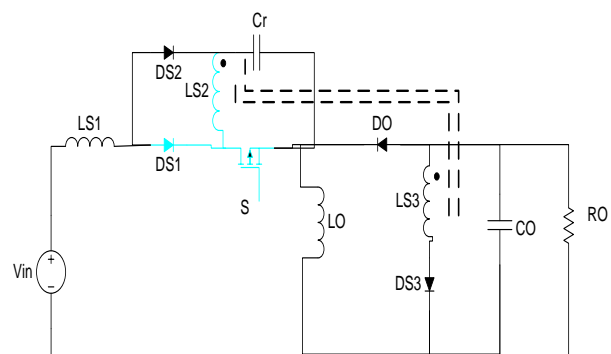
شکل ۵- مدار معادل وضعیت سوم مبدل پیشنهادی

وضعیت چهارم: در این وضعیت سویچ تحت شرایط ZVS خاموش می‌شود زیرا جریانهای I_o و I_{LS1} از D_{S2} و C_r می‌گذرند. در این وضعیت خازن C_r با جریان ثابت ورودی شروع به شارژ می‌کند و با روشن شدن D_{S3} در این وضعیت هسته سلفهای کوپل شده فرصت می‌یابد تا در خروجی تخلیه شود.



شکل ۶- مدار معادل وضعیت چهارم مبدل پیشنهادی

وضعیت پنجم: هنگامیکه ولتاژ C_r به مقدار $V_{in}(1+L_{S1}/L_{in})$ رسید D_{O} تحت شرایط ZVS روشن شده و ولتاژ V_{O} دو سر سلف L_o افتاده و در نتیجه سلف L_o شروع به دشارژ در خروجی می‌نماید. همچنین یک رزونانس بین L_{S1} و C_r اتفاق افتاده و طی آن انرژی L_{S3} به خازن C_r منتقل می‌شود.



شکل ۷- مدار معادل وضعیت پنجم مبدل پیشنهادی

گردد این دیودها نیز بصورت ZCS خاموش و روشن می گردند.

جدول (۱) مشخصات و مقادیر المان های مبدل پیشنهادی

نام قطعه/مقدار	المان ها/ مشخصات
IRF640	S
MUR860	DS1-DS3
4.4nF	C _r
4μH	LS ₁ -
60μH	LS ₂
600μH	LS ₃
3	n
400μH	L _o
47μF	Co
24V	ولتاژ ورودی (V _i)
52V	ولتاژ خروجی (V _o)
100KHz	فرکانس کلیدزنی

همچنین برای بازیابی خازن رزونانس طراحی سلف LS₂ باید به گونه ای باشد که یک چهارم پریود رزونانس وضعیت دوم کوچکتر از زمان روشن بودن سوئیچ باشد.

$$L_{S2} = \frac{2 \cdot T \cdot D_{min}}{C_S \cdot \pi} \quad (4)$$

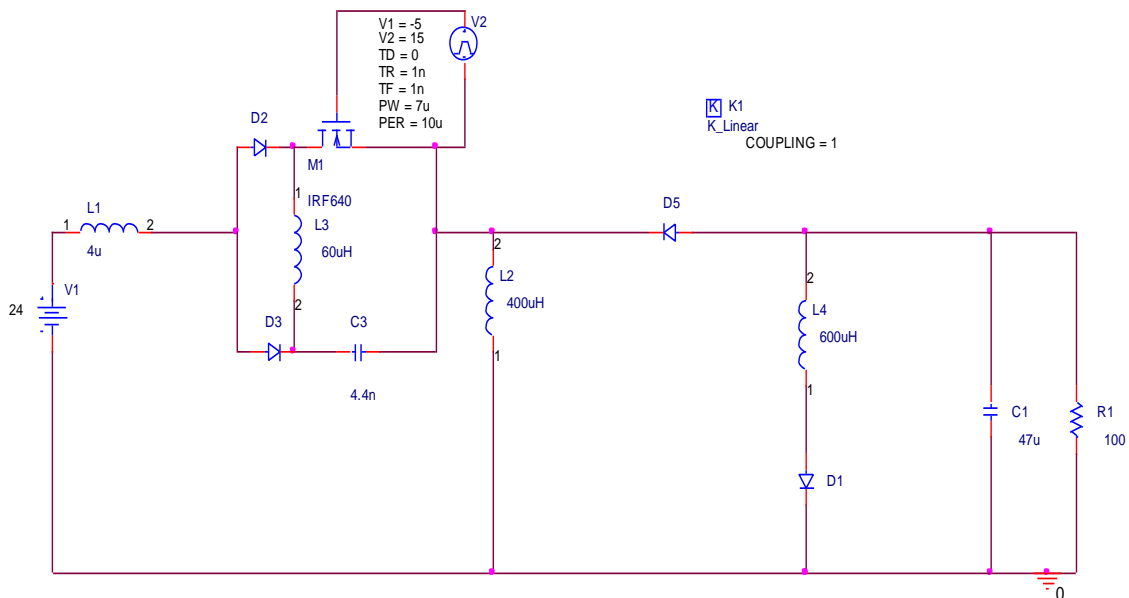
$$L_{S2} = n^2 L_{S3} \quad (5)$$

۵- نتایج شبیه سازی

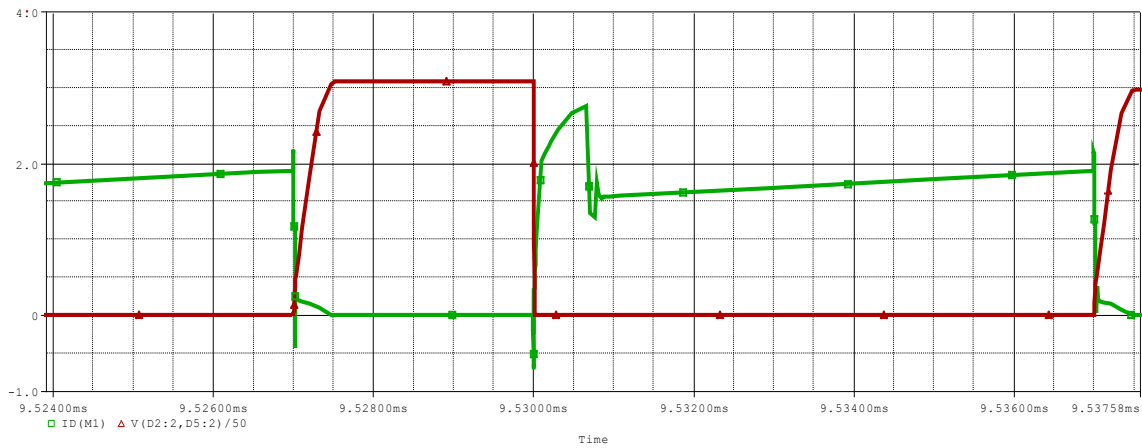
برای اثبات درستی تحلیل های صورت گرفته در بخش های قبل مبدل پیشنهادی طراحی و سپس در نرم افزار PSpice شبیه سازی شده است. مشخصات و مقادیر المان های مبدل طراحی شده در جدول (۱) آورده شده است. نمای شماتیک مبدل شبیه سازی شده در شکل (۱۰) نشان داده می شود.

شکل موج های شبیه سازی شده ولتاژ و جریان سوئیچ S در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، مطابق با نتایج تئوری سوئیچ مبدل در شرایط ZCS روشن و در شرایط ZVS تقریبی خاموش می شود.

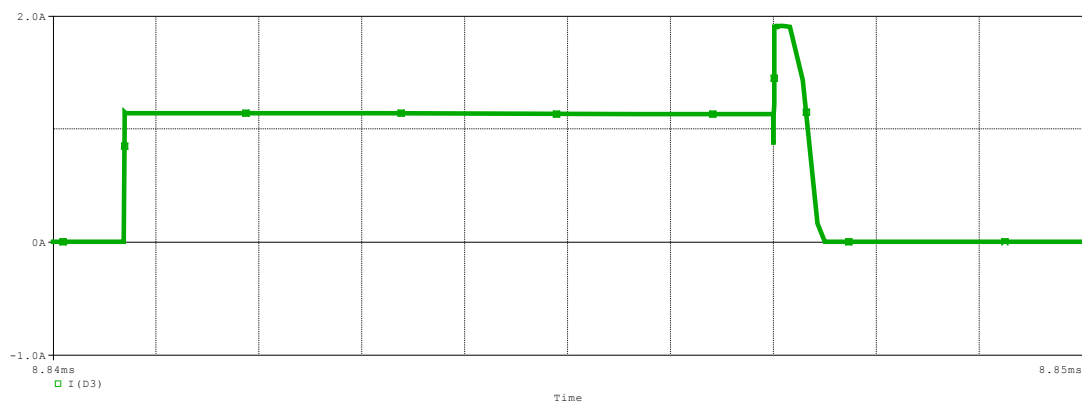
شکل موج شبیه سازی دیودهای DS₂ و DO به ترتیب در شکل های (۱۲) و (۱۳) آورده شده است. همانطور که مشاهده می



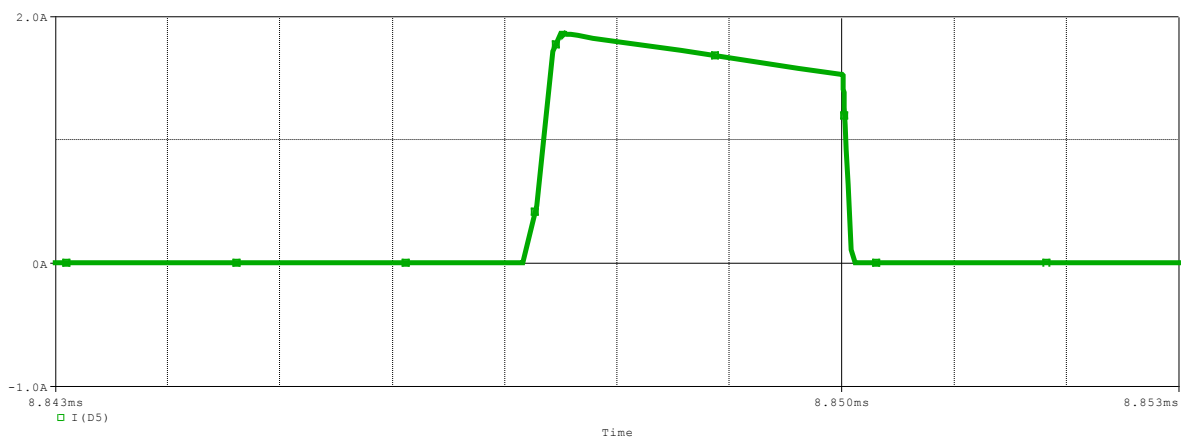
شکل (۱۰) شماتیک مبدل شبیه سازی شده پیشنهادی



شکل (۱۱) شکل موج های شبیه سازی ولتاژ درین - سورس (شکل خط چین) و جریان (شکل ممتد) سوئیچ S



شکل (۱۲) شکل موج دیود D_{S2}



شکل (۱۳) شکل موج دیود D_0

فرستاده می‌شود. در نهایت به منظور تصدیق آنالیز تئوری مبدل پیشنهادی، نتایج شبیه‌سازی آن آورده شده است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مبدل باک-بوست با کلید زنی نرم و بدون استفاده از سوئیچ کمکی ارائه شده است. این مبدل بصورت PWM کنترل می‌شود و برای ایجاد شرایط کلیدزنی نرم در آن از یک مدار کمکی بدون هیچ سوئیچ اضافه‌ای استفاده شده است. این مدار کمکی شرایط کلیدزنی نرم را برای سوییچها فراهم می‌کند و استرس ولتاژ و جریان بالایی به مبدل تحمیل نمی‌کند. سوئیچ مبدل در شرایط ZCS روشن و در شرایط ZVS تقریبی خاموش می‌شود. همچنین دیود های کمکی تحت شرایط ZCS روشن می‌شود. از طرفی انرژی موجود در مدار کمکی به نحو مناسب از طریق سلف کوپل شده به خروجی

مراجع

- [1] D. Y. Lee, M. K. Lee, D. S. Hyun, and I. Choy, "New zero-current transition PWM DC/DC converters without current stress," IEEE Trans. Power Electron., vol. 18, no. 1, pp. 95-104, 2003
- [2] E. Adib and H. Farzanehfard, "Family of zero-current transition PWM converters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 8, pp. 3055-3063, 2008
- [3] C.-L. Shen, Y.-E. Wu and M.-H. Chen, "A modified SEPIC converter with soft-switching feature for power factor correction," IEEE conference on industrial electronics and applications., 2008
- [4] In-dong kim, Jin-young Kim, Eui-Cheol Nho, and Heung-Geun Kim, "Analysis and design of a Soft Switched PWM SEPIC DC-DC Converter", journal of power electron, vol. 10, No.5, Sep.2010
- [5] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, "Power Electronics: Converters, Applications, and Design," 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2003