

ارائه یک مبدل بوست رزناسی جدید تحت شرایط سوئیچینگ نرم

فاطمه براتی دارانی^۱، مسعود جباری^۲ و مجید دلشاد^۳

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، fateme.barati2001@yahoo.com

^۲استادیار گروه برق - دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، jabbari.masoud@ieec.com

^۳استادیار گروه برق - دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان ، delshad@khuisf.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک مبدل بوست رزناسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. این مبدل از اضافه کردن یک خازن رزناسی و یک سوئیچ به مدار بوست معمولی بدست آمده است. تمام المان های سوئیچینگ تحت سوئیچینگ نرم روشن و خاموش می شوند. این مبدل نسبت به مبدل بوست معمولی دارای راندمان بالاتری است. بررسی های تئوری بر روی این مبدل انجام شده است. جهت بررسی صحت نتایج تئوری این مبدل برای توان خروجی ۵۰ وات طراحی و نتایج شبیه سازی با نرم افزار PSIM ارائه گردیده است. کلید واژه- سوئیچینگ نرم ، مبدل رزناسی ، مبدل بوست ، سوئیچینگ جریان صفر (ZCS)

همچنین از مبدل بوست بعنوان اصلاح کننده ضریب توان استفاده می شود. [5]-[7]

۱- مقدمه

در این مقاله یک مبدل بوست رزناسی معرفی شده است. این مبدل نسبت به مبدل های ارائه شده در [1] و [2] دارای یک مد کاری اضافه تر می باشد. تمام المانهای سوئیچینگ مدار تحت سوئیچینگ نرم روشن و خاموش می شوند. مبدل پیشنهاد شده نسبت به مبدل بوست معمولی دارای راندمان بالاتری است. عملکرد این مبدل در بخش دوم بیان شده است. یک نمونه از این مبدل با توان ۵۰ وات در بخش سوم طراحی شده است و در بخش چهارم جهت بررسی صحت نتایج تئوری شبیه سازی مبدل در نرم افزار PSIM ارائه گردیده است.

در سال های اخیر برای به حداقل رساندن اندازه و حجم مبدل فرکانس سوئیچینگ را افزایش می دهیم. متأسفانه افزایش فرکانس سوئیچینگ، تلفات سوئیچینگ و تداخلات الکترومغناطیس (EMI) را افزایش می دهد. جهت غلبه بر این مشکلات روش های سوئیچینگ نرم به طور گسترده مورد استفاده قرار می گیرد. تکنیک های سوئیچینگ نرم شامل سوئیچینگ جریان صفر (ZCS) و سوئیچینگ ولتاژ صفر (ZVS) می باشد. در تکنیک های ZCS و ZVS که روشن و یا خاموش شدن سوئیچ ها تحت جریان صفر و ولتاژ صفر است، با کاهش تلفات سوئیچینگ باعث افزایش بازده سیستم می گردد. [1]-[7]

مبدل های رزناسی گروهی از مبدل های سوئیچینگ نرم هستند. این مبدل ها دارای عملکرد مناسب در فرکانس بالا، تلفات سوئیچینگ کم و راندمان بالایی هستند. مبدل های رزناسی به سه زیرگروه تقسیم می شوند: مبدل های رزناسی سری، مبدل های رزناسی موازی و مبدل های رزناسی سری - موازی. [1]-[3]

۲- مبدل پیشنهادی

شکل (۱) مدار یک مبدل بوست رزناسی را نمایش می دهد. این مبدل شامل دو سوئیچ (Q_1 و Q_2)، یک خازن رزناسی (C_r) و یک سلف رزناسی (L_r) و یک دایود خروجی است. که سوئیچ Q_1 با یک دایود سری شده و به صورت یک طرفه عمل می کند.

امروزه استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی مانند سلول خورشیدی رو به افزایش است. این منابع ولتاژ بسیار پایینی تولید می کنند برای افزایش ولتاژ از مبدل بوست استفاده می شود.

و این مد پایان می یابد. در پایان این مد ولتاژ دو سر خازن رزناسی به $2V_s - V_o$ می رسد.

$$i_r(t) = \frac{(2V_s - V_o)}{Z_r} \sin(\omega_r(t - t_1)) \quad (5)$$

$$v_r(t) = (V_o - 2V_s) \cos(\omega_r(t - t_1)) \quad (6)$$

طول بازه زمانی این مد عبارت است از:

$$t_2 - t_1 = \frac{T_r}{2} \quad (7)$$

مد دوم ($t_2 - t_3$):

در آغاز این مد، سوئیچ Q_2 تحت ZCS روشن می شود. خازن رزناسی C_r شروع به شارژ شدن از طریق L_r می کند. تا در لحظه t_3 ولتاژ دو سر آن به $-V_o$ می رسد. در این لحظه دایود D_f شروع به هدایت می کند و این مد پایان می یابد.

$$i_r(t) = \frac{(V_o - 3V_s)}{Z_r} \sin(\omega_r(t - t_2)) \quad (8)$$

$$v_r(t) = (3V_s - V_o) \cos(\omega_r(t - t_2)) - V_s \quad (9)$$

در t_3 ولتاژ خازن رزناسی را برابر $-V_o$ قرار می دهیم ، مدت زمان این مد بدست می آید.

$$t_3 - t_2 = \frac{1}{\omega_r} \left(\pi - \cos^{-1} \left(\frac{A-1}{3-A} \right) \right) \quad (10)$$

مد سوم ($t_3 - t_4$):

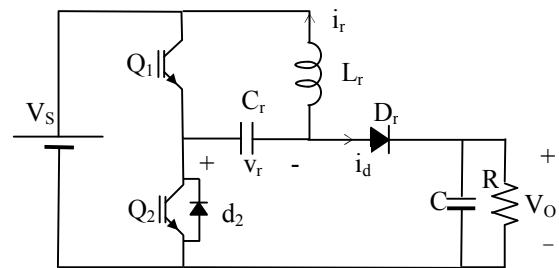
در لحظه t_3 ، دایود D_f شروع به هدایت می کند و این مد آغاز می گردد. در طول این مد ولتاژ رزناسی در مقدار $-V_o$ ثابت می ماند و جریان رزناسی به صورت خطی شروع به کاهش می کند. در پایان این مد جریان رزناسی در لحظه t_4 به صفر می رسد و D_f تحت ZCS خاموش می گردد. در طول این مد با صفر شدن جریان سوئیچ Q_2 ، این سوئیچ تحت ZCS خاموش می گردد.

$$i_r(t) = i_r(t_3) + \frac{(V_o - V_s)}{Z_r} (t - t_3) \quad (11)$$

$$v_r(t) = -V_o = cte \quad (12)$$

طول بازه زمانی این مد عبارت است از:

$$t_4 - t_3 = \frac{-L_r \cdot i_r(t_3)}{V_o - V_s} \quad (13)$$



شکل ۱: مدار مبدل بوست پیشنهادی

برای سهولت در تحلیل مد های مختلف مبدل فرض می کنیم: مبدل در حالت پایدار عمل می کند.

تمام المان ها ایده آل هستند.

خازن خروجی به اندازه ای بزرگ است که ولتاژ خروجی در طی یک سیکل سوئیچینگ ثابت می ماند.

مبدل بر اساس مشخصات زیر تحلیل و بررسی می گردد:

$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} = \frac{2\pi}{T_r} \quad (1)$$

$$Z_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (2)$$

$$r = \frac{R}{Z_r} \quad (3)$$

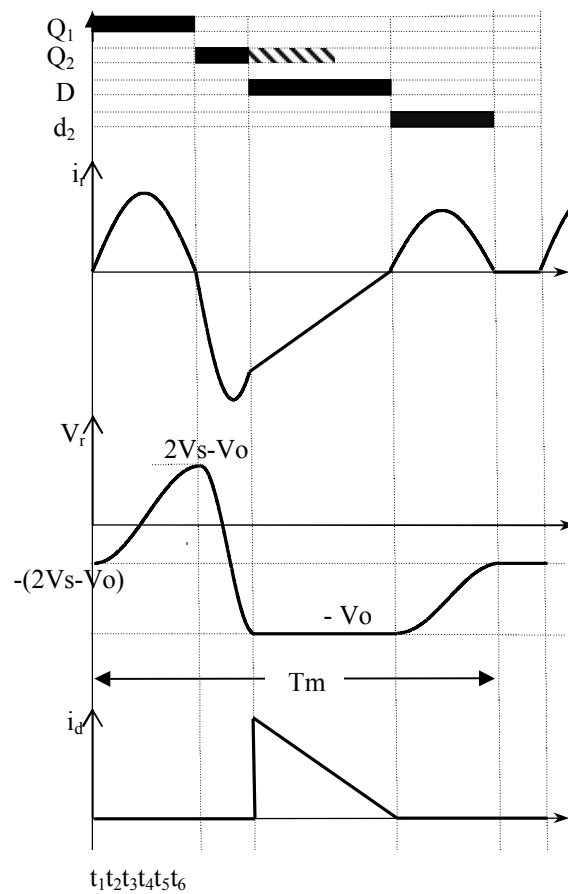
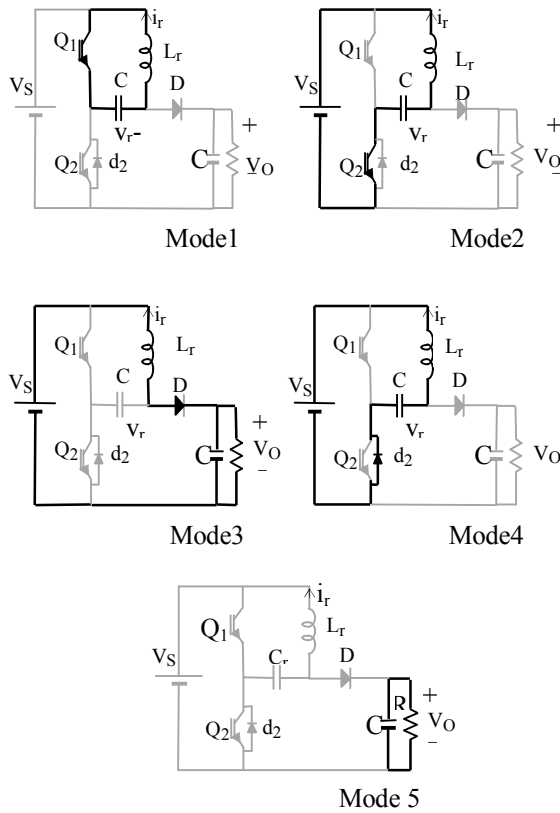
$$A = \frac{V_o}{V_s} \quad (4)$$

که ω_r فرکانس زاویه ای رزناسی، Z_r امپدانس مشخصه، r مقاومت نرمالیزه شده و A بهره ولتاژ است. در حالت عملکرد پایدار، یک سیکل سوئیچینگ کامل به پنج مد در حالت گسسته بودن جریان رزناسی تقسیم می شود. شکل موج های تئوری و مدار معادل هر مد در شکل های (۲) و (۳) نمایش داده شده است. تجزیه و تحلیل دقیق هر مد در ادامه ارائه شده است.

قبل از بررسی مد اول ولتاژ اولیه خازن رزناسی برابر $-(2V_s - V_o)$ و جریان اولیه سلف برابر صفر در نظر گرفته شده است.

مد اول ($t_1 - t_2$):

این مد با روشن شدن سوئیچ Q_1 در لحظه t_1 آغاز می شود. خازن رزناسی C_r در رزناس با L_r شروع به شارژ شدن می کند. تا در لحظه t_2 که جریان سلف رزناسی L_r به صفر می رسد با صفر شدن جریان سوئیچ Q_1 ، این سوئیچ تحت ZCS خاموش می گردد



شکل ۳: مدار معادل عملکرد مد های مختلف

شکل ۲: شکل موج های تئوری مبدل پیشنهادی

مد چهارم ($t_4 - t_5$):

این مد با روشن شدن دایود D_1 در t_4 آغاز می گردد. خازن رزونانسی شروع به شارژ شدن می کند. در این لحظه ولتاژ رزونانسیبه مقدار اولیه $(-2V_s - V_o)$ می رسد. در لحظه t_5 جریان رزونانسی به صفر رسیده است و دایود D_1 تحت ZCS خاموش می گردد.

$$i_r(t) = \frac{(V_o - V_s)}{Z_r} \sin(\omega_r(t - t_4)) \quad (14)$$

$$v_r(t) = (V_s - V_o) \cos(\omega_r(t - t_4)) - V_s \quad (15)$$

با برابر صفر قرار دادن جریان رزونانسی در t_6 طول این مد به دست می آید.

$$t_5 - t_4 = \frac{T_r}{2} \quad (16)$$

مد پنجم ($t_5 - t_6$):

در این مد تمام المان های سوئیچینگ خاموش هستند و بار توسط خازن خروجی تغذیه می گردد. طول مدت این مد بوسیله کنترلر مشخص می شود.

در حالت ماندگار با استفاده از قانون پایستگی انرژی در طی یک سیکل سوئیچینگ، می توان بهره ولتاژ را بدست آورد.

$$E_{in} = E_{out} \quad (17)$$

$$\int_{T_s} V_s i_s dt = \int_{T_s} \frac{V_o^2}{R} dt \quad (18)$$

$$S = 2RC_r f_s = \frac{r}{\pi} \frac{f_s}{f_r} \quad (19)$$

$$S = \frac{A(A-1)}{2-A} \quad (20)$$

با صرف نظر کردن از وضعیت پنجم (زمانبرده) حداکثر توان به

مرحله دوم : بدست آوردن سلف رزناسی (C_r) و خازن رزناسی (L_r) :

با استفاده از (۱) $\omega_r = 628.3K$ را بدست می آوریم. با توجه به امپدانس مشخصه و ω_r محاسبه شده می توان خازن و سلف رزناسی را محاسبه کرد :

$$L_r = Z_r / \omega_r = 204 \mu H \quad C_r = 1 / (Z_r \cdot \omega_r) = 12.4 nF$$

مرحله سوم : بدست آوردن خازن خروجی : خازن خروجی برای داشتن ریپل ولتاژ کمتر از ۱ درصد با آزمایش در شبیه سازی به دست آمده که عبارتست از $C = 4.7 \mu F$

۴- نتایج شبیه سازی

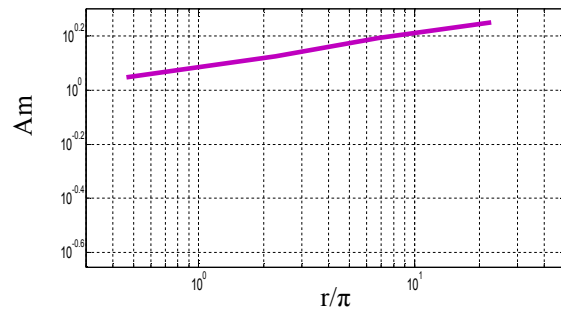
به منظور بررسی صحت مبدل پیشنهادی، مدار طراحی شده در قسمت قبل در نرم افزار PSIM مطابق شکل (۵) شبیه سازی شده است. مدار شبیه سازی شده دقیقاً همان مدار شکل (۱) است.

در شکل (۶) و (۷) نتایج شبیه سازی مبدل پیشنهادی در نرم افزار PSIM نمایش داده شده است. شکل (۶) صحت شکل موج های تئوری مبدل را تأیید می کند. همانگونه که در شکل (۷)

بار انتقال می یابد، در این حالت فرکانس سوئیچینگ ماکزیمم می شود، زیر نویس m کمیت های مربوط به این حالت را مشخص می کنند. برابر است با مجموع بازه های زمانی مد های اول ، دوم ، سوم و چهارم. A_m ماکزیمم بهره قابل حصول از مبدل در نبود زمان مرده است. رابطه مقاومت نرمالیزه بر حسب ماکزیمم بهره بصورت زیر است :

$$r = \frac{A_m(A_m - 1)}{2 - A_m} \left(\frac{3}{2} \pi - \frac{1}{2} \cos^{-1} \left(\frac{A_m - 1}{3 - A_m} \right) + \frac{\sqrt{2 - A_m}}{A_m - 1} \right) \quad (21)$$

در شکل (۴) A_m بر حسب r/π رسم شده است. همانگونه که در شکل نشان داده شده است بهره این مبدل بیشتر از یک می باشد.



شکل ۴ : A_m بر حسب r/π

۳- طراحی مبدل

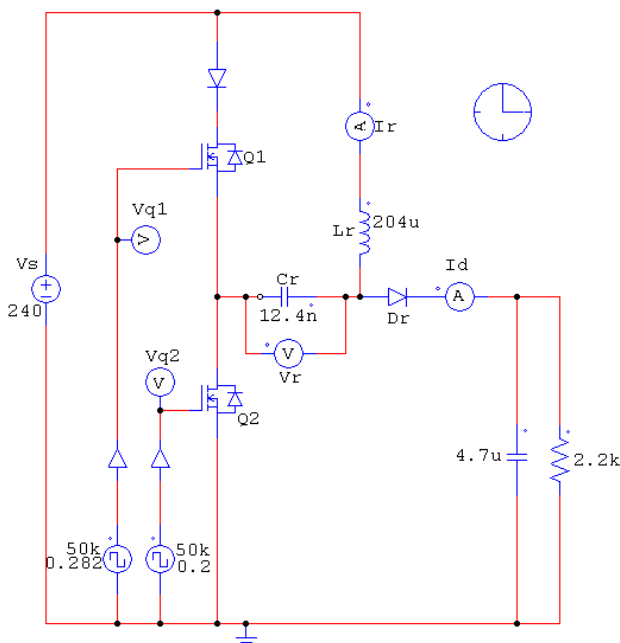
بر اساس تجزیه و تحلیل ارائه شده، یک روش طراحی در زیر ارائه شده است. مبدل با توان خروجی ۵۰ وات ، ولتاژ ورودی ۲۴۰ ولت ، ولتاژ خروجی ۳۶۰ ولت و فرکانس رزناس ۱۰۰ کیلو هرتز به عنوان مثال طراحی در نظر گرفته می شود. مراحل طراحی عبارتست از :

مرحله اول : بدست آوردن امپدانس مشخصه (Z_r) :

$$A_{max} = \frac{V_{O,max}}{V_{S,min}} = \frac{360}{240 \times 0.9} = 1.66$$

از آنجائیکه داریم $A_m > A_{max}$ ، با استفاده از (۲۱) داریم $r = 16.85$. با توجه به ۲۰٪ over design کمترین مقدار مقاومت را بدست می آوریم $R = 360^2 / (1.2 \times 50) = 2.16k$. قرار دادن این مقدار در (۲) امپدانس مشخصه بدست می آید.

$$Z_r = 128.2$$



شکل ۵ : شماتیک شبیه سازی در نرم افزار PSIM

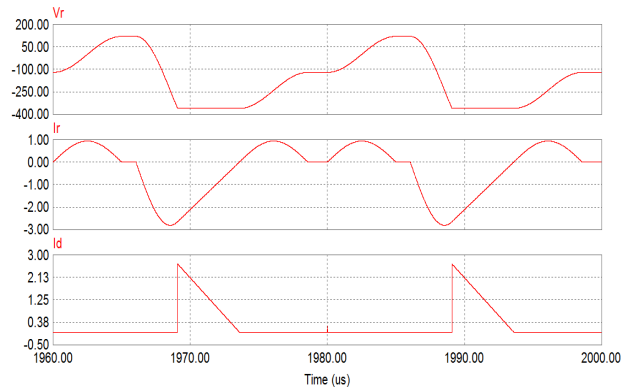
نمایش داده شده است، سوئیچ های Q_1 و Q_2 تحت سوئیچینگ جریان صفر (ZCS) روشن و خاموش می شوند. در شکل (۸) نمودار راندمان بر حسب توان خروجی نمایش داده شده است.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله یک مبدل بوست رزونانسی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تمام المان های سوئیچینگ، تحت سوئیچینگ نرم روشن و خاموش می شوند. این مبدل نسبت به مبدل بوست معمولی دارای راندمان بالاتری است. تحلیل تئوری مبدل پیشنهادی با شبیه سازی یک نمونه با توان ۵۰ وات و فرکانس رزونانس 100 کیلو هرتز در نرم افزار PSIM مورد تأیید قرار گرفته است.

مراجع

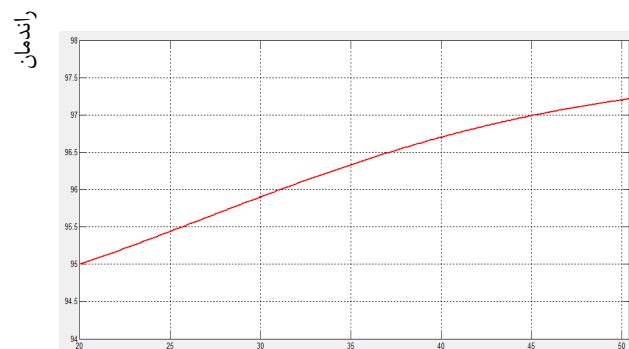
- [1] M. Jabbari, "Unified Analysis of Switched-Resonator Converters", IEEE Trans. Power. Electron., vol. 26, No.5, pp. 1364-1376, May 2011.
- [2] M. Jabbari, and H. Farzanehfard, "Family of Soft Switching Resonant DC-DC converters", IET Power Electron., Vol. 2, Iss. 2, pp. 113-124, 2009
- [3] M. Jabbari, and H. Farzanehfard "Analysis and Experimental Results of Switched-ResonatorBased Buck-Boost and InvertingBuck Converters", IEEE, pp. 412-416, 2010.
- [4] Y. Zhang and P. C. Sen, "A New Soft Switching Technique for Buck, Boost and Buck-Boost Converters", IEEE Trans. Industry Application, vol. 39, Iss: 6, pp:1775-1782, Nov.-Dec. 2003.
- [5] D-Y Jung, Y-H Ji, S-H Park, Y-Ch Jung, and Ch-Y Won, "Interleaved Soft-Switching Boost Converter for Photovoltaic Power-Generation System", IEEE Trans. Power. Electron., VOL. 26, No. 4, pp. 1137-1145, Apr. 2011.
- [6] I-b Song, D-y Jung, Y-h Ji, S-ch Choi, Y-ch Jung and Ch-y Won, "A Soft Switching Boost Converter using an Auxiliary Resonant Circuit for a PV System", Conf in Power. Electron, pp. 2838-2843, 2011.
- [7] F T. Wakabayashi, M J. Bonato, and C. A. Canesin, "Novel High-Power-Factor ZCS-PWM Preregulators," IEEE Trans. Ind. Electron vol. 48, NO. 2, pp. 322-333, Apr 2001.



شکل ۶: شکل موج ها به ترتیب از بالا: ولتاژ رزونانسی، جریان رزونانسی، جریان دایود



شکل ۷: شکل موج ها ولتاژ و جریانسوئیچ Q_1 (بالا) و Q_2 (پایین)



توان خروجی

شکل ۸: نمودار راندمان بر حسب توان خروجی