

مبدل باک-بوست سوئیچینگ نرم PWM با تکنیک تقسیم جریان

الهام گرامی^۱ و مجید دلشاد^۲

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد ، elham.grami@yahoo.com

^۲دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان ، delshad.majid@gmail.com

چکیده - در این مقاله مبدل باک-بوست جدیدی از مبدل های سوئیچینگ نرم PWM معرفی می شود که در آن سوئیچ اصلی ZV خاموش و روشن می شود و سوئیچ کمکی ZC روشن و ZV خاموش می شود. در این مبدل مدار کمکی در انتقال انرژی از ورودی به خروجی نیز نقش دارد. دو سوئیچ به صورت نا همفاز عمل می کنند و در ضمن آنکه شرایط سوئیچینگ نرم را برای یکدیگر تامین می کنند جریان بین آنها تقسیم می شود تا توانایی مبدل برای تامین جریان های بالا بیشتر شود. با وجود ترانس در مدار کمکی تلفات زیادی به مدار اعمال نمی شود زیرا تعداد دور ترانس کم است. این مبدل آنالیز شده و وضعیت های عملکردش تشریح شده اند. مبدل با نرم افزار Pspice شبیه سازی شده است نتایج شبیه سازی آنالیز تئوری را تصدیق می کند.

کلید واژه- سوئیچینگ نرم، مبدل های قدرت با تقسیم جریان بین سوئیچ ها، مبدل های قدرت DC-DC، مبدل های قدرت PWM

استرس ولتاژ و جریان سوئیچ نسبت به مبدل PWM زیاد می شود [2].

۱- مقدمه

مبدل های DC-DC PWM به خاطر توانایی قدرت بالا پاسخ گذاری سریع و آسان بودن کنترل شان به صورت گسترده در صنعت استفاده می شوند. تکنیک های ZVT و ZCT عملکردهای سوئیچینگ نرم را با مبدل های استاندارد PWM ترکیب می کند و تلفات سوئیچینگ را کاهش می دهد [15-3]. این مبدل ها در مقایسه با مبدل های رزونانسی انرژی گردشی را کاهش می دهند. در این مبدل ها یک مدار کمکی به مبدل ها اضافه می شود که تنها در هنگام کلید زنی عمل می کند. انتخاب تکنیک سوئیچینگ نرم به نوع قطعات نیمه هادی استفاده شده بستگی دارد. سوئیچ های MOSFET حاضر در مبدل های ZVT کارایی بهتری دارند زیرا تلفات روشن شدن خازنی حذف می شود. از طرف دیگر سوئیچهای IGBT در مبدل های ZCT به خاطر حذف تلفات خاموشی که عامل آن جریان دنباله ای IGBT است، کارایی بهتری دارند.

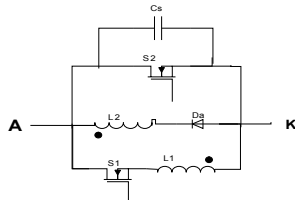
مزیت ZVT به ZCT حذف تلفات خازنی روشن شدن سوئیچ است که در فرکانس های بالا بررسی می شوند. مبدل های ایزوله به طور گسترده استفاده می شوند و بنابراین مبدل های ایزوله بازده بالا مطلوب هستند.

مبدل های ZVT و ZCT اغلب قادر به ارسال انرژی از منبع ورودی به خروجی نیست ولی در بعضی از این مبدل ها مدار کمکی می تواند دیوتی سایکل موثر را افزایش دهد در اغلب این

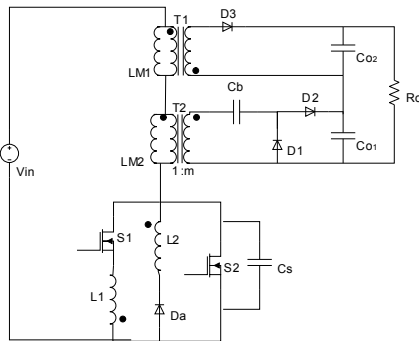
به خاطر افزایش تقاضا برای پروسه در فضای کوچکتر شدت تبدیل توان بالاتر نیاز است. شدت تبدیل توان بالا نیاز به فرکانس عملکرد بالا و بازده بالا دارد. در فرکانسهای بالا ادوات نیمه هادی عامل تلفات سوئیچینگ بالا می شوند و تداخلات الکترومغناطیسی زیاد می شود. بنابراین برای به دست آوردن حالت سوئیچینگ نرم بهتر برای ادوات نیمه هادی و برای کاهش تلفات سوئیچینگ تکنیک های سوئیچینگ نرم پیشنهاد می شوند. یکی دیگر از مزایای این تکنیک ها جذب پارازیتی مدار است که منبع EMI هستند.

متد های سوئیچینگ نرم که در مبدل های DC-DC به کار می روند مزایا و معایبی دارند. ساده ترین راه برای کم کردن تلفات سوئیچینگ به کاربردن اسنابرهای RCD/RLD است اما آنها بازده کل مبدل کاهش می دهند [1]. سایر متدها مثل مبدلهای رزونانسی یا شبه رزونانسی نیز سوئیچینگ نرم را فراهم می کند اما در این مبدل ها انرژی از مدار رزونانس منتقل می شود و سوئیچینگ هنگامی که ولتاژ یا جریان در طول رزونانس به صفر کاهش می یابد انجام می شود. از آنجا که زمان روشنی و خاموشی سوئیچ با پرپود روشن ماندن محدود می شود کنترل قدرت با تغییر فرکانس سوئیچینگ انجام می شود اما ترانس وفیلتر خروجی در فرکانس سوئیچینگ ثابت بهینه اند به علاوه

شکل موج های تئوری اصلی مبدل در شکل ۳ آمده است و مدار معادل هر وضعیت عملکرد در شکل ۴ نشان داده شده است.

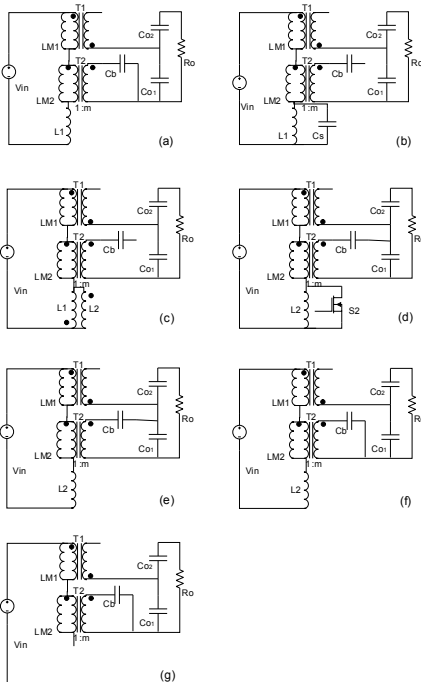


شکل ۱: سلول سوئیچ



شکل ۲: مبدل باک بوست پیشنهادی

قبل از اولین وضعیت فرض می شود که Cs به اندازه ی $V_{in} - V_{cb}/m$ شارژ شده، D1 هدایت می کند و سایر قطعات نیمه هادی هدایت نمی کنند.



شکل ۳: مدار معادل هر یک از وضعیت های عملکرد مبدل باک-بوست پیشنهادی (a): $[t_0 - t_1]$, (b): $[t_1 - t_2]$, (c): $[t_2 - t_3]$, (d): $[t_3 - t_4]$, (e): $[t_4 - t_5]$, (f): $[t_5 - t_6]$, (g): $[t_6 - t_7]$

مبدل ها نیز مقدار انرژی که توسط مدار کمکی عبور می کند را نمی توان کنترل کرد [16-18].

این مقاله یک مبدل باک-بوست PWM سوئیچینگ نرم جدید را معرفی می کند در این مبدل سوئیچ اصلی ZVS خاموش و روشن می شود و سوئیچ کمکی ZCS روشن و خاموش می شود. ترانس مدار کمکی تعداد دور کمی دارد بنابراین تلفات زیادی به مدار اعمال نمی کند.

مبدل آنالیز شده وضعیت های عملکردش در قسمت دوم شرح داده شده اند. مدار شبیه سازی شده و نتایج شبیه سازی در بخش سوم تشریح شده اند.

۲- شرح و عملکرد مدار

سلول سوئیچ سوئیچینگ نرم در شکل ۱ نشان داده شده در سلول سوئیچ پیشنهادی خازن Cs برای ZV خاموش شدن سوئیچ اصلی به کار برده شده زیرا خازن با تغییرات لحظه ای ولتاژ مخالفت می کند. با استفاده از سوئیچ کمکی و سلف سری با آن و اینکه سوئیچ کمکی قبل از سوئیچ اصلی روشن می شود سوئیچ اصلی ZV خاموش می شود. سلف سری با سوئیچ کمکی با تغییرات لحظه ای جریان مخالفت می کند و بنابراین سوئیچ کمکی ZC روشن می شود و سوئیچ اصلی شرایط ZV خاموش شدن آن را فراهم می کند. همان طور که در شکل ۲ نشان داده شده این سلول برای مبدل باک-بوست استفاده شده است.

مبدل باک-بوست پیشنهادی شامل دو سوئیچ S1, S2 و چهار دیود D1, D2, D3, Da و دو سلف کوپل شده L1, L2 با نسبت تبدیل 1:k و ترانس فلای بک با نسبت تبدیل 1:n و با سلف مغناطیس کنندگی LM1 و ترانس فرورارد با نسبت تبدیل 1:m و با سلف مغناطیس کنندگی LM2 می باشد. Cs خازن اسنابر، C01, C02 خازن های فیلتر خروجی و Cb خازن بلوک کننده است.

مبدل هفت وضعیت عملکرد مختلف در سیکل سوئیچینگ دارد. برای ساده سازی تحلیل مبدل در حالت دایمی فرضیات زیر در نظر گرفته می شود.

- از المانهای پارازیتی صرف نظر گردیده است.
- خازن خروجی به اندازه کافی بزرگ است و به همین دلیل در یک سیکل سوئیچینگ ثابت در نظر گرفته می شود.
- ولتاژ ورودی در یک سیکل سوئیچینگ ثابت و برابر V_{in} فرض شده است.

می شود و D1 ، تحت ZC خاموش می شود. مقدار I_{L1} را در انتهای این وضعیت برابر I' در نظر گرفته می شود.

وضعیت دوم $[t1 - t2]$

در این وضعیت رزونانس بین Cs و L1 شروع می شود و خازن کاملا دشارژ می شود. روابط مهم این وضعیت :

$$I_{L1}(t) = I' + \frac{V_1}{Z_1} \sin(\omega_1(t-t1)) \quad (2)$$

$$V_{C2}(t) = V_1 \cos(\omega_1(t-t1)) \quad (3)$$

$$Z_1 = \sqrt{\frac{L_1}{C_S}} \quad (4)$$

$$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_S}} \quad (5)$$

$$V_1 = (V_{in} - \frac{V_{cb}}{m}) \quad (6)$$

وضعیت سوم $[t2 - t3]$

در این وضعیت D_a یا بادی دیود سوئیچ S2 شروع به هدایت می کنند اگر در نظر بگیریم بادی دیود S2 روشن بوده و ولتاژ دو سر D2 را به دست آوریم داریم :

$$\begin{aligned} V_{L1} &= -V_{DS1} - V_{BD2} \\ V_{L2} &= -kV_{L1} = k(V_{DS1} + V_{BD2}) \\ V_{Da} &= V_{BD2} + V_{L2} \\ \rightarrow V_{Da} &= (k+1)V_{BD2} + kV_{DS1} \end{aligned} \quad (7)$$

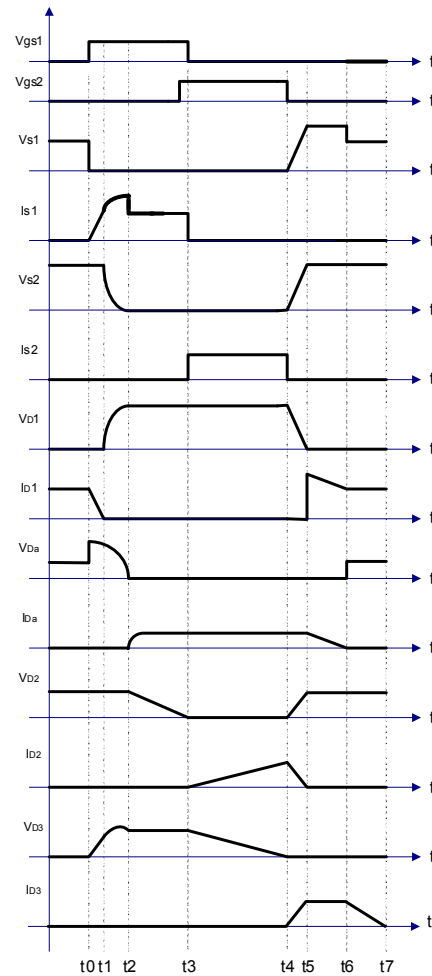
در نتیجه چون ولتاژ دو سر D_a مثبت تر است، D_a روشن بوده است. ولتاژ دیود D2 به صورت خطی کم می شود تا به صفر برسد و D2 در انتهای این وضعیت ZV روشن می شود در طول این وضعیت ولتاژ دو سر S2 صفر است و هر جای این وضعیت S2 می تواند تحت ZCZV روشن شود.

وضعیت چهارم $[t3 - t4]$

این وضعیت با خاموش شدن S1 و روشن شدن D2 آغاز می شود، جریان D2 به صورت خطی زیاد می شود و چون S2 قبلا روشن بوده ، ولتاژ دو سر L2 صفر است بنابراین ولتاژ دو سر L1 نیز صفر است و نتیجتا S1 تحت ZV خاموش می شود.

وضعیت پنجم $[t4 - t5]$

این وضعیت با خاموش شدن S2 آغاز می شود. با خاموش شدن S2، Cs شروع به شارژ شدن می کند و چون طول این وضعیت کوتاه است جریان L2 را می توان تقریبا ثابت و برابر I2 فرض کرد. جریان Cs هم تقریبا ثابت است و به صورت خطی شارژ می شود تا آنجا که ولتاژش به



شکل ۴ : شکل موج های اصلی مبدل پیشنهادی

وضعیت اول $[t0 - t1]$

این وضعیت با روشن شدن S1 آغاز می شود یعنی در این وضعیت D1 ، S1 روشن اند. در این وضعیت ولتاژ ثابت دو سر L1 قرار می گیرد و سلف با جریان خطی شروع به شارژ شدن می کند. رابطه ی جریان سلف در این وضعیت به این صورت است :

(۱)

$$I_{L1}(t) = \frac{(V_{in} - \frac{V_{cb}}{m})}{L_1} (t - t0)$$

مطابق (۱) ، S1 تحت ZC روشن می شود. ولتاژ دو سر D3 به صورت خطی از صفر زیاد می شود و جریان D1 نیز به صورت خطی کم شده تا به صفر برسد و در این هنگام این وضعیت تمام

$$V_{S2\max} = V_{in} - \frac{V_{cb}}{m} + \frac{V_o}{n} - V_B + \sqrt{\frac{L_a}{C_s}} I_{LP} \quad (12)$$

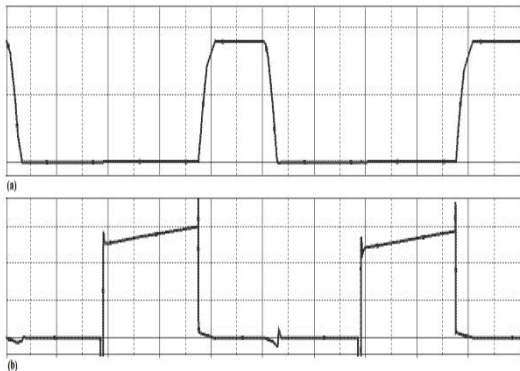
۳- نتایج شبیه سازی

مبدل پیشنهادی توسط نرم افزار Pspice شبیه سازی شده است و همانطور که از شکل موج های شبیه سازی مشخص است نتایج شبیه سازی تحلیل تئوری را تایید می کند.

مدار کمکی برای مبدل باک-بوست با $V_{in}=24v$ و $V_o=67v$ و فرکانس سوئیچینگ 100kHz به کار برده شده است. سلف مغناطیسی ترانس فلای بک در سمت اولیه 100uH و نسبت تبدیل اولیه به ثانویه ۱ می باشد. سلف مغناطیسی ترانس فرورارد در سمت اولیه 200uH و نسبت تبدیل اولیه به ثانویه آن ۱ می باشد. و از سلف نشتی صرف نظر گردیده است.

C_s و C_b به ترتیب 10uF و 10nF قرار داده شده اند و L_1 برابر 10uH است و نسبت تبدیل L_1 به L_2 برابر ۲ است. برای سوئیچ های S_1 و S_2 ، IRF840 گذاشته شده و مدل Dbreak برای دیودها در نظر گرفته شده است.

نتایج شبیه سازی در شکل های ۵ تا ۹ آمده است. بازده مبدل باک- بوست پیشنهادی در مقایسه با مبدل باک- بوست سخت در شکل ۱۰ آمده است.



شکل ۵: (a) ولتاژ و (b) جریان سوئیچ اصلی. مقیاس عمودی 50v/div یا 1A/div و مقیاس افقی 1us/div

برسد. جریان D_2 نیز به صورت خطی کم می شود تا به صفر برسد بنابراین D_2 در انتهای این وضعیت ZC خاموش می شود. همچنین در این وضعیت D_3 تحت ZV روشن می شود. در این وضعیت داریم:

$$\begin{aligned} V_{DS1} &= V_{CS} - V_{L1} \\ V_{L1} &= -\frac{V_{L2}}{k} = -\frac{V_{CS}}{k} \\ \rightarrow V_{DS1} &= V_{CS} \left(1 + \frac{1}{k}\right) \end{aligned} \quad (8)$$

طول این وضعیت برابر است با:

$$t_5 - t_4 = \frac{(V_{in} - \frac{V_{CO1}}{m} + \frac{V_{CO2}}{n}) C_s}{I_2} \quad (9)$$

وضعیت ششم $[t_5 - t_6]$

در شروع این وضعیت دیود D_1 شروع به هدایت می کند و ولتاژ $V_{in} - V_{CO1} / m + V_{CO2} / n$ دو سر L_2 قرار می گیرد. بنابراین طول این وضعیت برابر است با:

$$t_6 - t_5 = \frac{L_2 I_1}{V_{in}} \quad (10)$$

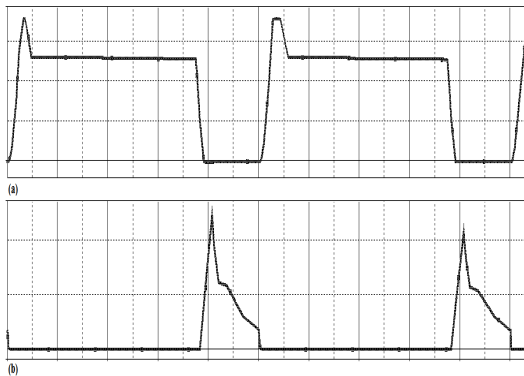
I_1 جریان L_2 در وضعیت ۵ است. در این وضعیت جریان L_2 به صورت خطی کم می شود تا به صفر برسد و D_2 در انتهای وضعیت تحت ZC خاموش می شود.

وضعیت هفتم $[t_6 - t_7]$

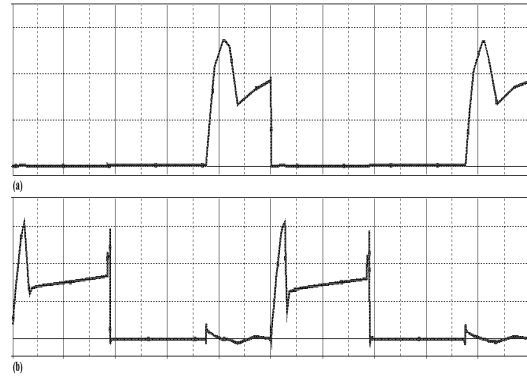
این وضعیت با خاموش شدن D_a آغاز می شود وقتی D_a خاموش می شود ولتاژ $V_{CS} - V_{L2}$ دو سر آن قرار می گیرد. V_{S1} وقتی D_a خاموش می شود به اندازه V_{L1} کم می شود و ثابت می ماند.

انتخاب مقدار خازن اسنابر به توان خروجی و سرعت خاموش روشن شدن سوئیچ اصلی وابسته است [19]. و برای انتخاب صحیح L_a یک بده بستان بین ماکسیمم جریان سوئیچ کمکی و ماکسیمم ولتاژ سوئیچ کمکی انجام می شود. جریان ماکسیمم سوئیچ اصلی و ولتاژ سوئیچ کمکی طبق روابط زیر است:

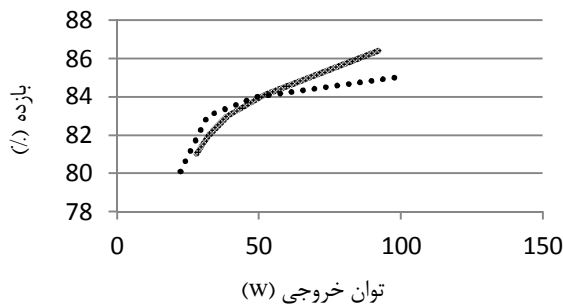
$$I_{S1\max} = \frac{(V_{in} - \frac{V_{cb}}{m} + \frac{V_o}{n} - V_B)}{Z_0} + I_{LP} \quad (11)$$



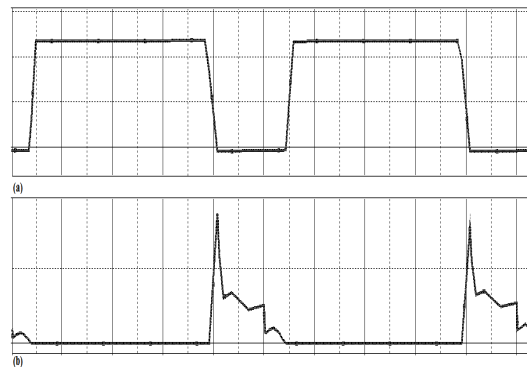
شکل ۹: (a) ولتاژ و (b) جریان دیود D3. مقیاس عمودی 10v/div یا 0.5A/div و مقیاس افقی 1us/div



شکل ۶: (a) ولتاژ و (b) جریان سوئیچ کمکی. مقیاس عمودی 50v/div یا 1A/div و مقیاس افقی 2us/div



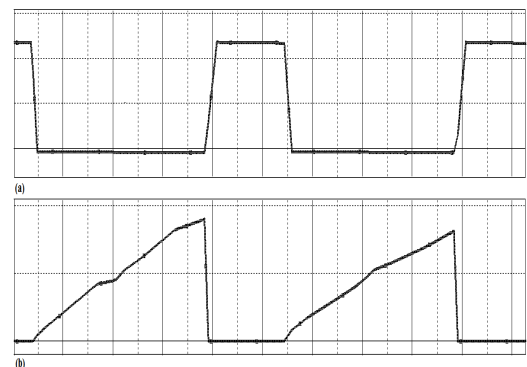
شکل ۱۰: بازده مبدل باک - بوست سوئیچینگ نرم پیشنهادی (خط ممتد) در مقایسه با مبدل در حالت سخت (خط چین)



شکل ۷: (a) ولتاژ و (b) جریان دیود D1. مقیاس عمودی 10v/div یا 1A/div و مقیاس افقی 1us/div

۴- نتیجه گیری

در این مقاله یک مبدل باک - بوست PWM معرفی شده است که با تقسیم جریان بین دو سوئیچ کار می کند سوئیچ اصلی ZV روشن و خاموش می شود و سوئیچ کمکی ZC روشن و سوئیچ ZV خاموش می شود. مدار کمکی شامل دیود ترانس و سوئیچ می باشد ولی از آنجا که تعداد دور ترانس کم می باشد تلفات زیادی را به مدار اعمال نمی کند مبدل پیشنهادی آنالیز شده و وضعیت های عملکردش تشریح شده اند مبدل پیشنهادی با نرم افزار Pspice شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی آنالیز تئوری را تایید می کند.



شکل ۸: (a) ولتاژ و (b) جریان دیود D2. مقیاس عمودی 10v/div یا 0.5A/div و مقیاس افقی 1us/div

مراجع

- [1] TSENG C.J., CHEN C.L.: 'Novel ZVT-PWM converters with active snubbers', IEEE Trans. Power Electron., 1998, 13, (5), pp. 861-869
- [2] BARBI I., BOLACELL J.C., MARTINS D.C., ET AL.: 'Buck quasiresonant converter operating at constant frequency: analysis, design and experimentation'. Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conf.(PESC), 1989, pp. 873-880
- [3] YANG SP, LIN JL, CHEN SJ: 'A novel ZCZVT forward converter with synchronous rectification', IEEE Trans. Power Electron., 2006, 21, (4), pp. 912-922
- [4] E. Adib, H. Farzanehfar : 'Family of isolated zero-voltage transition PWM converters', IET Power Electron., 2008, Vol. 1, No. 1, pp. 144-153
- [5] E. Adib, H. Farzanehfar : 'Family of Soft-Switching PWM Converters With Current Sharing in Switches', IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 24, NO. 4, APRIL 2009
- [6] E. Adib, H. Farzanehfar : 'New zero voltage switching PWM flyback converter', 1st Power Electronic & Drive Systems & Technologies Conference
- [7] Qian Sun, Huai Wang: 'A ZCS Full-Bridge PWM Converter with Self- Adaptable Soft-Switching Snubber Energy', Power Electronics Specialists Conference, 2008. PESC 2008. IEEE, pp. 3001-3007
- [8] MARTINS M.L., RUSSI J.L., HEY H.L.: 'Novel Zero-Current-Switching (ZCS) PWM Switch Cell Minimizing Additional Conduction Loss', Industrial Electronics, IEEE Transactions on, pp. 165-172
- [9] C. A. Canesin and I. Barbi, 'Novel Zero-current-switching PWM converters', IEEE transactions on Industrial Electronics, vol.44, pp.372-381, Jun. 1997.
- [10] E. Adib and H. Farzanehfar, "Family of zero-current transition PWM converters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 55, no. 8, pp. 3055-3063, Aug. 2008
- [11] H. S. Choi and B. H. Cho, " Novel zero-current-switching (ZCS) PWM switch cell minimizing additional conduction loss," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 49, no. 1, pp. 165-172, Feb. 2002.
- [12] P. Das and G. Moschopoulos, "A zero-current-transition converter with reduced auxiliary circuit losses," IEEE Trans. Power Electron., vol. 22, no. 4, pp. 1464-1471, Jul. 2007.
- [13] WANG CM, SU JH, YANG CH: 'A novel ZCS-PWM flyback converter with a simple ZCS-PWM auxiliary circuit'. Int. Conf. Power Electronics and Drives Systems, 2006, pp. 805-810
- [14] LIU KH, LEE FC: 'Zero-voltage switching technique in DC-DC converter circuit', IEEE Trans. Power Electron., vol. 2, no. 3, pp. 58-70, 1986.
- [15] HUA G, LEU CS, JIANG Y ET AL.: 'Novel zero current transition PWM converters', IEEE Trans. Power Electron., vol. 9, no. 6, pp. 601-606, 1994
- [16] C. M. Wang, "A new family of zero-current-switching (ZCS) PWM converters," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 52, no. 4, pp. 1117-1125, Aug. 2005
- [17] E. Adib and H. Farzanehfar, "Family of zero current zero voltage transition PWM converters," Inst. Eng. Technol. Power Electron., vol. 1, no. 2, pp. 214-223, 2008.
- [18] G. Hua, C. S. Leu, Y. Jiang, and F. C. Lee, "Novel zero-voltage-transition PWM converter," IEEE Trans. Power Electron., vol. 9, no. 2, pp.213-219, Mar. 1994.
- [19] MCMURRAY W: 'Selection of snubbers and clamps to optimize the design of transistor switching converters', IEEE Trans. Ind. Appl., 1980, 16, (4), pp. 513-523

[۲۰] مجید دلشاد، " مبدل های DC-DC منبع جریان سوئیچینگ نرم

برای کاربرد های با بهره ولتاژ بالا"، ۱۳۸۸