

بررسی و مقایسه بر روی مبدل های باک درهم تنیده سویچینگ نرم ZVT

علی آریان^۱، محمد روح الله یزدانی^۲

^۱ دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات اصفهان، aliarian68@gmail

^۲ دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، m.yazdani@khuif.ac.ir

چکیده- برای کاهش اندازه رپیل جریان و افزایش فرکانس آن در مبدل باک از روش در هم تنیده کردن استفاده می شود. حجم فیلتر خروجی در مبدل باک در هم تنیده نسبت به مبدل باک پایه کمتر می باشد و به همین خاطر پاسخ دینامیکی در این مبدل های سریع تر است. علاوه بر مزایای مبدل باک در هم تنیده، این مبدل از شرایط سوئیچینگ سخت رنج می برد و سخت بودن کلیدزنی در این مبدل افزایش فرکانس کلیدزنی را در آن محدود می کند. در این مقاله با بررسی اجمالی تعدادی از مبدل های باک سویچینگ نرم و ارائه ی یک جدول، به مقایسه ی این مدارهای کمکی پرداخته شده است.

کلید واژه: در هم تنیده ، سویچینگ نرم ، مبدل باک

1- مقدمه

می توان، سادگی در ساختار و روش کنترل این مبدل دانست [۱]-[۷] ایده درهم تنیده کردن روشی مناسب، برای کاهش رپیل جریان و افزایش فرکانس آن در مبدل های کلیدزنی است. به همین دلیل مبدل باک درهم تنیده انتخابی مناسب برای کاربردهایی است که به یک مبدل کاهنده غیر ایزوله با جریان خروجی بالا و رپیل کم نیاز است. شکل ۱-۱، یک مبدل باک درهم تنیده دوفاز و شکل ۱-۲، شکل موج های کلیدی آن را نشان می دهد.

از جمله مزایای دیگر این مبدل، افزایش سرعت پاسخ گذرا و کاهش اندازه فیلتر خروجی را می توان نام برد [۸]-[۹]. در واقع با درهم تنیده کردن مبدل ها، فرکانس موثر برای طراحی خازن خروجی افزایش پیدا می کند. اما این مبدل علاوه بر مزایای گفته شده، مشکلاتی نیز دارد. یکی از مشکلات مبدل باک درهم تنیده ، برابر بودن استرس ولتاژ کلیدها با سطح ولتاژ ورودی است که در کاربردهای با سطح ولتاژ بالا، مجبور به انتخاب کلیدی می شویم که ولتاژ آن بیشتر از ورودی باشد.

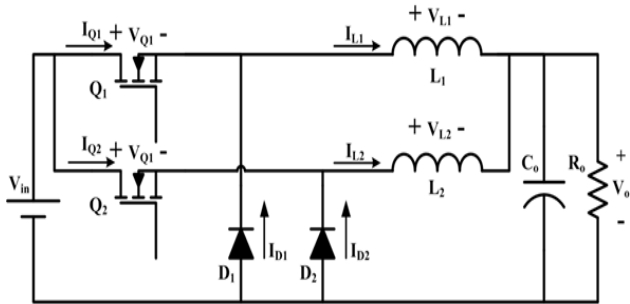
توانایی های مبدل های کلیدزنی DC-DC ، آنها را به قسمت مهمی از تجهیزات الکتریکی امروزی تبدیل کرده است. توانایی پردازش توان در حجم مناسب و بازده بالا و همچنین سادگی تطبیق با کاربردهای مورد نیاز از مزایای این مبدل ها است. در کاربردهایی که نیاز به یک مبدل دارای جریان خروجی با رپیل کم باشد، از مبدل های کلیدزنی پایه مانند مبدل باک، چوک^۱ و زتا^۲ استفاده می شود. در میان این مبدل ها، مبدل باک به دلیل تعداد اجزای کمتر و سادگی مدار کنترل، بیشترین استفاده را دارد. امروزه مبدل باک درهم تنیده^۳ بعنوان یک مبدل کاهنده غیر ایزوله که قابلیت ایجاد جریان خروجی زیاد با رپیل کم را دارد، استفاده می شود و دلیل استفاده گسترده از این مبدل را

^۱ Cuk

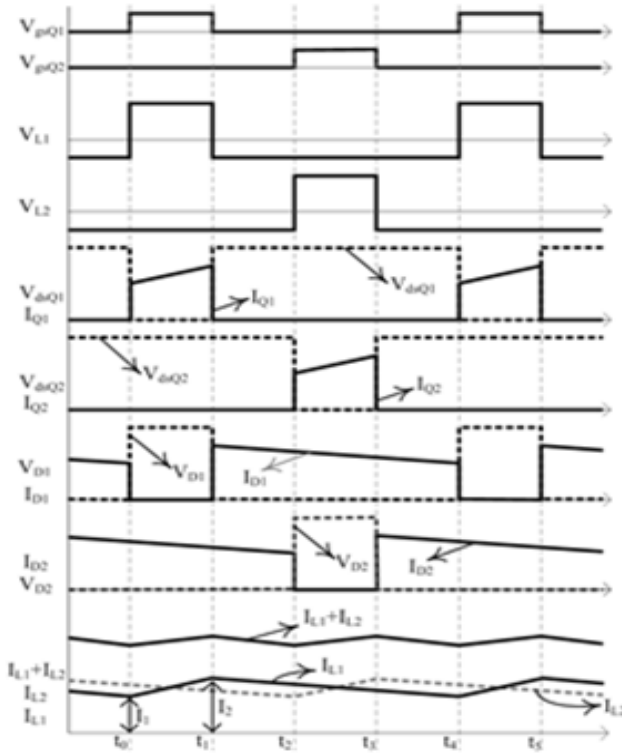
^۲ Zeta

^۳ Interleaved Buck Converter

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



شکل ۱-۱- مبدل باک درهم تنیده



شکل ۱-۲- شکل موج های کلیدی عملکرد مبدل باک درهم تنیده

۲ - سویچینگ نرم

۱-۲- مبدل باک درهم تنیده ZVT اول

بررسی مبدل باک درهم تنیده کلیدزنی در ولتاژ صفر با مبدل نشان داده شده در شکل ۱-۲، آغاز می شود [۱۱]. این مبدل فقط از یک کلید کمکی برای رسیدن به مشخصه ZVT برای کلید های اصلی استفاده می کند. البته مدار کمکی دو دایود

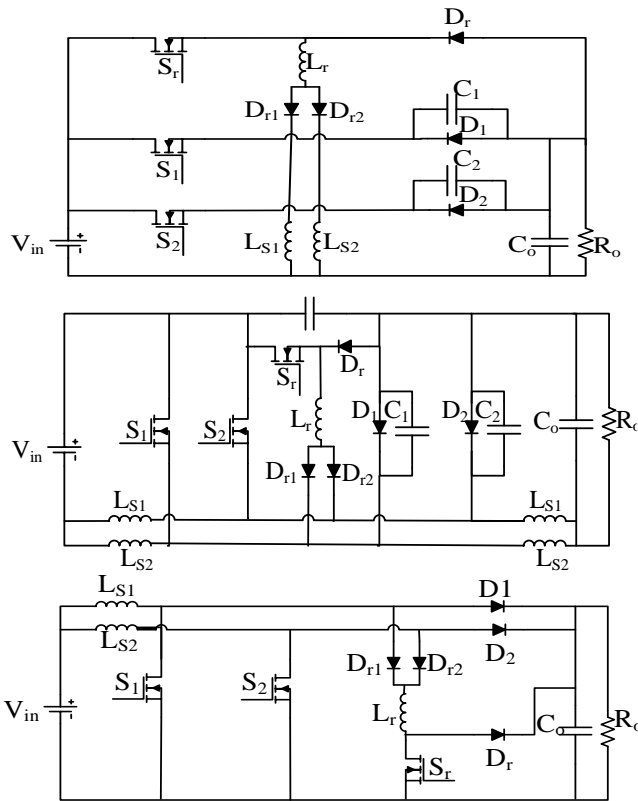
بیان این نکته ضروریست که قطعات نیمه هادی ولتاژ بالا از مشخصه های ضعیفی چون قیمت بالا، زمان بازیابی معکوس زیاد و افت ولتاژ مستقیم زیاد رنج می برند [۱۰]. علاوه بر این مشکلات که خود می توانند باعث افزایش تلفات هدایتی قطعات نیمه هادی و افزایش مشکلات بازیابی معکوس دایودها شوند، بالا بودن استرس ولتاژ قطعات موجب افزایش تلفات کلیدزنی می گردد. این افزایش بدین صورت است که چون در هنگام روشن شدن یا خاموش شدن، ولتاژ قطعه باید از سطح بالاتری به سطح صفر کاهش یابد ولتاژ کلید شروع به افزایش می کند تا جریان دایود صفر شود و بعد از خاموش شدن دایود ولتاژ کلید شروع به کاهش می کند.

این همپوشانی بین جریان و ولتاژ کلید، باعث ایجاد تلفاتی به نام تلفات کلیدزنی سخت^۴ می شود. این تلفات وقتی بیشتر نمایان می شوند که طراح بخواهد برای بهبود عملکرد دینامیکی و افزایش چگالی توان مبدل، فرکانس کلیدزنی را افزایش دهد. راه حل بهبود این مشکل را می توان، ایجاد شرایط کلیدزنی نرم^۵ برای این مبدل ها، با استفاده از روش های کلیدزنی نرم، معرفی کرد. در این روش که نمونه ای از آن در [۱۱] معرفی شده است با استفاده از یک مدار کمکی می توان شرایط کلیدزنی نرم را برای مبدل باک درهم تنیده ایجاد کرد. در این روش تمامی انرژی ورودی به مدار کمکی به چرخه پردازش توان باز می گردد و همچنین انرژی ذخیره شده در خازن خروجی کلیدهای مبدل نیز قابل بازیابی خواهد بود. لازم به ذکر است برای ایجاد بهبود در بازده مبدل باک درهم تنیده، باید تمامی قطعات نیمه هادی اعم از اصلی و کمکی دارای شرایط کلیدزنی نرم باشند.

^۴ Hard Switching Losses

^۵ Soft Switching

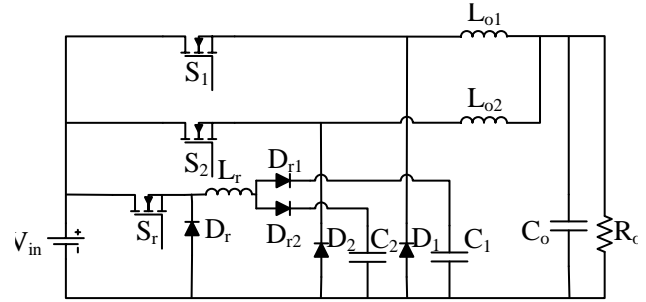
۲۰ و ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)



شکل ۲-۲- دیگر ساختارهای استخراج شده از مبدل باک درهم‌تنیده ZVT [۱۱]

شکل ۲-۳ مبدل های ZVT ایزوله دو فاز را نشان می‌دهد. در این مبدل ها، یک سلف کوپل شده همانند سلف رزونانسی، برای انتقال انرژی گذرای رزونانسی به منبع استفاده شده است.

یکسوکنده، یک دایود هرزگردی و یک سلف رزونانسی نیز نیاز دارد. لازم به ذکر است که در این مبدل کلید کمکی به صورت سخت خاموش می‌شود، لذا تلفات از کلیدهای اصلی خارج می‌شود ولی بازده مبدل افزایش چشمگیری ندارد [۱۳]

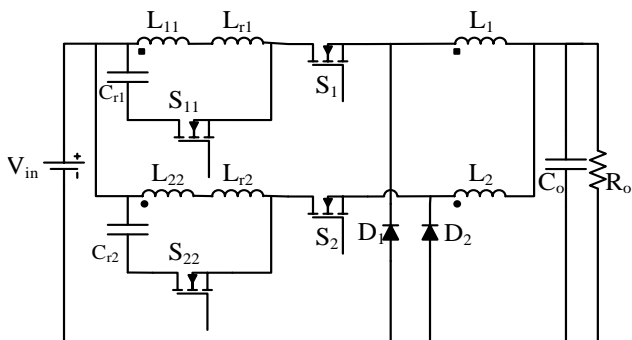


شکل ۲-۱- مبدل باک درهم‌تنیده ZVT اول [۱۱]

ایده مبدل دوفاز ZVT، همان طور که در مبدل باک دو فاز نشان داده شد، می‌تواند به دیگر مبدل های کلیدزنی نیز گسترش یابد. شکل ۲-۲، توپولوژی سه مبدل ZVT دو فاز را نشان می‌دهد. یک مدار کمکی مشابه مداری که برای ایجاد شرایط ZVT در مبدل باک استفاده شد، در این مبدل ها نیز استفاده شده است.

۳-۲- مبدل باک درهم تنیده ZVT سوم

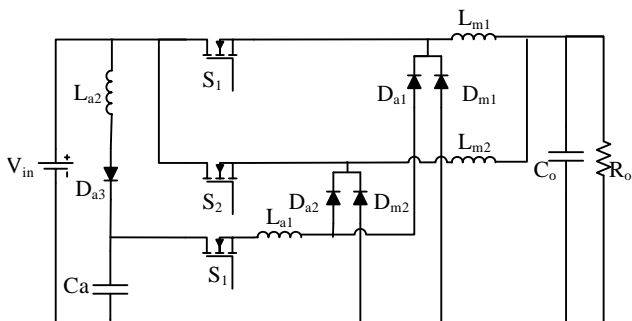
مدار مشخص شده در شکل ۵-۲ یک مبدل باک درهم تنیده با سلفهای تزویج شده را نشان می دهد که در آن از مدار محدودکننده فعال نیز استفاده شده است [۱۵]. این مدار قابلیت ایجاد بهره کاهش یافته را، بدون ایجاد محدودیت برای زمان وظیفه کلید اصلی دارد. مدار محدودکننده فعال قرار داده شده در شکل ۵-۲ جهت بازیابی انرژی نشتی سلفها و محدود کردن کلیدهای اصلی و ولتاژ ایجاد شده روی کلیدها است. در این مبدل کلیدهای اصلی و کمکی در ولتاژ صفر روشن می شوند.



شکل ۵-۲- مبدل باک درهم تنیده ZVT سوم [۱۵]

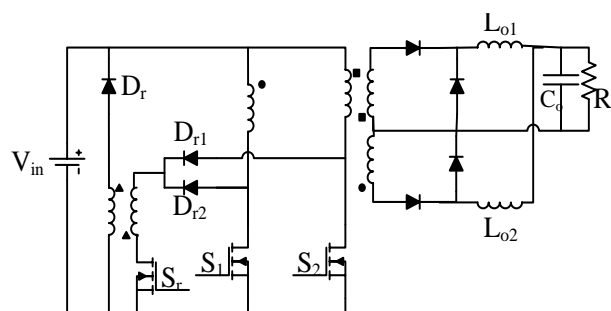
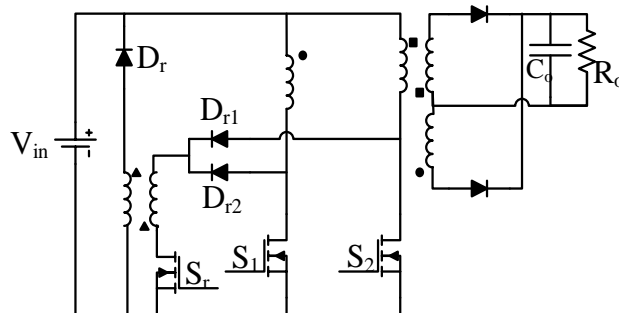
۴-۲- مبدل باک درهم تنیده ZVT چهارم

یک مبدل باک درهم تنیده ZVT چهارم با استفاده از یک کلید کمکی در [16] معرفی شده است. شکل ۶-۲ این مبدل را نشان می دهد. این مبدل از دو مبدل باک یکسان که به صورت موازی به یکدیگر متصل شده اند و یک مدار کمکی تشکیل شده است.



شکل ۶-۲- مبدل باک درهم تنیده ZVT با یک کلید کمکی پیشنهادی [16]

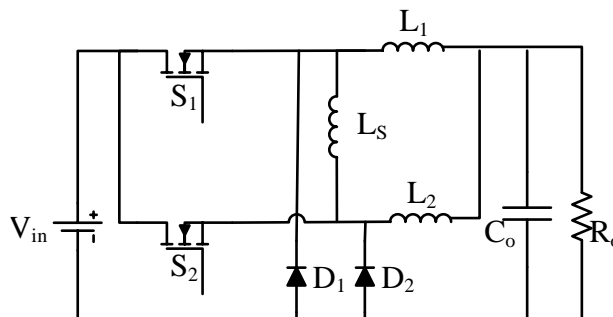
ایده مبدل باک درهم تنیده ZVT چهارم، بر روی مبدل های درهم تنیده دیگر نیز قابل پیاده سازی می باشد که در شکل ۷-۲



شکل ۳-۲- ساختارهای درهم تنیده ایزوله استخراج شده از مبدل باک درهم تنیده ZVT اول [۱۱]

۲-۲- مبدل باک درهم تنیده ZVT دوم

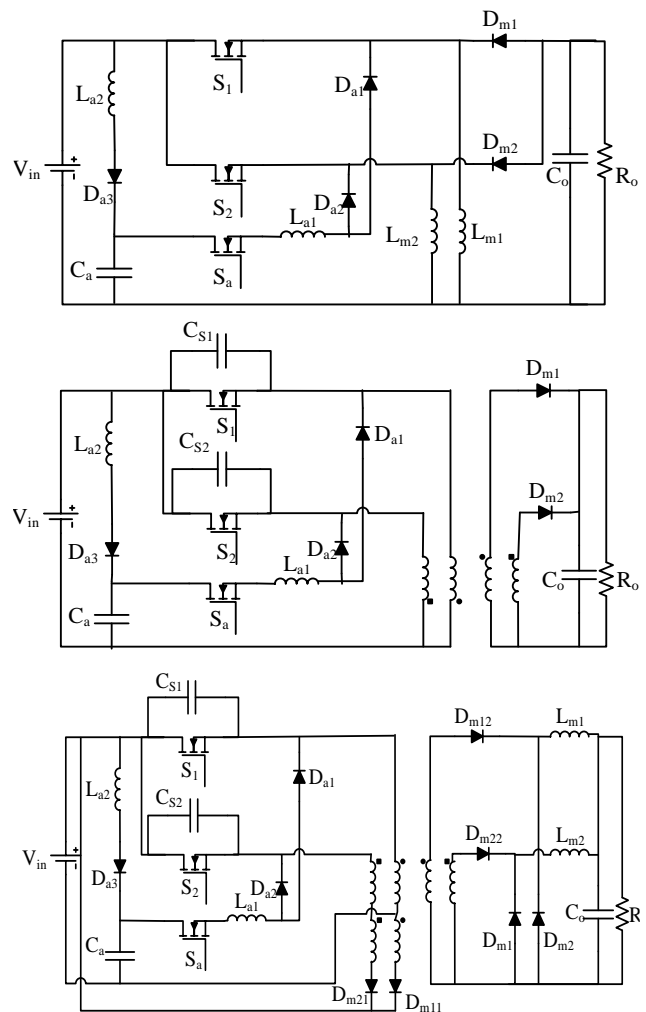
شکل ۴-۲ ساختار این مبدل باک درهم تنیده را نشان می دهد همانطور که در شکل مشاهده می شود، دو مبدل باک یکسان به صورت موازی به یکدیگر متصل شده اند و خروجی آنها مشترک است. یک سلف نیز برای ایجاد شرایط کلیدزنی در ولتاژ صفر بین دو مبدل قرار گرفته است.



شکل ۴-۲- مدار معادل ساده شده مبدل باک درهم تنیده ZVT دوم [۱۴]

۲۰ و ۲۱ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

نشان داده شده‌اند. شکل ۲-۷- الف مبدل باک- بوست، شکل ۲-۷- ب مبدل فلای-بک و شکل ۲-۷- پ مبدل فوروارد درهم تنبیده کلیدزنی نرم را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در تمامی این مبدل‌ها نیز، مانند مبدل باک درهم تنبیده ZVT چهارم، کلیدزنی تمامی قطعات نیمه‌هادی به صورت نرم صورت می‌گیرد.



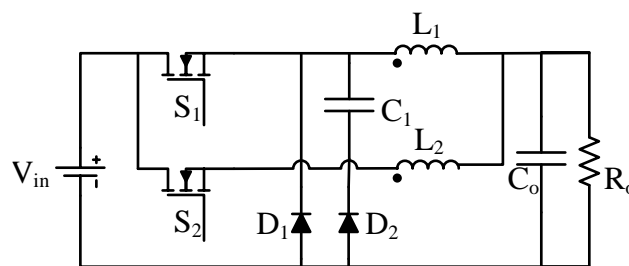
شکل ۲-۷- پیاده سازی ایده مبدل باک درهم تنبیده ZVT چهارم بر روی دیگر مبدل‌های درهم تنبیده [16]
 (الف) مبدل باک-بوست، (ب) مبدل فلای-بک و (پ) مبدل فوروارد درهم تنبیده کلیدزنی نرم

۵-۲ - مبدل باک درهم تنیده ZVT پنجم

جدول (۲)

تعداد المانهای پسیو مدار کمکی	تعداد تعداد دیودهای مدار کمکی	تعداد سوئیچهای مدار کمکی	بازده	نوع سوئیچینگ نرم
3	3	۱	97%	مبدل باک درهم تنیده اول ZVT
1	0	۰	94%	مبدل باک درهم تنیده دوم ZVT
6	0	۲	89%	مبدل باک درهم تنیده سوم ZVT
3	3	۱	94%	مبدل باک درهم تنیده چهارم ZVT
1	0	۰	84%	مبدل باک درهم تنیده پنجم ZVT

در مبدل باک درهم تنیده ZVT پنجم (شکل ۲-۸) که در [۱۲] ارائه شده است، سلفهای مبدل به یکدیگر تزویج شده اند و بین دو ماژول درهم تنیده یک خازن اسنابر قرار گرفته است. این خازن با محدود کردن سرعت افزایش ولتاژ درین سورس کلیدها، تلفات خاموش شدن کلید را کاهش می دهد. اگرچه در این مبدل، با انتخاب حالت عملکرد مرزی بین C1CM و DICM برای جریان سلفها، تلفات روشن شدن نیز کاهش یافته است ولی استرس جریان کلیدها و سلفها و ریپل جریان خروجی مبدل در مقایسه با مبدل باک درهم تنیده کلیدزنی سخت، افزایش یافته است. افزایش استرس جریان کلیدها باعث افزایش تلفات هدایتی می شود.



شکل ۲-۸- باک درهم تنیده ZVT پنجم [۱۲]

۳- نتیجه گیری

در این مقاله، مبدل های باک درهم تنیده کلیدزنی نرم فعال بررسی شده است. یکی از روش های ایجاد شرایط کلیدزنی نرم در مبدل های کلیدزنی، روش های کلیدزنی نرم فعال PWM است. در این مبدل ها که با عنوان مبدل های ZVT شناخته می شوند، از یک مدار کمکی شامل حداقل یک کلید فعال، استفاده می شود و مدار کمکی، شرایط کلیدزنی نرم را برای کلیدهای اصلی مبدل فراهم می آورد. در روش های ZVT کلیدزنی کلید اصلی مبدل توسط یک مدار کمکی فعال، در ولتاژ صفر صورت می پذیرد در واقع در این مبدل ها مدار کمکی را می توان با کلید کمکی فعال کرد. در مبدل های ZVT می توان کلیه انرژی ورودی به مدار

اعداد نوشته شده در جدول های (۱) و (۲) با توجه به مقاله های مرجع بیان شده است.

جدول (۱)

نوع سوئیچینگ نرم	استرس ولتاژ سوئیچ های کمکی	استرس ولتاژ سوئیچ های اصلی
مبدل باک درهم تنیده ZVT اول	Vin	Vin
مبدل باک درهم تنیده ZVT دوم	-	1.6Vin
مبدل باک درهم تنیده ZVT سوم	2.34Vin	2Vin
مبدل باک درهم تنیده ZVT چهارم	3Vin	Vin
مبدل باک درهم تنیده ZVT پنجم	-	Vin

- [15] Tsai, C.-T., Chih-Lung Shen, "Interleaved soft-switching coupled-buck converter with active-clamp circuits", *Power Electronics and Drive Systems, PEDS 2009. International Conference on*, vol., no., pp.1113, 1118, 2-5, Nov. 2009.
- [16] M. Esteki, E. Adib, H. Farzanehfard, and S. A. Arshadi "Auxiliary circuit for zero voltage transition interleaved PWM buck converter," *IET Power Electron.*, Aug. 2015, in press

کمکی را به چرخه پردازش توان بازگرداند و همچنین انرژی ذخیره شده در خازن خروجی کلیدها را نیز بازیابی نمود.

مراجع

- [1] Pit-Leong Wong, Peng Xu, Yang, B., Lee, F.C., "Performance improvements of interleaving VRMs with coupling inductors", *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol.16, no.4, pp.499, 507, Jul. 2001.
- [2] Yang Qiu, Ming Xu, Yao, K., Juanjuan Sun, Lee, F.C., "Multifrequency small-signal model for buck and multiphase buck converters", *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol.21, no.5, pp.1185, 1192, Sept. 2006.
- [3] Ilic, M., Maksimovic, D., "Interleaved zero-current-transition buck converter", *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol.43, no.6, pp.1619, 1627, Nov. 2007.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Garcia, J., Calleja, A.J., López rominas, E., Gacio Vaquero, D., Campa, L., "Interleaved buck converter for fast PWM dimming of high-brightness LEDs",
- [9] Forest, F., Labouré, E., 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.
- [10] Xiong Du, Luwei Zhou, Heng-Ming Tai., "Double-frequency buck converter", *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.56, no.5, pp.1690, 1698, May 2009.
- [11] Jung-Goo Cho, Ju-Won Baek, Geun-Hie Rim, Iouri Kang, "Novel zero-voltage-transition PWM multiphase converters", *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol.13, no.1, pp.152,159, Jan 1998.
- [12] Yaow-Ming Chen, Sheng-Yu Tseng, Tsai, C.-T., Tsai-Fu Wu, "Interleaved buck converters with a single-capacitor turn-off snubber", *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on*, vol.40, no.3, pp.954,967, July 2004.
- [13] Hua, G., Leu, C.S., Yimin Jiang, Lee, F.C.Y., "Novel zero-voltage-transition PWM converters", *Power Electronics, IEEE Transactions on*, vol.9, no.2, pp.213, 219, Mar 1994.
- [11] Moo, C.S., Yu Jen Chen, Cheng, H.L., Yao Ching Hsieh, "Twin-Buck converter with zero-voltage transition", *Industrial Electronics, IEEE Transactions on*, vol.58, no.6, pp.2366, 2371, June 2011.