

بررسی تداخل الکترومغناطیسی مبدل نیم پل فلای بک نامتقارن با یکسوساز همزمان

نوید محمدیان^۱، محمد روح اله یزدانی^۲

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، navid.mohammadian@gmail.com

^۲استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، mro_yazdani@yahoo.com

چکیده - مبدل نیم پل نامتقارن دارای راندمان بالا است که از یکسوسازی همزمان (*synchronous rectifier*) بهره می برد. بدلیل کارکرد هر دو نیمه هادی قدرت در طرف اولیه بصورت نامتقارن مبدل دارای راندمان بالا و استرس کم ولتاژ روی سوئیچ های قدرت است. همچنین به دلیل استفاده از سلف نشستی ترانسفورمر بعنوان سلف رزونانسی، ساختار آن ساده است. یکی از روش های کاهش تداخل الکترومغناطیسی (*EMI*) استفاده از تکنیک سوئیچینگ نرم است. از این جهت در این مقاله با انجام مدل سازی و لحاظ خازن های پارازیتی در مبدل نیم پل نامتقارن، میزان تداخل الکترومغناطیسی (*EMI*) آنها اندازه گیری و نتایج بررسی شده است.

کلید واژه - مبدل نیم پل - نامتقارن - تداخل الکترومغناطیسی - سازگاری الکترومغناطیسی - LISN

کلمپ پیشنهاد شده است تا انرژی ذخیره شده زیاد در سلف نشستی را جذب کند و استرس ولتاژ سوئیچ را با استفاده از مدار اکتیو کلمپ کاهش دهد، اما به دلیل سلف نشستی، مشکل بازیابی معکوس وجود دارد.

خازن کلمپ در این مدار اکتیو کلمپ، منبع با ولتاژ ثابت در نظر گرفته شده است. به دلیل اینکه جمع ولتاژ ورودی و ولتاژ اولیه ترانسفورمر به سوئیچ اعمال شده است، از استرس ولتاژ بالا رنج می برد. اکثر مبدل های پیشین از سلف نشستی ترانسفورمر برای سوئیچینگ ولتاژ صفر (*ZVS*) استفاده می کنند. همچنین، آنها مشکل بازیابی معکوس را در دیودهای خروجی، تجربه می کنند. در مقابل، مبدل نیم پل نامتقارن، ویژگی *ZVS* دارد که از رزونانس عناصر پارازیتی استفاده و استرس ولتاژ روی سوئیچ ها به ولتاژ ورودی محدود می کند. از این گذشته، تلفات در طبقه یکسوساز خروجی حداقل شده است به این دلیل که در زمان انتقال، یکسوساز خروجی می تواند به شکلی نرم با سوئیچینگ جریان صفر (*ZCS*) عمل یکسوسازی را انجام دهد. دیگر خصوصیت مبدل نیم پل نامتقارن، تولید *EMI* هدایتی کم آن است که با تلفات هدایتی کم اش رابطه مستقیم دارد. هنگامی که همه مبدل های سوئیچینگ نرم، نویز فرکانس خیلی بالا را که توسط مبدل های

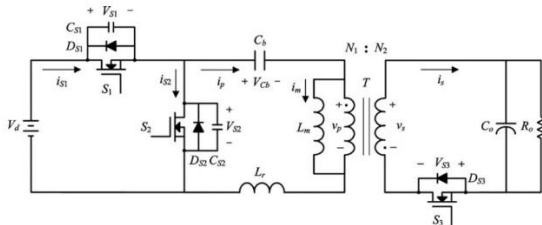
۱- مقدمه

مبدل فلای بک متداول به این دلیل اینکه می تواند دارای چند خروجی باشد و همچنین مقرون به صرفه است، بصورت گسترده استفاده می شود. با این وجود، کارکرد سوئیچ قدرت آن در شرایط سوئیچینگ سخت است که باعث می شود تلفات سوئیچینگ، نویز تداخل الکترومغناطیسی (*EMI*) و استرس ولتاژ بالا سوئیچ را افزایش دهد. در نتیجه، مبدل فلای بک نمی تواند در کاربردهای توان بالا مورد استفاده قرار گیرد. این کاربردها به چگالی توان بالا و افزایش دما کمتر نسبت به کاربردهای متداول نیاز دارند. برای غلبه بر این معایب، توپولوژی های متنوعی از تکنیک های سوئیچینگ نرم و رزونانسی پیشنهاد شده است [۲-۶]. مدار کلمپ مقاومت - خازن - دیود پسیو (*RCD*) می تواند برای کاهش انرژی ذخیره شده در سلف نشستی استفاده شود که در نتیجه استرس ولتاژ سوئیچ را، کاهش می دهد. مبدل های فلای بک با تکنیک رزونانسی [۲-۴] پیشنهاد شده اند تا راندمان سیستم را بالا برده و تلفات سوئیچینگ، سوئیچ فعال را کاهش دهند. هرچند، استرس ولتاژ سوئیچ فعال، بخصوص برای ولتاژ ورودی بالا در مبدل فلای بک رزونانسی خیلی زیاد است. تکنیک های اکتیو

ورودی، تغییرات بزرگ چرخه‌ی وظیفه (D) است. در این صورت طراحی طبقه‌ی قدرت در این شرایط راندمان را کاهش می‌دهد. از این رو، مبدل‌های که با ولتاژ گسترده ورودی بکار می‌روند به شکل کلی برای توان پایین طراحی شده‌اند. بعلاوه در بدترین شرایط، هنگامی که خط ولتاژ در حداقل مقدار خود است، زمان نگه دارنده نیازمند یک ظرفیت خازنی بزرگ است، که این مسئله باعث افزایش اندازه مبدل می‌شود. مبدل پیشنهادی در مقاله [۱] از تکنیک ZVS و یکسوسازی همزمان با رویکرد PWM استفاده می‌کند که نتیجه آن راندمان بالا است. همچنین به دلیل اینکه از سلف نشستی ترانسفورمور بعنوان سلف رزونانسی استفاده نموده است ساختار ساده‌ای دارد. یکسوسازی همزمان پیشنهاد شده از روش جدید راه‌اندازی ولتاژ استفاده نموده است

۲- معرفی مبدل‌های پیشنهاد شده در [۱]

مبدل پیشنهاد شده [۱] و مبدل پیشنهاد شده [۲] به ترتیب در شکل (۱) و شکل (۲) نشان داده شده است.



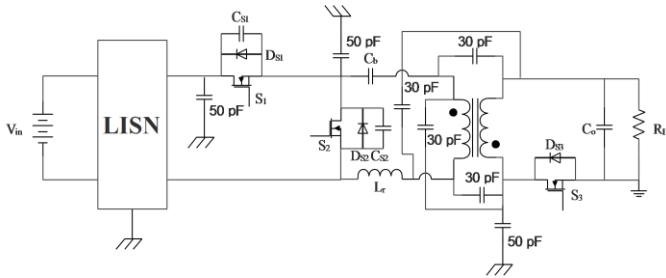
شکل (۱) مبدل نیم‌پل نامتقارن پیشنهاد شده

شکل (۱) مبدل نیم‌پل فلای‌بک که از یکسوساز همزمان با ولتاژ راه‌اندازی شده است را نشان می‌دهد. ترانسفورمور T با سلف مغناطیس کننده L_m همراه با سلف نشستی L_r و ترانسفورمور ایده‌آل با نسبت 1:n مدل شده است. در این ترانسفورمور سلف نشستی از سلف مغناطیس کننده خیلی کوچکتر است. سوئیچ‌های S_1 و S_2 بصورت نامتقارن با نسبت D براساس سوئیچ بالای S_1 کار می‌کنند. مقدار خازن C_b به اندازه کافی بزرگ است که بتوان از ریپل ولتاژ خازن V_{cb} چشم پوشی نمود. سوئیچ S_3 نیز در ZVS و ZCS عمل می‌کند.

سوئیچینگ سخت تولید شده را کاهش می‌دهند، مبدل نیم‌پل نامتقارن مقدار AC جریان ورودی در فرکانس سوئیچینگ و هارمونیک‌هایش را نیز کاهش می‌دهد [۷]. مبدل‌های نیم‌پل نامتقارن به علت راندمان بالا و سادگی پیکربندی آنها هزینه‌ها را کاهش می‌دهند. مبدل نیم‌پل فلای‌بک نامتقارن مزایای زیادی نسبت به مبدل‌های فلای‌بک و مبدل‌های فلای‌بک اکتیو کلمپ معمولی دارد [۱]. مبدل راندمان بالا می‌تواند با استفاده از یکسوسازی همزمان (SR) ساخته شود. تلفات هدایتی دیود یکسوساز به دلیل افت ولتاژ بایاس مستقیم آن است که در ولتاژ خروجی کم مبدل موثر واقع می‌شود. این تلفات می‌تواند بوسیله جایگزینی دیود یکسوساز با (SR) که MOSFET است کاهش یابد.

به طور کلی دو روش کنترل مرسوم وجود دارد بنام‌های کنترل نامتقارن [۹-۱۱] و کنترل متقارن [۱۲-۱۴]. مبدل‌های نیم‌پل متقارن کنترل شده پیکربندی ساده‌ای دارند و با استرس متقارن قطعات کار می‌کنند. هرچند سوئیچ‌های اولیه در شرایط سوئیچینگ سخت کار می‌کنند و تلفات رزونانسی و مشکلات مربوط به سلف نشستی در آنها وجود دارد ولی برای کاهش تلفات چرخشی، معمولاً از مدارهای اسنابر تلفاتی در اطراف سوئیچ استفاده می‌شود که در نتیجه انرژی سلف نشستی در مدار اسنابر تلف شده و متعاقباً، راندمان کاهش و سطح توان را محدود می‌کند. در روش کنترل نامتقارن، اگرچه مبدل نیم‌پل نامتقارن از توزیع نامتقارن استرس روی قطعات و بایاس DC در ترانسفورمور رنج می‌برد ولی به دلیل سیگنال‌های مکملی که به دو سوئیچ نیم‌پل می‌فرستد و به دلیل زمان مرده بین دو سوئیچ، مشکل رزونانس در طرف اولیه برطرف می‌شود و ZVS برای هر دو سوئیچ با کمک سلف نشستی ترانسفورمور قابل دستیابی است. از این رو برای کاربردهایی با دامنه ولتاژ گسترده ورودی مناسب نیست. بعلاوه بهره DC مبدل نیم‌پل نامتقارن کنترل شده خطی نیست [۹]. در نتیجه D در ولتاژ خط بالا در مقایسه با مبدل نیم‌پل متقارن کنترل شده که عملکردش در ولتاژ ورودی خط بالا کاهش می‌یابد، کمتر است. ولتاژ ورودی گسترده یک خصوصیت مطلوب در منابع تغذیه است. هرچند، عیب آن به دلیل تغییرات بزرگ ولتاژ

و از یک LISN با توجه به استاندارد مورد نیاز بین مبدا سوئیچینگ و خط تغذیه ورودی قرار گیرد. شکل (۴) مدار شبیه سازی شده برای اندازه گیری طیف EMI است. در این مبدا از IRF640 برای سوئیچ های قدرت استفاده شده است.



شکل ۴: مدار معادل مبدا پیشنهاد شده در [۱] برای اندازه گیری طیف EMI

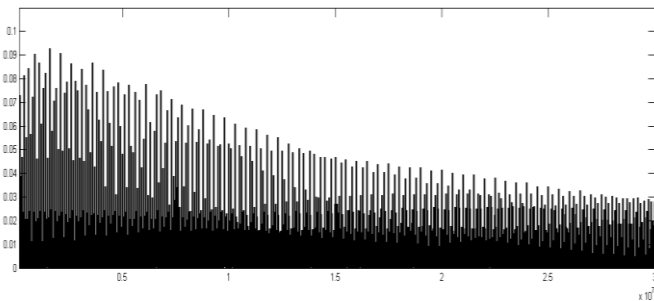
۵- نتایج شبیه سازی طیف EMI در مبدا نیم پل فلای بک نامتقارن

برای بدست آوردن نقاط پیک بر حسب dB μ V از رابطه زیر استفاده می شود:

(۵-۱)

$$\text{dB}\mu\text{V} = 20 \log \frac{V}{1\mu\text{V}}$$

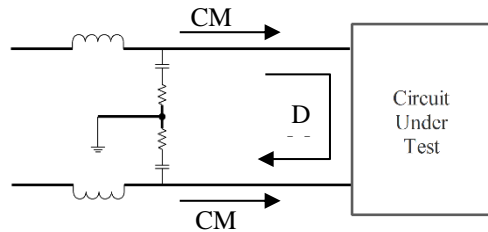
که برای مبدا نیم پل فلای بک نامتقارن پیک ولتاژ ۹۹/۳۶ dB μ V در طیف EMI بین ۱۵۰ کیلوهرتز تا ۳۰ مگاهرتز است.



شکل ۵: طیف EMI اندازه گیری شده از ۱۵۰ kHz تا ۳۰ MHz مبدا نیم پل فلای بک سوئیچینگ نرم پیشنهاد شده در [۱] (در این شکل محور افقی بر حسب MHz و محور عمودی بر حسب mV)

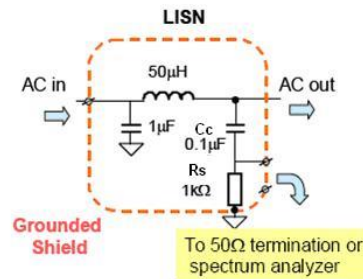
۳- بررسی EMI هدایتی در مبدا های سوئیچینگ

به طور کلی جریان EMI هدایتی در ایجاد انتشارات تشعشعی نیز نقش دارد و لذا کاهش EMI هدایتی باعث کاهش EMI تشعشعی می شود در نتیجه کاهش آن بسیار اهمیت دارد. EMI هدایتی شامل مد مشترک (CM) و مد تفاضلی (DM) است که از طریق سیم کشی مشترک نظیر خطوط تغذیه می تواند منتقل شود. شکل مسیر جریان مد تفاضلی و مد مشترک در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲: مسیر جریان نویز مد مشترک و مد تفاضلی

اندازه گیری EMI هدایتی با یک شبکه تثبیت امپدانس خط (LISN) مشخص، طبق استاندارد انجام می گیرد. برای نمونه، LISN استاندارد CISPR22 در شکل (۳) نشان داده شده است. [۸]



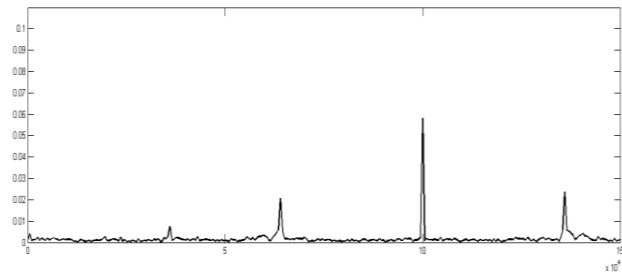
شکل ۳: یک شبکه تثبیت امپدانس خط (LISN) مربوط به استاندارد CISPR22 [۸]

۴- EMI هدایتی در مبدا نیم پل نامتقارن

یکی از روش های کاهش تداخل الکترومغناطیسی (EMI) در منابع تغذیه سوئیچینگ استفاده از تکنیک سوئیچینگ نرم است. با استفاده از این روش نرخ تغییرات ولتاژ و جریان و همچنین تلفات سوئیچینگ کاهش یافته و EMI هدایتی نیز به طبع آن کاهش می یابد. برای اندازه گیری طیف EMI نیاز است که خازن های پارازیتی سوئیچ ها و ترانسفورمر لحاظ شود

- [3] [3] CHOI C.T., LI C.K., KOK S.K.: 'Control of an active clamp flyback converter'. IEEE Power Electronics and Drive Systems Conf., 1992, vol. 2, pp. 1120-1123
- [4] [4] JITARU I.D., BIRCA-GALATEANU S.: 'Small-signal characterization of the forward-flyback converters with active clamp'. IEEE Applied Power Electronics Conf., 1998, vol. 2, pp. 626-632
- [5] [5] WATSON R., LEE F.C., HUA G.C.: 'Utilization of an active-clamp circuit to achieve soft switching in flyback converters', IEEE Trans. Power Electron., 1996, 11, (1), pp. 162-169
- [6] [6] HAKODA Y., NINOMIYA T., SHOYAMA M., HASHIMOTO T.: 'Effect of clamp capacitor on the stability of active-clamp dc-dc converters'. IEEE Power Electronics Specialists Conf., 1998, pp. 355-361
- [7] [7] LEE S.S., HAN S.K., MOON G.W.: 'A new high efficiency half bridge converter with improved ZVS performance', J. Power Electron., 2006, 6, (3), pp. 187-194
- [8] [8] Jingen Qian, "RF Models for Active IPEMs", Master Thesis, Virginia Tech, 2003.
- [9] [9] IMBERSTON P., MOHAN N.: 'New directions in DC-DC power conversion based on idealized concepts leading ultimately to the asymmetrical duty-cycle power converter', IEEE Trans. Circuits Syst. I: Fund. Theor. Appl., 1997, 44, (8), pp. 722-727
- [10] [10] K. Yoshida, T. Maeoka, T. Ishii, and T. Ninomiya, "A novel zero-voltage-switched half-bridged converter with active current-clamped transformer," in Proc. IEEE PESC'96, 1996, pp. 632-637.
- [11] [11] "ZVS-PWM half-bridge using active current clamping with an auxiliary of a transformer," in Proc. IEEE PESC'98, 1998, pp. 942-947.
- [12] [12] H. Mao, J. Abu-Qahouq, S. Luo, and I. Batarseh, "Zero-voltage- switching half-bridge dc-dc converter with modified PWM control method," IEEE Trans. Power Electron., vol. 19, no. 4, pp. 947-958, Jul.2004.
- [13] [13] H. Mao, S. Deng, and I. Batarseh, "An active-clamp snubber for isolated half-bridge dc-dc converters," in Proc. 29th Annu. Conf. IEEE Industrial Electronics Soc. IECON'03, 2003, pp. 42-48.
- [14] [14] H. Mao, J. Abu-Qahouq, S. Luo, and I. Batarseh, "New zero-voltage-switching half-bridge dc dc converter and PWM control method," in Proc. 18th Annu. IEEE Applied Power Electronics Conf. Expo (APEC'03), vol. 2, Feb. 2003, pp. 635-640.

برای طیف EMI بین ۰ تا ۱۵۰ کیلوهرتز پیک ولتاژ ۹۵/۵۶dB μ V است. همانطور که مشاهده می‌شود با شیب ملایم EMI هدایتی از ۱ مگاهرتز به تدریج کاهش می‌یابد.



شکل (۶) طیف EMI اندازه‌گیری شده از 0 Hz تا 150 kHz مبدل نیم‌پل فلی‌بک سوئیچینگ نرم پیشنهاد شده در [۱] (در این شکل محور افقی بر حسب MHz و محور عمودی بر حسب mV)

۶- نتیجه گیری

همانطور که گفته شد، یکی از راه‌های کاهش EMI هدایتی استفاده از تکنیک سوئیچینگ نرم است. در این مبدل برای تحقق تکنیک سوئیچینگ نرم از روش کنترل نامتقارن استفاده شده است که به علت خصوصیات ذاتی مبدل نیم‌پل نامتقارن، سوئیچ‌های قدرت در طرف اولیه در ZVS روشن شده و به علت وجود سلف نشستی، ZCS خاموش می‌شوند. تلفات سوئیچینگ نیز به علت سوئیچینگ نرم و همچنین استفاده از سوئیچ به جای دیود باعث می‌شود که این مبدل نسبت به مبدل نیم‌پل سخت تلفات کمتری داشته باشد. نتایج شبیه سازی در توان ۴۰۰ وات و ولتاژ خروجی ۲۴ ولت با استفاده از برنامه Pspice بدست آمده است که نشان از کاهش EMI هدایتی به میزان ۹۹/۳۶dB μ V می‌دهد.

مراجع

- [1] [1] G. Y. Jeong, "High efficiency asymmetrical half-bridge flyback converter using a new voltage-driven synchronous rectifier," Power Electronics, IET, vol. 3, pp. 18-32, 2010.
- [2] [2] ALOU P., GARCI 'AO, COBOS J.A., UCEDA J., RASCON M.: 'Flyback with active clamp: a suitable topology for low power and very wide input voltage range applications'. IEEE Applied Power Electronics Conf., 2002, vol. 1, pp. 242-248