

## طراحی و شبیه سازی مبدل بوست سوئیچینگ نرم با استفاده از اسنابر پسیو بدون تلفات

بهمن رئیسی<sup>۱</sup> و محمد روح اله یزدانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی برق و الکترونیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، bahman.raeisi@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، m.yazdani@khuisf.ac.ir

چکیده - مبدل های سوئیچینگ کاربرد بسیاری در صنایع مختلف دارند . افزایش فرکانس سوئیچینگ باعث ایجاد تلفات و مشکل در روند عملکرد این سیستم ها می شود . لذا کاهش تلفات در این گونه مبدل ها مسئله ی بسیار مهمی در طراحی این مبدل ها می باشد. با استفاده از کاهش تغییرات سریع ولتاژ و جریان به روش سوئیچینگ نرم می توان تلفات و تداخل الکترومغناطیسی را تا حد زیادی کاهش داد. در این مقاله یک مدار اسنابر پسیو بدون تلفات به منظور کاهش تلفات و همچنین فراهم کردن شرایط ایمن سوئیچ و سایر المان های مبدل به وسیله ی فراهم کردن شرایط سوئیچینگ نرم پیشنهاد شده است. در این مقاله یک مبدل بوست با استفاده از مدار اسنابر ساده ارائه شده است که مدار کمی وظیفه فراهم کردن شرایط سوئیچ تحت جریان صفر (ZCS) و سوئیچ تحت ولتاژ صفر (ZVS) به ترتیب در روشن و خاموش کردن سوئیچ و همچنین ایجاد شرایط سوئیچینگ نرم در دیود خروجی مبدل و همچنین ایجاد شرایط امن برای دیود خروجی و سوئیچ مبدل به وسیله ی کاهش استرس ولتاژ و جریان روی سوئیچ و دیود را دارد. به منظور نشان دادن موثر بودن این روش مبدل بوست ارائه شده با استفاده از نرم افزار *OrCAD PSpice* شبیه سازی شده و نتایج شبیه سازی ارائه شده.

کلید واژه- مبدل بوست، مدار اسنابر پسیو بدون تلفات، سوئیچ تحت ولتاژ صفر (ZVS)، سوئیچ تحت جریان صفر (ZCS)

کارایی و خصوصیات مبدل های الکترونیک قدرت است [2]. که اگر این مشکلات توسط طراحان بررسی و برطرف نشود منجر به بروز مشکلات جدی در روند عملکرد این سیستم ها می شود، به طوری که امروزه طراحی مبدل های الکترونیک قدرت با تلفات کم یک چالش عمده برای طراحان مدارات الکترونیک می باشد [3]. تغییرات سریع ولتاژ و جریان و همچنین تداخل آنها در سوئیچ ها و دیود ها و جریان بین درین سوئیچ و گرماگیر و جریان بازبایی معکوس دیود از عوامل اصلی تلفات در مبدل های سوئیچینگ می باشد [4,5]. عمده ترین روش برای کاهش تلفات و تداخل الکترومغناطیسی در مبدل های سوئیچینگ استفاده از تکنیک سوئیچینگ نرم است [6,7]. در واقع در سوئیچینگ نرم تغییرات سریع ولتاژ و جریان (di/dt, dv/dt) در سوئیچ ها و دیودها کاهش می یابد [8]، در سوئیچینگ نرم هنگامی که ولتاژ یا جریان سوئیچ صفر است سوئیچ روشن یا خاموش می شود [9,10]. در مبدل های PWM روش مناسب برای فراهم آوردن شرایط سوئیچینگ نرم و در نتیجه کاهش تلفات استفاده از مدارهای اسنابر است. مدار ها اسنابر به دو دسته ی اکتیو و پسیو تقسیم

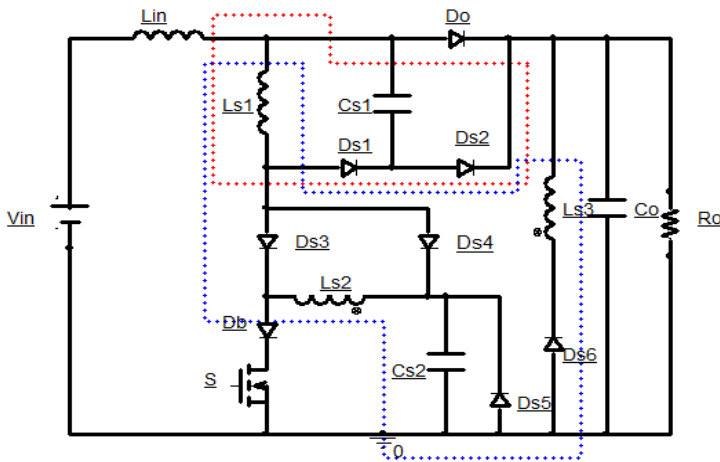
### ۱- مقدمه

پیشرفت روز افزون سیستم های الکترونیک و الکترونیک در حوزه های مختلف مانند سیستم های مخابراتی، توزیع برق، سیستم های کنترل و سیستم های در حوزه ی مهندسی پزشکی، مدارهای مجتمع الکترونیک و غیره بنا بر نیاز و کاربرد های صنعتی، کاربرد روز افزون مبدل های سوئیچینگ را در پی دارد. سیستم های الکترونیک قدرت از جمله منابع تغذیه سوئیچینگ کاربرد های بسیار زیادی خصوصا در محیط های صنعتی دارند که باید به صورت صحیح طراحی شوند [1]. به ویژه امروزه طراحی مبدل ها با چگالی توان بالا یکی از مهمترین مسائل در حوزه ی الکترونیک قدرت است که اساسا مهمترین راه برای رسیدن به این هدف افزایش فرکانس سوئیچینگ در این مبدل ها می باشد [2]. از طرفی افزایش فرکانس سوئیچینگ باعث افزایش تلفات و همچنین افزایش تداخل الکترومغناطیسی می شود، در واقع افزایش سرعت و فرکانس سوئیچینگ عمده ترین پیشرفت در

این باعث ایجاد تلفات می‌شود. مزیت دیگر این مدار اسنابر این است که باعث کاهش  $di/dt, dv/dt$  در سوئیچ اصلی و همچنین در دیود خروجی می‌شود که در نتیجه باعث کاهش تلفات می‌شود. مدار اسنابر ارایه شده در مبدل های مختلف قابل استفاده می‌باشند ولی در این مقاله در یک مبدل بوست به کار رفته و تجزیه و تحلیل شده است و نتایج شبیه سازی ارائه شده است که مبدل شبیه سازی شده توان ۲۰۰ وات و با ورودی ۵۰ ولت و خروجی ۱۰۰ ولت است و با فرکانس سوئیچینگ 100KHZ است. که جزئیات و روند عملکرد مدار در ادامه به صورت کامل شرح داده شده است.

## ۲- مدار اسنابر پسیو بدون تلفات پیشنهادی

مبدل بوست پیشنهادی در شکل (۱) نشان داده شده است



شکل ۱: مبدل بوست سوئیچینگ نرم با مدار اسنابر پسیو بدون تلفات

همان طور که در شکل مشخص است مدار اسنابر خود متشکل از دو مدار اسنابر است که در این مبدل بوست پیشنهادی به کار رفته‌اند. که البته این دو مدار را می‌توان به صورت جداگانه نیز در مبدل به کاربرد و هر کدام از این مدار در مبدل بوست و سایر مبدل های تک سوئیچ به نوعی می‌توانند شرایط سوئیچینگ نرم را فراهم کنند. مدار کمکی اول شامل سلف  $L_{s1}$  و خازن  $C_{s1}$  و دیودهای  $D_{s1}$ ,  $D_{s2}$  است و مدار کمکی دوم شامل عناصر پسیو  $L_{s1}$ ,  $L_{s2}$ ,  $L_{s3}$  و چهار دیود  $D_{s3}$  تا  $D_{s6}$  است که دو سلف  $L_{s1}$  و  $L_{s2}$  با هم تزویج شده‌اند. برای فراهم

می‌شوند [11]. در مدارهای اکتیو برای کنترل عملکرد مدار از سوئیچ کمکی استفاده می‌شود و مدار کنترل آن‌ها پیچیده است، به ویژه اگر سوئیچ کمکی نیاز به گیت درایو فلوت داشته باشد [12,13]. ولی مدار های اسنابر اکتیو دارای این مزیت هستند که بعضی از این مدار ها به خوبی می‌توانند شرایط روشن و خاموش شدن سوئیچ تحت ولتاژ صفر یا جریان صفر را فراهم کنند. در مقابل مدارهای اسنابر پسیو فقط از عناصر پسیو تشکیل شده‌اند و بدون هیچ سوئیچ کمکی شرایط سوئیچینگ نرم را فراهم می‌کنند. لذا مدار کنترل مبدل بسیار ساده است. در این مقاله یک مدار اسنابر پسیو بدون تلفات برای رسیدن به سوئیچینگ نرم و در نتیجه کاهش تلفات و تداخل الکترومغناطیسی استفاده شده است. مبدل بوست ارایه شده با استفاده از مدارهای کمکی به صورت نرم سوئیچ می‌شود و استرس ولتاژ و جریان روی سوئیچ و همچنین دیود خروجی کاهش یافته است. مبدل بوست ارایه شده شامل یک مبدل بوست معمولی و مدار اسنابر که که این مدار اسنابر خود متشکل از دو مدار است که هر یک از این مدارها به صورت جداگانه نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. مدار کمکی اول شامل سلف رزونانس  $L_s$  و خازن رزونانس  $C_s$  و دیودهای کمکی  $D_1, D_2$  است که این مدار باعث کاهش تلفات و همچنین باعث کاهش استرس ولتاژ و جریان روی دیود و سوئیچ مبدل می‌شود در واقع سلف سری شده با سوئیچ باعث کاهش تلفات می‌شود و دیودها نیز تغییرات  $di/dt$  را کنترل می‌کنند. در این مبدل انرژی بازیابی معکوس ابتدا در زمان روشن بودن سوئیچ در سلف  $L_s$  ذخیره می‌شود و زمانی که دیود  $D_o$  خاموش باشد به خازن  $C_{s1}$

انتقال پیدا می‌کند. و این انرژی در هنگام خاموش شدن سوئیچ اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد و هرگز تلف نمی‌شود. مدار اسنابر دیگر همان طور که در شکل مشخص است یک مدار پسیو بدون تلفات است. که در مبدل های ایزوله و غیر ایزوله قابل استفاده است. و در مبدل های مختلف بوست، باک، باک بوست، فوروارد، اسپیک، فلائی بک، و در واقع در تمام مبدل های تک سوئیچ ایزوله و غیر ایزوله قابل استفاده است. در این مدار انرژی ذخیره شده در خازن اسنابر به بار خروجی انتقال پیدا می‌کند که این باعث کاهش تلفات می‌شود. در بعضی از مدار های اسنابر ارائه شده مثلا در این انرژی به منبع ورودی منتقل می‌شود که

کند، ولی در این مود جریان  $L_{s1}$  از جریان  $I_{in}$  کمتر است. به همین دلیل بخشی از جریان ورودی از  $D_0$  عبور می کند و  $D_0$  همچنان روشن است و در نتیجه  $V_0$  برابر با ولتاژ  $L_{s1}$  است. بنابراین جریان  $L_{s1}$  برابر با  $V_0/L_{s1}$  است و به صورت خطی افزایش می یابد در این مود جریان  $L_{s1}$  در حال افزایش و جریان  $D_0$  در حال کاهش است و مقدار جمع این دو جریان برابر  $I_{in}$  است. از طرفی با روشن شدن سوئیچ یک رزونانس بین  $L_{s2}$  و  $C_{s2}$  صورت می گیرد که در طی این رزونانس خازن  $C_{s2}$  در  $L_{s2}$  تخلیه می شود بنابراین ولتاژ  $C_{s2}$  در حال کاهش و جریان  $L_{s2}$  در حال افزایش است.

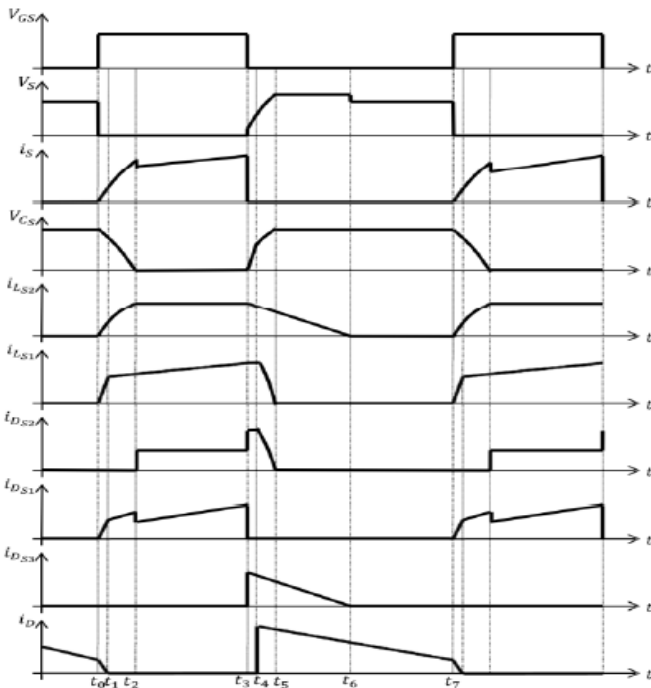
آوردن شرایط ZCS و ZVS در خاموش و روشن شدن سوئیچ از  $L_{s1}$  و  $C_{s2}$  استفاده شده است و دیگر المان های مدار اسنابر وظیفه ی باز یابی انرژی ذخیره شده در خازن و سلف را انجام می دهند. هنگام خاموش شدن سوئیچ خازن شروع به شارژ کردن می کند و در سیکل بعد هنگامی که سوئیچ روشن می شود انرژی ذخیره شده در سلف  $L_{s2}$  تخلیه می شود، در واقع یک رزونانس بین  $L_{s2}$  و  $C_{s2}$  صورت می گیرد و هنگام خاموش شدن سوئیچ انرژی  $L_{s2}$  به خروجی انتقال پیدا می کند. نقش دیود  $D_{s6}$  نیز این است که در توان های پایین اجازه نمی دهد ولتاژ منفی دو سر خازن  $C_{s2}$  باشد. در مدار اسنابر اول نیز یک فرایند رزونانس بین خازن  $C_{s1}$  و سلف  $L_{s1}$  صورت می گیرد. در واقع انرژی باز یابی معکوس ابتدا در زمان روشن بودن سوئیچ در سلف  $L_{s1}$  ذخیره می شود و در زمان خاموش بودن  $D_0$  این انرژی به خازن  $C_{s1}$  تحویل داده می شود. این انرژی هنگام خاموش شدن سوئیچ مورد استفاده قرار می گیرد. مبدل بوست مد نظر شامل هشت وضعیت عملکرد در یک سیکل کاری می باشد که در زیر به صورت کامل توضیح داده شده است.

۳- وضعیت های عملکرد مبدل بوست پیشنهادی در یک سیکل کاری

در این قسمت مود های مختلف مبدل پیشنهادی بررسی می شود. مبدل بوست سوئیچینگ نرم به صورت کامل در شکل (۱) نشان داده شده است  $L_{in}$ ،  $S$ ،  $D_0$  و  $C_0$  قطعات اصلی مبدل بوست را تشکیل داده اند و  $L_{s3}$ ،  $L_{s2}$ ،  $L_{s1}$ ،  $D_{s6}$  تا  $D_{s1}$ ،  $C_{s1}$  و  $C_{s2}$  قطعات اسنابر هستند. این مبدل دارای هشت وضعیت در یک سیکل کاری است. شکل موج های مبدل در یک سیکل کاری در شکل (۳) نشان داده شده اند. همچنین روند عملکرد مدار در هر وضعیت در یک سیکل کاری در شکل (۴) نشان داده شده است

وضعیت های عملکرد:

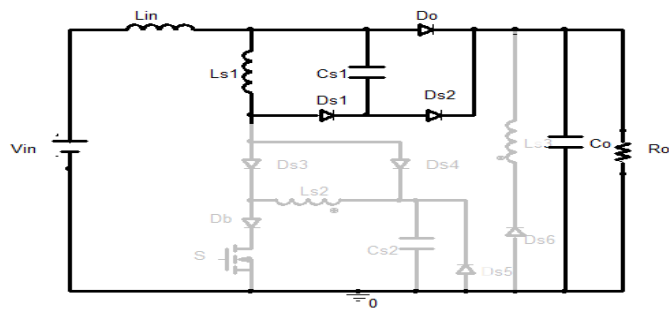
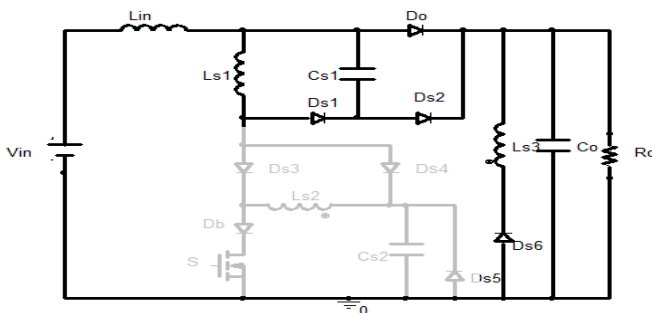
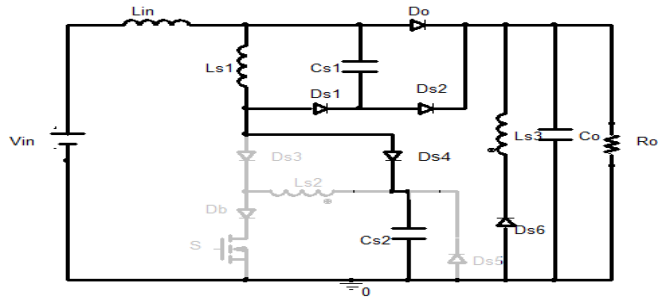
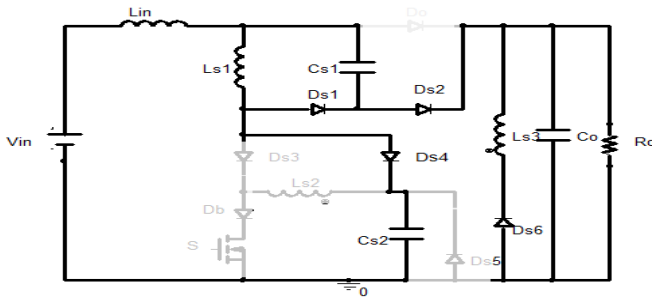
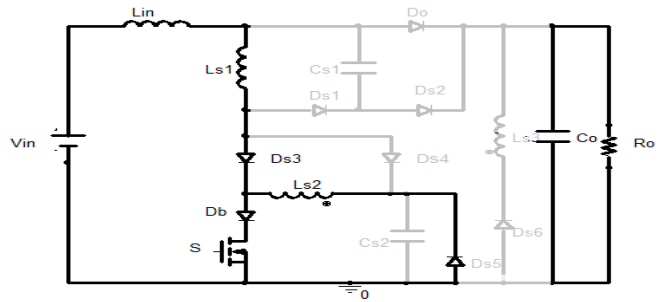
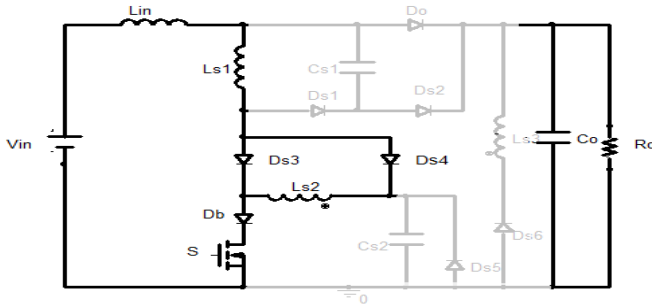
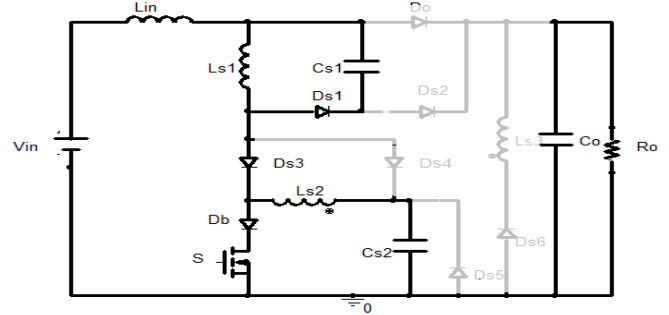
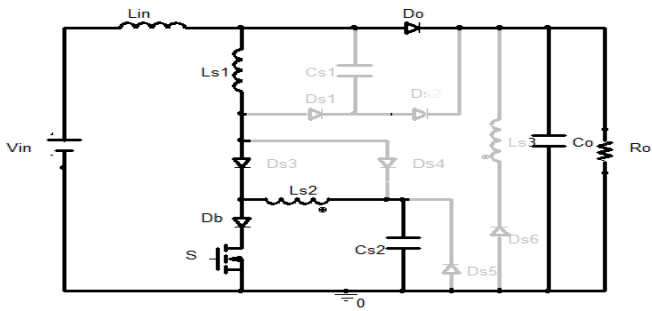
وضعیت اول  $[t_0-t_1]$ : قبل از این وضعیت فرض می شود که سوئیچ و همچنین تمام دیود های مدار های کمکی خاموش بوده و انرژی ذخیره شده در  $L_{s2}$  و  $L_{s3}$  نیز صفر بوده و  $D_0$  روشن بوده است. در این وضعیت در لحظه  $t_0$  سوئیچ مبدل تحت جریان صفر (ZCS) روشن می شود. با روشن شدن سوئیچ، دیود  $D_{s3}$  نیز تحت ZCS روشن می شود و جریان  $L_{s1}$  شروع به افزایش می



شکل ۳: شکل موج های مبدل بوست پیشنهادی در یک سیکل کاری

وضعیت دوم  $[t_1-t_2]$ : این وضعیت زمانی شروع می شود که  $I_{s1}$  به  $I_{in}$  برسد و با هم مساوی شوند در این لحظه دیود  $D_0$  تحت جریان صفر (ZCS) خاموش می شود و خازن  $C_1$  شروع به شارژ می کند. در

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



در زمان  $t_7$  جریان سلف  $L_{s3}$  به صفر می رسد و دیود  $D_s$  تحت جریان صفر (ZCS) خاموش می شود

۴- نتایج شبیه سازی

در این قسمت نتایج شبیه سازی مبدل بوست پیشنهادی ارائه شده است. مبدل طراحی شده یک مبدل 200W با ورودی 50V و خروجی 100V و با فرکانس سوئیچینگ 100KHZ است. با توجه به محاسبات انجام شده مقادیر جریان ها و ولتاژ های تقریبی برای المان های مختلف محاسبه و در نهایت نوع المان های انتخاب شده و مقادیر سلف و خازن های مبدل در جدول زیر آمده است.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای مبدل

مقادیر	قطعات
250 $\mu$ H	Lin
47nF	Co
20n	Cs1
4.4nf	Cs2
2 $\mu$ H	Ls1
660 $\mu$ H	Ls3
63 $\mu$ H	Ls2

برای تأیید تحلیل تئوری مبدل پیشنهادی، این مبدل با پارامترهای ارائه شده در جدول شماره (۱) شبیه سازی شده است. شکل موج ولتاژ و جریان سوئیچ مبدل پیشنهادی سوئیچینگ نرم در شکل (۵) نشان داده شده است، همان طور که در شکل مشخص است مبدل بوست ارائه شده به صورت نرم سوئیچ شده و سوئیچ تحت ولتاژ صفر (ZVS) خاموش و تحت جریان صفر (ZCS) روشن می شود. و شرایط سوئیچینگ نرم فراهم شده است. در شکل (۶) ولتاژ و جریان دیود خروجی ( $D_0$ ) مبدل بدون مدار کمکی اول نشان داده شده است با توجه به نتایج به دست آمده برای ولتاژ و جریان  $D_0$  در مبدل پیشنهادی بدون مدار کمکی اول و همان طور که در شکل (۶) مشخص است شرایط سوئیچینگ نرم برای دیود خروجی مبدل فراهم شده

در این وضعیت ولتاژ  $V_{in}$  دو سر سلف  $L_{s1}$  و  $L_{in}$  می افتد و این باعث می شود جریان همچنان به صورت خطی افزایش پیدا کند. از طرفی رزونانس بین  $L_{s2}$  و  $C_{s2}$  که در مود اول انجام شد همچنان ادامه دارد

وضعیت سوم  $[t_2-t_3]$ : این وضعیت زمانی شروع می شود که ولتاژ  $L_{s2}$  به مقدار صفر برسد در این وضعیت اگر جریان  $L_{s1}$  بزرگتر از جریان  $L_{s2}$  باشد  $D_{s4}$  روشن می شود. که در این حالت به دلیل این که  $D_{s3}$  و  $D_{s4}$  با هم روشن هستند، ولتاژ سلف  $L_{s2}$  صفر است. در این وضعیت دیودهای  $D_0$ ،  $D_{s1}$  و  $D_{s2}$  همچنان خاموش هستند

وضعیت چهارم  $[t_2-t_3]$ : این وضعیت زمانی است که  $I_{s1}$  کوچکتر از مقدار  $I_{C_{s2}}$  که در این صورت به جای  $D_{s4}$  دیود  $D_{s5}$  روشن می شود.

وضعیت  $[t_3-t_4]$ : پس از نیم سیکل با توجه به این که مقدار دیوتی سیکل برابر ۵. است در زمان  $t_4$  سوئیچ اصلی تحت ولتاژ صفر (ZVS) خاموش می شود. در این وضعیت دیود های  $D_{s1}$  و  $D_{s2}$  روشن می شوند. بنابراین بخشی از جریان  $I_{in}$  از دو دیود  $D_{s1}$  و  $D_{s2}$  می گذرد که در این حالت خازن  $C_{s2}$  که در حالت های قبل تخلیه شده است شروع به شارژ شدن می کند. در واقع خازن باعث می شود که سوئیچ تحت ولتاژ صفر خاموش شود. رابطه ی زیر برای شارژ خازن برقرار است

$$V_{cs}(t) = (I_{in} - I_{D_{s1}}) / (t-t_3)$$

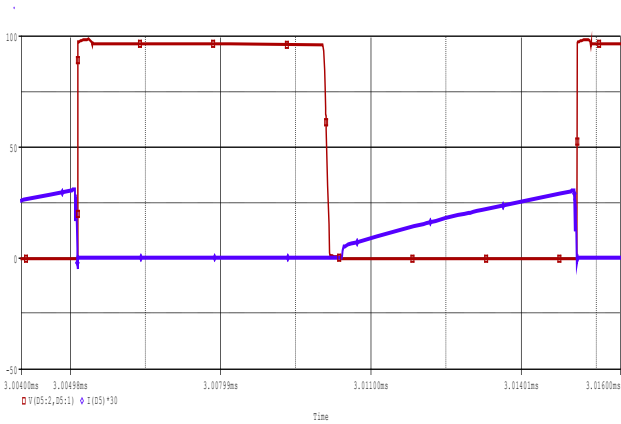
وضعیت ششم  $[t_4-t_5]$ : با شارژ شدن  $C_{s2}$  در زمان  $t_4$  دیود  $D_0$  تحت ولتاژ صفر (ZVS) روشن می شود که در این حالت ولتاژ  $V_{in}-V_0$  دو سر  $L_{in}$  می افتد و  $L_{in}$  درون خروجی تخلیه می شود. بخشی از جریان ورودی از  $D_0$  و بخشی از آن از  $L_{s1}$  می گذرد.

از طرفی در زمان  $t_4$  رزونانس بین  $L_{s1}$  و  $L_{s2}$  صورت می گیرد که در طی این رزونانس سلف  $L_{s2}$  درون  $C_{s2}$  تخلیه می شود

وضعیت هفتم  $[t_5-t_6]$ : در زمان  $t_5$  جریان  $L_{s1}$  به صفر می رسد و در نتیجه دیود  $D_{s4}$  تحت جریان صفر (ZCS) خاموش می شود و

در این وضعیت جریان  $L_{s3}$  در حال انتقال به خروجی است

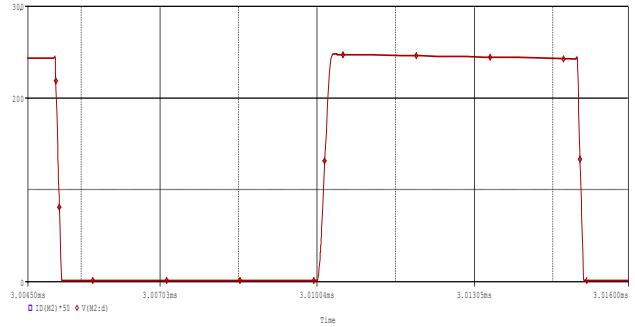
وضعیت هشتم  $[t_6-t_7]$  در این وضعیت مدرا اسنابر دوم از مدار خارج شده و مبدل بوست معمولی همراه با مدار اسنابر اول است



(voltage div = 10v/dec) , (current div = 200mA/dec)

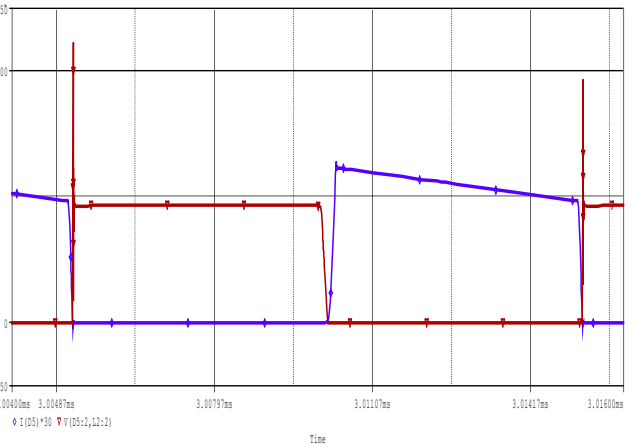
شکل ۷) شکل موج جریان (زرد) و ولتاژ (آبی) دیود Do در مبدل پیشنهادی با استفاده از هر دو مدار اسنابر

همان طور که در شکل ۷ مشخص است شرایط سوئیچینگ نرم برای دیود خروجی مبدل فراهم شده است. از طرفی استرس ولتاژ و جریان دیود نسبت به حالت قبل به صورت چشمگیری کاهش یافته، همچنین پرش ولتاژ و جریان روی دیود حذف شده است. شکل موج های ولتاژ و جریان برای سویچ و دیود Do برای مبدل بوست معمولی که در واقع به صورت سوئیچینگ سخت سوئیچ می شود نیز اندازه گیری شده که نتایج به دست آمده در شکل (۸) نشان داده شده است.



(voltage div = 100v/dec) , (current div = 2A/dec)

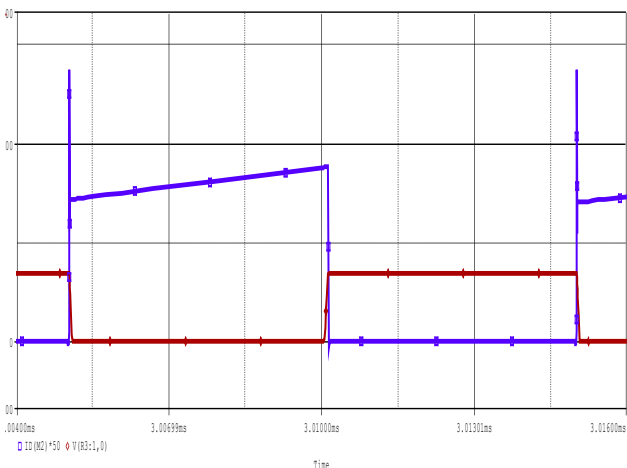
شکل ۵) شکل موج جریان (ر) و ولتاژ (بالا) سویچ مبدل سوئیچینگ نرم و دیود تحت جریان صفر (ZCS) خاموش و تحت ولتاژ صفر روشن می شود.



(voltage div = 100v/dec) , (current div = 3.3A/dec)

شکل ۶) شکل موج جریان (زرد) و ولتاژ (آبی) دیود Do در مبدل پیشنهادی بدون مدار اسنابر اول

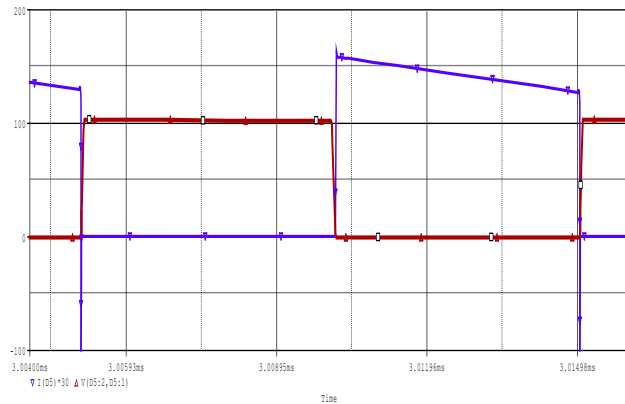
در شکل ۷ شکل موج جریان و ولتاژ Do در حالتی نشان داده شده است که مدار بوست با استفاده از هر دو مدار ذکر شده کار می کند در واقع در این حالت هر دو مدار بوست ارائه شده به مدار بوست معمولی اضافه شده است.



(voltage div = 10v/dec) , (current div = 200mA/dec)

شکل ۸) شکل موج ولتاژ (آبی) و جریان (زرد) سویچ در حالت سوئیچینگ سخت

- [2] Mohan, Undeland, Robbins, "Power Electronics Converters, Application and Design", 3RD edition, John Wiley & Sons, 2003
- [3] M. Joshi, Agarwal, "Generation and Propagation of EMI Waves in Power Electronics Circuits", Proc. Int. Conf. Power Electronics Specialists . India, Vol. 2, pp. 1165-1171, 1998.
- [4] D.M. Bellur, M.K. kazimierczuk, "Zero-current-transition two switch flyback pulse-width modulated DC-DC converter", IET Power Electron, Vol.4, pp. 288-295, 2011
- [5] Y. Konishi, C.Y.Inaba, M. Nakaoka, "High-frequency flyback-type soft-switching PWM DC-DC converter with energy recovery transformer and auxiliary passive lossless snubber", IEEE Proc. Electr Power, pp.32-37, Appl 2003.
- [6] E. Adib and H. Farzanehfar, "Zero-voltage Transition Current-Fed Full-Bridge PWM Converter", IEEE Trans. Power Electron., Vol 24, No. 4, 2009.
- [7] Y.K. Lo and J.Y. Lin, "Active clamping ZVS flyback converter employing transformers", IEEE Trans Electron., Vol.22, No. 6, pp.2416- 2423, Nov. 2007.
- [8] M. R. Yazdani, H. Farzanehfar and J. Faiz, " Classification and comparison of EMI mitigation techniques in switching power converters-A review, " Journal of Power Electronics (JPE), vol. 11, no. 5, pp. 767-777, Sep.2011.
- [9] Q.Zhao and F.C.Lee, "High-efficiency, high step-up DC-DC converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 18, .no.1, pp.65-73, Jan.2003A.
- [10] E.H.Ismail, M.A.AI-Saffar, A.J. Sabzali, and A.A. Fardoun, "A family of single-switch PWM converters with high step-up conversion ratio," IEEE Trans. Circuits Syst. I Regular., 55, no.4, pp. 1159-1171, May 2008
- [11] E. Adib, H. Farzanehfar, "Analysis and Design of a Zero-Current Switching Forward Converter With Simple Auxiliary Circuit," IEEE Trans. Power Electron., vol. 27, no. 1, pp. 144-150, Jan. 2012.
- [12] B. Akin, "An Improved ZVT-ZCT PWM DC-DC Boost Converter With Increased Efficiency," IEEE Trans. Power Electron., vol. 29, no. 4, pp. 1919-1926, Apr. 2014
- [13] M. Mohammadi, E. Adib, H. Farzanehfar, "Lossless passive snubber for double ended flyback converter with passive clamp circuit," IET Power Electron., vol. 7, no. 2, pp. 245-250, Feb. 2014.



شکل ۸) شکل موج ولتاژ (آبی) و جریان (قرمز) در حالت سوچینگ سخت با مقایسه نتایجی به دست آمده در مبدل بوست پیشنهاد شده با مبدل معمولی به صورت سوئیچینگ سخت، کارآمد و تاثیرگذار بودن مدار های اسنابر پسیو بدون تلفات استفاده شده در مبدل تایید می شود

#### ۵- نتیجه گیری

فراهم کردن شرایط سوئیچینگ نرم به منظور بهبود روند عملکرد مبدل های الکترونیک قدرت خصوصا در فرکانس سوئیچینگ بالا و همچنین در مبدل های با چگالی توان بالا روش بسیار مناسبی برای بهینه کردن مبدل و در واقع کاهش تلفات و تداخل الکترومغناطیسی می باشد. در این مقاله مدار اسنابر پسیو بدون تلفات ارائه شده که به خوبی قادر به فراهم کردن شرایط سوئیچینگ نرم است. مدار اسنابر بررسی شده در این مقاله خود شامل دو مدار است که هر کدام می توانند به صورت جداگانه مورد استفاده قرار گیرند در این مقاله یک مبدل بوست به همراه مدار اسنابر پیشنهاد شده بهینه شده است و شرایط سوئیچینگ نرم برای مبدل فراهم شده است. به منظور نشان دادن موثر بودن مدار اسنابر پیشنهادی در کاهش تلفات، یک مبدل بوست به همراه اسنابر پیشنهادی توسط نرم افزار OrCAD PSpice شبیه سازی شده و نتایج سوئیچینگ نرم و سخت ارائه و باهم مقایسه شده است.

- [1] E. Adib and H. Farzanehfar, "Analysis and design of a zero-current switching forward converter with simple auxiliary circuit," IEEE TransPower Electron., vol. 27, no. 1, pp. 144 – 150, Jul. 2012.