

## مقایسه و ارزیابی چند اسنابر پسیو غیر تلفاتی در مبدل سوئیچینگ بوست

مولود السادات حجازی<sup>۱</sup>، محمد روح ا... یزدانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، mowlud\_hejazi@yahoo.com

<sup>۲</sup>دانشگاه آزاد اسلامی واحد اصفهان (خوراسگان)، mro\_yazdani@yahoo.com

چکیده - یک مسئله مهم در طراحی مدارهای الکترونیک قدرت، کاهش تلفات توان در کلید های الکترونیکی می باشد. تلفات توان در حالت روشنی از آن جهت اتفاق می افتد که ولتاژ دو سر کلید در حالت هدایت صفر نیست. تلفات کلید زنی از آن جهت اتفاق می افتد که قطعه به صورت لحظه ای از حالتی به حالت دیگر منتقل نمی شود. تلفات کلید زنی در خیلی از مبدل ها بیشتر از حالت روشنی می باشد. یکی از راه های کاهش تلفات، استفاده از مدار های اسنابر می باشد. مدار های اسنابر به منظور اصلاح شکل موج های کلید زنی برای کاهش تلفات و حفاظت کلید، طراحی می شوند. تقسیم بندی برای مدارهای اسنابر وجود دارد به این ترتیب که یک سری پسیو و یک سری اکتیو هستند. اگر انرژی جذب شده توسط مدار اسنابر در یک مقاومت تلف شود نوع اسنابر پسیو یا با اتلاف نامیده می شود. چنانچه انرژی جذب شده به ورودی یا خروجی مدار منتقل گردد به آن اسنابر بی اتلاف می گویند. در این مقاله مروری بر روی چهار مبدل بوست که از تکنیک های متفاوت اسنابری غیر تلفاتی استفاده شده، انجام گرفته است. در مدار های اسنابر، مقایسه ای بر روی عملکرد و چند پارامتر مانند استرس ولتاژ، استرس جریان، بازده مدار صورت گرفته است. همچنین با استفاده از نرم افزار ارکد شکل موج های ولتاژ و جریان سوئیچ و دیود هرزگرد بررسی می شود.

کلید واژه- اسنابر، استرس جریان، استرس ولتاژ، غیر تلفاتی، پسیو، مبدل بوست

۱) هنگامی که جریان مدار از طریق ماسفت افزایش می یابد،

باعث افزایش جریان بازیابی معکوس دیود هرزگرد می گردد.

۲) دشارژ خازن پارازیتی درین-سورس ماسفت حین روشن شدن آن، اتفاق می افتد. این پدیده فقط توسط تکنیک های مبدل رزنانسی یا اسنابری اکتیو قابل حذف شدن می باشد.

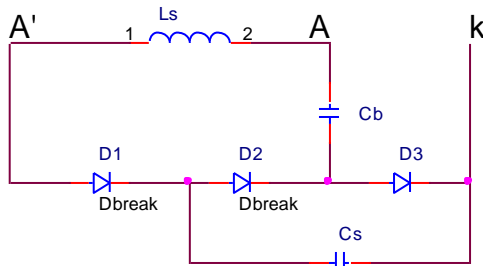
۳) هنگام خاموش شدن، افزایش سریع ولتاژ درین-سورس را داریم، که این پدیده باعث نویز EMI ( $\frac{dv}{dt}$ ) و تلفات خاموش شدن برای ماسفت می شود. جهت بهبود مشکلات حاصله از پدیده های غیر ایده آل بالا، تکنولوژی های سوئیچینگ نرم ارائه شده است [۲]-[۶]. اسنابر های اکتیو معرفی شده در [۲]-[۵] می توانند تمامی مکانیسم های تلفاتی سوئیچ های کمی را کاهش دهند. سوئیچ های کمی باعث پیچیدگی مدار کنترل و قدرت و

### ۱- مقدمه

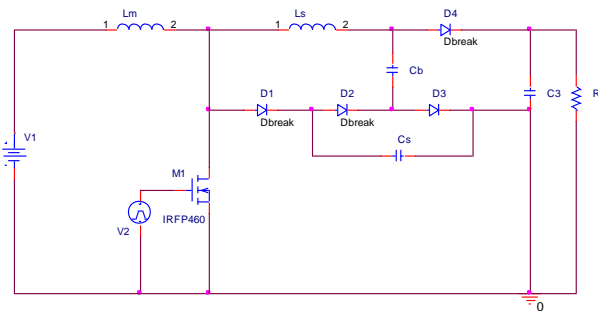
مبدل های مدولاسیون عرض پالس بعنوان منبع تغذیه سوئیچینگ در صنعت بطور گسترده مورد استفاده قرار گرفته اند. تکنیک PWM را جهت بدست آوردن توان بالا و سادگی کنترل چگالی توان و پاسخ گذرای سریع در مبدل های dc-dc بکار می گیرند. این نوع تکنیک با افزایش فرکانس سوئیچینگ حاصل می گردد، ولی با افزایش این نوع فرکانس، تلفات سوئیچینگ و نویز EMI افزایش می یابد. تلفات سوئیچینگ و نویز EMI در مبدل های dc-dc طی عملیات سوئیچ زنی حاصل می گردد. وقتی که ماسفت به عنوان سوئیچ قدرت مورد استفاده قرار می گیرد، باعث پدیده کموتاسیون غیره ایده آل می گردد [۱].

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

می شود .



شکل ۱: ساختار ۱ اسنابر پسیو غیر تلفات



شکل ۲: مبدل بوست همراه با اسنابر با ساختار ۱

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود ، سلول اسنابر در این بخش، از یک سلف  $L_s$  ، دو خازن  $C_b$  و  $C_s$  و سه دیود  $D_1, D_2$  و  $D_3$  تشکیل شده است. سلف اسنابر  $L_s$  بصورت سری با دیود هرزگرد  $D_1$  قرار گرفته است . این سلف به گونه ای طراحی گشته است که  $di/dt$  جریان بازبایی معکوس جهت دستیابی به روشن شدن ZCS را محدود و کنترل نماید [۳] . خازن اسنابر  $C_s$  بصورت موازی با  $D_2$  و  $D_3$  قرار گرفته و توسط  $D_1$  جدا شده است . این خازن به گونه ای طراحی گشته که  $dv/dt$  ولتاژ درین-سورس جهت دستیابی به خاموش شدن ZVS ، را محدود و کنترل نماید. تلفات سوئیچینگ و نویز EMI طی روشن و خاموش شدن سوئیچ توسط سلول اسنابر حذف می گردد .

این نوع ساختار از اسنابرهای پسیو غیر تلفاتی می تواند سلول اسنابر روشن شدن را با سلول خاموش شدن را ترکیب نماید. سلول اسنابر روشن شدن  $di/dt$  جریان بازبایی معکوس را توسط سلف اسنابر که به صورت سری با دیود هرزگرد قرار گرفته، محدود می کند. دو دیود و خازن ( $D_2$  و  $D_3$  و  $C_s$ ) جهت بازبایی انرژی جذب شده در خروجی به مدار اضافه شده اند [۳] .

مشکلات عدیده ی همزمانی سیگنال های کنترل چند سوئیچ می گردند. با استفاده از تکنیک اسنابر اکتیو می توان قابلیت اطمینان را کاهش داد. اسنابر های RCD در [۶] دارای ساختار ساده و هزینه پایین ساخت هستند. در حالی که این نوع اسنابر ها بدترین شکل عملکرد را دارند و از آنجا که تلفات سوئیچینگ در مقاومت ها پراکنده اند، باعث کاهش بهره ی مدار می گردند. مبدل های رزناسی در [۷] و [۸]، در جهت کاهش تلفات سوئیچینگ تحت ZCS یا ZVS عمل می کنند. عیب عمده ی این مبدل ها تلفات هدایتی است که با توجه به جریان گردشی بالا افزایش می یابد. در مقایسه با ۳ تکنولوژی بررسی شده، اسنابر پسیو غیر تلفاتی می تواند تلفات سوئیچینگ و نویز EMI را بدون هیچ المان اکتیوی محدود کند [۶]-[۹]. سلف ها و خازن های اسنابر پسیو باعث محدود شدن جریان درین و ولتاژ درین-سورس می شوند. این نوع از اسنابر ها، بندرت با سیستم کنترلی مدار تداخل دارند و انرژی گردشی تولید شده توسط آنها بسیار کم است. از مزایای متمایز اسنابر پسیو غیر تلفاتی می توان به هزینه پایین ساخت، عملکرد و قابلیت اطمینان بالا اشاره نمود.

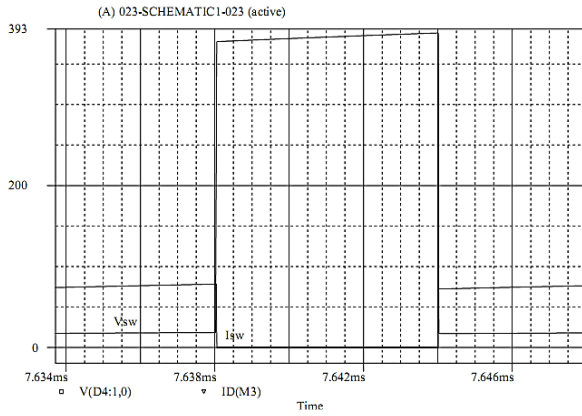
با اینکه در این مقاله مبدل های بوست تک ورودی بررسی شده ، ولی می توان از ساختار های دووردی برای مبدل ها استفاده نمود ، که با استفاده از کمترین المان ها و کمترین تلفات ، توان مورد نظر از خروجی را دریافت کرد .

در بخش های بعدی ساختارهای متفاوت اسنابرهای پسیو غیر تلفاتی که بر روی مبدل بوست طراحی گشته، بررسی می شود و مقایسه ای بین آنها انجام می گیرد.

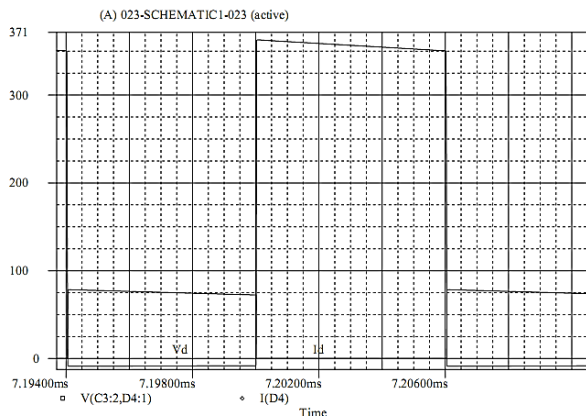
## ۲- مبدل بوست با ساختار ۱ اسنابر پسیو غیر تلفاتی

این نوع مبدل از سلولی استفاده کرده که وضعیت روشن شدن و خاموش شدن ماسفت را بهبود می دهد و با کنترل محدود کردن  $dv/dt$  ولتاژ درین-سورس و  $di/dt$  جریان بازبایی معکوس می تواند تلفات سوئیچینگ و نویز EMI را کاهش دهد. این ساختار دارای بازده ی ۹۶ درصد می باشد که محاسبه گشته است [۳] . در شکل ۱ بلوک اسنابر پسیو غیر تلفاتی را مشاهده می شود. نقاط A و K به آند و کاتد دیود هرزگرد مبدل و نقطه A' به آند دیود هرزگرد متصل می شوند. شکل ۲ مدار اصلی دیده

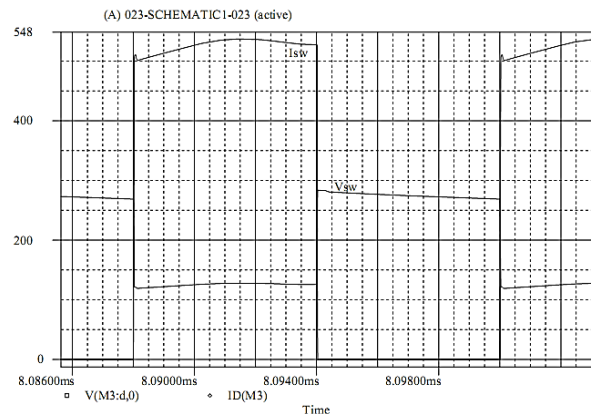
بسیاری از اسنابر های خاموش شدن در مقالات، از خازن موازی با سوئیچ استفاده می کنند که بتوانند  $dv/dt$  ولتاژ درین-سورس را محدود کنند. در مدار سوئیچینگ، ولتاژ دیود هرزگرد متفاوت از ولتاژ درین-سورس سوئیچ است. تمامی انرژی جذب شده در خازن و سلف اسنابر  $C_s$  و  $L_s$  به خازن بافر منتقل می گردد. انرژی بازیابی شده از دشارژ خازن بافر  $C_b$  در خروجی قابل دریافت است. در شکل های زیر می توان شکل موج های ولتاژ و جریان سوئیچ با و بدون اسنابر، شکل موج های جریان سلف و ولتاژ خازن اسنابر و خازن بافر و همچنین شکل موج های جریان و ولتاژ دیود هرزگرد در حضور و غیاب سلول اسنابر قابل مشاهده است. در شکل ۳ تا ۸ می توان شکل موج های ولتاژ و ولتاژ و جریان سوئیچ و دیود هرزگرد در ۲ وضعیت همراه و بدون اسنابر مشاهده نمود.



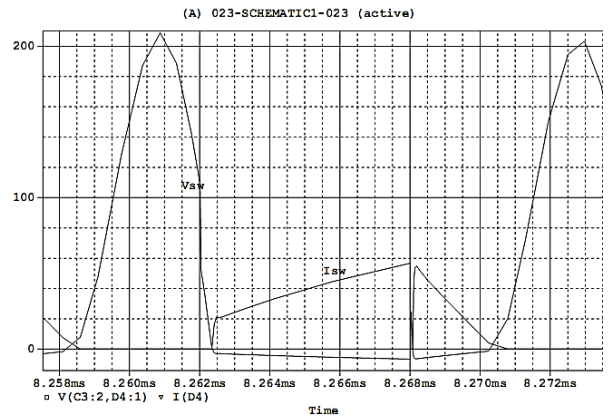
شکل ۵: شکل موج ولتاژ و جریان سوئیچ بدون اسنابر



شکل ۶: شکل موج ولتاژ و جریان سوئیچ بدون اسنابر

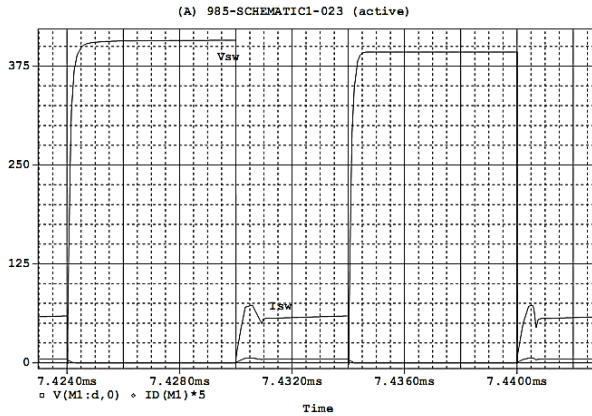


شکل ۳: شکل موج ولتاژ و جریان سوئیچ (مبدل بوست همراه با اسنابر ساختار ۱)

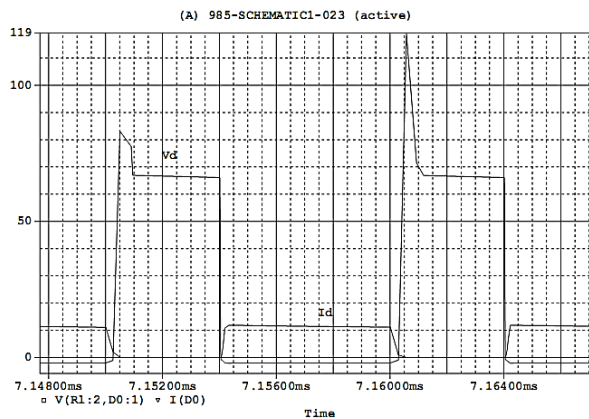


شکل ۴: شکل موج ولتاژ و جریان دیود هرزگرد (مبدل بوست با اسنابر ساختار ۱)

چنانچه شکل های ۳ و ۴ را مقایسه کنیم، نتیجه می گیریم که این مبدل می تواند  $di/dt$  جریان درین را محدود کرده و باعث می شود که ماسفت نزدیک به شرایط ZCS روشن شود [۳]. اگر شکل های ۵ و ۶ را با دقت بررسی کنیم به این نتیجه می رسیم که  $dv/dt$  ولتاژ درین-سورس محدود شده و خاموش شدن ماسفت تحت ZVS فراهم می گردد. از مقایسه شکل های ۷ و ۸ می توان دریافت که دیود هرزگرد می تواند تحت ZVS خاموش گردد.



شکل ۸ : شکل موج ولتاژ و جریان سوئیچ (مبدل بوست همراه با اسنابر ساختار ۲)

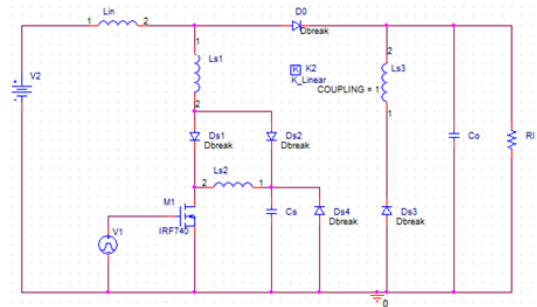


شکل ۹ : شکل موج ولتاژ و جریان دیود هرزگرد (مبدل بوست با اسنابر ساختار ۲)

#### ۴- مبدل بوست با ساختار ۳ اسنابر پسیو غیر تلفاتی

سلول اسنابر نشان داده شده در شکل ۱۴ دارای سه گره  $a$ ،  $b$  و  $c$  می باشد. جهت بدست آوردن عملکرد اسنابر، منبع جریان سوئیچ شونده سوئیچینگ باید به گره های  $a$  و  $b$  متصل باشد و منبع ولتاژ سوئیچ شونده به گره های  $b$  و  $c$  متصل شود. در شکل ۱۵ نحوه اتصال مدار به سلول اسنابر نشان داده شده است. شکل های ۱۶ و ۱۷ شکل موج های ولتاژ و جریان سوئیچ

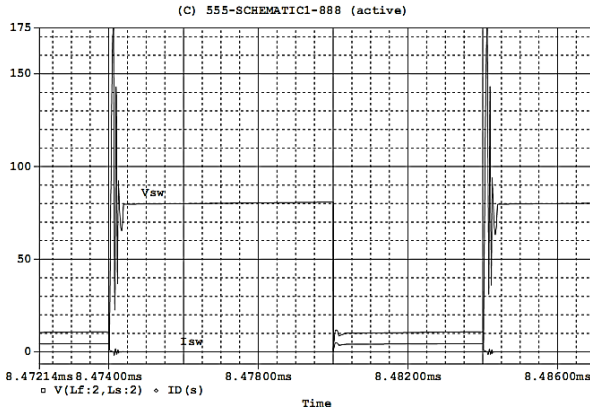
#### ۳- مبدل بوست با ساختار ۲ اسنابر پسیو غیر تلفاتی



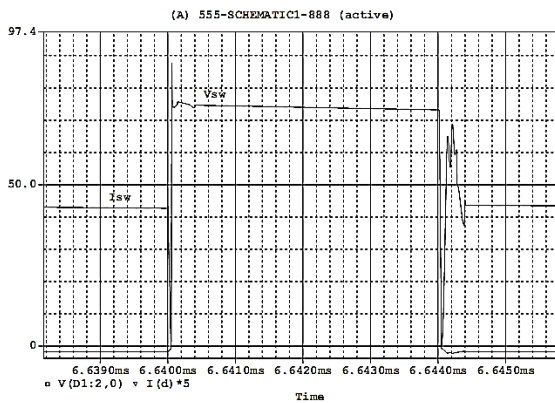
شکل ۷ : مبدل بوست همراه با اسنابر پسیو غیر تلفاتی (ساختار ۲)

شکل ۹ مبدل بوست همراه با اسنابر پسیو غیر تلفاتی که دارای ساختار ۲ هست، را نشان می دهد. این مدار اسنابر از سلف های اسنابر  $L_{S1}$ ،  $L_{S2}$ ،  $L_{S3}$  و خازن اسنابر  $C_S$  و دیود اسنابر  $D_{S1}$  تا  $D_{S4}$  تشکیل شده است. سلف های اسنابر  $L_{S2}$  و  $L_{S3}$  به صورت تزویج در مدار قرار گرفته اند. عملکرد این مدار اسنابر بر پایه عملکرد مبدل فلای بک است. خازن اسنابر  $C_S$  و سلف اسنابر  $L_{S1}$  شرایط  $ZVS$  و  $ZCS$  را در وضعیت های روشن شدن و خاموش شدن سوئیچ را تأمین می کنند. وقتی سوئیچ در وضعیت روشن هست، در مرحله رزنانس، انرژی ذخیره شده  $C_S$  به  $L_{S2}$  منتقل می گردد [۵]. هنگامی که سوئیچ مبدل خاموش است، انرژی ذخیره شده در  $L_{S2}$  به سمت خروجی راه می یابد. وظیفه  $D_{S4}$  به گونه ای است که در مواقعی که توان خروجی پایین است، در برابر منفی شدن ولتاژ  $C_S$  مقاومت می کند. در این مبدل شرایط سوئیچینگ نرم ایجاد می گردد.

در شکل های ۱۰ تا ۱۳ می توان شکل موج های ولتاژ و جریان سوئیچ اصلی مبدل همراه با اسنابر و بدون آن و همچنین شکل موج های ولتاژ و جریان دیود هرزگرد همراه با اسنابر و بدون آن را در دو وضعیت روشن و خاموش بودن سوئیچ مشاهده نمود.



شکل ۱۲: شکل موج ولتاژ و جریان سوئیچ (مبدل بوست همراه با اسنابر ساختار ۳)

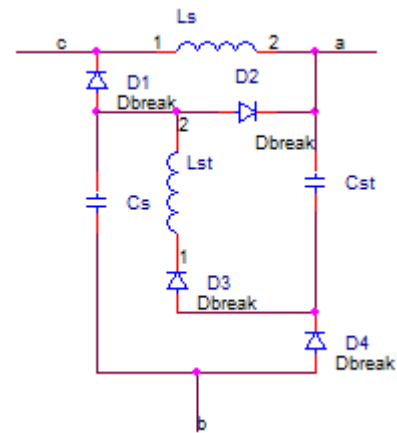


شکل ۱۳: شکل موج ولتاژ و جریان دیود هرزگرد (مبدل بوست با اسنابر ساختار ۳)

### ۵- مبدل بوست با ساختار ۴ اسنابر پسیو غیر تلفاتی

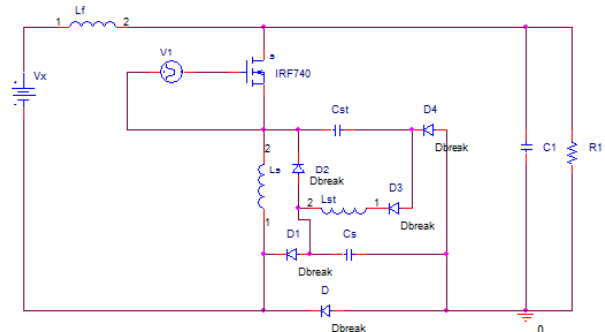
در این بخش مبدل بوست همراه با اسنابر پسیوی است که قادر به تأمین شرایط ZVS حین خاموش شدن سوئیچ مبدل بوست می باشد و همچنین شرایط سوئیچینگ نرم برای هر کدام از قطعات نیمه هادی مبدل را ایجاد می کند [۸]. اسنابر مسیری را ایجاد می کند که جریان در وضعیت خاموش شدن در آن جاری می شود. وقتی سوئیچ مبدل خاموش است، جریان سلف از خازن های  $C_{S1}$  و  $C_{S2}$  عبور می کند و همپوشانی جریان و ولتاژ سوئیچ هنگام خاموش شدن، حذف می شود. همچنین با اضافه کردن سلف به صورت سری با  $D_2$  می توان شرایط ZCS را بدست آورد.

همراه اسنابر و بدون آن را نشان می دهند. در شکل به وضوح دیده می شود که در حالت مبدل بدون اسنابر، استرس ولتاژ اصلی بر روی سوئیچ بر می گردد. در حالتی که مبدل همراه با سلول اسنابر هست، پیرامون ولتاژ ورودی متمرکز می گردد. پیک جریان رزنانس کمتر از ماکسیمم جریان سوئیچ در حالت بدون اسنابر است [۶].



شکل ۱۰: سلول اسنابر دارای ساختار ۳

شکل های ۱۶ تا ۱۹، شکل موج های ماکسیمم ولتاژ روشن شدن و خاموش شدن سوئیچ را نشان می دهند.

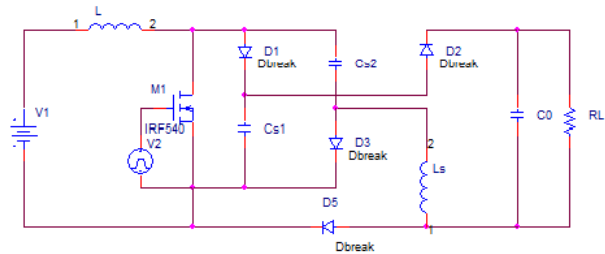


شکل ۱۱: مبدل بوست همراه با اسنابر پسیو غیر تلفاتی (ساختار ۳)

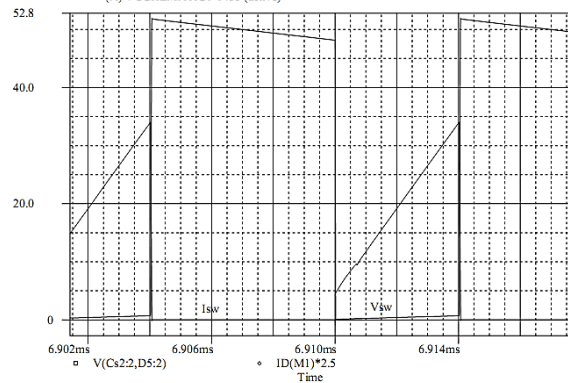


### ۶ - نتیجه گیری

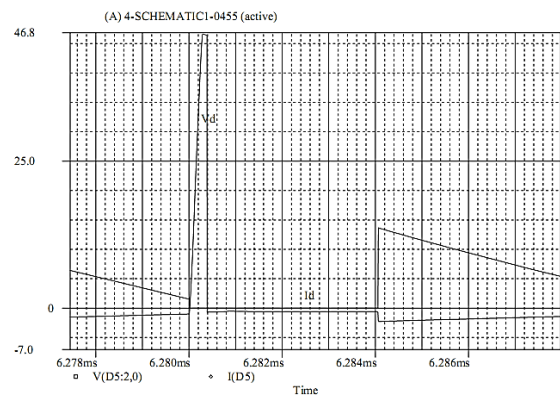
با بررسی و مرور ۴ ساختار از سلول های اسنابر پسیو از نوع غیر تلفاتی می توان اطلاعات قابل توجهی را جمع آوری کرده و در جدول ۱ ارائه کرد. در حالت عادی جهت دریافت توان از هر منبع باید از یک مبدل مجزا استفاده کرد و ایراد اصلی که در اکثر این مبدل ها مشاهده می شود این است که در صورتی که یک منبع انرژی قادر به تأمین توان نباشد، عملکرد کلی مبدل دچار اختلال می شود. ولی استفاده از مبدل های مجزا برای منابع مختلف موجب افزایش شدید تعداد قطعات، هزینه، حجم و پیچیدگی مدار کنترل خواهد شد. لذا جهت پیشگیری از مشکلات یاد شده، می توان مبدل های مجزا را با یکدیگر ادغام نمود و عمل جذب توان از ورودی های مختلف را با تعداد المان کمتر انجام داد، مبدل هایی هستند که دارای دو ورودی می باشند. با تکنیک هایی که وجود دارد می توان مبدل های ارائه شده، را تبدیل به مبدل های دو ورودی نمود.



شکل ۱۴: مبدل بوست همراه با اسنابر پسیو غیر تلفاتی (ساختار ۴)



شکل ۱۵: شکل موج ولتاژ و جریان سوئیچ (مبدل بوست همراه با اسنابر ساختار ۴)



شکل ۱۶: شکل موج ولتاژ و جریان هرزگرد (مبدل بوست بدون اسنابر ساختار ۴)

### ۷- مراجع

- [1] A. Elasser and D. A. Torry, "Soft switching active snubbers for dc/dc converters," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 11, pp. 710-722, Sept 1996.
- [2] Ching-Jung Tseng and Chern-Lin Chen, "A Passive Lossless Snubber Cell for Nonisolated PWM DC/DC Converters" *IEEE Transaction On Industrial Electronics*, Vol. 45, No. 4, August 2013.
- [3] Mehdi Mohammadi, Student Member, IEEE, Ehsan Adib and Mohammad Rouhollah Yazdani, "Family of Soft-Switching Single-Switch PWM Converters with Lossless Passive Snubber" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 55, No. 1, pp. 12-23, 2014.
- [4] River T.H. Li, Student Member, IEEE, and Henry Shu-hung Chung, Senior Member, IEEE, "A Passive Lossless Snubber Cell With Minimum Stress and Wide Soft-Switching Range" *IEEE Transaction On Power Electronics*, Vol. 25, No. 7, JULY 2013
- [5] Ching-Jung Tseng and Chern-Lin Chen, Member, IEEE., "A Passive Lossless Snubber Cell for Nonisolated Converters" *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, Vol. 45, NO. 4, August 2013.
- [6] Mehdi Mohammadi, Ehsan Adib, "Reducing Turn off Lossless with a Passive Lossless Snubber for Boost Converter" *The 5th Power Electronics, Drive Systems and Technologies Conference (PEDSTC 2014)*, Feb 5-6, 2014, Tehran, Iran
- [7] Y.-S. Kim, W.-Y. Sung, B.-K. Lee, "Comparative Performance Analysis of High Density and Efficiency PFC Topologies," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 6, pp. 2666-2679, jun. 2014.

۸- پی نوشت

PWM : Pulse Width Modulation

EMI : Electromagnetic interference

RCD : <sup>1</sup> Resistance Capacitor Diode

ZCS : Zero Current Switching

ZVS : Zero Voltage Switching

- [8] S. Dusmez, A. Khaligh. , “A Compact and Integrated Multifunctional Power Electronic Interface for Plug-in Electric Vehicles IEEE Trans. Power Electron., vol. 28, no. 12, pp. 5690-5701, Dec. 2013.
- [9] N. Suresh, M. Pahlevaninezhad, P. K. Jain, “Analysis and Implementation of a Single-Stage Flyback PV Microinverter With Soft Switching”, *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 61, no. 4, pp. 1819-1833, Apr. 2014
- [10] J. L. Russi, V. F. Montagner, M. L. Martins, H. Leães Hey, “A Simple Approach to Detect ZVT and Determine Its Time of Occurrence for PWM Converters” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 7, pp. 2576-2585, Jul. 2013.
- [11] K. Smith and K. Smedley, “Engineering design of lossless passive soft Switching methods for PWM converters—Part II. With nonminimum volt- age stress circuit cells” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 17, no. 6, pp. 864–873, Nov. 2013.
- [12] X. He, B. Williams, S. Finney, and T. Green, “Analysis and comparison of a new passive lossless snubber for high frequency converter application,” in *Proc. 5th Eur. Conf. Power Electron. Appl. (EPE)*, Sep. 2014, vol. 2, pp. 344–349.
- [13] R. Gurunathan and A. Bhat, “Zero-voltage switching DC link single- phase pulsewidth-modulated voltage source inverter,” *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 5, pp. 1610–1618 Sep. 2007.

بازده	استرس جریان سوئیچ	استرس ولتاژ سوئیچ	تعداد المان های اسنابر	مرجع
۹۶ درصد (400w)	$\frac{\sqrt{V_o^2 + (I_{rr}Z_o)^2}}{Z_o}$	$V_{in}$	۶	[۳]
۹۶ درصد (200w)	$\frac{\bar{P}_o}{\eta V_{in} D} + C_s \frac{V_{sw}}{T_{sw}}$	$(1 + n_a)V_o + \sqrt{\frac{L_{s1}}{C_s} \left( \frac{\bar{P}_o}{\eta V_{in} D} + \frac{\Delta I}{2} \right)}$	۸	[۴]
۹۱ درصد (200w)	$I_{in}$	$V_{in}$	۸	[۵]
۹۴٫۸ درصد (200w)	$I_{out} \sqrt{\frac{D}{1-D}}$	$\frac{V_o}{2 + n(1-D)}$	۴	[۶]