

## یک مبدل ایزوله افزایش دهنده DC/DC جدید با کلید زنی در ولتاژ صفر

احسان موحدی<sup>(۱)</sup> - مجید دلشاد<sup>(۲)</sup> - احسان ادیب<sup>(۳)</sup>

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد - دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)

(۲) استادیار - دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان

(۳) استادیار - دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۳/۲۳

خلاصه: در این مقاله یک مبدل افزایش دهنده سوئیچینگ، فلای بک جدید ارائه گردیده است. در ابتدا مبدل به صورت سخت کلید زنی می شود که در این حالت به صورت کامل تحلیل شده است. سپس مدار کمکی جهت نرم کردن کلیدزنی کلید اصلی آن به مبدل اضافه شده است که مدار کمکی در این مبدل نه تنها شرایط سوئیچینگ نرم را برای کلید اصلی مبدل فراهم می سازد بلکه از جهش های ولتاژ دو سر کلید اصلی در هنگام خاموش شدن در اثر سلف نشتی ترانسفورمر نیز جلوگیری می نماید. لذا راندمان مبدل پیشنهادی جدید در مقایسه با مبدل های پیشین افزایش یافته و استرس روی کلید اصلی نیز کاهش یافته است. همچنین کلید کمکی این مبدل به صورت نرم کلید زنی می گردد و در نتیجه باعث تحمیل تلفات قابل توجهی به مبدل نمی شود. کنترل مبدل به صورت PWM می باشد. این مبدل نسبت به مبدلهای مشابه دارای راندمان بالاتر و هزینه ساخت پایین تری می باشد.

کلمات کلیدی: مبدل سپیک - فلای بک، کنترل PWM، کلید زنی در ولتاژ صفر ZVS.

## New DC/DC High Step Up Isolated Converter with ZVS

Ehsan Movahedi<sup>(1)</sup> - Majid Delshad<sup>(2)</sup> - Ehsan Adib<sup>(3)</sup>

(1) MSc - Department of Electrical Engineering, Khorasgan Branch, Islamic Azad University  
eh.electronic@gmail.com

(2) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Khorasgan Branch, Islamic Azad University  
delshad.majid@gmail.com

(3) Assistant Professor - Department of Electrical Engineering, Isfahan University of Technology  
adib.ehsan@gmail.com

In this paper we presents a soft switch sepic, flyback converter. At first the converter have hard switching in main switch and completely analysis then added auxiliary circuit for soft switching Auxiliary circuit in the converter is not only soft switching condition for the main switch but also prevents the spike voltage across the main switch when turned off that because leakage inductance. Therefore, the proposed converter efficiency in comparison with the previous converters increased and voltage stress on the main switch is reduced. Also the auxiliary switch in the converter have soft switching and thereby decrease losses. this converter Control with pwm. These converter have higher efficiency than the similar converters and the cost is low. Auxiliary circuit in the converter is not only soft switching condition for the main switch but also prevents the spike voltage across the main switch when turned off that because leakage inductance. Therefore, the proposed converter efficiency in comparison with the previous converters increased and voltage stress on the main switch is reduced.

**Index Terms:** Sepic converter, flyback, PWM control-ZVS.

۱- مقدمه

امروزه مبدل‌های dc/dc کاربرد وسیعی در صنایعی نظیر سلول‌های خورشیدی، پیل‌های سوختی، خودروهای هیبریدی و غیره یافته‌اند. در ساختارهای فتوولتاییک به علت محدودیت‌هایی از قبیل افزایش پانل‌های خورشیدی به صورت سری (به علت افزایش اثرات سایه‌ای و خازنی پانل‌ها) ولتاژ خروجی پانل‌های فتوولتاییک از حد مشخصی نمی‌تواند تجاوز کند. برای غلبه بر این محدودیت‌ها و مشکلات، استفاده از مبدل‌هایی با بهره بالا و افزایشده مورد توجه قرار گرفته است. از جمله مبدل‌هایی که برای افزایش بهره به کار گرفته می‌شوند می‌توان مبدل‌های بوست [۱]، اینتر لیود [۲]، بوست سه سطحی [۳]، بوست سری [۴]، فلائی بک [۵]، و سپیک را نام برد.

مبدل‌های بوست به طور معمول برای افزایش بهره به کار گرفته می‌شوند، ولی افزایش بهره در مبدل‌های بوست منجر به کاهش بیش از حد بازده خواهد شد. همچنین نوع ایزوله مبدل بوست، ساختار پیچیده‌ای دارد. مبدل‌های بوست ایزوله مانند پوش پول و تمام پل نیز می‌توانند برای ساختارهای به منظور افزایش بهره به کار گرفته شوند، ولی این مبدل‌ها نیز به ترانس‌هایی با نسبت دور بالا برای افزایش بهره نیاز دارند که خود باعث افزایش سلف نشتی در ترانس گردیده و منجر به کاهش بازده و ضریب وظیفه مفید مدار خواهد شد. همچنین این مبدل‌ها به مدارات کنترل پیچیده نیاز دارند که خود یکی دیگر از معایب این ساختارها می‌باشد.

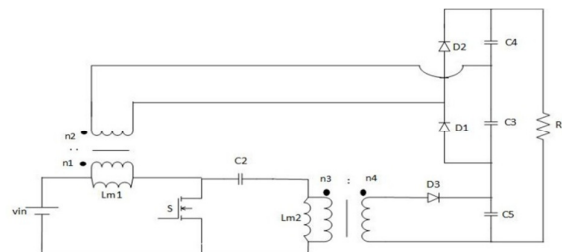
این مبدل‌ها ولتاژهای پایین dc را به ولتاژهای بالاتر با ریپل پایین‌تر تبدیل می‌نمایند. برای کاهش حجم و وزن این مبدل‌ها بایستی فرکانس عملکرد آنها افزایش یابد ولی افزایش فرکانس موجب افزایش تلفات کلیدزنی می‌گردد.

مبدل‌های سپیک و فلائی بک انتخاب‌هایی مناسب برای استفاده در تکنیک‌های افزایش بهره و بازده بالا می‌باشند.

در این مقاله ابتدا مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ سخت<sup>۱</sup> در بخش (۲) معرفی می‌شود و عملکرد آن توصیف شده سپس در بخش (۳) به صورت تئوری تحلیل می‌شود. سپس در بخش (۴) به توصیف مبدل با سوئیچینگ نرم پرداخته خواهد شد.

۲- مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ سخت

این مبدل ترکیبی از مبدل‌های سپیک و فلائی بک مطابق شکل (۱) می‌باشد.



شکل (۱): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ سخت  
Fig. (1): The proposed converter with hard switching

در این مبدل قسمت سپیک از یک کلید S، ترانسفورمر یک با سلف مغناطیس کنندگی  $L_{m1}$  و خازن میانی  $C2$  و ترانسفورمر دو با سلف مغناطیس کنندگی  $L_{m2}$  و دیود  $D3$  و خازن  $C5$  تشکیل گردیده است. نسبت دور اولیه به ثانویه ترانسفورمر اولیه  $n1:n2$  و همچنین نسبت دور اولیه به ثانویه ترانسفورمر دوم  $n3:n4$  می‌باشد. مبدل فلائی بک این تبدیل کننده نیز از کلید مشترک با مبدل سپیک S و دیود  $D2$  و خازن  $C4$  تشکیل شده است.

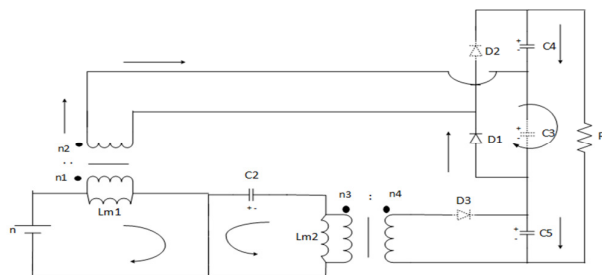
لازم به ذکر است که در مبدل فوق از مدار چند برابر کننده ولتاژ که متشکل از دیود  $D1$  و خازن  $C3$  است نیز استفاده شده است. ورودی این مبدل به سلول خورشیدی متصل خواهد شد.

۲-۱- عملکرد مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ سخت

این مبدل دارای دو مد عملکردی به شرح زیر می‌باشد. لازم به ذکر است که کلید اصلی در فرکانس بالا، ۵۰ کیلوهرتز کلید زنی می‌شود. در زیر به تشریح عملکرد این مبدل و در ادامه به تحلیل آن پرداخته می‌شود.

۲-۱-۱- وضعیت اول ( $t_0 < t < t_1$ )

این وضعیت با روشن شدن کلید آغاز می‌گردد و جریان سلف مغناطیس کنندگی  $L_{m1}$  توسط ولتاژ ورودی افزایش می‌یابد (شارژ می‌شود). در طرف ثانویه این ترانس به دلیل پلاریته معکوس دیود  $D2$  در بایاس معکوس قرار می‌گیرد و  $D1$  در بایاس مستقیم و خازن  $C3$  شارژ می‌شود. از طرفی ولتاژ خازن  $C2$  رو به کاهش است و جریان سلف مغناطیس کنندگی  $L_{m2}$  رو به افزایش (چون انرژی خازن  $C2$  صرف شارژ شدن سلف مذکور می‌گردد). بدین ترتیب دیود  $D3$  در بایاس معکوس قرار می‌گیرد و جریان بار توسط خازن‌های  $C4$  و  $C5$  تامین می‌شود.



شکل (۲): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ سخت، سویچ روشن  
Fig. (2): The proposed converter with hard switching, switch on

۲-۱-۲- وضعیت دوم ( $t_1 < t < t_2$ )

در این وضعیت کلید S خاموش می‌شود و جریان سلف مغناطیس کنندگی  $L_{m1}$  به طور خطی در حال کاهش است (جریان بار را تامین می‌کند) و جریان خازن  $C2$  رو به افزایش (در حال شارژ شدن توسط ولتاژ ورودی می‌باشد) بدین ترتیب قسمتی از جریان سلف  $L_{m2}$  از

حال با نوشتن بالانس ولت - ثانیه‌ی دیگری برای سلف  $Lm1$  رابطه (۷) را خواهیم داشت

$$vin DT = (v' - vin)(1 - D)T \quad (7)$$

که مقدار  $v'$  برابر خواهد شد با رابطه (۸):

$$v' = \frac{vin}{1-D} \quad (8)$$

از طرفی برای ولتاژ خازن  $C4$  رابطه (۹) را داریم

$$vo3 = vc4 = (v' - vin) \frac{n2}{n1} \quad (9)$$

حال با جایگذاری رابطه (۸-۳). در رابطه (۹) مقدار ولتاژ خازن  $C4$  مطابق خواهد بود با رابطه (۱۰)

$$vo3 = vc4 = vin \left( \frac{D}{1-D} \right) \frac{n2}{n1} \quad (10)$$

### ۳-۱- بهره مبدل

رابطه کلی برای بهره این مبدل برابر رابطه (۱۱) است

$$\frac{vo}{vin} = \frac{vo1+vo2+vo3}{vin} \quad (11)$$

که با جایگذاری روابط (۱۰) و (۶) و (۵) در رابطه (۱۱) برای بهره این مبدل رابطه (۱۲) را داریم:

$$\frac{vo}{vin} = \frac{n4}{n3} \left( \frac{D}{1-D} \right) + \frac{n2}{n1} \left( 1 + \frac{D}{1-D} \right) \quad (12)$$

### ۳-۲- محاسبه سلف $Lm1$

حال با نوشتن رابطه (۱۳) برای سلف  $Lm1$  خواهیم داشت:

$$vin = Lm1 \frac{\Delta ILm1}{DT} \quad (13)$$

که مقدار سلف  $Lm1$  برابر خواهد شد با:

$$Lm1 = \frac{vin.D}{\Delta ILm1.f} \quad (14)$$

حال برای به دست آوردن مقدار ریپل جریان سلف  $Lm1$  باید  $pin = po$  باشد که ابتدا باید جریان شارژ خازنهای  $C3$  و  $C4$  به دست آورده شود که داریم:

$$Ic3 = \frac{Io}{D} \quad (15)$$

$$Ic4 = \frac{Io}{1-D} \quad (16)$$

حال بنا به رابطه  $pin = po$  رابطه (۱۷) را داریم:

$$vin \left( ILm1 + \frac{n2}{n1} \times \frac{Io}{D} \right) (D) + \quad (17)$$

$$vin \left( ILm1 - \frac{n2}{n1} \times \frac{Io}{1-D} \right) (1 - D) = VoIo$$

که از رابطه (۱۷) مقدار متوسط جریان سلف  $Lm1$  برابر خواهد بود با:

$$ILm1 = \frac{VoIo}{Vin} \quad (18)$$

در مرز DCM و CCM مقدار ریپل آن برابر رابطه (۱۹) است.

$$\Delta ILm1 = .2 \frac{VoIo}{Vin} \quad (19)$$

### ۳-۳- محاسبه سلف $Lm2$

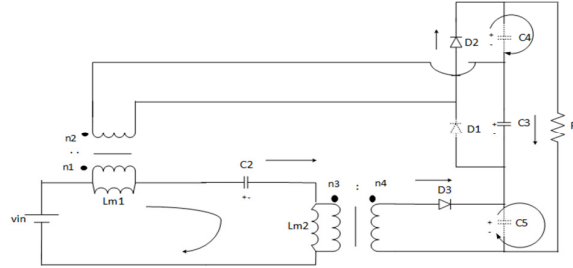
حال برای محاسبه سلف  $Lm2$  رابطه (۲۰) را داریم که:

$$-vo \left( \frac{n3}{n4} \right) = Lm2 \frac{\Delta ILm2}{(1-D)T} \quad (20)$$

که از رابطه (۲۰) مقدار سلف  $Lm2$  برابر (۲۱) خواهد بود.

$$Lm2 = \frac{-vo \left( \frac{n3}{n4} \right) (1-D)}{\Delta ILm2.f} \quad (21)$$

طریق دیود  $D3$  باعث شارژ شدن خازن  $C5$  شده و قسمتی دیگر به بار منتقل می‌شود. از طرفی خازن  $C4$  هم توسط انرژی  $Lm1$  در حال شارژ شدن می‌باشد و دیود  $D2$  نیز در بایاس مستقیم و دیود  $D1$  در بایاس معکوس است. در این مد جریان بار توسط خازن  $C3$  تامین می‌شود.

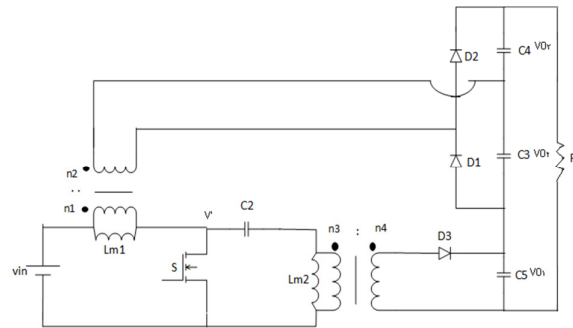


شکل (۳): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ سخت، سویچ خاموش

Fig. (3): The proposed converter with hard switching, switch off

### ۳- تحلیل تئوری مبدل پیشنهادی

قبل از تحلیل مبدل ابتدا شکل (۴) را در نظر بگیرید.



شکل (۴): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ سخت برای تحلیل

Fig. (3): The proposed converter with hard switching, for analysis

با نوشتن بالانس ولت - ثانیه برای سلف  $Lm1$  رابطه (۱) را خواهیم داشت:

$$vinDT = \left( -vin + vc2 + vo1 \left( \frac{n3}{n4} \right) \right) (1 - D)T \quad (1)$$

همچنین برای سلف  $Lm2$  نیز رابطه (۲)

$$Vc2DT = \left( vo1 \left( \frac{n3}{n4} \right) \right) (1 - D)T \quad (2)$$

که از رابطه (۲) مقدار  $Vc2$  برابر رابطه (۳) خواهد شد

$$Vc2 = \left( vo1 \left( \frac{n3}{n4} \right) \right) \left( \frac{1-D}{D} \right) \quad (3)$$

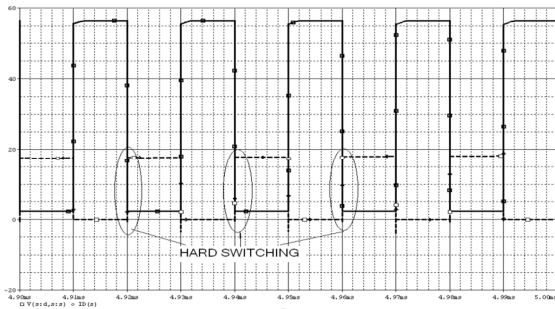
با جایگذاری رابطه (۳) در (۱) مقدار  $Vo1$  بر حسب  $vin$  برابر رابطه (۴) خواهد شد:

$$\frac{vo1}{vin} = \frac{n4}{n3} \times \frac{D}{1-D} \quad (4)$$

که در واقع  $vo1 = vc5$  (۵) است.

از طرفی با روشن بودن کلید رابطه (۶) را برای ولتاژ خازن  $C3$  داریم:

$$vo2 = vc3 = \frac{n2}{n1} vin \quad (6)$$

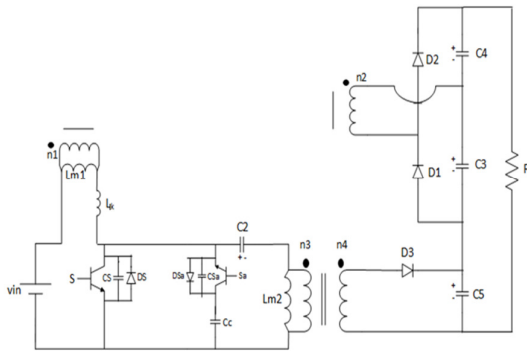


شکل (۵): شکل موج ولتاژ و جریان کلید در حالت کلید زنی سخت  
Fig. (5): The voltage and current of switch in hard switching mode

همپوشانی جریان و ولتاژ کلیدها در لحظه کلید زنی باعث ایجاد تلفات و در نتیجه کاهش بازده مبدل می‌شود. به همین منظور باید به وسیله تکنیک‌ها و یا مدارات کمکی جریان و یا ولتاژ المان سوئیچینگ را در لحظه سوئیچینگ به صفر رساند. بنابراین در قسمت (۴) به ارایه این روش پرداخته می‌شود.

#### ۴- مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ نرم

در این قسمت یک مدار کمکی به مبدل ارایه شده اضافه خواهد شد تا شرایط سوئیچینگ نرم<sup>۲</sup> حاصل شود. این مدار کمکی شامل، یک کلید کمکی  $S_a$ ، سلف رزونانس  $L_{lk}$  (که همان سلف نشستی ترانس است) و خازن  $C_c$  و یک خازن موازی با کلید اصلی  $C_s$  و یک مدار کمکی کلید  $C_{sa}$  به مبدل قبل اضافه شده است. این مدار کمکی باعث ایجاد ZVS<sup>۲</sup> در کلید اصلی در لحظه روشن شدن همچنین ZVS در زمان روشن شدن کلید مدار کمکی می‌شود. این امر تلفات موجود در کلیدها را کاهش داده و بازده مبدل را بالا می‌برد و یک سوئیچینگ نرم را ایجاد خواهد کرد.



شکل (۶): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ نرم  
Fig. (6): The proposed converter with soft switching

#### ۴-۱- عملکرد مبدل پیشنهادی

قبل از وضعیت اول فرض می‌شود که کلید اصلی S روشن و خازن  $C_3$  در حال شارژ و خازنهای  $C_4, C_5$  در حال دشارژ شدن در بار هستند و دیود  $D_1$  در بایاس مستقیم و دیودهای  $D_2, D_3$  در بایاس معکوس هستند.

حال برای به دست آوردن مقدار ریپل جریان سلف  $L_{m2}$  باید رابطه بالانس جریان ثانیه برای خازن  $C_2$  نوشته شود که داریم:

$$I_{lm2} \cdot D = \left( \left( \frac{I_o}{1-D} \cdot \frac{n_3}{n_4} \right) - I_{lm2} \right) (1-D) \quad (22)$$

که مقدار متوسط جریان سلف  $L_{m2}$  برابر رابطه (۲۳) خواهد شد

$$I_{lm2} = I_o \cdot \frac{n_3}{n_4} \quad (23)$$

که برای ریپل جریان این سلف رابطه (۲۴) را خواهیم داشت

$$\Delta I_{lm2} = .2 \times I_o \cdot \frac{n_3}{n_4} \quad (24)$$

#### ۴-۳- محاسبه مقادیر خازنها

برای به دست آوردن مقدار خازن  $C_5$  رابطه (۲۵) را داریم:

$$q_5 = c_5 \Delta v_{c5} \quad (25)$$

که از رابطه (۲۵)، رابطه (۲۶) به دست می‌آید:

$$I_o D T = c_5 \Delta v_{c5} \quad (26)$$

و مقدار خازن  $C_5$  برابر رابطه (۲۷) خواهد شد:

$$c_5 = \frac{I_o D T}{\Delta v_{c5}} \quad (27)$$

و مقدار ریپل ولتاژ خازن  $C_5$  برابر رابطه (۲۸) می‌شود.

$$\Delta v_{c5} = .01 v_{o1} \quad (28)$$

برای خازنهای  $C_4$  و  $C_3$  نیز مطابق روابط (۲۵) تا (۲۸) عمل می‌شود که:

مقدار خازن  $C_4$ :

$$c_4 = \frac{I_o D T}{\Delta v_{c4}} \quad (29)$$

ریپل ولتاژ خازن  $C_4$ :

$$\Delta v_{c4} = .01 v_{o3} \quad (30)$$

مقدار خازن  $C_3$ :

$$c_3 = \frac{I_o (1-D) T}{\Delta v_{c3}} \quad (31)$$

ریپل ولتاژ خازن  $C_3$ :

$$\Delta v_{c3} = .01 v_{o2} \quad (32)$$

برای محاسبه خازن  $C_2$  ابتدا رابطه (۳۳) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\Delta v_{c2} = \frac{1}{c_2} \int_{DT}^T i_{lm1} \cdot dt \quad (33)$$

سپس با حل این انتگرال، رابطه (۳۴) برای خازن  $C_2$  به دست می‌آید:

$$c_2 = \frac{(1-D) i_{lm1}}{f \cdot \Delta v_{c2}} \quad (34)$$

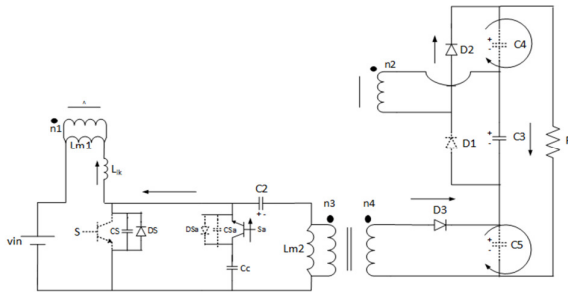
و برای ریپل ولتاژ خازن  $C_2$  رابطه (۳۵) به دست می‌آید.

$$\Delta v_{c2} = .01 v_o \quad (35)$$

در شکل (۵) شکل موج ولتاژ و جریان کلید در حال کلید زنی سخت قابل مشاهده است.

#### ۴-۱-۱- وضعیت اول

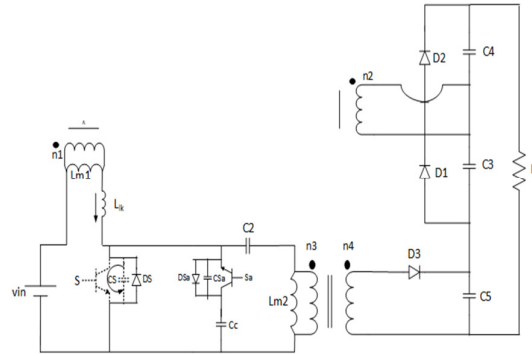
این وضعیت با خاموش شدن کلید اصلی S آغاز می‌گردد در این زمان از آنجایی که جریان سلف نشستی Lk نمی‌تواند به طور ناگهانی صفر شود در نتیجه خازن Cs کلید اصلی را تا ولتاژ  $\frac{v_{in}}{1-D}$  شارژ و خازن Csa را دشارژ می‌کند (خازن Cs و Lk شروع به رزونانس می‌کنند) این وضعیت با دشارژ کامل خازن Csa به پایان می‌رسد.



شکل (۹): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ نرم در وضعیت سوم  
Fig. (9): The proposed converter with soft switching in stage three

#### ۴-۱-۴- وضعیت چهارم

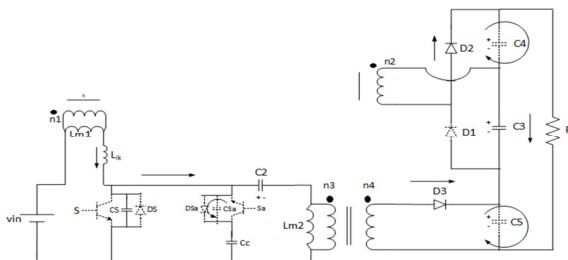
این وضعیت با خاموش شدن کلید کمکی Sa آغاز می‌شود و در این حالت از آنجایی که جریان سلف نشستی ناگهانی صفر نمی‌شود شروع به دشارژ کردن خازن CS و شارژ کردن خازن Csa می‌کند. این وضعیت تا دشارژ کامل Cs ادامه می‌یابد (خازن Cs و سلف Lk شروع به رزونانس می‌کنند).



شکل (۷): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ نرم در وضعیت اول  
Fig. (7): The proposed converter with soft switching in stage one

#### ۴-۱-۲- وضعیت دوم

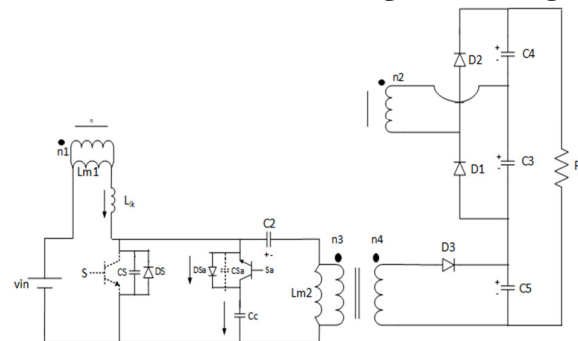
با صفر شدن ولتاژ خازن Csa جریان سلف نشستی می‌خواهد که ولتاژ آن را منفی کند که در این لحظه دیود بدنه کلید کمکی Dsa روشن شده و جریان را هدایت می‌کند و خازن Cc شروع به شارژ شدن می‌کند تا ولتاژ حدود  $\frac{v_{in}}{1-D}$  و از این لحظه به بعد کلید کمکی می‌تواند تحت شرایط ZVS روشن شود. این وضعیت تا وقتی که جریان سلف نشستی صفر شود ادامه می‌یابد.



شکل (۱۰): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ نرم در وضعیت چهارم  
Fig. (10): The proposed converter with soft switching in stage four

#### ۴-۱-۵- وضعیت پنجم

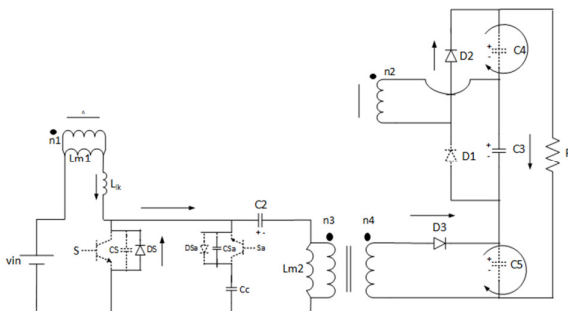
با دشارژ شدن کامل خازن Cs دیود بدنه کلید اصلی Ds هدایت کرده و از این لحظه به بعد کلید اصلی می‌تواند تحت شرایط ZVS روشن شود.



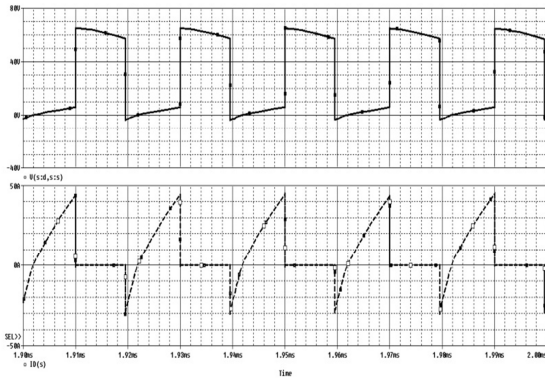
شکل (۸): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ نرم در وضعیت دوم  
Fig. (8): The proposed converter with soft switching in stage two

#### ۴-۱-۳- وضعیت سوم

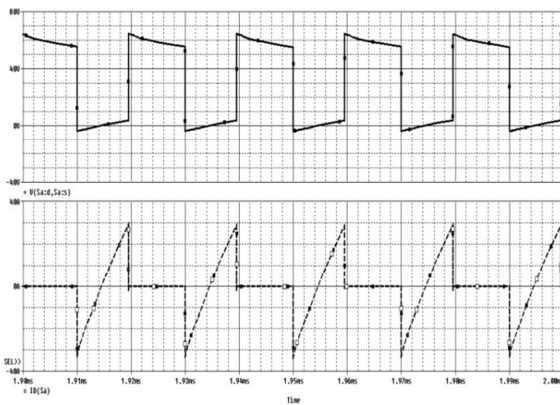
با تغییر جهت جریان سلف نشستی Lk این وضعیت آغاز می‌گردد و در این حالت جریان از دیود بدنه کلید کمکی Dsa به خود کلید Sa منتقل می‌شود، و خازن Cc دشارژ می‌شود و کلید S تحت شرایط ZVS خاموش می‌شود و عملکرد مبدل پیشنهادی را در این وضعیت داریم.



شکل (۱۱): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ نرم در وضعیت پنجم  
Fig. (11): The proposed converter with soft switching in stage five



شکل (۱۳): ولتاژ درین سورس و جریان کلید اصلی مبدل  
Fig. (13): D-S voltage and current of main switch



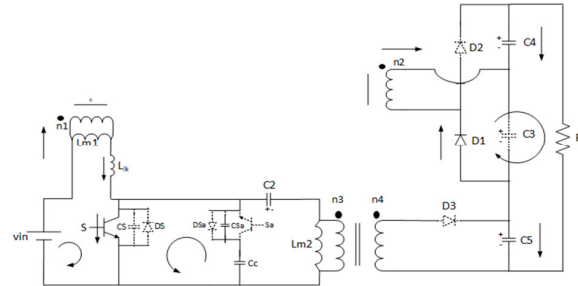
شکل (۱۴): ولتاژ درین سورس و جریان کلید کمکی مبدل  
Fig. (14): D-S voltage and current of auxiliary switches

#### ۶- نتایج عملی

پس از شبیه‌سازی مبدل، یک نمونه آزمایشگاهی از مبدل مذکور در توان ۱۶۰ وات ساخته شد و همان طور که از شکل‌ها مشخص است شکل موجهای عملی بسیار مشابه با شکل موجهای شبیه‌سازی می‌باشد، شکل (۱۵) شکل موجهای ولتاژ و جریان درین- سورس کلید کمکی را نشان می‌دهد. از آنجایی که جریان هنگام روشن شدن کلید منفی است بنابراین دیود بدنه کلید روشن است و موجب می‌گردد که کلید در ولتاژ صفر روشن شود. شکل (۱۶) شکل موجهای جریان و ولتاژ کلید اصلی است. کلیدزنی ZVS در هنگام روشن شدن و خاموش شدن در شکل مشخص است.

#### ۴-۱-۶- وضعیت ششم

این وضعیت با تغییر جهت جریان سلف نشستی شروع می‌شود. در این وضعیت جریان از دیود بدنه کلید اصلی  $D_s$  به خود کلید اصلی  $S$  منتقل می‌شود. که با روشن شدن کلید اصلی در این وضعیت عملکرد مبدل پیشنهادی را داریم.



شکل (۱۲): مبدل پیشنهادی با سوئیچینگ نرم در وضعیت ششم  
Fig. (12): The proposed converter with soft switching in stage six

#### ۵- شبیه‌سازی با نرم افزار

در این قسمت مبدل ارائه شده با نرم افزار PSpice شبیه‌سازی شده است. ورودی این مدار یک منبع ولتاژ DC ۳۰ ولتی می‌باشد. مبدل در مد DCM عمل کرده که این امر به پایداری آن منجر می‌شود. در جدول (۱) مقادیر شبیه‌سازی آورده شده است.

Table (1): Simulated values in soft switching mode

جدول (۱): مقادیر شبیه سازی در حالت سوئیچینگ نرم

پارامتر	نام/ مقدار
کلیدهای مبدل	IRF 640
$D_1-D_2-D_3$	Dbreak
خازن $C_c$	50 uF
خازن $C_2$	20 uF
خازن‌های $C_3, C_4, C_5$	50 uF
سلف مغناطیس کنندگی $T_1$ ( $Lm1$ ) ترانس	100 uH
سلف مغناطیس کنندگی $T_2$ ( $Lm2$ ) ترانس	10 uH
سلف نشستی $L_{ik}$	5 uH
مقاومت خروجی	300 $\Omega$
ولتاژ ورودی	30 V
توان خروجی	160 W
ولتاژ خروجی	220 V
فرکانس سوئیچینگ	100 KHz
$n_1/n_2$	1/4
$n_3/n_4$	1/3



### نتیجه گیری

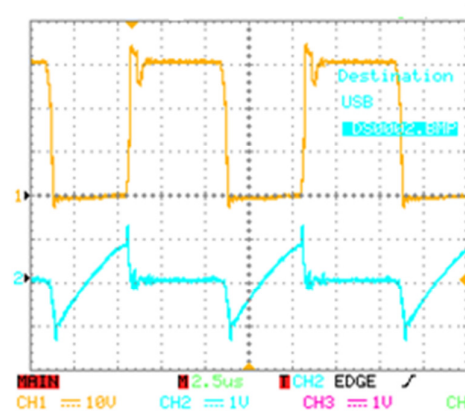
مبدل‌های مورد استفاده در مبدل پیشنهادی سپیک ایزوله و فلاای بک می‌باشند. از مزایای مبدل سپیک ایزوله می‌توان به مدار نسبتاً ساده، تعداد عناصر سوئیچ شونده کم، دارا بودن ایزولاسیون بین ورودی و خروجی اشاره کرد و همچنین از مزایای مبدل فلاای بک هم می‌توان به گرفتن بیش از یک خروجی در یک تغذیه، بالا بردن بهره با نسبت ns/np و وجود ایزولاسیون خیلی زیاد الکتریکی بین ورودی و خروجی، کاربرد مبدل هم در مبدل‌های dc/dc و هم در مبدل‌های ac/dc و اصلاح ضریب توان<sup>۴</sup> اشاره کرد.

در این مقاله برای افزایش بهره از تکنیک ترکیب مبدل‌ها استفاده شده است که در واقع مبدل پیشنهادی از مزایای دو مبدل این پژوهش بهره برده است. از دیگر مزایای مبدل ارائه شده استفاده از ساختاری برای داشتن<sup>۵</sup> ZVS در کلید اصلی و کمکی است که باعث کاهش تلفات کلید و افزایش بازده کلید اصلی می‌گردد. با توجه به موارد بالا مزایای مبدل ارائه شده را در موارد ذیل می‌توان خلاصه نمود.

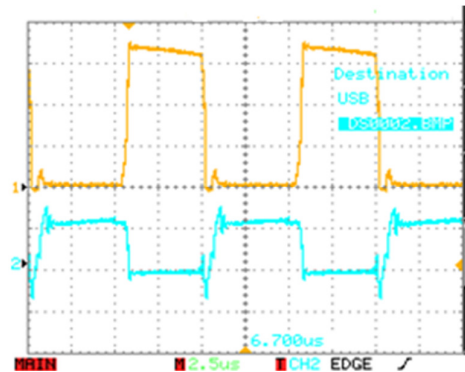
- ۱- افزایش راندمان مبدل نسبت به مبدل سپیک و یا فلاای بک معمولی به دلیل کاهش استرس و تلفات کلید زنی
  - ۲- استفاده از ترانسفورمر با نسبت دور پایین
  - ۳- کاهش تلفات کلید اصلی به علت داشتن مدار کمکی و سلف نشستی و به وجود آمدن شرایط ZVS
  - ۴- دارا بودن ساختار ساده با تعداد المانهای کم
  - ۵- کاهش هزینه نهایی مدار
- البته از معایب این مبدل می‌توان به ترانسهای این مدار اشاره کرد که جهش‌های ولتاژ را در مدار به وجود می‌آورد اما به کمک سلف Llk که به مدار اضافه شد توانستیم از این عیب بهترین استفاده را در جهت نرم کردن کلید زنی این مبدل داشت. از طرفی می‌توان بهره مبدل را با تغییر تعداد دور ترانس نیز افزایش داد.

### پی‌نوشت:

- 1- Hard switching
- 2- Soft switching
- 3- Zero voltage switching
- 4- Power factor correction
- 5- Zero voltage switching



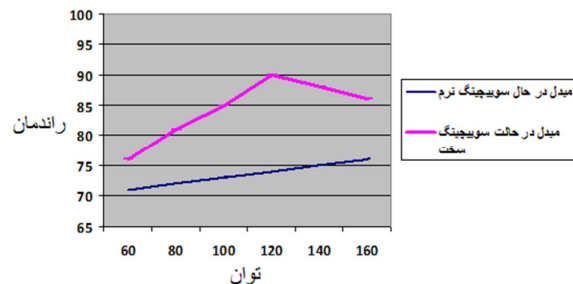
شکل (۱۵): ولتاژ درین سورس و جریان کلید کمکی مبدل آزمایشگاهی  
Fig. (15): Experimental converter D-S voltage and current of auxiliary switch (vertical scale 20V/div or 10A/div, time scale 2.5us/div)



شکل (۱۶): ولتاژ درین سورس و جریان کلید اصلی مبدل آزمایشگاهی  
Fig. (16): Experimental converter D-S voltage and current of main switch (vertical scale 20V/div or 10A/div, time scale 2.5us/div)

### ۷- راندمان مبدل

در این قسمت راندمان مبدل پیشنهادی بر حسب توان خروجی در دو حالت سوئیچینگ نرم و سوئیچینگ سخت مقایسه شده است و همانطور که ملاحظه می‌شود با استفاده از تکنیک پیشنهادی راندمان مبدل به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش پیدا کرده است.



شکل (۱۷): راندمان مبدل پیشنهادی بر حسب توان  
Fig. (17): Efficiency of converter in terms of power

### References

- [1] D.J.S. Newlin, R. Tirunelveli, S. Rajasekaran, "A performance comparison of interleaved boost converter and conventional boost converter for renewable energy application", Proceeding of the IEEE/ICGHPC, Vol. 160, No. 4, pp.1-6, March 2013
- [2] V.I. Meleshin, D.V.Zhiklenkov, A.A. Ganshin, "Efficient three-level boost converter for various applications", Proceeding of the IEEE/EPEPEMC, Vol. 55, No.1, pp. 173-183, Novi Sad, Sep. 2012
- [3] B.R. Lin, H.H. Lu, "Single-phase three-level PWM rectifier", Proceeding of the IEEE/PEDS, Vol. 1, pp. 63-68, July 1999.
- [4] L. Huber, M.M. Jovanovic, "A design approach for server power supplies for networking", Proceeding of the IEEE/APEC, Vol. 2, pp.1163-1169, New Orleans, LA, Feb. 2000.
- [5] S. Dutta, D. Maiti, A.K. Sil, S.K. Biswas, "A soft-switched flyback converter with recovery of stored energy in leakage inductance", Proceeding of the IEEE/IICPE, pp.1-5, Delhi, Dec. 2012
- [6] K.C. Tseng, T.J. Liang, "Novel high-efficiency step-up converter", Proceeding of the IEEE/EPA, Vol. 151, No. 2, pp. 182-190, Mar.2004.