

ارایه یک مبدل بوست با تصحیح ضریب توان ذاتی و کلیدزنی نرم

داود کریمی^۱ و مجید دلشاد^۲

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) ، FirstAuthor@Email

^۲دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان) ، delshad@khuisf.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک توپولوژی جدید با استفاده از روش های کلیدزنی نرم و همچنین استفاده از مفهوم مدار اصلاح ضریب توان (PFC) ارایه شده است. مبدل جدیدی پیشنهاد می شود که راندمان قابل قبولی به نسبت توانی که پردازش می کند دارد و علاوه بر افزایش راندمان، تعداد نیمه‌های اضافی شده را به حداقل می‌رساند و تلفات کلیدزنی کاهش می‌یابد. به منظور تایید تحلیل تئوریک مبدل PFC پیشنهادی، نتایج شبیه سازی آن در مقاله آورده شده است.

کلید واژه- کلید زنی نرم تحت ولتاژ صفر (ZVS)، کلید زنی نرم تحت جریان صفر (ZCS)، اصلاح ضریب توان PFC.

می شود. اما ترانس و فیلتر خروجی در فرکانس سوئیچینگ ثابت، بهینه اند و همچنین استرس ولتاژ و جریان سوئیچ نسبت به مبدل PWM زیاد می شود [۱]. یک راه ساده دیگر برای داشتن سوئیچینگ نرم استفاده از اسنایپرهای RCD/RLD است اما استفاده از آنها باعث کاهش بازده کل مبدل خواهد شد [۲].

برای بهبود مبدل ها، تکنیک های ZVT و ZCT گسترش یافته اند [۱۳-۳]. در این دو تکنیک مبدل ها با PWM، کنترل شده و یک مدار کمکی رزونانسی دارند که فقط در وضعیت های سوئیچینگ برای کاهش ولتاژ به صفر (ZVT) و یا کاهش جریان به صفر (ZCT) استفاده می شوند. بنابراین بجز لحظات سوئیچینگ، مبدل مثل یک مبدل PWM عادی کار می کند.

در مبدل های ZVT با روشن کردن سوئیچ کمکی، خازن خروجی سوئیچ اصلی دشارژ می شود تا ZVS را برای روشن شدن سوئیچ تامین کند و با اضافه کردن خازن، دو سر سوئیچ اصلی سوئیچینگ نرم، برای خاموش شدن سوئیچ تامین می شود. در مبدل های ZCT با روشن کردن سوئیچ کمکی، جریان سوئیچ اصلی به صفر کاهش می یابد تا ZCS را برای خاموشی سوئیچ تامین کند و با قرار دادن یک سلف سری با سوئیچ، سوئیچینگ نرم برای روشن شدن فراهم می شود.

در مبدل های ZVT و ZCT مدار کمکی شامل المان های رزونانسی و یک سوئیچ کمکی است که برای فراهم کردن

۱- مقدمه

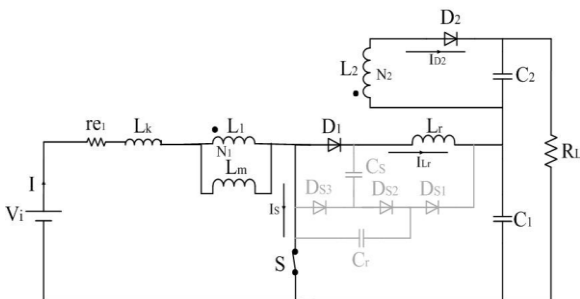
مبدل های PWMDC-DC به خاطر توانایی قدرت بالا، پاسخ گذاری سریع و آسان بودن کنترلشان به صورت گسترده در صنعت استفاده می شوند. برای افزایش بازده و نسبت تبدیل توان در این مبدل ها، تکنیک های سوئیچینگ نرم استفاده می شود زیرا این تکنیک ها راهی برای کاهش تلفات سوئیچینگ و کاهش تداخلات الکترومغناطیسی در فرکانس های بالا است. با استفاده از این تکنیک ها المان های پارازیتی مدار که منبع تداخلات الکترومغناطیسی EMI است جذب می شوند. از دیگر مزایای این تکنیک ها کنترل ولتاژ خروجی به وسیله مدولاسیون پهنای پالس است که به خاطر سهولت و فرکانس ثابت آن مورد توجه قرار گرفته است.

مبدل های رزونانسی و شبه رزونانسی، یک خانواده از مبدل های سوئیچینگ نرم هستند که در آنها تانک رزونانسی به مبدل اضافه شده و رزونانس ها در جریان سوئیچ یا در ولتاژ دو سر سوئیچ اتفاق می افتد. در طول این رزونانس ها هنگامی که جریان یا ولتاژ سوئیچ صفر می شود سوئیچ می تواند تحت سوئیچینگ نرم روشن و خاموش شود ولی از آنجا که زمان روشن و خاموش کردن سوئیچ ها با پررود رزونانس محدود شده است، توان خروجی با تغییرات فرکانس سوئیچینگ کنترل

که به اندازه کافی بزرگ هستند ولتاژهای خروجی V_{C1} و V_{C2} در نظر گرفته شده در طول سیکل سوئیچینگ ثابت می باشند. در نتیجه، در نتیجه، $V_{C2} + V_{C1} = V_0$ شکل موج های معمول از عمل مبدل در شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است. برای تجزیه و تحلیل مدار، سلف کوپل به عنوان ترانسفورماتور ایده آل مدلسازی شده است، که متشکل از یک نسبت دور، سلف مغناطیس LM و سلف نشستی می باشد. بر اساس فرض های مذکور مبدل دارای در سیکل کلید زنی خود دارای ۹ وضعیت عملکرد می باشد. شکل موج های تئوری در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

قبل از وضعیت اول فرض می گردد که کلید اصلی خاموش است.

وضعیت ۱: این وضعیت طبق شکل (۲) زمانی شروع می شود که کلید اصلی روشن شده است. زیرا شیب جریان در سوئیچ به آرامی بالا می رود و جریان صفر روشن شدن (ZCS) مهیا می شود. پس از سپری شدن مدت زمان کوتاهی از t_0 ، جریان دیود D_1 با شیب و جریان دیود D_2 با شیب به صفر میل می کنند.



شکل ۲- مدار معادل وضعیت اول

این مرحله زمانی به پایان می رسد که دیود D_1 خاموش می شود. با دیود ایده آل D_2 مفروض شکل (۳)، هنگامی که جریان در L_r به صفر می رسد، جریان سوئیچ برابر جریان سلف ورودی است و مرحله ۲ آغاز می شود.

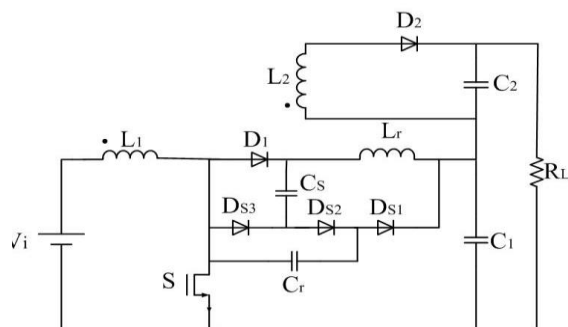
برای حالت غیر ایده آل، جریان بازبایی معکوس از دیود، L_r بیشتر شارژ خواهد شد به طوری که مرحله ۲ با جریان سلف منفی L_r آغاز می شود.

وضعیت ۲: شکل (۴-۳) Reset کردن C_s : آغاز این مرحله زمانی رخ می دهد که هدایت دیود D_1 خاموش است

سوئیچینگ نرم در لحظه سوئیچ استفاده می شود و اغلب قادر به ارسال انرژی از منبع ورودی به خروجی نیست. ولی در بعضی از این مبدل ها مدار کمکی می تواند دیوتی سایکل مؤثر را افزایش دهد. همچنین در بیشتر این مبدل ها، مقدار انرژی که توسط مدار کمکی عبور می کند را نمی توان کنترل کرد [۱۴-۱۵].

۲- معرفی مبدل PFC پیشنهادی با روش کلید زنی نرم

مبدل پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است. این مبدل از ترکیب یک مدار بوست بایک مدار فلای بک به همراه یک مدار کمکی تشکیل شده است. که مبدل فلای بک از خازن C_2 و دیود D_2 و سلف L_3 که دارای تزویج با سلف ورودی L_2 از مبدل بوست می باشد تشکیل یافته است. مدار کمکی MVS نیز شامل چهار دیود D_1, D_2, D_3, D_4 ، دو خازن C_S و C_r و سلف L_1 می باشد. مبدل بوست از منبع ورودی V_{in} سلف تزویج L_2 و مقاومت ناچیز R_2 و سلف نشستی L_4 در ورودی، یک عدد ماسفت IRFP 460 و خازن C_1 و مقاومت R_1 در خروجی می باشد. این مبدل به جهت استفاده از مدار کمکی MVS که فاقد سوئیچ کمکی نیز می باشد دارای تلفات کلید زنی پایین و به جهت ترکیب با مدار فلای بک دارای بهره ورائدمان بالا می باشد.

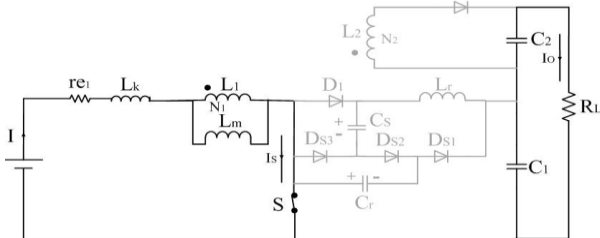


شکل (۱) مبدل بوست PFC پیشنهادی

۲-۱- عملکرد مبدل بوست PFC پیشنهادی

برای ساده شدن تحلیل مبدل پیشنهادی فرض می گردد سلف بوست به اندازه ی کافی بزرگ بطوری که در یک سیکل کلید زنی به عنوان منبع جریان DC ایده آل (I_{in}) نیز می تواند در نظر گرفته شود. خازن های خروجی C_1 و C_2 فرض شده اند

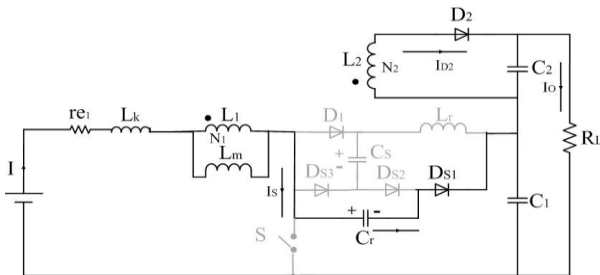
جریان سلف ورودی به منبع باز می گردد و خازنهای $C1$ و $C2$ جریان بار را تامین میکنند.



شکل ۴- مدار معادل وضعیت چهارم

وضعیت ۵: شکل (۴-۶): این مرحله زمانی آغاز می شود که کلید اصلی خاموش S:OFF می شود. جریان سلف Lr صفر است و جریان سوئیچ به صفر میل می کند و جریان I_m به مقدار پیک خود رسیده است.

جریان بلافاصله شروع به شارژ Cr می کند، ولتاژ صفر روشن شدن (ZVS) کلید اصلی فراهم می شود. ولتاژ VcS دارای مقدار ثابت است. ولتاژ Vcr خطی شارژ می شود و چون دارای مقدار منفی می باشد به سمت صفر میل میکند و دیود $DS1$ هدایت میکند. چون سوئیچ خاموش شده پلاریته سلف تزویج $L2$ عوض می شود و باعث روشن شدن دیود $D2$ می گردد.

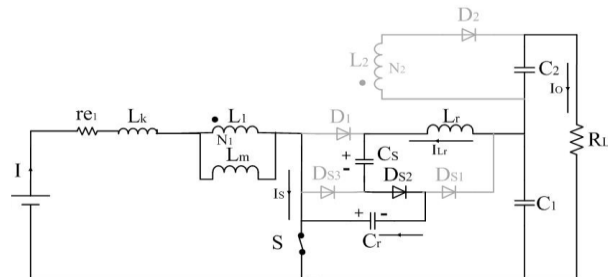


شکل ۶- مدار معادل وضعیت پنجم

وضعیت ۶: شکل (۷): رزونانس بین Cr و Cs و Lr برقرار می شود و جریان سلف Lr بصورت رزونانسی افزایش میابد و برابر است با:

ولتاژ VcS دارای مقدار ثابت است. خازن Cr همچنان در طول این مرحله در حال شارژ شدن با مقدار منفی به سمت صفر است لذا باعث هدایت $DS3$ می گردد، اما در جریان کم آن نمی تواند ولتاژ لازم برای رسیدن به سوئیچینگ نرم باشد.

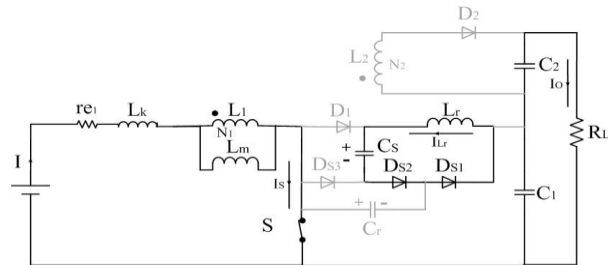
و کمی پس از زمان $t1$ دیود $D2$ نیز خاموش می شود. در طول این مرحله، خازن Cr با تنظیم مجدد به مقدار $Vx-$ توسط رزونانس Lr و Cs می رسد. جهت جریان سلف عوض شده، مقدار سلف از صفر به صورت منفی افزایش می یابد. خازن Cr در حال شارژ (رزونانسی) و دیود $DS2$ هدایت می کند، خازن Cr بصورت منفی (خطی) در حال شارژ است.



شکل ۳- مدار معادل وضعیت دوم

وضعیت ۳: شکل (۴): ولتاژ Cr برای تامین ولتاژ صفر خاموش کردن سوئیچ فعال آماده است، لذا $DS1$ روشن می شود. در خلال مرحله ۳، جریان Lr به حداکثر مقدار منفی خود می رسد.

سپس با ریست Lr توسط انتقال انرژی خود به Cs ولتاژ پیک در پایان مرحله همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است حاصل می شود. انرژی Cs در پایان این مرحله برابر () است. با یک دیود غیر ایده آل، پیک ولتاژ و انرژی بزرگتر از Cs خواهد بود همچنین انرژی Lr ناشی از جریان بازیابی معکوس از دیود در مرحله ۱ جمع آوری می شود.

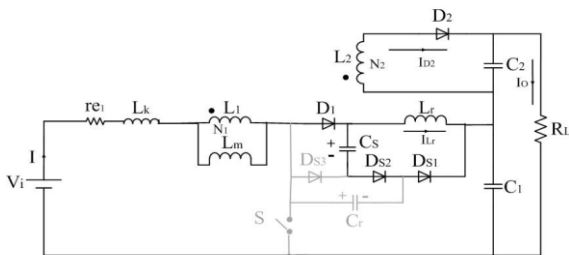


شکل ۴- مدار معادل وضعیت سوم

وضعیت ۴: شکل (۵): PWM on : مرحله ۴ در این بازه PWM معمولی با سوئیچ روشن است. جریان I_S برابر با جریان I و جریان I_{Lr} صفر است، و مقدار VcS ثابت است. و برای خازن Cs داریم:

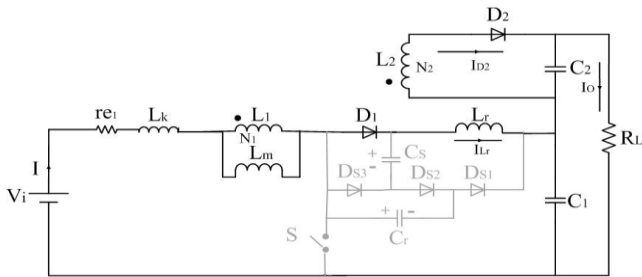
تخلیه است اما صفر نمی شود. پایان این وضعیت دیود D1 روشن می شود.

وضعیت ۸: شکل (۹): در این بازه زمانی، انرژی اضافی در Cs به خروجی منتقل می شود و خازن کاملاً تخلیه می شود. دیود D1 روشن می شود و جریان ILr کمی افزایش می یابد.



شکل ۹- مدار معادل وضعیت هشتم

وضعیت ۹: شکل (۱۰): در این بازه که شبیه PWM معمولی با سوئیچ خاموش است. جریان ILr ثابت است. تازمانیکه کلید دوباره روشن می شود.

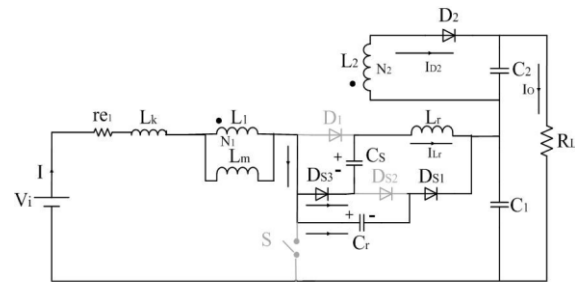


شکل ۱۰- مدار معادل وضعیت نهم

۳- نتایج شبیه سازی برای مبدل PFC تمام پل

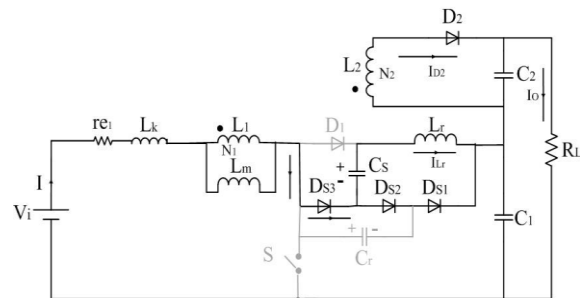
برای تایید عملکرد مبدل پیشنهادی، این مبدل طراحی و توسط نرم افزار Orcad شبیه سازی شده است. المان های به کاررفته برای شبیه سازی در جدول (۱) نشان داده شده است. شماتیک شبیه سازی مبدل پیشنهادی در شکل (۱۱) ترسیم شده است.

از آنجا که یک ولتاژ مثبت القا شده دوسر Lr وجود دارد، شروع به هدایت می کند. اگر جریان در سلف Lr را به IX برسد قبل از اینکه Vcr دوباره صفر شود ($V_{cr}(t) = V - V_X$)، سپس جریان سلف ورودی I به طور کامل نمی خواهد به شکل Lr و جریان صفر روشن شدن از دست رود. در این بازه بصورت جریان و یا امپدانس رزونانس کاهش می یابد، برآوردن این شرط سخت تر است. پارامتر Kc همان است که در [۹] توضیح داده شده است. همانطور که در مرحله بعدی، از بزرگترین مقدار Zr اطمینان حاصل میشود سوئیچینگ نرم $Z_r =$ است.



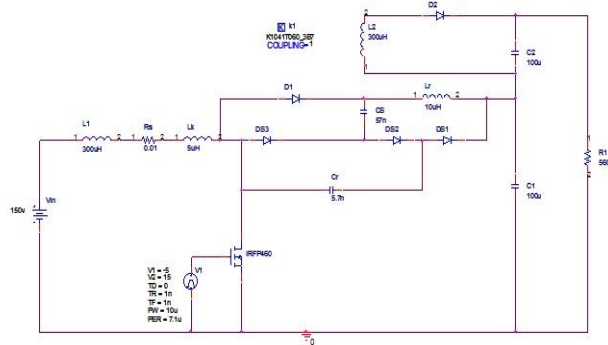
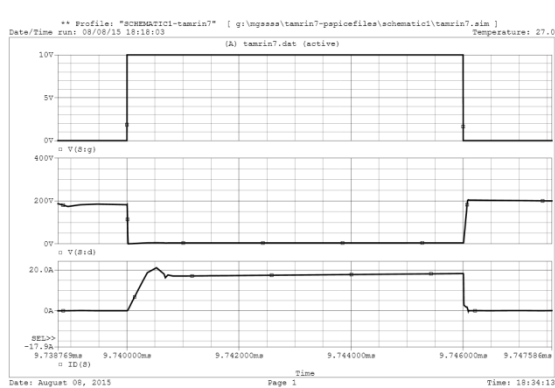
شکل ۷- مدار معادل وضعیت ششم

وضعیت ۷: شکل (۸) :: با فرض این که وضعیت ۶ با رسیدن Vcr به صفر کامل می شود. در این مرحله، چون DS2 و DS1 در حال هدایت هستند، و CS موازی با Lr است. انرژی در CS استفاده شده برای اطمینان از اینکه اجازه دهد جریان ILr به جریان صفر روشن در سوئیچ فعال برسد. این مقدار مطلوب خواهد بود تا زمانی که انرژی در (Cs) بزرگتر از انرژی در Lr باشد هنگامی که جریان I از طریق آن جاری می شود.



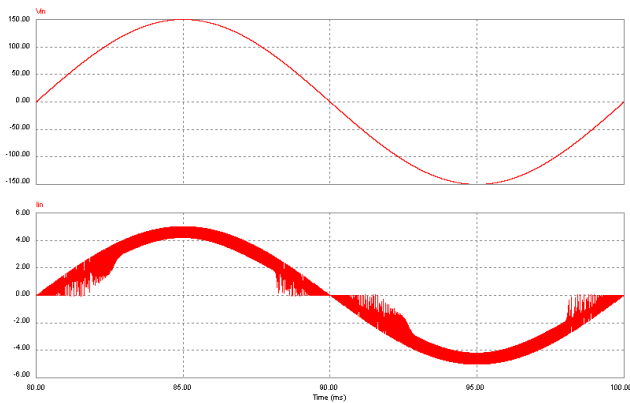
شکل ۸- مدار معادل وضعیت هفتم

در اتمام این مرحله زمانی، ILr به I می رسد و Cs در حال



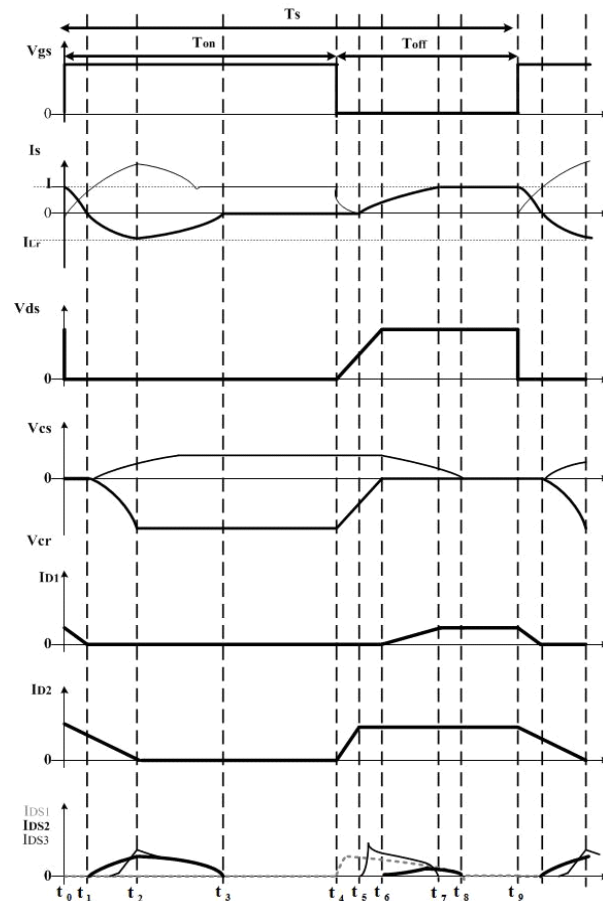
شکل ۱۱- شماتیک شبیه سازی شده مبدل پیشنهادی

شکل ۱۳- شکل موج ولتاژ گیت، جریان و ولتاژ درین- سورس سوئیچ مبدل



شکل ۱۴- شکل موج ولتاژ ورودی مبدل قبل و بعد از PFC

در شکل (۱۳) نتایج شبیه سازی برای کلید اصلی شامل ولتاژ گیت، ولتاژ درین سورس و جریان کلید و... می باشد. باتوجه به شکل های مذکور می توان نتیجه گرفت که جریان از صفر و با شیب شروع به افزایش می کند پس این کلید تحت شرایط ZCS روشن می شود. همچنین زمانی که کلید در حال خاموش شدن است، ولتاژ دوسر کلید صفر بوده و با شیب افزایش می یابد که خاموش شدن کلید تحت شرایط ZVS را تایید می کند. شکل ۱۴ نیز جریان و ولتاژ ورودی مبدل پیشنهادی را نشان می دهد که همانطور که مشاهده می گردد عملکرد مطلوب PFC مبدل تایید می گردد.



شکل (۱۲) شکل موج های مبدل بوست PFC پیشنهادی

شکل (۱۲)، شکل موج های کلیدی مبدل را در تحلیل تئوری و شرایط ایده آل نمایش می دهد.

- [4] E. Adib, H. Farzanehfard : 'Family of isolated zero-voltage transition PWM converters', *IET Power Electron*, Vol. 1, No. 1, pp. 144-153, 2008.
- [5] E. Adib, H. Farzanehfard : 'Family of Soft-Switching PWM Converters With Current Sharing in Switches', *IEEE Trans. Power Electron*, VOL. 24, NO. 4, APRIL 2009.
- [6] E. Adib, H. Farzanehfard : '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. PESC 2008. IEEE*, pp. 3001-3007, 2008
- [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*, pp. 165-172
- [9] C. A. Canesin and I. Barbi, 'Novel Zero-current-switching PWM converters', *IEEE transactions on Industrial Electronics*, vol. 14, pp. 372-381, Jun. 1997.
- [10] E. Adib and H. Farzanehfard, "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*, pp. 805-810, 2006.
- [14] 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
- [15] E. Adib, H. Farzanehfard, "Family of zero-voltage transition pulse width modulation converters with low auxiliary switch voltage stress," *IET Power Electron*. Vol. 4, no. 4, pp. 447-453, 2011.

جدول ۱- مقادیر و المان های مبدل شبیه سازی شده

S	IRFP 460
D1-D2	MBR 2010
DS1-DS2-DS3	MBR 2010
CS	57 nf
Cr	5.7 nf
C1-C2	100 uf
C3	2.2 uf
Lr	10 uh
L1-L2	300 uh
LK	5 uh
پل دیود	KBL406
ولتاژ ورودی (Vi)	150 vrms
ولتاژ خروجی (Vo)	280 v
توان خروجی (Po)	60 w
فرکانس کلیدزنی	100KHZ

۴- نتیجه گیری

در این مقاله استفاده از یک مدار کمکی در مبدل PFC تمام پل ارائه شده است و سعی شده است باروش کلیدزنی نرم تلفات هدایتی و تلفات کلیدزنی به نحو مطلوبی کاهش یافته و با کم کردن تعداد المان های نیمه هادی از جمله کلید و دیود در مدار کمکی، میزان استرس تلتاژ و جریان بر روی کلید اصلی کاهش یابد. همچنین با ارائه این روش مقادیر راندمان و ضریب توان به نحو مطلوبی افزایش می یابند. همچنین طبق نتایج شبیه سازی و ساخت، مدار کمکی به کار برده شده شرایط کلید زنی نرم را برای کلید اصلی مبدل فراهم کرده است و با توجه به این که و با توجه به اینکه مدار کمکی فاقد کلید است، مدار کمکی تلفات کلیدزنی قابل ملاحظه ای به مبدل تحمیل نمی کند.

مراجع

- [1] BARBI I, BOLACELL J.C. and MARTINS D.C., ET AL. 'Buck quasi resonant converter operating at constant frequency: analysis, design and experimentation'. *Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conf. (PESC)*, pp. 873-880, 1989.
- [2] TSENG C.J., CHEN C.L.: 'Novel ZVT-PWM converters with active snubbers', *IEEE Trans. Power Electron.* 13, (5), pp. 861-869, 1998.
- [3] YANG SP, LIN JL, CHEN SJ: 'A novel ZCZVT forward converter with synchronous rectification', *IEEE Trans. Power Electron*, 21, (4), pp. 912-922, 2006.