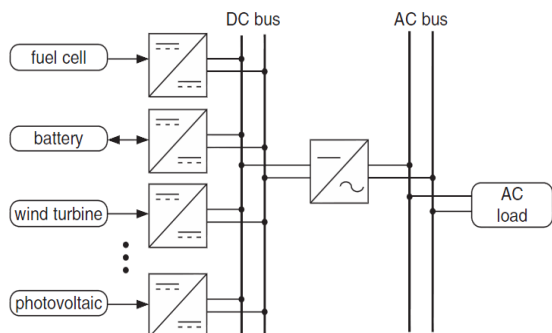
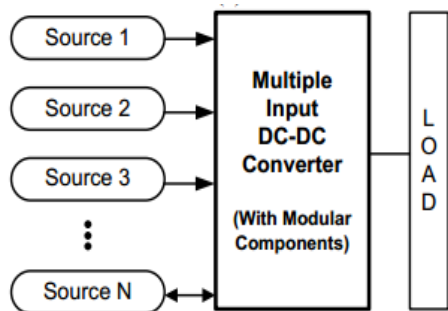


# بررسی و تحلیل یک مبدل چندورودی کلیدزنی نرم جهت استفاده برای منابع انرژی تجدیدپذیر

بهروز مظاهری تهرانی، مهدی خرم‌دشتی، بهمن ریسی و احسان ادیب



شکل ۱: استفاده از مبدل‌های جداگانه و تزریق به DC-Bus [۱].



شکل ۲: نحوه کار مبدل چندورودی [۱].

تزریق و از آن استفاده کرد [۱]، اما در این روش برای هر منبع مبدلی جداگانه استفاده می‌گردد که این امر با توجه به تعداد المان‌های مورد نیاز، هزینه‌ها را به شدت افزایش می‌دهد. از این رو تحقیقاتی برای دستیابی به سیستمی که به تنهایی قادر به پردازش منابع مختلف و تأمین انرژی خروجی باشد انجام پذیرفت و مبدل‌های چندورودی به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش بازده ارائه گردید. در این روش همان طور که در شکل ۲ مشخص است، منابع مختلف از طریق یک مبدل چندورودی انرژی مورد نیاز را تأمین می‌نماید. از جمله مزایای این روش می‌توان به بالا رفتن بازده، کاهش اندازه مدار و تعداد قطعات آن و در نتیجه کاهش هزینه اشاره کرد.

مبدل‌های چندورودی را بر اساس نحوه انتقال توان به خروجی می‌توان به دو دسته مبدل‌های تزویج‌شده مغناطیسی و مبدل‌های تزویج‌شده الکتریکی تقسیم نمود. در مبدل‌های تزویج‌شده مغناطیسی با ایجاد شار در هسته ترانسفورمر و انتقال آن به خروجی انرژی مورد نیاز تأمین می‌گردد [۲] اما مبدل‌های تزویج‌شده الکتریکی از اتصال مناسب مبدل‌های پایه به یکدیگر بر اساس قوانین مشخص ایجاد می‌گردند [۳].

با اضافه کردن چندین المان کمکی به ساختارهای تزویج‌شده مغناطیسی یا الکتریکی می‌توان ساختارهای چندورودی با شرایط کلیدزنی نرم ایجاد کرد. مبدل‌های معرفی‌شده در [۴] و [۵] اگرچه شرایط کلیدزنی نرم را برای کلیدها فراهم کرده‌اند، ولی این ساختارها دارای المان‌های نیمه‌هادی زیادی هستند که این عامل باعث افزایش هزینه‌های مبدل‌ها

چکیده: یکی از چالش‌های موجود در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر عدم توانایی این منابع در تأمین پایدار انرژی مورد نیاز برای کاربردهای گوناگون می‌باشد تا بتوان از آن در نیازهای روزمره نیز استفاده کرد. با توجه به مشکل بیان‌شده، در بسیاری از کاربردها نیاز به منابع متعدد مانند باد، خورشید، باتری و پیل سوختی به طور هم‌زمان می‌باشد تا بتوان در مواقع لزوم از آن استفاده کرد، اما استفاده از مبدل‌های جداگانه برای هر منبع با توجه به هزینه بالا مقرون به صرفه نیست. مبدل‌های چندورودی امکان استفاده از چند منبع در کنار یکدیگر را توسط یک مبدل فراهم می‌کند تا با کاهش تعداد المان‌های موجود در مدار هزینه‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد. در این مقاله مبدل چندورودی با کلیدزنی نرم ارائه می‌شود. در این مبدل تنها با استفاده از یک مدار کمکی برای هر دو کلید مبدل شرایط کلیدزنی نرم فراهم شده است. مبدل چندورودی کلیدزنی نرم پیشنهادی تحلیل و صحت راهکارهای پیشنهادی در قالب تحلیل‌های نظری و نتایج شبیه‌سازی اثبات می‌گردد.

کلیدواژه: مبدل‌های چندورودی، کلیدزنی نرم، انرژی تجدیدپذیر.

## ۱- مقدمه

امروزه با توجه به رو به پایان بودن انرژی‌های فسیلی و همچنین آلودگی این نوع انرژی، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، انرژی بادی و ... به صورت روزافزونی افزایش یافته است. اما در بسیاری موارد این انرژی‌ها به تنهایی قادر به تأمین انرژی مورد نیاز نمی‌باشند. برای مثال هنگامی که از انرژی خورشیدی استفاده می‌شود، حتی در صورتی که در طول روز با تابش نور خورشید انرژی مورد نیاز تأمین گردد برای تأمین انرژی در هنگام تاریکی هوا نیاز به منبع ثانویه‌ای می‌باشد و یا به عنوان مثال دیگر، در خودروهای برقی که با سوخت پیل سوختی انرژی خود را تأمین می‌کنند، در هنگام شتاب‌گرفتن خودرو نیاز به منبع ثانویه‌ای می‌باشد که توان مورد نیاز جهت شتاب‌دادن به خودرو را تأمین کند. امروزه شمار کاربردهایی که به بیشتر از یک منبع توان نیاز داشته باشند رو به افزایش است و بنابراین باید روشی برای استفاده از منابع مختلف ارائه گردد. همان طور که در شکل ۱ نشان داده شده است می‌توان این منابع را به صورت مجزا توسط مبدل مناسبی به DC Bus

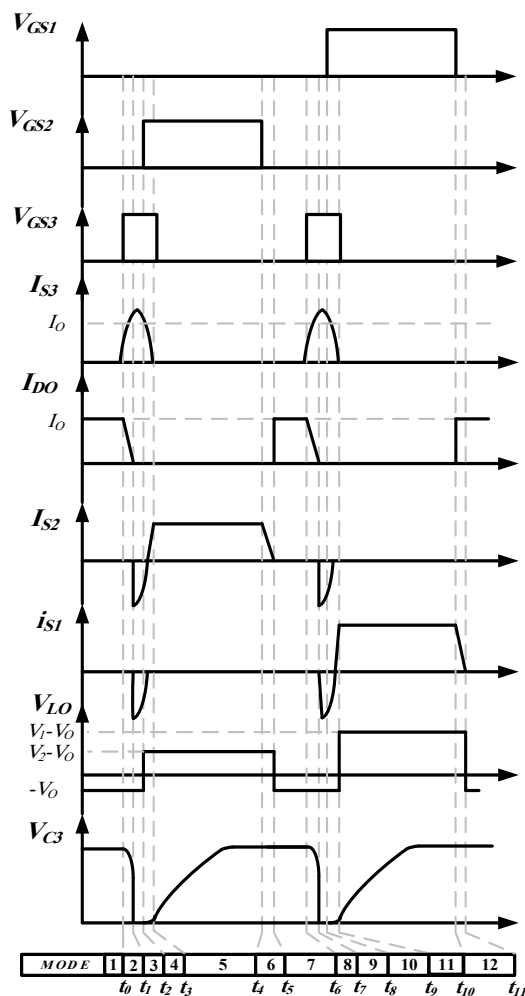
این مقاله در تاریخ ۱۶ فروردین ماه ۱۳۹۷ دریافت و در تاریخ ۱۱ آبان ماه ۱۳۹۷ بازنگری شد.

بهروز مظاهری تهرانی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، (email: bmazaheri155@gmail.com).

مهدی خرم‌دشتی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، (email: mehdy.khorram@gmail.com).

بهمن ریسی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، (email: bahman.raeisi@yahoo.com).

احسان ادیب (نویسنده مسئول)، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، (email: e.adib@cc.iut.ac.ir).



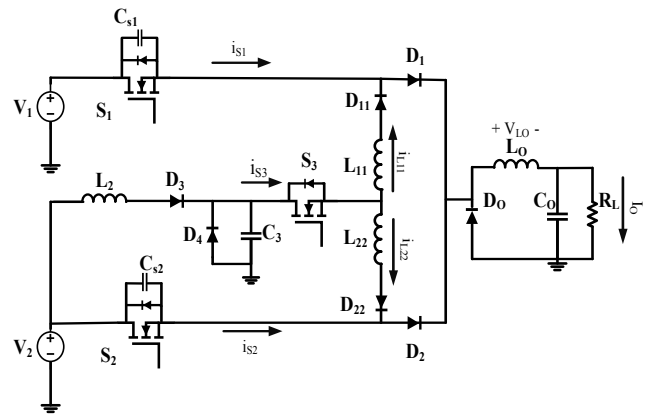
شکل ۴: شکل موج‌های کلیدی.

## ۲-۱ اجزای مبدل پیشنهادی

همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است این مدار دارای دو ورودی  $V_1$  و  $V_2$  است که هر یک می‌توانند توان خود را به خروجی منتقل نمایند و توسط کلیدهای  $S_1$  و  $S_2$  به مدار اضافه می‌گردند. علاوه بر این دو ورودی، یک مدار کمکی وجود دارد که شرایط کلیدزنی نرم دو ورودی دیگر را فراهم می‌کند. مدار کمکی می‌تواند به جای اتصال به ورودی دوم، به ورودی دیگری متصل شود و ضمن فراهم کردن کلیدزنی نرم، مبدل سه ورودی ایجاد کند. علت این امر در مراحل کاری مدار مشخص می‌باشد زیرا مدار کمکی خود توان جذب کرده و به خروجی منتقل می‌کند. مدار شامل دو دیود یکسوکننده  $D_1$  و  $D_2$  و دیودهای  $D_{11}$ ،  $D_{22}$  و  $D_{33}$  برای فراهم آمدن شرایط کلیدزنی نرم می‌باشد. خازن‌های اسنابر  $C_{s1}$  -  $C_{s2}$  و سلف‌های  $L_{11}$ ،  $L_{22}$  و  $L_{33}$  نیز برای فراهم آوردن شرایط کلیدزنی نرم به مدار اضافه شده‌اند. همچنین شکل موج‌های کلیدی مبدل و وضعیت‌های عملکرد آن به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

## ۲-۲ وضعیت‌های عملکرد مدار

شکل موج‌های اصلی مدار در حالت پایدار در شکل ۴ نشان داده شده است. عملکرد مدار با در نظر گرفتن فرض‌های زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد: تمامی المان‌های نیمه‌هادی و سلف‌ها و خازن‌های مدار به صورت ایده‌آل در نظر گرفته می‌شوند. سلف  $L_1$  نسبت به سلف‌های



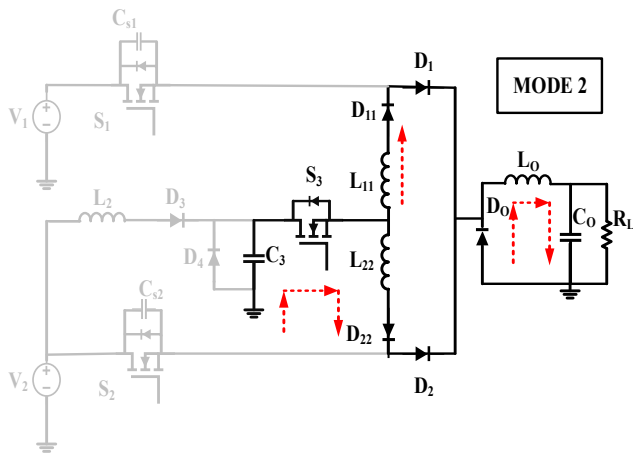
شکل ۳: مبدل پیشنهادی.

شده است. مرجع [۶] یک ساختار دوورودی را معرفی کرده که در این ساختار کلیدها به صورت نرم تغییر وضعیت می‌دهند ولی در این مبدل یکی از ورودی‌ها به صورت شناور مورد استفاده قرار می‌گیرد که این مورد باعث ایجاد محدودیت در انتخاب منبع ورودی می‌شود. همچنین به علت استفاده از ساختار محدودکننده فعال، در توان‌های پایین شرایط کلیدزنی نرم از دست می‌رود زیرا انرژی لازم در سلف رزونانس جهت تخلیه خازن‌ها در توان پایین وجود ندارد. در [۷] تا [۱۰] انواع مبدل‌های پایه به روش الکتریکی تزویج شده‌اند و چندین ساختار چندورودی با این شیوه به وجود آمده‌اند. این ساختارها علی‌رغم سادگی، دارای کلیدزنی سخت می‌باشند و در نتیجه بازده بالایی ندارند. در ساختار معرفی شده در [۱۱] دو مبدل باک به عنوان مبدل ورودی استفاده شده‌اند و یک ساختار دوورودی را به وجود آورده‌اند. این ساختار مانند مبدل [۶] دارای یک ورودی با زمین شناور بوده و همچنین تمام کلیدها به صورت سخت تغییر وضعیت می‌دهند. در [۱۲] با اضافه شدن یک دیود اضافی به مبدل [۶]، بازده ساختار اندکی افزایش یافته است ولی هنوز محدودیت ورودی شناور وجود دارد.

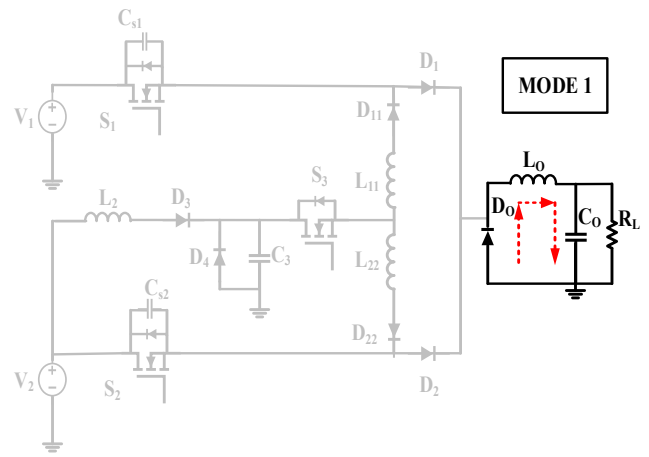
در مدار پیشنهادی در این مقاله سعی بر آن شده که با اضافه کردن کمترین المان شرایط کلیدزنی نرم برای این مبدل فراهم گردد. از مزایای این مدار می‌توان به تعداد کم المان‌های مدار، کنترل ساده و کلیدزنی نرم کلیدهای آن و به تبع آن تلفات کم اشاره کرد. همچنین در مدار پیشنهادی، مدار کمکی هم در جذب توان و انتقال آن به خروجی نقش دارد و در هر توانی شرایط کلیدزنی نرم را فراهم می‌کند. علاوه بر این مدار کمکی می‌تواند خود به یک ورودی سوم متصل شده و از آن توان جذب کند که مزیت اصلی این مدار نسبت به ساختارهای مشابه است. همچنین از این مبدل می‌توان در به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی بادی، خورشیدی و ... به صورت هم‌زمان استفاده نمود. در این مقاله ابتدا به معرفی مبدل پیشنهادی پرداخته می‌شود و پس از آن وضعیت‌های عملکردی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه صحت عملکرد آن توسط نتایج شبیه‌سازی با نرم‌افزار OrCAD-PSpice اثبات می‌گردد.

## ۲-۲ مبدل پیشنهادی

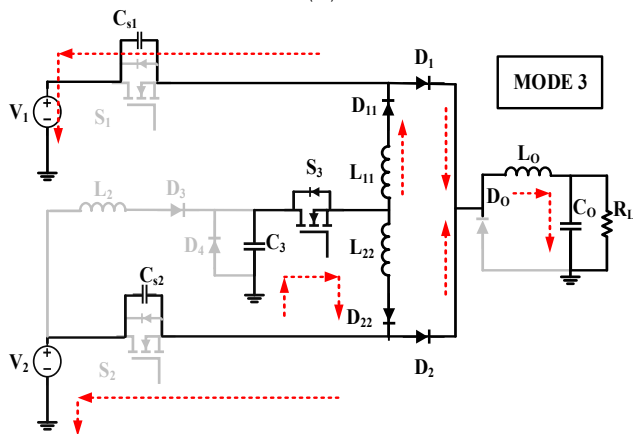
شکل ۳ مبدل پیشنهادی را نشان می‌دهد که شرایط کلیدزنی نرم برای تمامی المان‌های نیمه‌هادی این مدار فراهم گشته است. این مدار یک مبدل باک دوورودی می‌باشد که از دو بخش ورودی، یک بخش مدار کمکی و یک بخش خروجی تشکیل شده است.



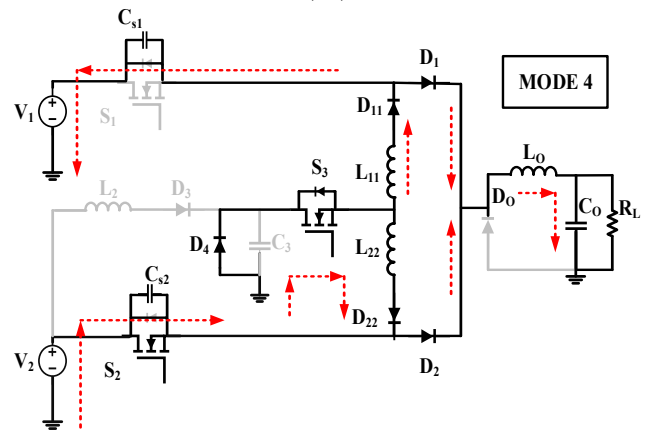
(ب)



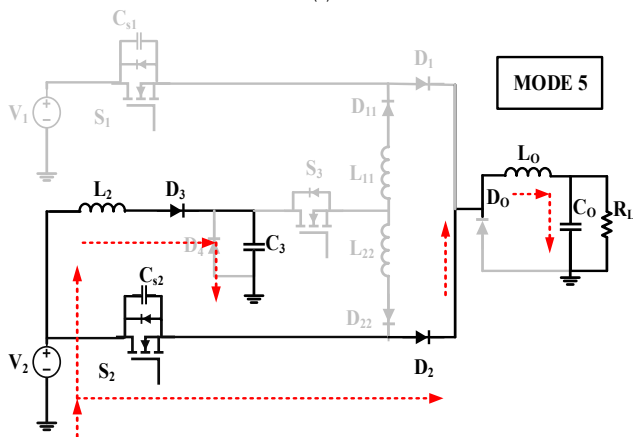
(الف)



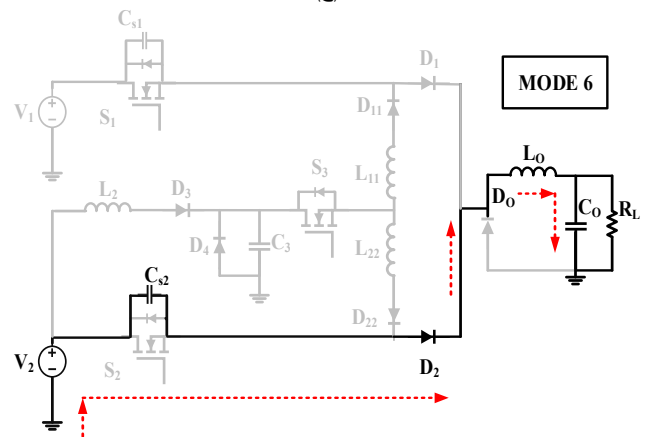
(د)



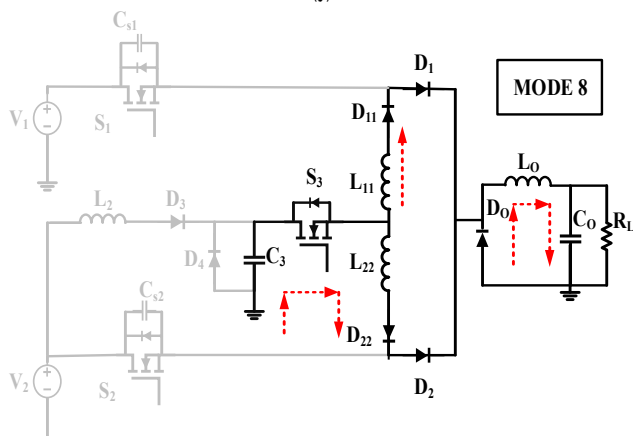
(ج)



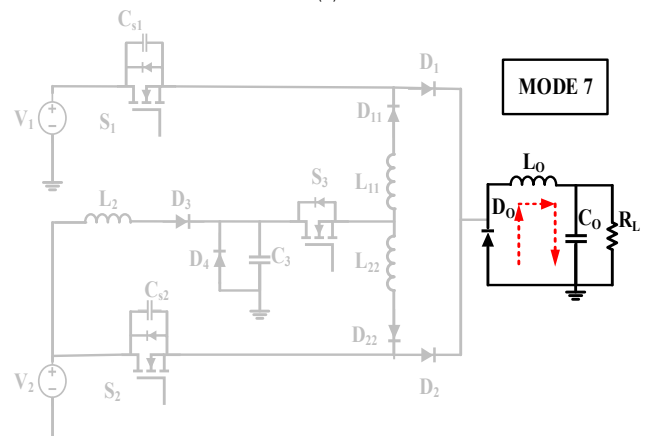
(و)



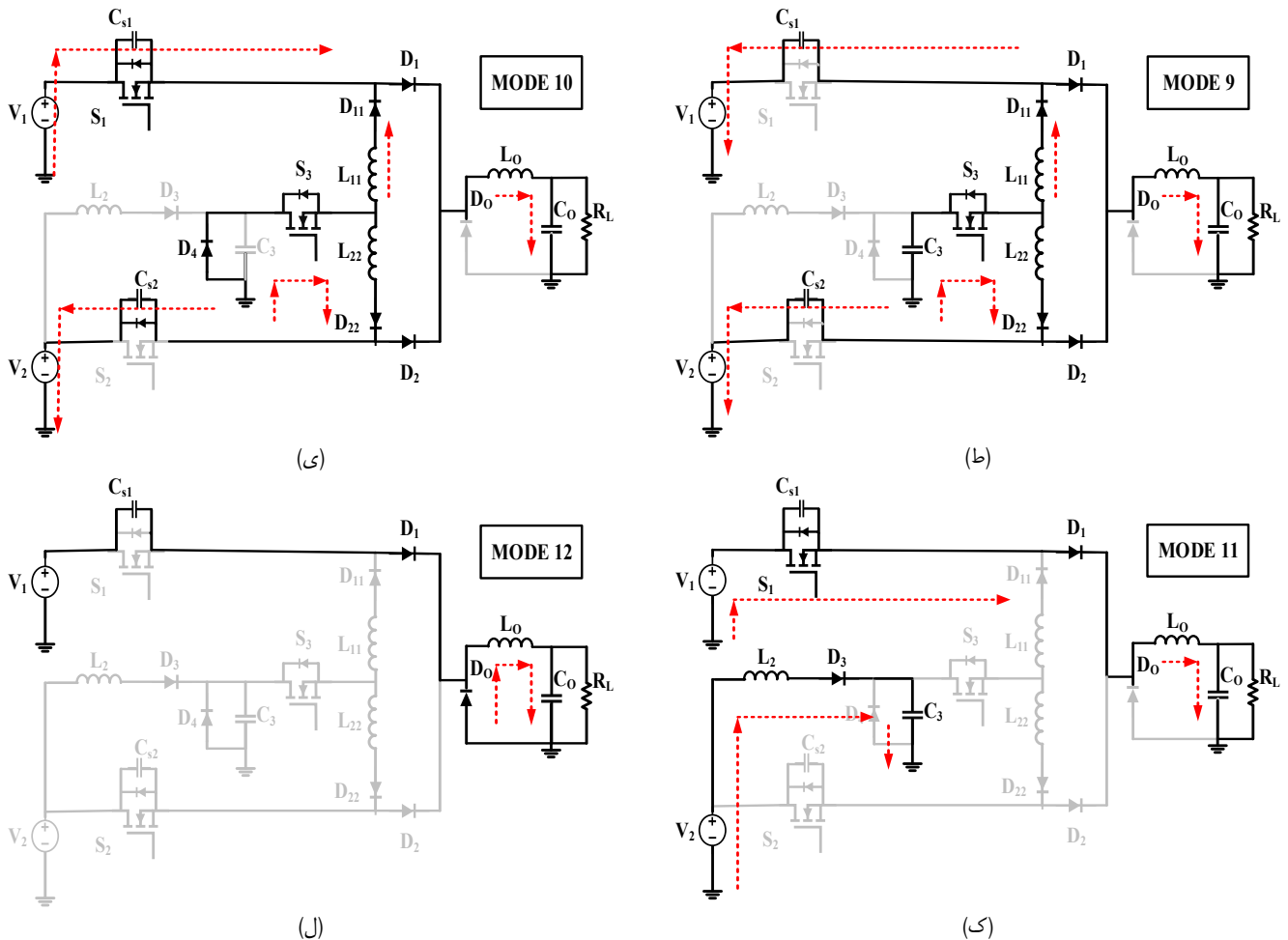
(ه)



(ز)



(ح)



شکل ۵: وضعیت‌های عملکرد مبدل، (الف) وضعیت ۱، (ب) وضعیت ۲، (ج) وضعیت ۳، (د) وضعیت ۴، (ه) وضعیت ۵، (و) وضعیت ۶، (ز) وضعیت ۷، (ح) وضعیت ۸، (ط) وضعیت ۹، (ی) وضعیت ۱۰، (ک) وضعیت ۱۱ و (ل) وضعیت ۱۲.

$$V_{C_r}(t) = 2V_r \cos \omega(t-t_1) \quad (۱)$$

$$i_{L_{r1}}(t) = i_{L_{r2}}(t) = \frac{V_r}{Z_{r1}} \sin \omega(t-t_1) \quad (۲)$$

که در آن  $\omega$  و  $Z_{r1}$  طبق رابطه زیر به دست می‌آید

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{\frac{L_{r1}}{2} C_r}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{L_{r2}}{2} C_r}} \quad (۳)$$

$$Z_{r1} = \sqrt{\frac{L_{r1}}{2C_r}} = \sqrt{\frac{L_{r2}}{2C_r}} \quad (۴)$$

#### وضعیت سوم ( $t_1 - t_r$ )

پس از رسیدن جریان  $i_{r1} + i_{r2}$  به جریان خروجی و خاموش شدن دیود خروجی، رزونانسی بین خازن  $C_r$ ، سلف‌های  $L_{r1}$ ،  $L_{r2}$  و خازن‌های اسنابر  $C_{s1}$  و  $C_{s2}$  شکل می‌گیرد و ولتاژ خازن‌های اسنابر  $C_{s1}$  و  $C_{s2}$  به صفر می‌رسد و دیود بدنه کلیدهای  $S_1$  و  $S_2$  روشن می‌گردند. با توجه به این که در لحظه شروع این وضعیت جریان  $i_{r1} = i_{r2} = 0.5 I_0$ ، ولتاژ اولیه خازن  $C_{s1}$  برابر  $V_1$  و ولتاژ اولیه خازن  $C_{s2}$  برابر  $V_2$  است، ولتاژ اولیه خازن  $C_r$  از (۷) به دست می‌آید

$$V_{C_{s1}}(t) = V_1 - \frac{1}{C_{s1}} \int_{t_1}^t (i_{r1} - \frac{I_0}{2}) dt \quad (۵)$$

و  $L_{r2}$  بزرگ‌تر در نظر گرفته می‌شود. مقادیر سلف‌های  $L_{r1}$  و  $L_{r2}$  همچنین مقادیر خازن‌های اسنابر  $C_{s1}$  و  $C_{s2}$  برابر در نظر گرفته می‌شوند. بین ورودی‌های مدار رابطه  $V_2 > V_1$  برقرار است.

#### وضعیت اول ( $t < t_1$ )

در ابتدا مدار در حالت هرزگردی مبدل باک قرار دارد. کلیدهای  $S_1$ ،  $S_2$  و  $S_3$  خاموش و جریان سلف خروجی از طریق دیود  $D_0$  به صورت هرزگرد در گردش می‌باشد. مقادیر ولتاژ خازن  $C_{s1}$  برابر  $V_1$ ، خازن  $C_{s2}$  برابر  $V_2$  و خازن  $C_r$  برابر  $2V_r$  می‌باشد. مدار معادل این وضعیت در شکل ۵ نشان داده شده است.

#### وضعیت دوم ( $t_1 - t_r$ )

قبل از روشن شدن کلیدهای  $S_1$  و  $S_2$  کلید  $S_3$  با توجه به سری بودن این کلید با سلف‌های  $L_{r1}$  و  $L_{r2}$  تحت شرایط جریان صفر روشن می‌گردد. با روشن شدن کلید  $S_3$  رزونانسی بین سلف‌های  $L_{r1}$  و  $L_{r2}$  و خازن  $C_r$  شکل می‌گیرد و جریان سلف‌های  $L_{r1}$  و  $L_{r2}$  افزایش می‌یابد. با کم‌تر شدن ولتاژ  $V_{C_r}$  از ولتاژ  $V_r$  دیود  $D_r$  روشن می‌گردد و بین سلف  $L_r$  و خازن  $C_r$  رزونانس شکل می‌گیرد اما همان طور که بیان شد با توجه به بزرگ‌تر بودن سلف  $L_r$  از سلف‌های  $L_{r1}$  و  $L_{r2}$  اثر رزونانس بین سلف  $L_r$  و خازن  $C_r$  صرف نظر می‌گردد. این حالت با رسیدن جریان  $i_{r1} + i_{r2}$  به جریان خروجی و خاموش شدن دیود خروجی تحت شرایط ولتاژ و جریان صفر به پایان می‌رسد. روابط رزونانس در این حالت به صورت زیر است

حالت‌ها خودداری می‌گردد.

**وضعیت نهم** ( $t_7 - t_8$ )

پس از رسیدن جریان  $i_{L_1} + i_{L_2}$  به جریان خروجی و خاموش شدن دیود خروجی رزونانسی بین خازن  $C_r$ ، سلف‌های  $L_{11}$ ،  $L_{22}$  و خازن‌های اسنابر  $C_{s1}$  و  $C_{s2}$  شکل می‌گیرد و ولتاژ خازن‌های اسنابر  $C_{s1}$  و  $C_{s2}$  به صفر می‌رسد و دیودهای بدنه کلیدهای  $S_1$  و  $S_2$  روشن می‌گردند.

**وضعیت دهم** ( $t_8 - t_9$ )

پس از هدایت دیود بدنه کلیدهای  $S_1$  و  $S_2$ ، جریان سلف‌های رزونانس به سمت صفر می‌رود و کلید  $S_1$  در ولتاژ صفر روشن می‌شود. علت روشن شدن کلید در ولتاژ صفر هدایت دیود بدنه کلید و بنابراین ولتاژ دو سر کلید در حدود ولتاژ آستانه هدایت یک دیود بوده و تقریباً برابر صفر است. در انتهای این مد، جریان سلف‌های رزونانس صفر شده و جریان سلف باک از کلید یک خواهد گذشت. همچنین با صفر شدن ولتاژ خازن  $C_r$ ، دیود  $D_r$  روشن می‌شود.

**وضعیت یازدهم** ( $t_9 - t_{10}$ )

در طول زمانی که سلف خروجی توسط منبع  $V_1$  شارژ می‌گردد رزونانسی بین سلف  $L_r$  و خازن اسنابر  $C_r$  اتفاق می‌افتد که بر اثر آن ولتاژ خازن  $C_r$  تا دو برابر ولتاژ  $V_1$  افزایش می‌یابد. این انرژی تا زمان روشن شدن کلید  $S_2$  و تخلیه آن توسط سلف‌های  $L_{11}$  و  $L_{22}$  در خازن باقی می‌ماند.

**وضعیت دوازدهم** ( $t_{10} - t_{11}$ )

پس از طی شدن ضریب وظیفه کلید  $S_2$ ، با توجه به وجود خازن اسنابر  $C_{s1}$ ، این کلید تحت شرایط کلیدزنی نرم خاموش می‌گردد و با خاموش شدن کلید  $S_2$  خازن اسنابر شروع به شارژ شدن می‌کند و سپس دیود خروجی  $D_o$  روشن می‌گردد و ولتاژ خازن اسنابر  $C_{s1}$  تا مقدار ولتاژ منبع ورودی  $V_1$  و ولتاژ خازن اسنابر  $C_{s2}$  تا مقدار ولتاژ منبع ورودی  $V_2$  افزایش می‌یابد.

خازن‌های اسنابر و سلف‌های  $L_{11}$  و  $L_{22}$  مانند خازن و سلف اسنابر عادی طراحی می‌شوند. خازن‌های اسنابر  $C_{s1}$  و  $C_{s2}$  خازن اسنابر خاموش شدن کلیدهای اصلی و سلف‌های  $L_{11}$  و  $L_{22}$  نیز اسنابر روشن کردن سوییچ کمکی می‌باشد. طراحی این المان‌ها در مراجع الکترونیک قدرت بحث شده است. خازن  $C_r$  باید به گونه‌ای انتخاب شود تا انرژی ذخیره شده در آن بتواند خازن‌های اسنابر را تخلیه کند و جریان سلف‌های اسنابر را تا جریان سلف خروجی باک افزایش دهد

$$C_r \cdot (2V_r)^2 > C_{s1} \cdot (V_1)^2 + C_{s2} \cdot (V_2)^2 + \frac{L_{11} I_0^2}{2} \quad (11)$$

همچنین سلف  $L_r$ ، حداقل پنج برابر سلف‌های اسنابر  $L_{11}$  و  $L_{22}$  انتخاب می‌شوند تا مدار مطابق مدهای بحث شده عمل کند. از آنجایی که توان خروجی اکثر پنل‌های خروجی در بازه ۲۰ تا ۱۵۰ وات می‌باشد، این میدل باید به گونه‌ای طراحی شود که توان هر ورودی تقریباً در همین بازه قرار گیرد. جدول ۱ مقادیر طراحی شده برای میدل پیشنهادی در توان ۱۸۰ وات است. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، در این شرایط از کل توان خروجی ۸۰ وات آن مربوط به منبع ۶۵ ولت و ۵۰ وات آن مربوط به منبع ۴۰ ولتی و ۵۰ وات آن مربوط به مدار کمکی است که می‌تواند از یک منبع اضافی فراهم شود و در حال حاضر از منبع ۶۵ ولتی جذب شده است. البته در صورت انتخاب مقادیر بزرگ‌تر برای سلف و خازن رزونانس، می‌تواند توان بیشتری هم توسط مدار کمکی فراهم شود. توانی که توسط مدار کمکی

$$V_{C_{sr}}(t) = V_r - \frac{1}{C_{sr}} \int_{t_1}^t (i_{L_{22}} - \frac{I_0}{2}) dt \quad (6)$$

$$V_{C_r}(t) = V_{C_r}(t_1) - \frac{1}{C_r} \int_{t_1}^t (i_{L_{22}} + i_{L_{11}}) dt \quad (7)$$

**وضعیت چهارم** ( $t_4 - t_5$ )

با روشن شدن دیود موازی معکوس کلیدهای  $S_1$  و  $S_2$  این کلیدها می‌توانند تحت شرایط کلیدزنی نرم روشن گردند. با روشن شدن کلید  $S_2$  ولتاژ  $V_2 - V_o$  دو سر سلف خروجی قرار می‌گیرد و خازن اسنابر  $C_{s1}$  تا ولتاژ  $V_1 - V_r$  شارژ می‌گردد. همچنین به علت رزونانس بین  $C_r$ ،  $L_{11}$  و  $L_{22}$  جریان  $i_{L_{22}}$  و  $i_{L_{11}}$  کاهش می‌یابد و با صفر شدن جریان کلید  $S_2$  این کلید تحت جریان صفر خاموش می‌گردد. همچنین با صفر شدن ولتاژ خازن  $C_r$ ، دیود  $D_r$  روشن می‌شود.

**وضعیت پنجم** ( $t_5 - t_6$ )

در طول زمانی که سلف خروجی توسط منبع  $V_1$  شارژ می‌گردد رزونانسی بین سلف  $L_r$  و خازن اسنابر  $C_r$  اتفاق می‌افتد که بر اثر آن ولتاژ خازن  $C_r$  تا دو برابر ولتاژ  $V_1$  افزایش می‌یابد. این انرژی تا زمان روشن شدن کلید  $S_2$  و تخلیه آن توسط سلف‌های  $L_{11}$  و  $L_{22}$  در خازن باقی می‌ماند. روابط اصلی این بخش به شرح ذیل می‌باشد

$$V_{C_r}(t) = V_1 (1 - \cos \omega (t - t_5)) \quad (8)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}} \quad (9)$$

$$Z_r = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} \quad (10)$$

**وضعیت ششم** ( $t_6 - t_7$ )

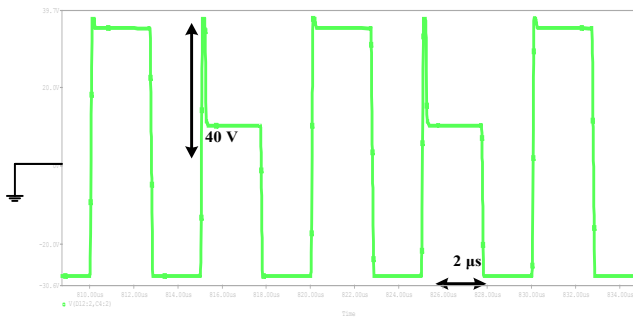
پس از طی شدن ضریب وظیفه کلید  $S_2$ ، با توجه به وجود خازن اسنابر  $C_{s2}$  کلید تحت شرایط کلیدزنی نرم خاموش می‌گردد و با خاموش شدن کلید  $S_2$  خازن اسنابر شروع به شارژ شدن می‌کند و با صفر شدن ولتاژ دیود خروجی  $D_o$  روشن می‌گردد و ولتاژ خازن اسنابر  $C_{s2}$  تا مقدار ولتاژ منبع ورودی  $V_2$  و ولتاژ خازن اسنابر  $C_{s1}$  تا مقدار ولتاژ منبع ورودی  $V_1$  افزایش می‌یابد.

**وضعیت هفتم** ( $t_7 - t_8$ )

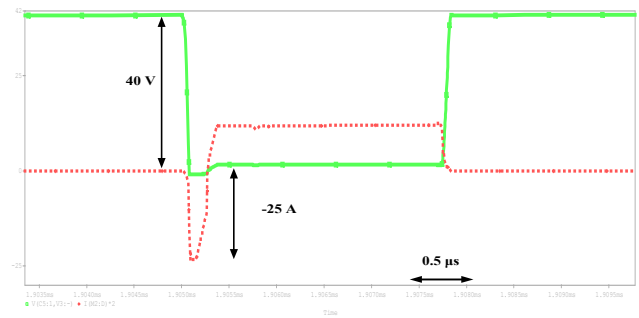
تا زمان روشن شدن کلید  $S_1$ ، مدار در حالت هرزگردی بوده و جریان سلف خروجی از طریق دیود خروجی در گردش می‌باشد.

**وضعیت هشتم** ( $t_8 - t_9$ )

قبل از روشن شدن کلید  $S_1$  کلید  $S_2$  با توجه به سری بودن با سلف‌های  $L_{11}$  و  $L_{22}$  و افزایش تدریجی جریان آن تحت شرایط جریان صفر روشن می‌گردد. با روشن شدن کلید  $S_2$  رزونانسی بین سلف‌های  $L_{11}$  و  $L_{22}$  و خازن  $C_r$  شکل می‌گیرد و جریان سلف‌های  $L_{11}$  و  $L_{22}$  افزایش می‌یابد. با کمتر شدن ولتاژ  $V_{C_r}$  از ولتاژ  $V_r$ ، دیود  $D_r$  روشن می‌گردد و بین سلف  $L_r$  و خازن  $C_r$  رزونانس شکل می‌گیرد. اما همان طور که بیان شد با توجه به بزرگ‌تر بودن سلف  $L_r$  از سلف‌های  $L_{11}$  و  $L_{22}$  از اثر رزونانس بین سلف  $L_r$  و خازن  $C_r$  صرف نظر می‌گردد. این حالت با رسیدن جریان  $i_{L_1} + i_{L_2}$  به جریان خروجی و خاموش شدن دیود خروجی تحت شرایط ولتاژ و جریان صفر به پایان می‌رسد و با توجه به تشابه روابط حالت‌های بعد با حالت‌های اول تا ششم از بیان روابط این



شکل ۱۱: شکل موج ولتاژ سلف خروجی.



شکل ۶: شکل موج ولتاژ و جریان کلید  $S_1$  (شکل سبز  $V$  و شکل قرمز  $I \times 5$ ).

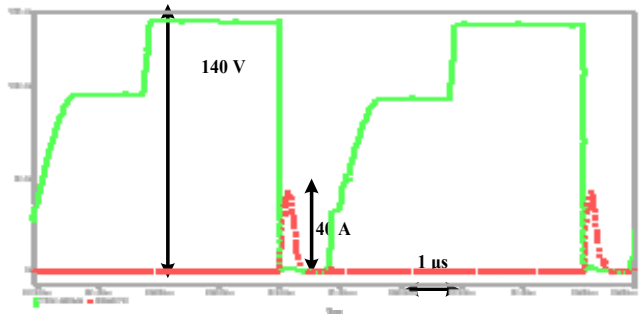
جدول ۱: مقادیر طراحی شده برای مبدل پیشنهادی.

مقادیر	المانها
۴۰ V	$V_1$
۶۵ V	$V_r$
۴/۷ nF	$C_{S1}$
۴/۷ nF	$C_{ST}$
۲۲ nF	$C_r$
۱۰ µH	$L_r$
۲۰۰ µH	$L_O$
۰/۸ µH	$L_{11}, L_{r1}$
۲۲ µF	$C_O$
۲/۲۵ Ω	$R_L$
IRFP۴۶۰	Switches $S_1, S_r$
IRF۶۴۰	Switch $S_p$
BYV ۳۲-۲۰۰	Diodes $D_1, D_r, D_{11}, D_{r1}, D_O, D_{1/2}, D_{r/2}$
۱۰۰ kHz	$f_{S1}, f_{ST}$
۲۰۰ kHz	$f_{SP}$
۰/۲۵	Duty cycle $S_1$
۰/۲۵	Duty cycle $S_r$
۰/۱	Duty cycle $S_p$

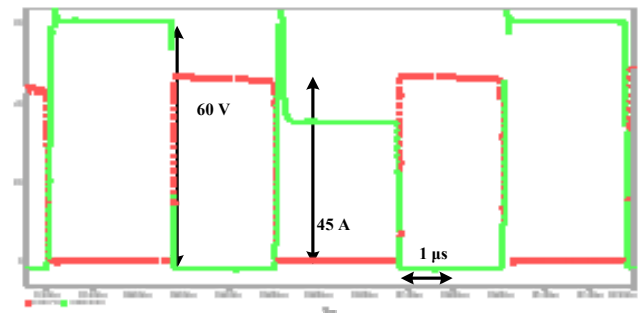
پردازش می‌شود همان توانی است که از ورودی جذب و در خازن سوم ذخیره می‌شود. این توان از (۱۲) محاسبه می‌شود

$$P_O = \frac{1}{\gamma} C_{S_r} (2V_r)^2 \gamma f_{SW} \quad (12)$$

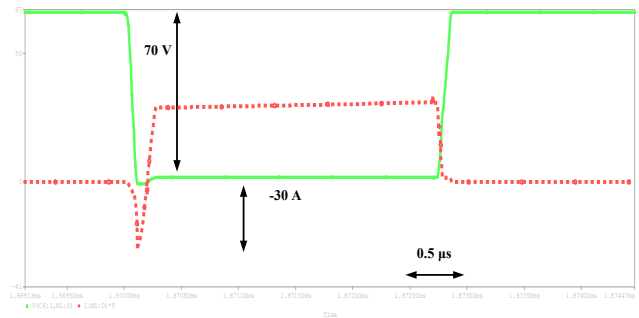
در رابطه فوق،  $f_{SW}$  فرکانس کلیدزنی سویچ‌های اول و دوم است. همچنین ولتاژ خروجی از رابطه  $V_O = D_1 \times V_1 + D_r \times V_r$  مشخص می‌شود و با توجه به این که توان ورودی یک به غیر از قسمت توان مربوط به مدار کمکی از رابطه  $I_O \times D_1 \times V_1$  و توان ورودی دوم از رابطه  $I_O \times D_r \times V_r$  به دست می‌آید. بنابراین با تنظیم ضریب ضریب می‌توان ولتاژ خروجی و توان هر ورودی را کنترل نمود. در این روابط  $I_O$  جریان خروجی مبدل است که با متوسط جریان سلف مبدل برابر است. شکل‌های ۶ تا ۱۲ نیز نتایج شبیه‌سازی مبدل پیشنهادی را نشان می‌دهد. برای بهتر مشخص شدن شرایط کلیدزنی نرم المان‌های نیمه‌هادی یک دوره تناوب کامل مبدل در این شکل‌ها نشان داده شده است، همان طور که مشخص است نتایج شبیه‌سازی، تحلیل‌های تئوری بخش قبل را تأیید کرده و شرایط کلیدزنی نرم برای تمام المان‌های نیمه‌هادی مدار برقرار می‌باشد. در شکل‌های ۶ و ۹ دیده می‌شود که ابتدا ولتاژ کلید (شکل با خط کامل) صفر شده و سپس جریان منفی از کلید عبور می‌کند (هدایت دیود بدنه) و بعد از آن کلید در ولتاژ صفر شروع به هدایت می‌کند. علاوه بر این در



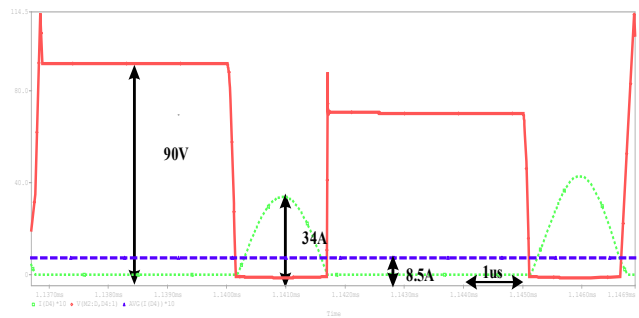
شکل ۷: شکل موج ولتاژ و جریان کلید کمکی (شکل سبز  $V$  و شکل قرمز  $I \times 2$ ).



شکل ۸: شکل موج ولتاژ و جریان دیود  $D_O$  (شکل سبز  $V$  و شکل قرمز  $I \times 5$ ).



شکل ۹: شکل موج ولتاژ و جریان کلید  $S_p$  (شکل سبز  $V$  و شکل قرمز  $I \times 5$ ).



شکل ۱۰: شکل موج ولتاژ دیود  $D_r$  و شکل موج جریان و متوسط آن (شکل قرمز  $V$ ، شکل سبز  $I \times 10$  و شکل آبی متوسط  $I \times 10$ ).

جدول ۲: مقایسه‌ای بین مبدل پیشنهادی و چند مبدل دیگر.

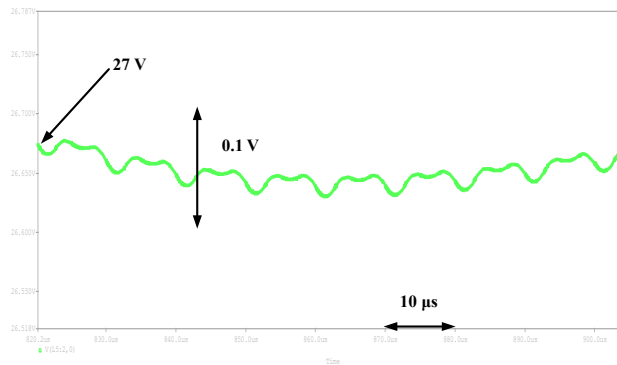
مبدل‌ها	نوع کلیدزنی	تعداد کلیدها	تعداد دیودها	تعداد المان‌های مغناطیسی	نوع تزویج
پیشنهادی	نرم	۳	۷	۴	الکتریکی
مبدل [۲]	سخت	۸	۱۲	۳	مغناطیسی
مبدل [۴]	سخت	۶	۰	۳	مغناطیسی
مبدل [۱۳]	سخت	۲	۲	۱	الکتریکی

### ۴- نتیجه گیری

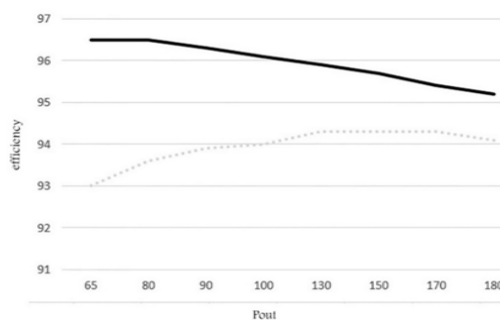
در این مقاله ابتدا به معرفی مبدل‌های چندورودی و بیان کاربرد آنها پرداخته شد و با توجه به مشکل تلفات مدارهایی که کلیدهای آنها تحت شرایط سخت روشن و خاموش می‌شوند، سعی گردید تا شرایط کلیدزنی نرم برای کلیدهای مبدل‌های چندورودی فراهم گردد. در این مقاله یک مبدل چندورودی کلیدزنی نرم ارائه شد. این مبدل یک مبدل باک دوورودی می‌باشد که با استفاده از یک مدار کمکی شرایط کلیدزنی نرم برای المان‌های مدار فراهم شده است. نحوه عملکرد این مبدل در این مقاله به طور کامل شرح داده شده و پس از آن با استفاده از نتایج شبیه‌سازی صحت عملکرد مدار مورد ارزیابی قرار گرفته است.

### مراجع

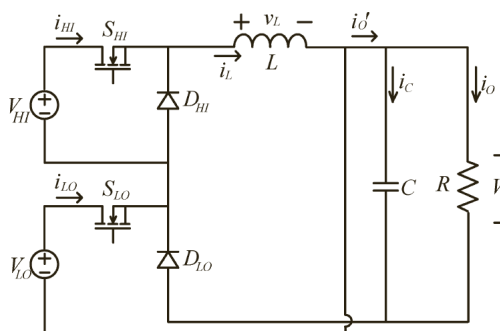
- [1] H. Tao, A. Kotsopoulos, J. L. Duarte, and M. A. Hendrix, "Family of multiport bidirectional DC-DC converters," in *Electric Power Applications, IEE Proc.*, vol. 153, pp. 451-458, May 2006.
- [2] M. Chen, C. Liu, and Y. Wu, "Multi-input DC/DC converter based on the multiwinding transformer for renewable energy applications," *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 38, no. 4, pp. 1096-1104, Jul./Aug., 2002.
- [3] Y. C. Liu and Y. M. Chen, "A systematic approach to synthesizing multi-input DC-DC converters," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 24, no. 1, pp. 116-127, Jan. 2009.
- [4] D. Liu and H. Li, "A ZVS bi-directional DC converter for multiple energy storage elements," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 21, no. 5, pp. 1513-1517, Sept., 2006.
- [5] D. Liu and H. Li, "A novel multiple-input ZVS bidirectional DC-DC converter," in *Proc. 31st Annual Conf. of IEEE Industrial Electronics Society, IECON'05*, pp. 579-584, Raleigh, NC, USA, 6-10 Nov. 2005.
- [6] R. J. Wai, C. Y. Lin, J. J. Liaw, and Y. R. Chang, "Newly designed ZVS multi-input converter," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 2, pp. 555-566, Feb. 2011.
- [7] Y. C. Liu and Y. M. Chen, "A systematic approach to synthesizing multi-input DC/DC converters," in *Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conf., PESC'07*, pp. 2626-2632, Orlando, FL, USA, 17-21 Jun. 2007.
- [8] K. P. Yalamanchili and M. Ferdowsi, "Review of multiple input DC-DC converters for electric and hybrid vehicles," in *IEEE Conf. Vehicle Power and Propulsion*, pp. 160-163, Chicago, IL, USA, 7-7 Sept. 2005.
- [9] K. Gummi and M. Ferdowsi, "Double-input DC-DC power electronic converters for electric-drive vehicles-topology exploration and synthesis using a single-pole triple-throw switch," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 2, pp. 617-623, Feb. 2010.
- [10] K. Gummi and M. Ferdowsi, "Synthesis of double-input DC-DC converters using a single-pole triple-throw switch as a building block," in *Proc. IEEE Power Electronics Specialists Conf., PESC'08*, pp. 2819-2823, Rhodes, Greece, 15-19 Jun. 2008.
- [11] M. Gavris, N. Muntean, and O. Cornea, "Dual input hybrid buck LC converter," in *Proc. Int. Symp. Power Electron Drives Autom Motion*, pp. 309-314, Sorrento, Italy, 20-22 Jun. 2012.
- [12] R. Wai, C. Lin, and B. Chen, "High-efficiency DC-DC converter with two input power sources," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 27, no. 4, pp. 1862-1865, Apr. 2012.
- [13] Y. M. Chen, Y. C. Liu, and S. H. Lin, "Double-input PWM DC/DC converter for high-/low-voltage sources," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 5, pp. 1538-1545, Oct. 2006.



شکل ۱۲: شکل موج ولتاژ خروجی.



شکل ۱۳: بازده مبدل پیشنهادی بر حسب توان خروجی در مقایسه با مبدل کلیدزنی سخت [۱۳] (خط کامل: مبدل پیشنهادی و خط چین: مبدل کلیدزنی سخت).



شکل ۱۴: شمای مبدل چندورودی کلیدزنی سخت معرفی شده در [۱۳].

شکل ۷ دیده می‌شود که افزایش و کاهش جریان کلید (خطچین) به صورت رزونانسی بوده و آرام افزایش و کاهش می‌یابد، پس کلید تحت جریان صفر کلیدزنی می‌شود. همچنین در شکل ۱۰ جریان  $D_p$  نشان داده شده است. مدار کمکی می‌تواند به ورودی سوم متصل شود و این جریان از خازن موازی ورودی سوم جذب شود. همان طور که دیده می‌شود متوسط جریان جذب شده توسط این دیود  $0.8$  آمپر است. همچنین شکل ۱۲ ولتاژ خروجی مبدل را نشان می‌دهد.

### ۳- بازده مبدل پیشنهادی

با ایجاد شرایط کلیدزنی نرم در مبدل ذکر شده، بازده به صورت چشم‌گیری نسبت به حالت بدون کلیدزنی نرم افزایش یافته است. شکل ۱۳ بازده مبدل پیشنهادی در مقایسه با مبدل با شرایط کلیدزنی سخت را نشان می‌دهد. همچنین شکل ۱۴ شمای کلی این مبدل را نشان می‌دهد [۱۳]. همان طور که مشخص است بازده نسبت به حالت کلیدزنی سخت افزایش یافته است. راندمان مبدل‌ها بر اساس نتایج شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار ارکد به دست آمده است. در جدول ۲ مقایسه‌ای بین مبدل پیشنهادی و چند مبدل دیگر انجام شده است.

**بهمن رئیسی** در سال ۱۳۹۴ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه آزاد اسلامی و در سال ۱۳۹۷ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه صنعتی اصفهان دریافت نمود. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: مبدل‌های سوئیچینگ توان بالا و ولتاژ بالا، منابع تغذیه شارژ خازنی، تکنیک‌های سوئیچینگ نرم، EMI در مبدل‌های سوئیچینگ، طراحی مدار کنترل و گیت درایو منابع تغذیه سوئیچینگ.

**احسان ادیب مدارک** کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری خود در زمینه الکترونیک و الکترونیک قدرت در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۸ از دانشگاه صنعتی اصفهان دریافت نمود. هم‌اکنون ایشان دانشیار گروه الکترونیک دانشگاه صنعتی اصفهان است و در موضوع مدارهای الکترونیک قدرت و کاربردهای آنها در حال تحقیق است.

**بهروز مظاهری تهرانی** تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد برق و الکترونیک به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۶ در دانشگاه صنعتی اصفهان به پایان رسانده است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: مبدل‌های کلیدزنی، مدارهای راه‌انداز چراغ‌های LED، مدارهای خودنوسان‌ساز و مبدل‌های دوجتته می‌باشد.

**مهدی خرم‌دستی** در سال ۱۳۹۱ مدرک کارشناسی مهندسی برق در گرایش الکترونیک خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان و در سال ۱۳۹۴ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از صنعتی اصفهان دریافت نمود. وی در سال‌های ۱۳۹۱ الی ۱۳۹۴ به عنوان مسئول امور طراحی مدارهای الکتریکی در شرکت پویا الکترونیک فعالیت کرد و در ادامه به عنوان مسئول واحد تحقیق و توسعه وارد شرکت افساکو گردید و تحقیقات خود را در زمینه تجهیزات اندازه‌گیری آغاز نمود. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان شامل موضوعاتی مانند مبدل‌ها و اینورترهای قدرت، هوشمندسازی وسایل و تجهیزات اندازه‌گیری ابزار دقیق می‌باشد.