

طراحی و ساخت یک مبدل فلای بک با مدولاسیون پهنای پالس و سوئیچینگ نرم با اسنابر پسیو غیر تلفاتی

سید محمد مهدی میرطالائی
استادیار، دانشکده مهندسی برق،
واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی،
نجف آباد، ایران.
Mirtalaei.iaun@gmail.com

عطیه فتاحی *
دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق،
واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی،
نجف آباد، ایران.
Atfa1388@yahoo.com

کلیدزنی وارد مدار می شوند. یکی از وظایف اسنابر ها در واقع جذب تلفات کلیدزنی مبدل است و بر اساس بازیابی یا اتلاف این توان جذب شده، اسنابرها را می توان به دو دسته تلفاتی و غیر تلفاتی دسته بندی می شوند. اسنابر های تلفاتی، تلفات کلیدزنی را از المان های نیمه هادی مبدل خارج می کنند ولی آن را بازیابی نمی کنند و در مقاومت خود تلف می کنند. بنابراین در مبدل های دارای اسنابر تلفاتی، تلفات کلی سیستم کم نمی شود. مدارهای اسنابر غیرتلفاتی، توان جذب شده در لحظات کلیدزنی را به نحوی دوباره به چرخه پردازش توان باز می گردانند. مدارهای اسنابر غیر تلفاتی خود به دو دسته پسیو و اکتیو دسته بندی می شوند. به مدارهایی که در آن از سوئیچ کمکی استفاده می شود اسنابر غیرتلفاتی اکتیو می گویند. در مدارهای اسنابر پسیو، از سوئیچ اضافی استفاده نمی شود و فقط از المان های پسیو مانند سلف، خازن و دیود استفاده می شود. این مبدل ها معمولا شرایط روشن شدن در جریان صفر و خاموش شدن در ولتاژ صفر را برای المان های نیمه هادی مبدل فراهم می آورند.

چکیده — در این مقاله یک مبدل فلای بک کلیدزنی نرم ارائه شده است، که در آن اسپایک ناشی از سلف نشتی سوئیچ برطرف شده است و در هر دوره کلیدزنی انرژی ذخیره شده در سلف نشتی مبدل جذب و بازیابی می شود. مبدل ارائه شده ابتدا به صورت تئوری تحلیل شده است و ویژگی های آن بیان شده است. سپس یک روند طراحی برای آن پیشنهاد شده است. در ادامه یک نمونه آزمایشی از مبدل پیشنهادی شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که در این مبدل علاوه بر جذب شدن انرژی ذخیره شده در سلف نشتی، شرایط سوئیچینگ نرم نیز تقریبا برقرار می باشد. سپس یک نمونه آزمایشگاهی از مبدل پیشنهادی به صورت عملی پیاده سازی شده است. نتایج عملی مبدل نیز با نتایج شبیه سازی آن مطابقت دارد و عملکرد مبدل را تایید می کند. کلمات کلیدی: مبدل فلای بک، مدارات اسنابر پسیو، کلیدزنی نرم

مقدمه

در سیستم های الکترونیک قدرت، تمایلات به سمت کوچک شدن مبدل ها برای پیاده سازی مبدل در ابعاد کوچک، بسیار افزایش پیدا کرده است. برای کاهش هر چه بیشتر حجم سیستم های پردازش توان، افزایش فرکانس سوئیچینگ و کاهش تلفات دو راه حل اصلی هستند؛ ولی با افزایش فرکانس

اسنابرها مدارهای کمکی هستند که در موازات مدار اصلی قرار می گیرند و مشخصات کلیدزنی مبدل را بهبود می دهند. معمولا قطعات مدار اسنابر همیشه در مسیر اصلی عبور توان قرار ندارند و فقط در لحظات

برای المان های نیمه هادی مبدل برقرار کرد [۵] و [۶]. در حالت کلی، مدارهای اسنابر غیر تلفاتی برای مبدل های PWM ای که در حالت جریان پیوسته برای سلف کار می کنند، معرفی می شود. مدارهای اسنابر غیر تلفاتی معمولاً به دو دسته ی اسنابر های اکتیو و پسیو دسته بندی می شوند [۷]. تفاوت عمده این دو دسته در استفاده از سوئیچ است که در اسنابر های اکتیو از آنها استفاده می شود. دلیل عمده استفاده از اسنابرهای اکتیو این است که در این اسنابر ها شرایط ZVS² در لحظه روشن شدن برای سوئیچ فراهم می شود و از تخلیه خازن خروجی سوئیچ در خود سوئیچ جلوگیری به عمل می آید. ولی به هر حال استفاده از یک سوئیچ اکتیو در مدار اسنابر باعث ایجاد یک سری مسائل در طراحی مبدل می شود. اولین مشکل این مدارها، استفاده از یک سوئیچ اضافه است که باعث افزایش پیچیدگی کنترل مبدل و همچنین افزایش پیچیدگی مدارهای راه اندازی گیت سوئیچ ها میشود. در بعضی موارد، زمان روشن شدن و مدت زمان روشن بودن سوئیچ کمکی برای دستیابی به شرایط سوئیچینگ نرم متغیر است، لذا مدار کنترل باید توانایی تغییر در این زمان ها را داشته باشد [۹]. همچنین در بعضی مدارهای اسنابر اکتیو، پایه سورس سوئیچ اکتیو شناور است که این مسئله باعث می شود که نیاز به گیت درایو شناور ایجاد شود [۱۰]-[۱۱]. در مواقعی که هم سوئیچ اصلی مبدل و هم سوئیچ کمکی نیاز به گیت درایو شناور دارند، ایجاد پالسهای گیت درایو بسیار پیچیده خواهد شد [۱۲]-[۱۳]. ولی به هر حال در برخی کاربردها استفاده از این روشها و تحمل این پیچیدگی ها قابل توجه است. از سوی دیگر در برخی موارد مدار کمکی اکتیو تنها شرایط ZVS روشن شدن را برای سوئیچ اصلی فراهم می کند ولی خود سوئیچ کمکی نمی تواند در این شرایط خاموش شود [۱۴]. بنابراین، اگر فرض شود که خازن خروجی سوئیچ کمکی و سوئیچ اصلی هر دو یکسان باشد، استفاده از مدار اسنابر اکتیوی که شرایط ZVS را برای روشن شدن سوئیچ اصلی فراهم می آورد هیچ مزیتی نسبت به مدار اسنابر پسیوی که شرایط ZCS³ را برای روشن شدن سوئیچ اصلی فراهم می کند، ندارد. در روشهای پسیو، مدار اسنابر از سوئیچ اکتیو استفاده نمی کند بنابراین از دید مدار کنترل و درایو، پیچیدگی ای به سیستم اضافه نمی شود [۱۵]. با این حال مدارهای اسنابر پسیو اغلب توانایی ایجاد شرایط ZVS در لحظه روشن شدن سوئیچ را ندارد. در مرجع [۱۶]، یک مدار اسنابر پسیو برای مبدل بوست ارائه شده است که توانایی ایجاد شرایط ZCS و ZVS را برای سوئیچ مبدل به ترتیب در لحظه روشن شدن و خاموش شدن دارد. ولی اگرچه این مدار توانسته

سوئیچینگ تلفات سوئیچینگ افزایش می یابد که موجب افزایش حجم کلی سیستم می شود. همچنین افزایش فرکانس سوئیچینگ موجب افزایش تداخلات الکترومغناطیسی نیز می شود. برای جلوگیری از این مسائل در مبدل های PWM، استفاده از مدارهای اسنابر فراهم آورنده شرایط سوئیچینگ نرم، جهت کاهش تلفات سوئیچینگ پیشنهاد می شوند. با کاهش تلفات سوئیچینگ، حجم گرمایر نیز کوچک می شود بنابراین می توان مبدل مورد نظر را در اندازه کوچکتر پیاده کرد.

ساده ترین توپولوژی در مبدل های الکترونیک قدرت که دارای ایزولاسیون است، مبدل فلای یک می باشد. مبدل فلای یک تنها از یک سوئیچ، یک ترانسفورمر، یک خازن و یک دیود استفاده می کند و پردازش توان را انجام می دهد. در مقایسه با توپولوژی های پایه دیگر نظیر مبدل فوروارد و تمام پل این مبدل در حجم بسیار کمتری قابل پیاده سازی است. به هر حال در مبدل فلای یک بدلیل اینکه نحوه پردازش توان به گونه ای است که انرژی ذخیره شده در سلف مغناطیس کنندگی ترانس به خروجی انتقال می یابد، دارای محدودیت در سطح توان است و از این مبدل معمولاً در توان های کمتر از ۳۰۰ وات استفاده می شود. در این مبدل می توان از سلف نشتی استفاده کرد و شرایط روشن شدن در جریان صفر را برای سوئیچ مبدل فراهم آورد ولی در مبدل فلای یک پایه، انرژی ذخیره شده در سلف نشتی ترانس باعث ایجاد اسپایک ولتاژ در دوسر سوئیچ در لحظه خاموش شدن می شود. برای جلوگیری از این مشکل باید از مدارهای اسنابر خاموش شدن در این مبدل استفاده نمود.

در طراحی مبدل های الکترونیک قدرت، یکی از مسائلی که به صورت مکرر در کتب و مقالات بیان می گردد مسئله افزایش چگالی توان مبدل است که منجر به کاهش حجم، وزن و سایز مبدل می شود [۱]-[۳]. با توجه به معکوس بودن رابطه بین اندازه سلف و خازن تشکیل دهنده فیلتر و فرکانس سوئیچینگ، افزایش فرکانس سوئیچینگ، کاهش حجم و وزن مبدل را به همراه دارد. به هر حال در کنار مزایای یاد شده، افزایش فرکانس سوئیچینگ منجر به افزایش تلفات کلید زنی و افزایش تداخلات الکترومغناطیسی نیز می شود که علت این مسئله را می توان در رفتار غیر خطی المان های نیمه هادی جستجو کرد [۴]. با افزایش فرکانس سوئیچینگ، تلفات ناشی از همپوشانی جریان و ولتاژ سوئیچ در لحظات روشن و خاموش شدن افزایش می یابد. برای حل مشکلات بیان شده و یافتن راهی برای افزایش فرکانس سوئیچینگ، شرایط سوئیچینگ نرم را باید

²Zero Voltage Switching

³ Zero Current Switching

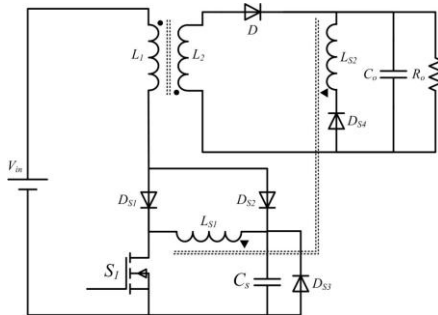
¹ Pulse Width Modulation

انرژی ذخیره شده در سلف نشتی، شرایط سوئیچینگ نرم نیز تقریباً برقرار می‌باشد. سپس یک نمونه آزمایشگاهی از مبدل پیشنهادی به صورت عملی پیاده سازی شده است. نتایج عملی مبدل نیز با نتایج شبیه سازی آن مطابقت دارد و عملکرد مبدل را تایید می‌کند.

تحلیل عملکرد مبدل فلای بک PWM

سوئیچینگ نرم با اسنابر پسیو غیر تلفاتی

«شکل ۱» مبدل فلای بک PWM سوئیچینگ نرم با اسنابر پسیو غیر تلفاتی را نشان می‌دهد. مدار این مبدل از یک مبدل فلای بک و مدار کمکی تشکیل شده است.



شکل ۱: مبدل فلای بک PWM سوئیچینگ نرم با اسنابر پسیو غیر تلفاتی

مدار اسنابر از L_{S1} و L_{S2} و C_S و دیودهای D_{S1} تا D_{S4} تشکیل شده است. L_{S1} و L_{S2} با هم کوپل هستند. ضریب کوپلینگ این دو سلف از طریق فرمول زیر بدست می‌آید. عملکرد این مدار اسنابر شبیه عملکرد مدار فلای بک است.

$$N = \sqrt{\frac{L_{S1}}{L_{S2}}} \quad (1)$$

«شکل ۲» مبدل را با در نظر گرفتن جهت قرار دادی ولتاژ و جریان المان‌های مبدل و همچنین جایگزینی مدل ترانس برای ترانس فلای بک نشان می‌دهد.

مبدل در حالت عملکرد CCM در هر پریود سوئیچینگ دارای ۸ وضعیت مختلف عملکردی می‌باشد که «شکل ۳» نشان دهنده شکل موج‌های کلیدی

است. شرایط سوئیچینگ نرم را برای سوئیچ ایفا کند ولی یک جریان گردشی نسبتاً زیادی در مدار اسنابر این مبدل وجود دارد. وجود این جریان گردشی در مدار اسنابر باعث می‌شود تمامی انرژی جذب شده در لحظه خاموش شدن سوئیچ به خروجی انتقال نیابد و بخش قابل توجهی از آن در قالب تلفات هدایتی تلف شود. در مرجع [۱۷]، یک مدار اسنابر ساده معرفی شده است که در آن از دو سلف دارای تزویج برای بازیابی تلفات خاموش شدن سوئیچ و انتقال آن به خروجی، استفاده شده است. اگرچه این مدار ساختار ساده‌ای دارد و تعداد المان‌های مدار اسنابر تنها سه عدد است ولی سلف نشتی سلف‌های کوپل شده باعث می‌شود که ولتاژ سوئیچ مدار کلمپ نشود. این قضیه خود منجر به افزایش استرس ولتاژ سوئیچ و افزایش تداخلات الکترومغناطیسی می‌شود. در مرجع [۱۸] نیز از آرایش دیگری از سلف‌های کوپل شده جهت ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم در مبدل بوست استفاده شده است ولی متأسفانه در این مبدل هم استرس ولتاژ سوئیچ کلمپ نشده است. برای جذب و بازیابی تلفات خاموش شدن سوئیچ در مبدل فلای بک دو سوئیچ، یک مدار اسنابر در مرجع [۱۹] معرفی شده است که مزیت عمده این مبدل عدم وجود جریان هرزگرد در مدار و بازگشت انرژی خازنهای اسنابر به منبع ورودی است، که بدلیل عملکرد کلمپ گونه دایودهای مبدل حاصل شده است. معمولاً در مدارهای اسنابر، سلف‌ها فضای بیشتری اشغال می‌کنند؛ به همین دلیل اخیراً در راستای کاهش تعداد المان‌های مدار اسنابر، مبدل‌های با سلف کوپل شده پیشنهاد شده‌اند. [۲۰]-[۲۱]. ولی در این مبدل‌ها اگرچه همه سلف‌ها بر روی یک هسته پیچیده می‌شوند ولی برای اطمینان از بازیابی توان جذب شده توسط مدار اسنابر، المانهای دیگری نظیر سلف و خازن زیاد شده‌اند.

به دلیل افزایش کاربردهای الکترونیک قدرت در بسیاری از زمینه‌ها نیاز به معرفی یک روش ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم وجود دارد که نه تنها بر پیچیدگی کنترل مدار نیافزاید بلکه سادگی مدارهای گیت درایو را نیز برهم نزند.

در این مقاله یک مبدل فلای بک کلیدزنی نرم ارائه شده است که در آن اسپایک ناشی از سلف نشتی سوئیچ برطرف شده است و در هر دوره کلیدزنی انرژی ذخیره شده در سلف نشتی مبدل جذب و بازیابی می‌شود. در این مقاله مبدل ارائه شده ابتدا به صورت تئوری تحلیل شده است و ویژگی‌های آن بیان شده است. سپس یک روند طراحی برای آن پیشنهاد شده است. در ادامه یک نمونه آزمایشی از مبدل پیشنهادی شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که در این مبدل علاوه بر جذب شدن

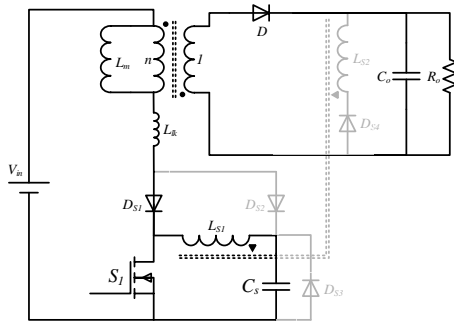
$$i_{Llk}(t) = \frac{V_{in} + n.V_1}{L_{lk}}.(t - t_1) \quad (3)$$

$$i_{LS1}(t) = \frac{v_{Cs}(t_1)}{Z_1}.\sin(\omega.(t - t_1)) \quad (4)$$

$$v_C(t) = v_C(t_1).\cos(\omega.(t - t_1)) \quad (5)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L_{S1}}{C_S}} \quad (6)$$

به ترتیب جریان سلف مغناطیس کننده، سلف مغناطیس کننده، جریان سلف نشستی، سلف نشستی، ولتاژ خروجی، تعداد دور سیم پیچ، ولتاژ ورودی، ولتاژ خازن اسنابر، امپدانس مشخصه و فرکانس زاویه مشخصه هستند.



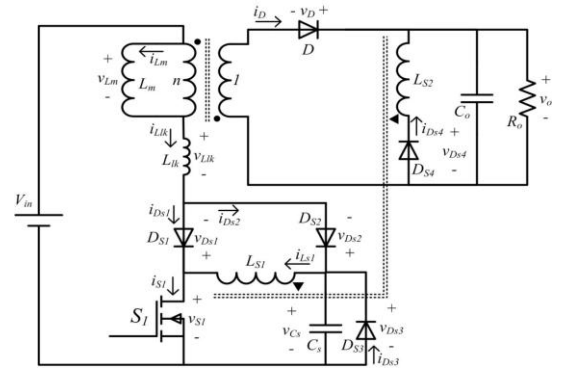
شکل ۴: مدار معادل عملکرد حالت اول (المان های کم رنگ هدایت نمیکنند)

حالت دوم ($t_2 < t < t_3$):

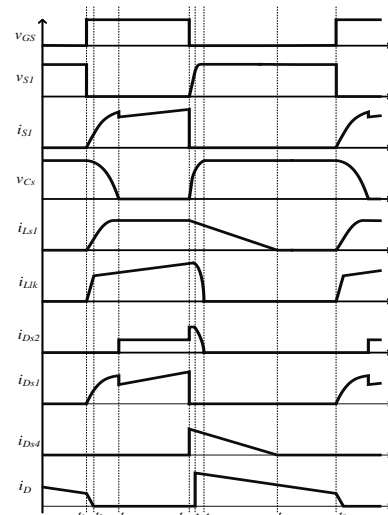
در این وضعیت سلف مغناطیس کنندگی مبدل در حال جذب انرژی از ورودی است که رابطه زیر بیان کننده رفتار جریان سلفهای L_m و L_{lk} است. همچنین خازن اسنابر نیز همچنان در حال انتقال انرژی به L_{S1} است که روابط آن مشابه با حالت قبل میباشد. «شکل ۵» مدار معادل عملکرد این حالت را نشان می دهد.

$$i_{Lm}(t) = i_{Llk}(t) = i_{Lm}(t_2) + \frac{V_{in}}{L_m + L_{lk}}.(t - t_2) \quad (7)$$

نظری عملکرد مبدل در این وضعیت ها می باشد.



شکل ۲: مبدل فلای بک PWM سوئیچینگ نرم با اسنابر پسیو غیر تلفاتی با در نظر گرفتن جهت های قراردادی

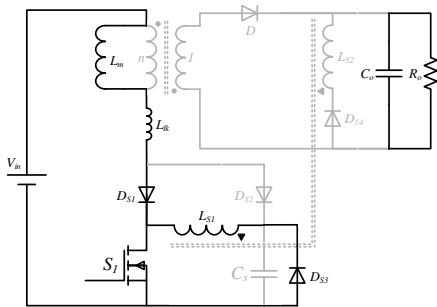


شکل ۳: شکل موج های کلیدی نظری مبدل

حالت اول ($t_1 < t < t_2$):

قبل از شروع این وضعیت، مبدل مانند مبدل فلای بک پایه در مد انتقال انرژی ذخیره شده در سلف مغناطیس کنندگی به خروجی بوده است و جز المان های نشان داده شده در «شکل ۴»، مابقی المان ها خاموش است. با آغاز این وضعیت جریان سلف نشستی شروع به افزایش می کند. همچنین خازن اسنابر نیز شروع به انتقال توان به سلف L_{S1} می کند. این وضعیت با خاموش شدن دایود فلای بک به پایان می رسد. «شکل ۴» مدار معادل عملکرد این حالت را نشان می دهد.

$$i_{Lm}(t) = i_{Lm}(t_1) - \frac{n.V_1}{L_m}.(t - t_1) \quad (8)$$



شکل ۷: مدار معادل عملکرد حالت سوم (ب) (المان های کم رنگ هدایت نمیکنند)

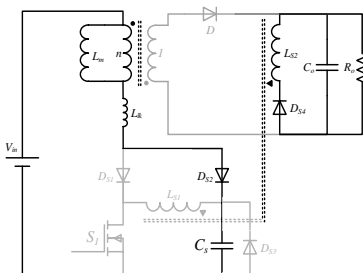
حالت چهارم ($t_4 < t < t_5$):

این وضعیت با خاموش شدن سوئیچ S بعد از اتمام زمان روشن بودن سوئیچ اتفاق می افتد و طی این وضعیت انرژی ذخیره شده در L_{S1} به صورت فلای بکی به L_{S2} منتقل می شود و همان طور که در «شکل ۸» مشاهده می کنید، از طریق D_{S4} به خروجی منتقل می شود و همچنین خازن اسنابر C_S که در وضعیت های قبل تا مقدار صفر تخلیه شده بود، موازی سوئیچ قرار می گیرد و خاموش شدن سوئیچ را نرم می کند. معادله جریان L_{S2} و ولتاژ خازن در این وضعیت مشابه با رابطه زیر است.

$$i_{D_{S4}}(t) = n \cdot i_{L_{S1}}(t_4) - \frac{V_0}{L_{S2}} \cdot (t - t_4) \quad (8)$$

$$v_{C_S}(t) = \frac{I_{L_{lk}}(t_5)}{C_S} (t - t_4) \quad (9)$$

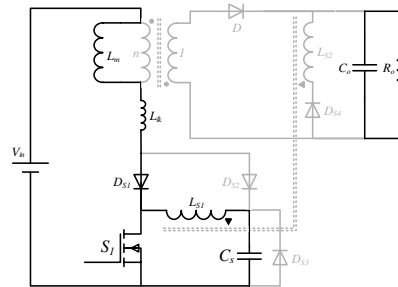
$i_{L_{S1}}$ جریان L_{S1} و $i_{D_{S4}}$ جریان دیود اسنابر ۴ میباشد.



شکل ۸: مدار معادل عملکرد حالت چهارم (المان های کم رنگ هدایت نمیکنند)

حالت پنجم ($t_5 < t < t_6$):

در وضعیت قبل با خاموش شدن سوئیچ ولتاژ خازن اسنابر به صورت خطی شروع به افزایش می کند. با رسیدن ولتاژ خازن به مقدار $v_{in} + \frac{V_0}{n}$ ، دیود D شروع به هدایت می کند و این وضعیت آغاز می شود. طی این



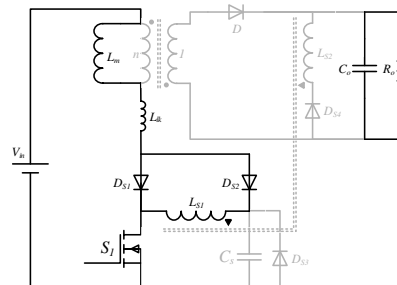
شکل ۵: مدار معادل عملکرد حالت دوم (المان های کم رنگ هدایت نمیکنند)

حالت سوم ($t_3 < t < t_4$):

این وضعیت با به صفر رسیدن ولتاژ خازن اسنابر شروع می شود. با توجه به اندازه جریان L_{lk} یکی از این دو وضعیت می تواند رخ دهد. اگر جریان L_{lk} از جریان L_{S1} بزرگتر باشد وضعیت سوم (الف) در غیر این صورت وضعیت سوم (ب) رخ می دهد. که در هر کدام از این وضعیت ها یک مسیر برای عبور جریان L_{S1} در نظر گرفته شده است.

حالت سوم (الف): اگر جریان L_m از جریان L_{S1} بزرگتر باشد دیود D_{S2} تحت شرایط ZVS روشن می شود و جریان L_{S1} از دیود D_{S2} عبور می کند. به خاطر وجود دو دیود به صورت پشت به پشت در این مسیر توان، افت ولتاژ دیود ها با یکدیگر ختنی می شود و جریان L_{S1} کاهش نمی یابد. ولتاژ خازن C_S نیز همچنان صفر باقی خواهد ماند.

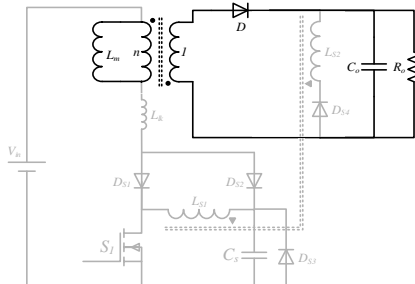
حالت سوم (ب): اگر جریان L_m از جریان L_{S1} کوچکتر باشد دیود D_{S3} تحت ZVS روشن می شود و جریان L_{S1} از طریق دیود D_{S3} و سوئیچ به صورت هرزگرد ادامه می یابد. در طی این حالت جریان سلف مغناطیس کنندگی L_m و نشتی L_{lk} همچنان مطابق با رابطه (۷) افزایش می یابد. « شکل ۶» و «شکل ۷» مدار معادل عملکرد این حالت را نشان می دهد.



شکل ۶: مدار معادل عملکرد حالت سوم (الف) (المان های کم رنگ هدایت نمیکنند)

مبدل در این حالت به صورت زیر بیان می شود. «شکل ۱۱» مدار معادل عملکرد حالت هفتم را نشان می دهد.

$$i_{Lm}(t) = i_{Lm}(t_7) - \frac{n.V_O}{L_m} \cdot (t - t_7) \quad (10)$$

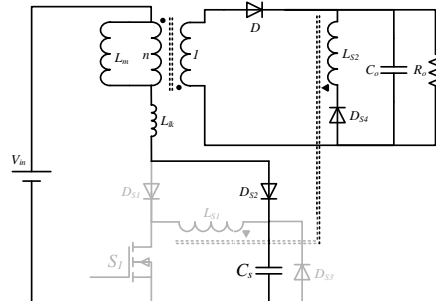


شکل ۱۱: مدار معادل عملکرد حالت هفتم (المان های کم رنگ هدایت نمیکنند)

نتایج شبیه سازی و پیاده سازی مبدل پیشنهادی

مبدل پیشنهادی برای سطح توان ۱۰۰ وات و برای تبدیل ۵۰ ولت به ۱۰۰ ولت شبیه سازی و پیاده سازی شده است. مقادیر و نوع المان ها در «جدول ۱» گزارش شده است. «شکل ۱۲» نمونه آزمایشی از مبدل ساخته شده در آزمایشگاه را نشان می دهد. «شکل ۱۳ الف» و «شکل ۱۳ ب» شکل موج های جریان و ولتاژ سوئیچ را به ترتیب در نتایج به دست آمده از شبیه سازی و پیاده سازی عملی مبدل پیشنهادی نشان می دهند. «شکل ۱۴ الف» و «شکل ۱۴ ب» شکل موج های جریان و ولتاژ دیود خروجی را به ترتیب در نتایج به دست آمده از شبیه سازی و پیاده سازی عملی مبدل پیشنهادی نشان می دهند. این نتایج نشان می دهد که این مدار اسنابر پسیو غیر تلفاتی شرایط ZCS و ZVS را به ترتیب در لحظه روشن شدن و خاموش شدن برای سوئیچ مبدل و دیود ها فراهم می کند.

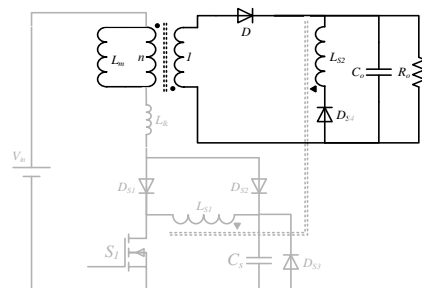
وضعیت انرژی ذخیره شده در L_{S1} همچنان به صورت فلای بکی به L_{S2} منتقل می شود و از طریق D_{S4} به خروجی منتقل می شود و همچنین خازن اسنابر C_S به شارژ شدن خود ادامه می دهد. همچنین طی این وضعیت جریان L_{1k} کاهش می یابد تا سطح صفر تا تمامی انرژی به ثانویه منتقل شود. معادله جریان L_{S2} در این وضعیت مشابه با وضعیت قبل می باشد. «شکل ۹» مدار معادل عملکرد حالت پنجم را نشان می دهد.



شکل ۹: مدار معادل عملکرد حالت پنجم (المان های کم رنگ هدایت نمیکنند)

حالت ششم ($t_6 < t < t_7$):

با صفر شدن جریان سلف نشستی L_{1k} این وضعیت آغاز می شود. در این وضعیت، L_m و L_{S2} همچنان به انتقال توان به خروجی ادامه می دهند. با اتمام انرژی موجود در L_{S2} این وضعیت نیز به اتمام می رسد. معادله جریان L_{S2} مشابه با رابطه (۸) می باشد. «شکل ۱۰» مدار معادل عملکرد حالت ششم را نشان می دهد.



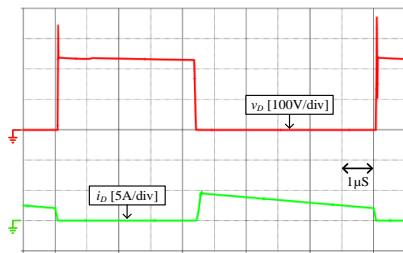
شکل ۱۰: مدار معادل عملکرد حالت ششم (المان های کم رنگ هدایت نمیکنند)

حالت هفتم ($t_7 < t < t_8$):

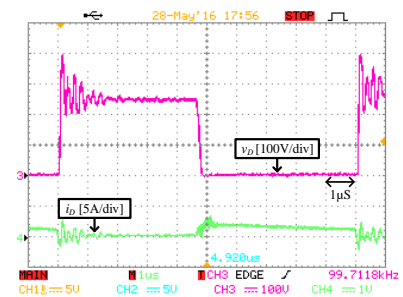
در این وضعیت، مبدل مانند یک مبدل فلای بک پایه در وضعیت انتقال توان به خروجی است. معادله جریان سلف مغناطیس کنندگی

جدول ۱: پارامترهای مدار

پارامتر	مقدار
سلف L_1	$50 \mu\text{H}$
سلف L_2	$450 \mu\text{H}$
سلف L_{S1}	$100 \mu\text{H}$
سلف L_{S2}	$300 \mu\text{H}$
خازن C_0	$100 \mu\text{F}$
خازن C_s	$4,4 \text{ nF}$
سوئیچ مدار	IRFP460
دیودها	Mur460
فرکانس سوئیچ زنی f_s	100 kHz
ولتاژ ورودی V_{in}	50 v
ولتاژ خروجی V_O	100 v
توان خروجی P_O	100 w



(الف)



(ب)

شکل ۱۴- شکل موج جریان و ولتاژ دیود D (الف) شبیه سازی، (ب) ساخت.

نتیجه گیری

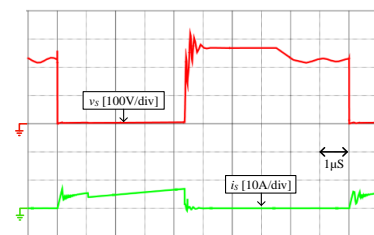
در این فصل یک مبدل فلای بک PWM سوئیچینگ نرم معرفی شده است. در این مقاله تلاش شده است که مشکلات یاد شده برای مبدل فلای بک برطرف گردد. مبدل پیشنهادی با استفاده از یک مدار اسنابر پسیو غیر تلفاتی شرایط کلیدزنی نرم را برای سوئیچ و دیود مبدل فلای بک فراهم می آورد و از هیج سوئیچ کمکی استفاده نمی کند. به این ترتیب تلفات کاهش و بازده مبدل افزایش پیدا می کند. برای ارزیابی مدار پیشنهادی از نتایج شبیه سازی و نتایج عملی استفاده شده است. نتایج شبیه سازی و نتایج عملی ارائه شده، نتایج تحلیل نظری را تایید می کند.

منابع

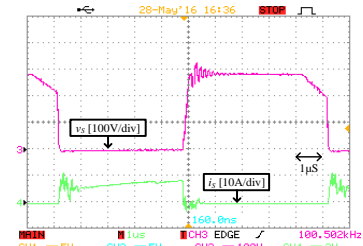
- [1] H. F. Xiao, X. P. Liu, K. Lan, "Zero-Voltage-Transition Full-Bridge Topologies for Transformerless Photovoltaic Grid-Connected Inverter," IEEE Trans. on Industrial Electron., vol. 61, no. 10, pp. 5393-5401, Oct. 2014.
- [2] M. R. Mohammadi, H. Farzanehfard, "Analysis of Diode Reverse Recovery Effect on the Improvement of Soft-Switching Range in Zero-Voltage-Transition Bidirectional Converters," IEEE Trans. on Industrial Electron., vol. 62, no. 3, pp. 1471-1479, Mar. 2015.
- [3] S. Dusmez, A. Khaligh, A. Hasanzadeh, "A Zero-Voltage-Transition Bidirectional DC/DC Converter," IEEE Trans. on Industrial Electron., vol. 62, no. 5, pp. 3152-3162, May 2015.



شکل ۱۲- نمونه آزمایشی از مبدل پیشنهادی ساخته شده در آزمایشگاه



(الف)



(ب)

شکل ۱۳- شکل موج جریان و ولتاژ سوئیچ مبدل (الف) شبیه سازی، (ب) ساخت.

- [21] B. H. Choi, E. S. Lee, J. H. Kim, C. T. Rim, "DCM Analysis of Single-switch-based ZVZCS Converters with a Tapped Inductor," Early Access IEEE Trans. on Power Electron., 2015.
- [4] M. Tang, J. Lu, J. Mao, L. Jiang, "A Systematic Electromagnetic-Circuit Method for EMI Analysis of Coupled Interconnects on Dispersive Dielectrics," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol. 61, no. 1, pp. 1-13, Jan. 2013.
- [5] E. Adib, H. Farzanehfard, "Family of Soft-Switching PWM Converters With Current Sharing in Switches," IEEE Trans. on Power Electron., vol. 24, no. 4, pp. 979-985, Apr. 2009.
- [6] N. Suresh, M. Pahlevaninezhad, P. K. Jain, "Analysis and Implementation of a Single-Stage Flyback PV Microinverter With Soft Switching," IEEE Trans. on Industrial Electron., vol. 61, no. 4, pp. 1819-1833, Apr. 2014.
- [7] M. Mohammadi, E. Adib, "Lossless passive snubber for half bridge interleaved flyback converter," IET Power Electronics, vol. 7, no. 6, pp. 1475-1481, Jun. 2014.
- [8] M. Mohammadi, E. Adib, H. Farzanehfard, "Lossless passive snubber for double ended flyback converter with passive clamp circuit," IET Power Electronics, vol. 7, no. 2, pp. 245-250, Feb. 2014.
- [9] J. L. Russi, V. F. Montagner, M. L. Martins, H. L. Hey, "A Simple Approach to Detect ZVT and Determine Its Time of Occurrence for PWM Converters," IEEE Trans. on Industrial Electron., vol. 60, no. 7, pp. 2576-2585, Jul. 2013.
- [10] L. Chen, H. Hu, Q. Zhang, A. Amirahmadi, I. Batarseh, "A Boundary-Mode Forward-Flyback Converter With an Efficient Active LC Snubber Circuit," IEEE Trans. on Power Electron., vol. 29, no. 6, pp. 2944-2958, Jun. 2014.
- [11] M. Pavlovsk'y, G. Guidi, A. Kawamura, "Buck/Boost DC-DC Converter Topology With Soft Switching in the Whole Operating Region," IEEE Trans. on Power Electron., vol. 29, no. 2, pp. 851-862, Feb. 2014.
- [12] E. Adib, H. Farzanehfard, "Family of Zero-Current Transition PWM Converters," IEEE Trans. on Industrial Electron., vol. 55, no. 8, pp. 3055-3063, Aug. 2008.
- [13] E. Adib, H. Farzanehfard, "Family of Soft-Switching PWM Converters With Current Sharing in Switches," IEEE Trans. on Power Electron., vol. 24, no. 4, pp. 979-985, Apr. 2009.
- [14] N. Altintas, A. F. Bakan, I. Aksoy, "A Novel ZVT-ZCT-PWM Boost Converter," IEEE Trans. on Power Electron., vol. 29, no. 1, pp. 256-265, Jan. 2014.
- [15] M. Mohammadi, E. Adib, "Reducing turn off losses with a passive lossless snubber for boost converter," The 5th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC), pp. 385-389, Feb. 2014.
- [16] H.-J. Choe, Y.-C. Chung, C.-H. Sung, J.-J. Yun, B. Kang, "Passive Snubber for Reducing Switching-Power Losses of an IGBT in a DC-DC Boost Converter," IEEE Trans. on Power Electron., vol. 29, no. 12, pp. 6332-6341, Dec. 2014.
- [17] M. R. Amini, H. Farzanehfard, "Novel Family of PWM Soft-Single-Switched DC-DC Converters With Coupled Inductors," IEEE Trans. on Industrial Electron., vol. 56, no. 6, pp. 2108-2114, Jun. 2009.
- [18] T. Zhan, Y. Zhang, J. Nie, Y. Zhang, Z. Zhao, "A Novel Soft-Switching Boost Converter With Magnetically Coupled Resonant Snubber," IEEE Trans. on Power Electron., vol. 29, no. 11, pp. 5680-5687, Nov. 2014.
- [19] M. Mohammadi, E. Adib, E. Farzanehfard, "Passive lossless snubber for double-ended flyback converter," IET Power Electron., vol. 8, no. 1, pp. 56-62, Jan. 2015.
- [20] M. Mohammadi, E. Adib, M. R. Yazdani, "Family of Soft-Switching Single-Switch PWM Converters with Lossless Passive Snubber," Early Access IEEE Trans. on Industrial Electron. 2014.