

ارایه یک مبدل افزایش دهنده به هم تنیده با کلیدزنی در ولتاژ صفر

قوام امین الرعایا^۱، مجید دلشاد^۲

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

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

چکیده - در این مقاله یک مبدل بوست به هم تنیده 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 با دو سوئیچ اضافه یک خازن کلمپ استفاده شده است. از طرفی سوئیچهای کمکی بصورت مکمل با سوئیچهای اصلی کلیدزنی مگردند در نتیجه به مدار درایو اضافه نیازی نیست و کنترل آن نیز بسیار ساده می باشد. این مدار کمکی شرایط کلیدزنی نرم را برای سوئیچهای اصلی و کمکی فراهم می کند و استرس ولتاژ و جریان بالایی به مبدل تحمیل نمی کند. سوئیچ مبدل در شرایط ZVS روشن و در شرایط ZVS تقریبی خاموش می شود. همچنین دیود های کمکی تحت شرایط ZCS روشن می شود. در نهایت به منظور تصدیق آنالیز تئوری مبدل پیشنهادی، نتایج شبیه سازی آن آورده شده است.

کلید واژه- مبدل بوست به هم تنیده ، ZVS، استرس پایین

در برخی کنترل این مبدل ها فرکانس متغیر می باشد که پیچیده است و طراحی المان های مغناطیس کنندگی در آن امکان پذیر نیست. در اسنابرهای پسیو چون هیچ سوئیچ اضافی نیاز نیست جذاب می باشند. [۶]-[۷] ولی این اسنابرها خود تلفات قابل توجهی ایجاد می نمایند. اسنابرها فعال به منظور کاهش تلفات کلیدزنی توسعه پیدا کرده اند [۹]-[۸]. این اسنابرها دارای کلید کمکی اضافی هستند و ورودی کلید اصلی تعریف می گردند. اما این مدار اضافی باعث جریان استرس بالا روی سوئیچ اصلی می شود و از طرفی مبدل دارای ضریب وظیفه ی (DLOSS) می شود.

۲- مبدل افزایش دهنده اینترلیود پیشنهادی

مبدل پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می گردد، مبدل افزایش دهنده پیشنهادی از یک مبدل بوست به هم تنیده متداول و یک مدار کمکی که شامل سلفهای L_{a1} , L_{a2} و یک خازن C_c و دو سوئیچ کمکی S_{a1} و S_{a2} می باشد تشکیل شده است.

۱- مقدمه

مبدل های DC/DC ولتاژ بالا کاربرد زیادی در صنعت دارد ، همچنین خط مقدم کاربرد در منابع باتری ، UPS، منابع انرژی خورشیدی می باشد.

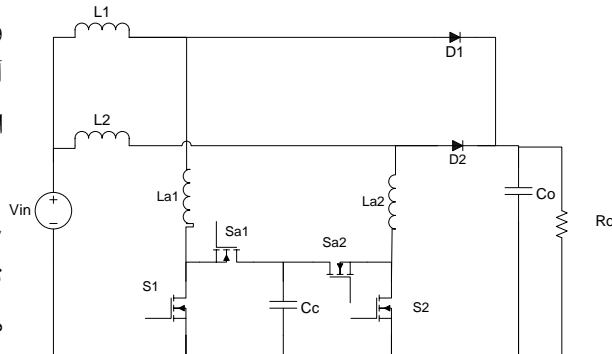
به طور نظری مبدلهای بوست معمولی می توانند به بهره ولتاژ طراحی شده ی بالا تحت بار زیاد برسند. با این حال بهره ولتاژ مبدل بوست به تلفات هدایتی سلف ، خازن فیلتر کننده ، کلید اصلی و دیود یکسو کننده بستگی دارد [۱]-[۳].

روشهای مختلف کلیدزنی نرم برای بدست آوردن شرایط ولتاژ کلیدزنی صفر (ZVS) یا جریان کلید زنی صفر (ZCS) ارائه شده است تا تلفات کلیدزنی را بطور قابل ملاحظه ای کاهش دهد و رسیدن به راندمان بالا با افزایش فرکانس میسر می گردد. بسیاری از رزونانس ها یا مبدل های شبه رزونانسی ZVS یا ZCS قبلا ارائه شده است. [۴]-[۵]

مشکل اصلی این نوع از مبدل ها؛ ولتاژ استرس بالای کلیدها به خصوص برای ولتاژ ورودی بالا میباشد.

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

وضعیت اول: با خاموش شدن سوییچ‌های S_2 و S_1 این وضعیت آغاز می‌گردد. در این وضعیت جریان سلف ورودی خازن اسنابر C_{S2} و C_{S1} را شارژ و خازن سوییچ کمکی S_{a1} و S_{a2} را دشارژ می‌نماید. از آنجاییکه ولتاژ دو سر S_1 و S_2 به آرامی افزایش می‌یابد این سوییچ‌ها به صورت ZVS تقریبی خاموش می‌گردند. شکل ۳ مبدل را در این وضعیت نشان می‌دهد.



شکل ۱- مبدل بوست در هم تنیده پیشنهادی

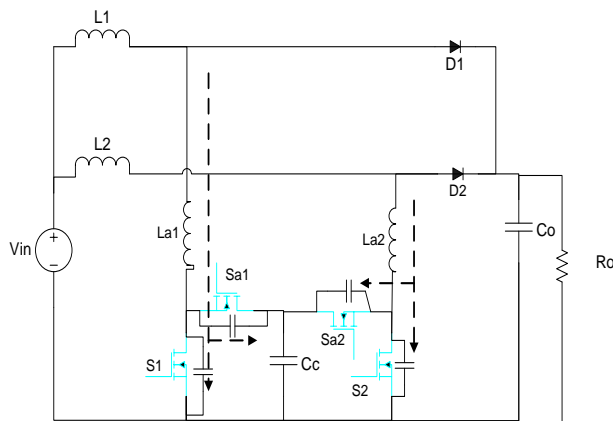
۱-۲- عملکرد مبدل پیشنهادی

مبدل پیشنهادی دارای هفت وضعیت عملکرد در یک سیکل سوییچینگ می‌باشد. شکل موج‌های کلیدی در شکل ۲ آورده شده است.

برای سادگی تحلیل فرضیات زیر در نظر گرفته شده است. سلف‌های L_1, L_2 و خازن C_0 به اندازه کافی بزرگ هستند در نتیجه جریان L_1 و L_2 و همچنین ولتاژ خروجی در یک سیکل ثابت در نظر گرفته می‌شود.

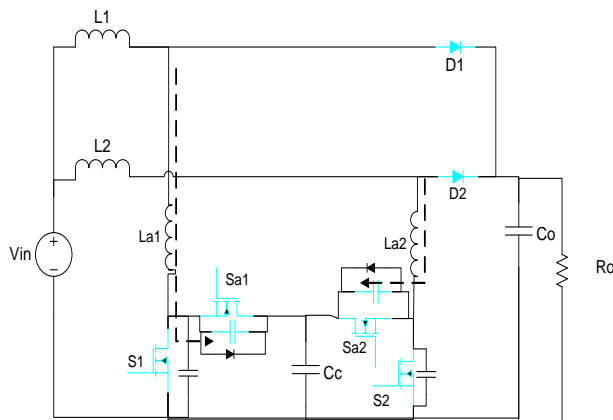
از پارامترهای پارازیتی سوییچ‌ها و دیودهای مدار صرف نظر شده است.

قبل از وضعیت اول فرض می‌گردد که سوییچ‌های S_1 و S_2 روشن هستند و از هر کدام جریان ثابت $I_{in}/2$ می‌گذرد.



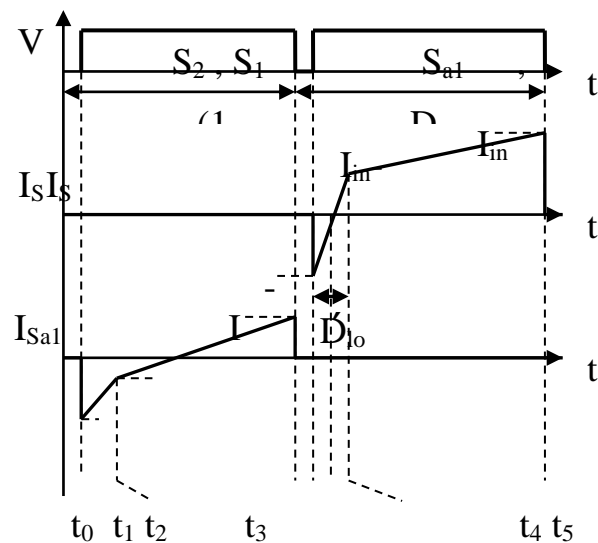
شکل ۳- مدار معادل وضعیت اول مبدل پیشنهادی

وضعیت دوم: با دشارژ کامل C_{a1} و روشن شدن دیود بدنه سوییچ کمکی S_{a1} ، این وضعیت آغاز می‌گردد. از این لحظه سوییچ کمکی S_{a1} می‌تواند تحت شرایط ZVS روشن شود.



شکل ۴- مدار معادل وضعیت دوم مبدل پیشنهادی

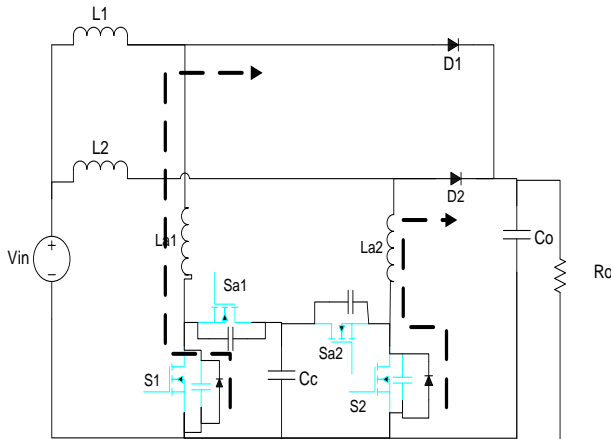
وضعیت سوم: با معکوس شدن جهت جریان خازن مدار کمکی و هدایت آن از طریق سوییچ‌های S_{a2} و S_{a1} این وضعیت شروع



شکل ۲- شکل موج‌های کلیدی مبدل افزایشدهنده پیشنهادی

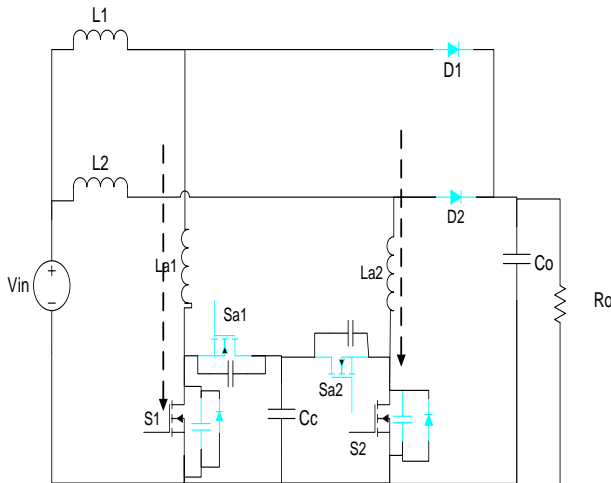
۲۰۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

S_2 بعد از هدایت دیودهای بدنه D_{S1} و D_{S2} تحت شرایط ZVS می‌توانند روشن گردند. شکل ۷ این مبدل را در وضعیت پنجم نشان می‌دهد.



شکل ۷- مدار معادل وضعیت پنجم مبدل پیشنهادی

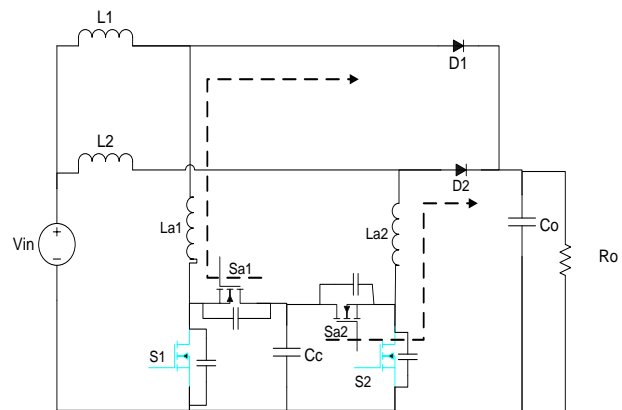
وضعیت ششم: این وضعیت با مثبت شدن جریان سویچهای S_1 و S_2 آغاز می‌شود. در واقع در این وضعیت جریان از دیودهای بدنه (D_{S1}) و D_{S2} به سویچهای S_1 و S_2 منتقل می‌گردند و با همان شیب وضعیت قبل افزایش می‌یابند تا به مقدار $I_{in}/2$ برسند.



شکل ۸- مدار معادل وضعیت ششم مبدل پیشنهادی

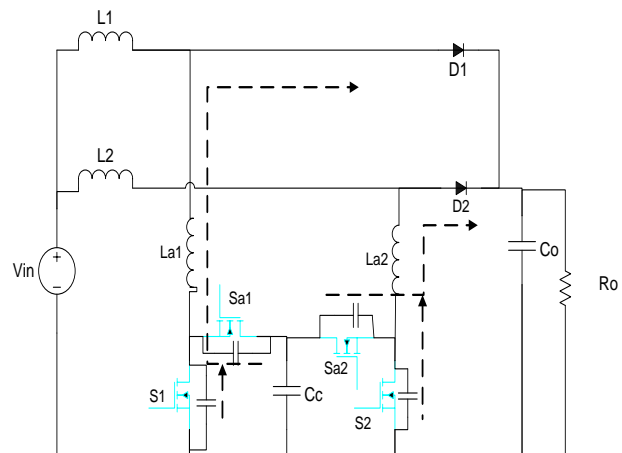
وضعیت هفتم: هنگامیکه جریان سویچهای اصلی به مقدار $I_{in}/2$ رسید این وضعیت آغاز می‌گردد. از این لحظه سلف ورودی شارژ می‌گردد و دیگر انرژی به خروجی منتقل نمی‌شود

می‌شود. در این وضعیت جریان سلفهای L_{a1} , L_{a2} با همان شیب قبل به افزایش خود ادامه می‌دهد تا جریان آنها به مقدار $I_{in}/2$ برسد. این وضعیت در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- مدار معادل وضعیت سوم مبدل پیشنهادی

وضعیت چهارم: این وضعیت با خاموش شدن سویچهای کمکی Sa_1 و Sa_2 آغاز می‌شود و جریان سلفهای L_{a1} و L_{a2} به صورت رزونانس خازنهای اسنابر C_{S1} و C_{S2} را دچار شارژ و خازن سویچهای کمکی Sa_1 و Sa_2 را تا مقدار V_0 شارژ می‌نماید. این وضعیت با دچار کامل خازن اسنابر C_{S1} و C_{S2} پایان می‌پذیرد.



شکل ۶- مدار معادل وضعیت چهارم مبدل پیشنهادی

وضعیت پنجم: با دچار کامل خازنهای اسنابر C_{S1} و C_{S2} و هدایت دیود بدنه سویچهای S_1 و S_2 این وضعیت شروع می‌گردد. در این وضعیت جریان سلفهای L_{a1} و L_{a2} به طور خطی و با شیب V_0/L_a افزایش می‌یابند. سویچهای S_1 و

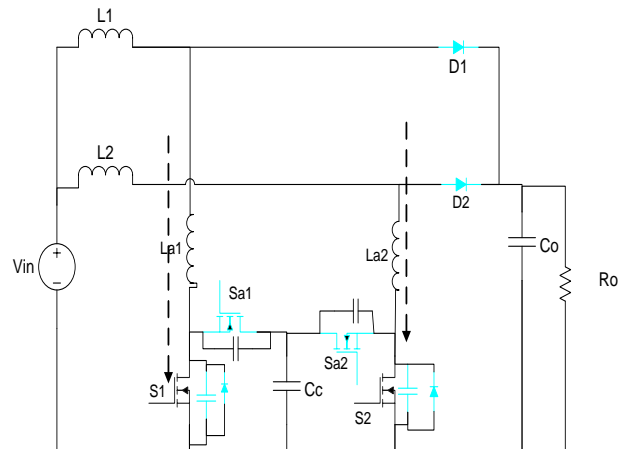
۴- نتایج شبیه سازی

برای اثبات درستی تحلیل های صورت گرفته در بخش های قبل مبدل پیشنهادی طراحی و سپس در نرم افزار PSpice شبیه سازی شده است. 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.

جدول (۱-۴) مشخصات و مقادیر المان های مبدل پیشنهادی

نام قطعه/مقدار	المان ها/ مشخصات
S1-S2	IRF640
D ₁ -D ₂	MUR860
S _{a1} -S _{a2}	IRF640
La ₁ -La ₂	10μH
L1-L2	400μH
C _{s1} -C _{s2}	3nF
C _c	10 μF
C _o	47μF
ولتاژ ورودی (V _i)	24V
ولتاژ خروجی (V _o)	72V
فرکانس کلیدزنی	100KHz

شکل موج های شبیه سازی شده ولتاژ و جریان سوئیچ S1 در شکل (۱۱) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، مطابق با نتایج تئوری سوئیچ مبدل در شرایط ZVS روشن - به خاطر جریان منفی در لحظه روشن شدن سوئیچ - و در شرایط ZVS تقریبی - به خاطر شیب ولتاژ - خاموش می شود. شکل ۱۲ نیز شکل موج ولتاژ و جریان سوئیچ کمکی را نشان می دهد که مطابق شکل شرایط ZVS برای روشن و خاموش شدن سوئیچ مشخص است. شکل موج شبیه سازی دیود D1 و به ترتیب در شکل های (۱۳)، (۱۴)، آورده شده است. همانطور که مشاهده می گردد این دیود نیز بصورت ZCS خاموش و روشن می گردد.



شکل ۹- مدار معادل وضعیت هفتم مبدل پیشنهادی

۳- طراحی مبدل بوست اینترلیود پیشنهادی

طراحی مبدل پیشنهادی شبیه طراحی یک مبدل پوش-پول منبع جریان سویچینگ سخت می باشد و تنها بایستی المانهای مدار کمکی طراحی گردد. برای ساده سازی روند طراحی از زمان مرده بین خاموش شدن سویچ های کمکی و اصلی صرف نظر می گردد.

۳-۱- خازن مدار کمکی

ولتاژ خازن مدار کمکی با استفاده از نوشتن رابطه بالانس ولت - ثانیه برای سلف ورودی در یک سیکل سویچینگ مطابق رابطه (۱) به دست می آید.

$$V_{Cc} = \frac{D}{1-D} V_{in} \quad (1)$$

$$C_c = \frac{I_{in}(1-D)T_s}{8\Delta V_{Cc}} \quad (2)$$

۳-۱- بهره مبدل افزاینده اینترلیود پیشنهادی

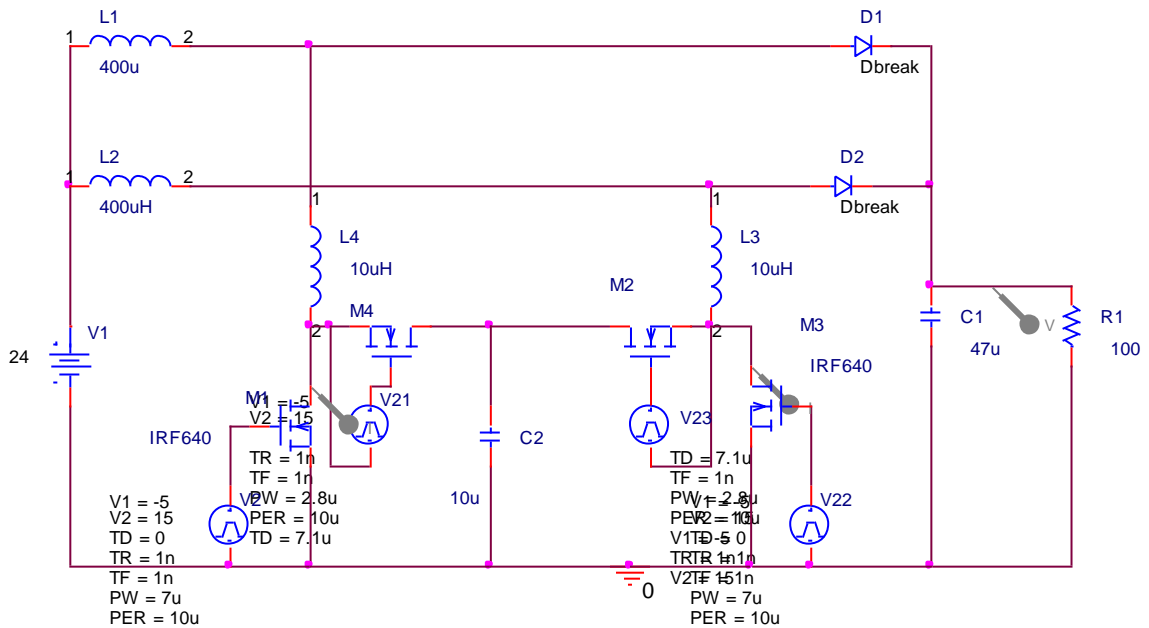
به راحتی می توان با نوشتن بالانس ولت-ثانیه بهره مبدل پیشنهادی را محاسبه نمود.

$$V_o = \frac{V_{in}}{1-Deff} \quad (3)$$

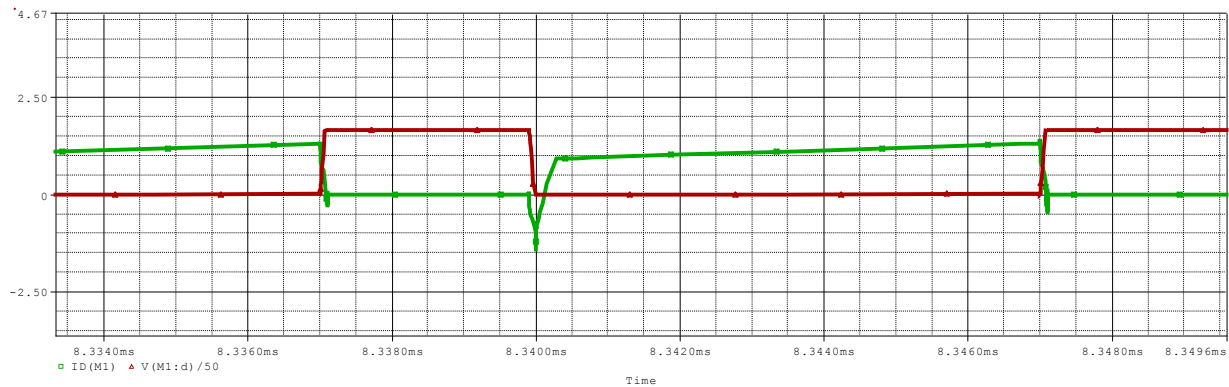
$$Deff = D - Dloss \quad (4)$$

$$Deff = \frac{I_{in}La}{2V_oT} \quad (5)$$

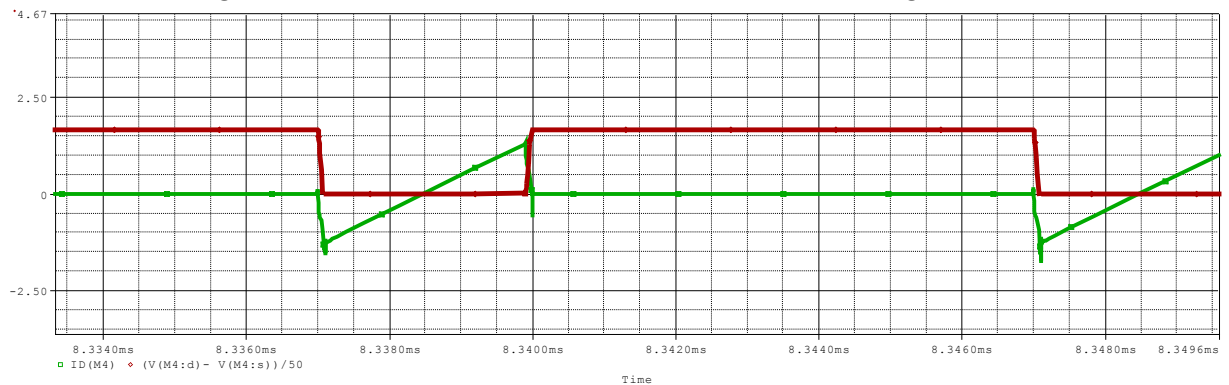
۲۰ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)



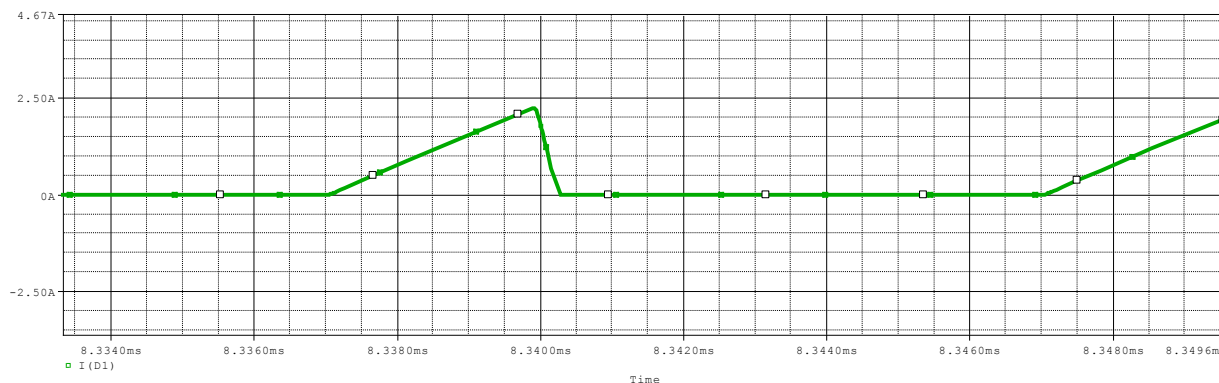
شکل (۱۰) شماتیک مبدل شبیه سازی شده پیشنهادی



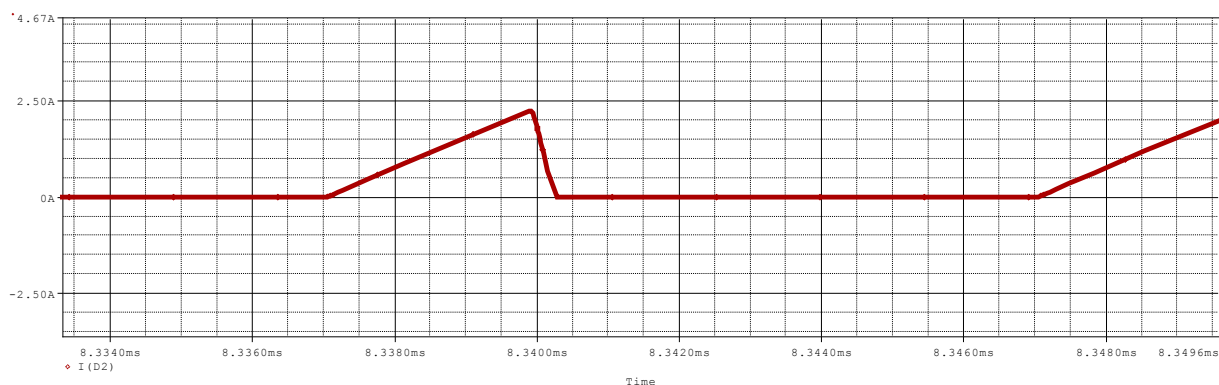
شکل (۱۱) شکل موج های شبیه سازی ولتاژ درین- سورس (شکل خط چین) و جریان (شکل ممتد) سوئیچ S_1



شکل (۱۲) شکل موج های شبیه سازی ولتاژ درین- سورس (شکل خط چین) و جریان (شکل ممتد) سوئیچ S_{a1}



شکل (۱۳) شکل موج دیود D1



شکل (۱۳) شکل موج دیود D2

تئوری مبدل پیشنهادی، نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی آن آورده شده است.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک مبدل بوست با کلید زنی نرم و بدون استفاده از سوئیچ کمکی ارائه 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. در نتیجه به مدار درایو اضافه نیازی نیست و کنترل آن نیز بسیار ساده می باشد. این مدار کمکی شرایط کلیدزنی نرم را برای سوئیچ 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

مراجع

- [1] Kwon J. M., Kwon B. H., 'High Step-Up Active-Clamp Converter With Input-Current Doubler and Output-Voltage Doubler for Fuel Cell Power Systems', IEEE Trans on Power Electronics, 2009, vol.24, pp.108 – 115.
- [2] S. Jalbrzykowski, T. Citko, 'Current-Fed Resonant Full-Bridge Boost DC/AC/DC Converter' IEEE Trans on Industrial Electronics, 2008, vol.55, no.3, pp.1198 – 1205.
- [3] E. Adib, H. Farzanehfard, 'Zero-Voltage Transition Current-Fed Full-Bridge PWM Converter' IEEE Trans on Power Electronics, 2009, vol.24, no.4, pp.1041-1047.
- [4] Y. Gu, Z. Lu, Z. Qian, X. Gu, and L. Hang, "A novel ZVS resonant reset dual switch forward DC-DC converter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 1, pp. 96-103, Jan. 2007.
- [5] Y. S. Lee and G. T. Cheng, "Quasi-resonant zero-current-switching bidirectional converter for battery equalization applications," IEEE Trans. Power Electron., vol. 21, no. 5, pp. 1213-1224, Sep. 2006.



چهارمین کنفرانس ملی ایده های نو در مهندسی برق



۲۰۱۳ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

- [6] C. J. Tseng and C. L. Chen, "A passive lossless snubber cell for nonisolated PWM DC/DC converters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 45, no. 4, pp. 593-601, Aug. 1998.
- [7] Q. Li and P. Wolfs, "A current fed two-inductor boost converter with an integrated magnetic structure and passive lossless snubbers for photovoltaic module integrated converter applications," IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 1, pp. 309-321, Jan. 2007.
- [8] C. M. Wang, "New family of zero-current-switching PWM converters using a new zero-current-switching PWM auxiliary circuit," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 53, no. 3, pp. 768-777, Jun. 2006.
- [9] F. W. Combrink, H. T. Mouton, J. H. R. Enslin, and H. Akagi, "Design optimization of an active resonant snubber for high power IGBT converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 21, no. 1, pp. 114-123, Jan. 2006.