

۲۰۱۲ آبان ماه ۱۳۹۴ - دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)

مروری بر مبدل های دو جهته سوئیچینگ نرم

محبت وفا^۱، دکتر محمد روح اله یزدانی^۲

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، vafamohabat@yahoo.com

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

چکیده - امروزه گسترش مبدل های دو جهته، یکی از موضوعات مهم در الکترونیک قدرت می باشد. مبدل دو جهته، تبدیلی است که در آن امکان انتقال توان بین دو منبع در هر دو جهت وجود دارد. در این مبدلها جهت عبور جریان می تواند معکوس شود، در حالیکه پلاریته ولتاژ هر دو منبعی که به مبدل متصل است بدون تغییر باقی می ماند. مبدل های دو جهته از مشکلاتی نظیر تلفات سوئیچینگ نرم، تلفات بازبایی معکوس دایودها و تلفات خازنی سوئیچ در لحظات روشن شدن رنج می برند. در این مقاله به بررسی انواع روشهای ایجاد شرایط کلیدزنی نرم در مبدل های دو جهته برای رفع مشکلات یاد شده، پرداخته شده است و معایب و مزایای هر یک از این روشها بیان شده است. کلید واژه - مبدل های دو جهته، روش های کلیدزنی نرم.

[۱]-[۳]. یک BDC مناسب برای این کاربردها باید

ویژگی هایی را مانند تعداد قطعات کم، بازده بالا، تداخل الکترومغناطیسی کم و ریپل جریان کم در سمت باتری را داشته باشید.

اگر نسبت تبدیل ولتاژ خیلی کم/بالا و ایزولاسیون مورد نیاز نباشد، عموماً یک مبدل دو جهته باک/بوست به خاطر سادگی ساختار و سادگی روش کنترل مناسب ترین گزینه می باشد [۱-۳].

در مبدل های کلیدزنی افزایش فرکانس موجب کاهش قابل توجه اندازه قطعات پسیو و همچنین بهبود پاسخ دینامیکی سیستم می شود. ولی به هر حال در مبدل های کلیدزنی سخت با افزایش فرکانس کلیدزنی تلفات کلیدزنی و تداخلات الکترومغناطیسی مبدل شدیداً افزایش می یابد.

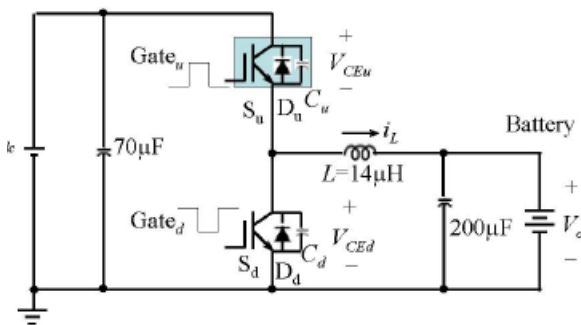
در مبدل های دو جهته به منظور جلوگیری از

۱- مقدمه

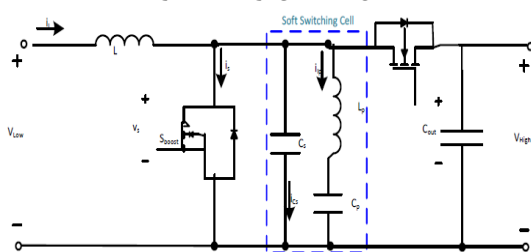
با توجه به اینکه تقاضا برای سیستم هایی که اجازه عبور توان بین دو منبع DC در هر دو جهت را بدهند، افزایش یافته است، مبدل های dc-dc دو جهته (BDC) بصورت گسترده در کاربردهای صنعتی زیادی استفاده می شوند. BDC ها قسمتهای کلیدی در سیستم های منابع انرژی دوگانه دارای المان های ذخیره کننده انرژی هستند که نقش کنترل توان، تبدیل سطح ولتاژ میان قطعات ذخیره انرژی و حداکثر کردن عمر ذخیره سازی با کنترل صحیح آن را بازی می کنند. BDC ها بصورت گسترده در کاربردهایی از جمله منابع تغذیه بدون وقفه (UPS)، سیستم های فوتولتایک، سیستم های پیل سوختی، خودرو های هیبریدی و سیستم های اتوماتیو دو ولتاژی بکار می رود

۲-۱- مبدل های دو جهته کلید زنی نرم بدون مدار کمکی

مبدل های دسته اول [۵]-[۶]، به دلیل عدم استفاده از مدار کمکی از مزایایی همچون سادگی ساختار و هزینه پیاده سازی پایین برخوردار می باشند. شکل ۱ مبدل ارائه شده در [۶] را به عنوان نمونه ای از مبدل های دسته اول نشان می دهد. علیرغم مزایای یاد شده، این مبدل ها استرس جریان بالایی به المان های نیمه هادی تحمیل می کنند. در این مبدل ها عموماً عملکرد به صورت جریان گسسته برای سلف (DCM) می باشد و به این خاطر ریپل جریان در سمت منبع ورودی بالا می باشد. برای رفع مشکل ریپل بالای جریان در سمت ورودی عموماً از این مبدل ها به صورت درهم تنیده استفاده می شود [۵].



شکل ۱: مبدل ارائه شده در [۶]



شکل ۲: مبدل ارائه شده در [۸]

افزایش تعداد قطعات، عموماً دیود موازی معکوس سوئیچ های قدرت نقش دیود مبدل را ایفا می کنند و به خاطر کند بودن این دیود مشکل بازیابی معکوس دیودها در مبدل های دو جهته تشدید می شود. در لحظه روشن شدن سوئیچ اصلی، زمان بازیابی معکوس دیود موازی معکوس سوئیچ دیگر باعث اسپایک زیاد جریان در سوئیچ اصلی قدرت می شود [۴]-[۵]. برای حل این مشکل تکنیک های سوئیچینگ نرم برای مبدل های دو جهته توسعه یافته اند.

این مقاله از سه قسمت کلی تشکیل شده است. بعد از این قسمت مقدمه، روشهایی که تا کنون جهت برطرف کردن مشکلات مبدل دو جهته dc-dc ارائه شده است در قسمت ۲ مورد بررسی قرار می گیرند. در قسمت آخر نیز یک جمع بندی کلی از ساختار ها مورد بحث قرار گرفته انجام خواهد شد.

۲-۲ مبدل های دو جهته کلید زنی نرم

در یک دسته بندی کلی می توان مبدل های دو جهته غیر ایزوله کلید زنی نرم به چهار دسته زیر تقسیم کرد

الف- مبدل های دو جهته کلید زنی نرم بدون مدار

کمکی [۵]-[۶]

ب- مبدل های دو جهته کلید زنی نرم بدون سوئیچ

کمکی [۷]-[۸]

پ- مبدل های دو جهته کلید زنی نرم با کلمپ

فعال [۹]-[۱۱]

ت- مبدل های دو جهته کلید زنی نرم ZVT و

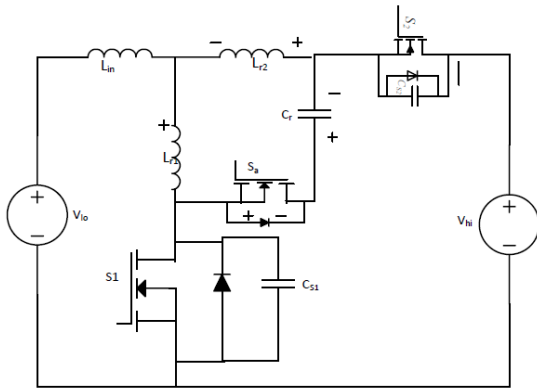
ZCT [۱۵]-[۱۶]

در ادامه به بررسی معایب و مزایای هر یک از این

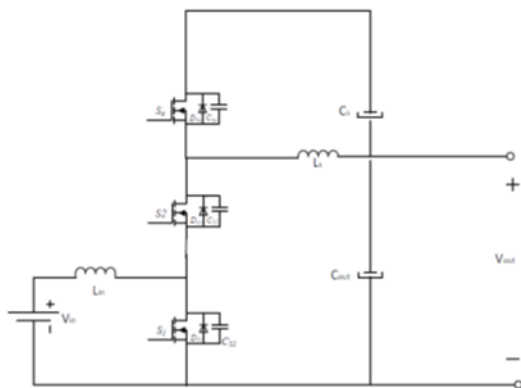
مبدل ها پرداخته می شود.

نمی کند.

در مبدل ارائه شده در [۱۰] که در شکل ۳ نشان داده شده است کلیه سوئیچ های مبدل اعم از سوئیچ های اصلی و کمکی در ولتاژ صفر کلید زنی می شوند. با این حال در مبدل ارائه شده در [۱۰]، جریان گردشی مبدل بالا می باشد. مشکل جریان گردشی در [۱۱] حل شده است. با این حال در مبدل های [۱۰] و [۱۱]، سوئیچ کمکی به صورت ZCS روشن می شود که منجر به ایجاد تلفات خازنی سوئیچ در حین روشن شدن خواهد شد. یکی از مشکل های کلیه مبدل های دسته سوم این است که در این مبدل ها استرس ولتاژ سوئیچ ها به اندازه ولتاژ خازن کلمپ افزایش می یابد.



شکل ۳: مبدل ارائه شده در [۱۰]



شکل ۴: مبدل ارائه شده در [۹]

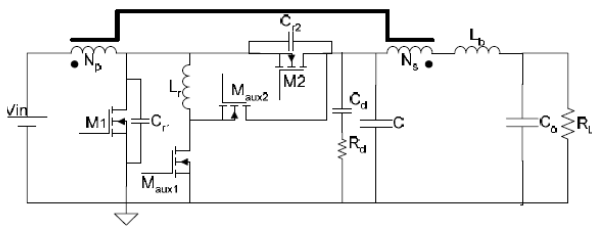
۲-۲- مبدل های دو جهته کلید زنی نرم بدون سوئیچ کمکی

در مبدل های دسته دوم [۷]-[۸]، تنها با اضافه نمودن المان های کمکی غیر فعال و بدون استفاده از سوئیچ کمکی شرایط کلید زنی نرم برای مبدل فراهم می شود. مزیت عمده این مبدل ها نسبت به مبدل های دسته قبلی پیوسته بودن جریان سلف مبدل می باشد که باعث کم شدن ریپل جریان در سمت منبع ورودی می شود. با این حال در کلیه این مبدل ها همچنان مشکل استرس جریان بالا و تلفات روشن شدن خازنی وجود دارد. همچنین به خاطر عدم استفاده از کلیدهای کمکی عملکرد این مبدلها به گونه ای است که در آنها جریان گردشی وجود دارد. این جریان گردشی باعث ایجاد تلفات گردشی و تحمیل استرس جریان اضافی به المان های نیمه هادی خواهد شد. شکل ۲ مبدل ارائه شده در [۷] را نشان می دهد که نمونه ای از مبدل های دسته دوم می باشد.

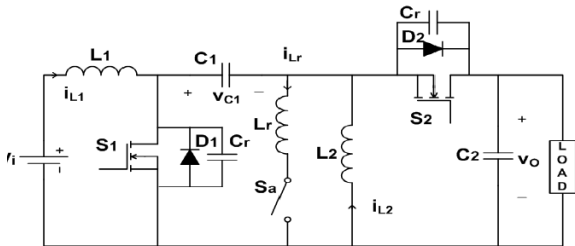
۲-۳- مبدل های دو جهته کلید زنی نرم با کلمپ فعال

مبدل های دسته اول و دوم از استرس جریان بالا در المان ها رنج می برند که این مسئله باعث ایجاد محدودیت در استفاده از آنها در کاربردهای جریان بالا می شود. مبدل های دسته سوم و چهارم از مدارهای کمکی دارای سوئیچ استفاده می کنند. مبدل های دسته سوم [۹]-[۱۱]، از تکنیک کلمپ فعال برای فراهم آوردن کلید زنی نرم استفاده می کنند. در این مبدل ها، استرس جریان قطعات مشابه با مبدل های دو جهته پایه می باشد و مدار کلمپ فعال استرس جریان اضافه ای را به قطعات نیمه هادی مبدل تحمیل

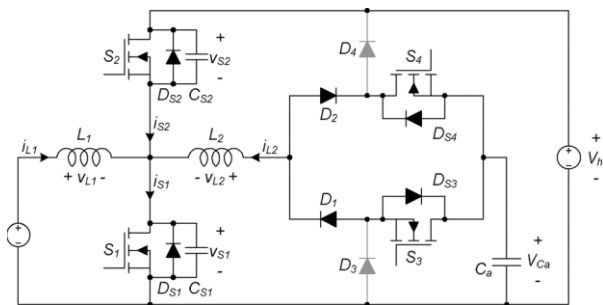
مکمل یکدیگر می باشد، کلید زنی نرم در یکی از وضعیت های عملکرد مبدل از بین خواهد رفت. به منظور رفع این مشکل در [۱۴]، از یک منبع ولتاژ اضافی مبتنی بر یک یا دو خازن سری استفاده شده است. اما در این مبدل ها، مدار کمکی در هر سیکل کلیدزنی بایستی دو بار به



شکل ۵: مبدل ارائه شده در [۱۱]



شکل ۶: مبدل ارائه شده در [۱۳]



شکل ۷: مبدل ارائه شده در [۱۴]

مبدل اعمال شود. این مسئله منجر به افزایش تلفات کلید زنی، تلفات هدایتی و پیچیدگی مدار کنترل می شود.

۲-۴- مبدل های دو جهته کلید زنی نرم ZVT و ZCT

دسته آخر مبدل های دو جهته کلید زنی نرم، مبدل های مبدل های دو جهته کلید زنی نرم ZVT و ZCT [۱۲]-[۱۶] می باشند. در این مبدل ها، مشکلاتی نظیر استرس جریان بالا و جریان گردشی نسبت به مبدل های قبلی کمتر می باشد ولی در عوض در آنها از دو سوئیچ کمکی استفاده شده است.

در مبدل ZVT ارائه در [۱۲]، استرس جریان و استرس ولتاژ اضافی به المان های نیمه هادی تحمیل نمی شود. همچنین جریان گردشی ایجاد شده توسط مدار کمکی بسیار پایین می باشد. با این حال مشکل اصلی این مبدل ها، خاموش شدن سوئیچ های کمکی به صورت سخت می باشد. به علاوه استرس ولتاژ سوئیچ های کمکی در حد سوئیچ های اصلی و در سطح ولتاژ خروجی می باشد. به منظور رفع مشکل کلید زنی سخت سوئیچ کمکی در [۱۳]، از سلف های کوپل شونده استفاده شده است. با این حال اضافه نمودن سلف های کوپل شونده منجر به افزایش استرس ولتاژ سوئیچ های کمکی می شود.

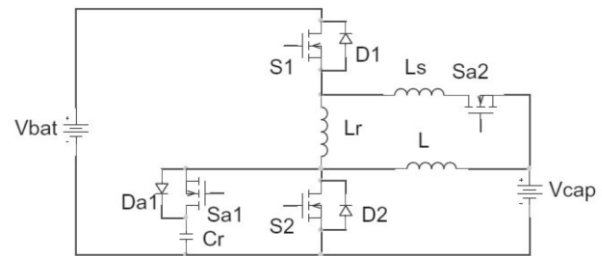
مبدل ZVT ارائه شده در [۱۳]، ضمن داشتن مزایای مبدل ارائه شده در [۱۲] از جمله عدم وجود استرس ولتاژ و جریان اضافی و جریان گردشی پایین مبدل، مشکل کلید زنی سخت سوئیچ های کمکی وجود ندارد. همچنین استرس ولتاژ سوئیچ های کمکی در این مبدل، نسبت به مبدل ارائه شده در [۱۲] بسیار کمتر می باشد. با این حال ضعف عمده این مبدل، از دست رفتن کلید زنی نرم برای ضرایب وظیفه پایین تر از ۰/۵ می باشد. به دلیل اینکه ضریب وظیفه مبدل های دو جهته در وضعیت عملکرد مستقیم و معکوس

است و لزوم استفاده از تکنیک های کلید زنی نرم در این مبدل ها بیش از دیگر مبدل ها مشهود است. در قسمت دوم به بررسی مبدلهای دو جهته غیر ایزوله کلید زنی نرم که پیش از این ارائه شده اند، پرداخته شد.

با توجه به دسته بندی انجام شده برای مبدل های

جدول ۱ مشخصات مبدل های دوجهته ارائه شده در مقالات دوجهته غیر ایزوله کلید زنی نرم و مطالب بیان شده در قسمت قبل، می توان مبدل های دسته اول و دوم را برای محدوده توان پایین مناسب دانست و مبدل های دسته سوم و چهارم را برای کاربردهای توان متوسط بالا به کار برد.

استفاده از تکنیک ZCT نیز در مبدل های [۱۵]- [۱۶] ارائه شد. بر خلاف کلیه مبدل های دوجهته ZVT، در مبدل [۱۵] ZCT تنها از یک سوئیچ کمکی استفاده شده است. با این حال مشکل عمده این مبدل تحمیل استرس ولتاژ و استرس جریان اضافی به المان های نیمه هادی مبدل می باشد. مبدل ZVT-ZCT ارائه شده در [۱۶] نیز ضمن استفاده از دو سوئیچ کمکی، استرس ولتاژ و جریان اضافی به مبدل تحمیل می کند. شکل [۸] مبدل ارائه شده در [۱۶] را نشان می دهد.



شکل ۸: مبدل ارائه شده در [۱۶]

۳- نتیجه گیری

در این مقاله، مبدل های دو جهته غیر ایزوله معرفی گردیده اند و عملکرد و برخی کاربردهای آن مورد بررسی قرار گرفته اند. سپس به بررسی کلید زنی نرم در این مبدل ها پرداخته شده است. در مبدل های سوئیچینگ، افزایش فرکانس سوئیچینگ به منظور کاهش حجم قطعات مورد نیاز می باشد. اما با افزایش فرکانس سوئیچینگ تلفات سوئیچینگ و EMI افزایش می یابد. در مبدل های دو جهته عموماً از دیود بدنه سوئیچ به عنوان دیود یکسو ساز استفاده می شود. کند بودن دیود بدنه سوئیچ نسبت به دیود های متداول، منجر به ایجاد تلفات بالا در مبدل های دو جهته شده

موقعیت استفاده	تعداد سوئیچ کمکی	تعداد دیود کمکی	تعداد قطعات پسیو کمکی	تخمین استرس ولتاژ اضافی به سوئیچ	قابلیت استفاده در توپولوژی های دیگر	PWM
مبدل ارائه شده در [۱]	۰	۱	۱	خیر	خیر	خیر
مبدل ارائه شده در [۲]	۰	۰	۳	خیر	خیر	خیر
مبدل ارائه شده در [۳]	۱	۰	۵	بلی	خیر	بلی
مبدل ارائه شده در [۴]	۱	۰	۵	بلی	خیر	بلی
مبدل ارائه شده	۰	۰	۴	خیر	خیر	بلی

Converter," *IEEE Trans. Power Electron.* , vol.24, no.2, pp.553,558, Feb. 2009

- [11] Jae-Won Yang; Hyun-Lark Do, "High-Efficiency Bidirectional DC-DC Converter With Low Circulating Current and ZVS Characteristic Throughout a Full Range of Loads," *IEEE Trans. Ind. Electron.* , vol.61,no.7, pp.3248,3256, July 2014
- [12] E. Sanchis-Kilders, A. Ferreres, E. Maset, J. B. Ejea, V. Esteve, J. Jordan, A. Garrigos, and J. Calvente, "Soft switching bidirectional battery discharging-charging," in Proc. *IEEE APEC Conf. Rec.*, 2006, pp.
- [13] I.-D. Kim, S.-H. Paeng, J.-W. Ahn, E.-C. Nho, and J.-S. Ko, "New bidirectional ZVS PWM Sepic/Zeta DC-DC converter," in Proc. *IEEE ISIE Conf. Rec.*, 2007, pp. 555-560.
- [14] Yang, J.-W.; Do, H.-L., "Soft-Switching Bidirectional DC-DC Converter Using a Lossless Active Snubber," *IEEE Trans. Circ. Syst. I: Regular Papers*, vol.61, no.5, pp.1588,1596, May 2014
- [15] Ahmadi, M.; Mohammadi, M.R.; Adib, E.; Farzanehfard, H., "Family of non-isolated zero current transition bi-directional converters with one auxiliary switch," *Power Electronics, IET* , vol.5, no.2, pp.158,165, Feb. 2012
- [16] E. Adib and H. Farzanehfard, "Soft switching bidirectional DC-DC converter for ultracapacitor-batteries interface," *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 12, pp. 2879-2884, Dec. 2009.

						در [۵]
بلی	بلی	خیر	۲	۰	۲	مبدل ارائه شده در [۶]
بلی	خیر	خیر	۲	۴	۲	مبدل ارائه شده در [۷]
بلی	خیر	خیر	۱	۱	۰	مبدل ارائه شده در [۸]

مراجع

- [1] Abusara, M.A.; Guerrero, J.M.; Sharkh, S.M., "Line-Interactive UPS for Microgrids," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol.61, no.3, pp.1292,1300, March 2011
- [2] Velasco de la Fuente, D.; Rodríguez, C.L.T.; Garcerá, G.; Figueres, E. González, R.O., "Photovoltaic Power System With Battery Backup With Grid-Connection and Islanded Operation Capabilities," *IEEE Trans. Ind. Electron.* , vol.60, no.4, pp.1571,1581, April 2013
- [3] Garcia, P.; Fernandez, L. M.; Garcia C. A.; Jurado, F.; , "Energy Management System of Fuel-Cell-Battery Hybrid Tramway," *IEEE Trans. Ind. Electron.* , vol.57, no.12, pp.4013-4023, Dec. 2010
- [4] Hyun-Lark Do, "Zero-Voltage-Switching Synchronous Buck Converter With a Coupled Inductor," *IEEE Trans. Ind. Electron.* , vol.58, no.8 pp.3440,3447, Aug. 2011
- [5] Hyun-Lark Do, "Nonisolated Bidirectional Zero-Voltage-Switching DC-DC Converter," *IEEE Trans. Power Electron.* , vol.26, no.9, pp.2563,2569, Sept. 2011
- [6] Junhong Zhang; Jih-Sheng Lai; Rae-young Kim; Wensong Yu, "High-Power Density Design of a Soft-Switching High-Power Bidirectional dc-dc Converter," *Power Electronics, IEEE Transactions on* , vol.22, no.4, pp.1145,1153, July 2007
- [7] Jung, D.-Y.; Hwang, S.-H.; Ji, Y.-H.; Lee, J.-H.; Jung, Y.-C.; Won, C.-Y., "Soft-Switching Bidirectional DC/DC Converter with a LC Series Resonant Circuit," *IEEE Trans. Power Electron.* , vol.28, no.4, pp.1680,1690, April 2013
- [8] Lei Jiang; Mi, C.C.; Siqi Li; Mengyang Zhang; Xi Zhang; Chengliang Yin, "A Novel Soft-Switching Bidirectional DC-DC Converter With Coupled Inductors," *Industry Applications, IEEE Transactions on* , vol.49, no.6, pp.2730,2740, Nov.-Dec. 2013
- [9] dos Santos Garcia Giacomini, P.; Scholtz, J.S.; Mezaroba, M., "Step-Up/Step-Down DC-DC ZVS PWM Converter With Active Clamping," *IEEE Trans. Ind. Electron.* , vol.55, no.10, pp.3635,3643, Oct. 2008
- [10] Das, P.; Laan, B.; Mousavi, S.A.; Moschopoulos, G., "A Nonisolated Bidirectional ZVS-PWM Active Clamped DC-DC