ارائه مبدّل DC/DC افزاینده ولتاژ با قابلیت ارتباط مستقیم بین منبع و بار

ابراهیم سالاری*[۱]، سجاد سبزی[۲]

*۱- گروه برق، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
۲- گروه برق، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲۰

چکیده: در این مقاله یک نمونه از مبدّل‌های DC/DC افزاینده که دارای ضریب بهره بالاتری نسبت به مبدّل‌های افزاینده کلاسیک است برای استفاده در سیستم های فتوولتائیک معرفی می‌شود. سادگی ساختار، استفاده از تنها یک کلید نیمه‌هادی قابل کنترل، ارتباط مستقیم بین منبع ورودی و بار، بهره ولتاژ مناسب و عملکرد مطلوب در ردیابی حداکثر توان از جمله مزایای ساختار پیشنهادی می‌باشد. از مهمترین ویژگی‌های ساختار پیشنهادی می‌توان به سری قرار گرفتن خازن خروجی و منبع اصلی اشاره کرد و به عبارتی منبع ولتاژ برای تغذیه بار مسیر کوتاه‌تری را نسبت به مبدّل‌های افزاینده مرسوم پیش رو دارد. تحلیل‌های تئوری برای بررسی عملکرد و طراحی مدار قدرت در وضعیت هدایت پیوسته ارائه شده است. برای تائید عملکرد مطلوب در سیستم فتوولتائیک، نتایج شبیه‌سازی در نرم افزار MATLAB/SIMULINK مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. همچنین یک نمونه آزمایشگاهی ۱۰۰ وات از مبدل ارائه شده ساخته شد.

واژه‌های کلیدی: مبدّل DC/DC، افزایندگی ولتاژ، پردازش توان جزئی، سیستم فتوولتائیک .

۱- مقدمه

با انقلاب صنعتی در اروپا و فراگیری صنعتی شدن در سراسر جهان، استفاده از انرژی‌های فسیلی تجدیدناپذیر روز به روز افزایش یافت. در کنار فواید استفاده از سوخت‌های فسیلی، آلودگی زیست محیطی، گسترش بیماری‌ها، تغییرات اقلیمی و مشکلات اقتصادی از مهمترین چالش‌های پیش روی جوامع انسانی شد. پس از بروز مشکلات ذکر شده استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و منابع تولید پراکنده به رویکردی جدید تبدیل شد، تا به کشورها علاوه بر پایدار سازی و تنوع بخشی منابع انرژی، در صیانت از محیط زیست با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر کمک گردد[۱]. یک منبع انرژی پراکنده شامل منابع متفاوتی مانند فتوولتائیک، پیل سوختی، میکروتوربین گازی، توربین بادی و غیره است. امروزه انرژی خورشیدی به عنوان منبع انرژی سیستم‌های فتوولتائیک با نام انرژی سبز، یکی از مهمترین منابع تأمین انرژی رایگان، نامحدود و پاک در تولید انرژی الکتریکی می‌باشد. سلول خورشیدی عنصر اصلی یک سیستم خورشیدی می‌باشد که انرژی تابشی خورشید را مستقیماً به جریان الکتریکی مستقیم تبدیل می‌کند. هر سلول خورشیدی بصورت تقریبی توانی کمتر از ۳ وات تحت ولتاژ ۰/۵ ولت تولید می‌کند. لذا برای استفاده در کاربردهای توان بالا، ماژول فتوولتائیک، پانل فتوولتائیک و آرایه فتوولتائیک ساخته و استفاده می‌شود. برای هر ماژول خورشیدی، دو منحنی مشخصه ولتاژ- جریان (V-I) و ولتاژ- توان (V-P) تعریف می‌شود[۲]. در هر دما و تابش معین، ولتاژ و جریان ماژول خورشیدی می‌تواند مقادیر مختلفی را اختیار کند لذا سیستم فتوولتائیک سیستمی غیرخطی و متغیر با زمان می‌باشد. با توجه به شرائط و بحث دریافت حداکثر توان از سیستم فتوولتائیک سعی می‌شود جریان و ولتاژ ماژول فتوولتائیک در نقطه کار خاصی قرار گیرد. نکته دیگری که از منحنی مشخصه‌های ماژول فتوولتائیک قابل مشاهده است ولتاژ پائین ماژول

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023

فتوولتائیک می‌باشد. ماژول‌های خورشیدی ولتاژ و جریان DC تولید می‌کند و چون اغلب مصرف‌کننده‌ها متقاضی توان AC می‌باشند، لذا باید از توان DC تولیدی سیستم خورشیدی، توان AC مورد نیاز بار را تأمین نمود. برای اینکار از مبدل‌های DC به AC، استفاده می‌شود. در سیستم‌های تولید پراکنده با توجه به تنوع مبدل‌های الکترونیک قدرت و استراتژی‌های تبدیل توان و تغییر ولتاژ می‌توان ساختارهای متفاوتی برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه یا بار محلی ارائه نمود[۳]. همچنین برای مبحث تولید توان به صورت هیبریدی ساختارهای متفاوتی ارائه شده است. مبدل‌های DC/DC از جمله مبدل‌هایی هستند که در مبحث تولید توان از منابع انرژی تجدیدپذیر بویژه سیستم فتوولتائیک استفاده می‌شوند[۴].

مبدل‌های DC/DC می‌توانند علاوه برتغییر سطح ولتاژ با کنترل جریان منابع در دستیابی به بازده بیشتر و دریافت حداکثر توان از منابع انرژی تجدید پذیر اقدام نمایند. در این میان مبدل DC/DC افزاینده[۱] با بهره ولتاژ بالا از جمله ساختارهای مهم می‌باشند. در مبدل DC/DC با بهره ولتاژ بالا که از ترانسفورماتور یا سلف‌های تزویج استفاده می‌کنند می‌توانند به بهره ولتاژ بالائی دست یابند. اما مهمترین ایراد این ساختارها حضور ترانسفورماتور و سلف‌های تزویج می‌باشد. ساختارهای بدون ترانسفورماتور مبدل DC/DC می‌توانند به نوعی از حجم و قیمت کل سیستم کاسته و بازده بالاتری را ارائه دهند. اگرچه نبود ایزولاسیون الکتریکی از نقاط ضعف این ساختارهاست.

در مراجع [۵-۸] نمونه‌هایی از مبدل افزاینده با ضریب بهره ولتاژ بالا که از سلف‌های تزویج و به نوعی از ترانسفورماتورها استفاده می‌کنند را معرفی می‌نمایند. از نقاط قوت این ساختارها می‌توان به بهره ولتاژ بالا، پیوستگی جریان و ایزولاسیون اشاره نمود اگرچه در برخی از ویژگی‌ها، برخی ساختارها برتری‌هایی نسبت به یکدیگر دارند. از نقاط ضعف ساختارهای فوق الذکر می‌توان به قرار گرفتن المان‌های زیاد در مسیر جریان دریافتی از منبع به بار اشاره نمود. تعداد بالای المان‌های پسیو و عناصر نیمه‌هادی از جمله مشکلات ساختاری این نمونه‌ها است. در مرجع [۸] برای بار ۲۰۰ وات بازده ۹۶ درصد ذکر شده است که با توجه به حضور سلف‌های تزویج و المان‌های اکتیو و پسیو بازده مناسبی به نظر می‌رسد.

مبدل افزاینده کلاسیک یک ساختار پایه برای مبدل‌های DC/DC با قابلیت افزایندگی ولتاژ بدون استفاده از هر نوع ساختار ترانسفورمری می‌باشد. از ویژگی‌های مبدل افزاینده کلاسیک می‌توان به سادگی، قیمت پایین و بازده بالا اشاره نمود. از جمله نقاط ضعف مبدل افزاینده کلاسیک می‌توان به بهره ولتاژ پایین آن اشاره نمود. اگرچه از نظر تئوری امکان افزایش ولتاژ در مبدل افزاینده با تغییر ضریب وظیفه[۲] تا حد بسیار بالا وجود دارد اما با توجه به افزایش تلفات کلیدزنی و حساسیت سیستم در ضریب وظیفه بالا امکان دسترسی به بهره‌های ولتاژ بالا برای مبدل وجود ندارد لذا در سال‌های اخیر ساختارهایی از گروه مبدل‌های DC/DC بدون ایزولاسیون معرفی شده‌اند که نسبت به مبدل افزاینده کلاسیک بهره ولتاژ بالاتری را ارائه می‌دهند.

در مراجع [۹-۱۳] ساختارهای افزاینده مبدل DC/DC بدون ایزولاسیون مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. در مرجع [۹] نوعی از مبدل افزاینده ارائه می شود که ضمن داشتن جریان پیوسته در بخش ورودی بهره ولتاژ مناسبی از نظر افزایندگی ارائه می‌دهد نقطه ضعف این ساختار به نوعی در تعداد قطعات و بویژه استفاده از دو کلید نیمه هادی است. مرجع [۱۰] ضمن داشتن نقاط قوت مرجع [۹] بهره ولتاژ بالاتری نسبت به این مرجع ارائه می‌دهد اما از قطعات بیشتری استفاده می‌نماید. مرجع [۱۱] بهره ولتاژ مشابه با مرجع [۱۰] دارد اما از نظر تعداد قطعات و پیوستگی جریان ورودی نسبت به مراجع [۹] و[۱۰] وضعیت ضعیف‌تری دارد.

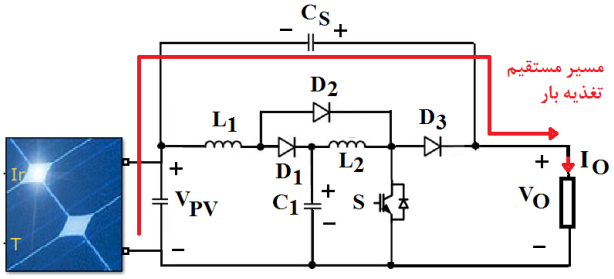
در مرجع [۱۲] نوعی از مبدل افزاینده معرفی می‌شود که ارتباط مستقیمی بین منبع انرژی ورودی و بار برقرار است که برای کاربرد در سیستم‌های فتوولتائیک معرفی شده است که مزایای سادگی ساختار، راندمان بالا و هزینه پایین برای آن ذکر شده است. در مرجع [۱۲] توان ورودی سیستم فتوولتائیک به طور مستقیم به خروجی ارسال می شود بدون اینکه توسط مبدل پردازش شود و راندمان بالا با داشتن این نوع ارتباط به دست می‌آید. تکنیک استفاده شده تحت عنوان پردازش توان جزئی[۳] یا PPP [۴] معرفی شده است. از نقاط ضعف ساختار مرجع [۱۲] می‌توان به بهره پایین ولتاژ از نظر قابلیت افزایندگی اشاره نمود. در مرجع [۱۳] نوعی از مبدل DC/DC افزاینده مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که ضمن استفاده از تکنیک PPP و داشتن ارتباط مستقیم بین منبع انرژی فتوولتائیک و بار، بهره ولتاژ بالاتری نسبت به مرجع [۱۲] ارائه می‌دهد. برای ساختار مرجع [۱۲] استفاده از کلیدهای نیمه‌هادی با استرس ولتاژ کمتر از ولتاژ خروجی و نوعی تقسیم جریان از دیگر مزایای ذکر شده می‌باشد. لازم به ذکر است تعداد قطعات مرجع [۱۲] نسبت به مرجع [۱۱] بیشتر می‌باشند.

بحث اصلی در این مقاله بر روی ساختارهای بدون ایزولاسیون که از تکنیک PPP بهره می‌برند متمرکز است. در این مقاله، یک مبدل کلیدزنی بهره ولتاژ بالا برای کاربرد در سیستم فتوولتائیک ارائه شده است که ارتباط مستقیمی بین ورودی و خروجی برقرار است. این مقاله به شرح زیر تنظیم شده است. بخش دوم بررسی عملکرد، تجزیه تحلیل پارامترها و مطالعه تلفات مبدل پیشنهادی را ارائه می‌کند. در بخش سوم، مقایسه‌ای بین مبدل پیشنهادی و برخی از مبدل‌های DC/DC جدید بدون ایزولاسیون مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. بخش چهارم به کاربرد در سیستم فتوولتائیک می‌پردازد. در بخش پنجم شبیه‌سازی سیستم مورد مطالعه با نرم‌افزار MATLAB/SIMULINK انجام شده است. بخش ششم نتایج عملی مبدل DC/DC در مقیاس آزمایشگاهی تشریح شده است. بخش هفتم به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023

۲- مبدّل DC/DC ارائه شده

شکل (۱) ساختار ارائه شده برای مبدّل DC/DC، در حالیکه به یک بار اهمی وصل شده است را نشان می‌دهد. اتصال به بار اهمی برای بررسی عملکرد و یافتن رابطه بهره ولتاژ انجام شـــده اســـت. مبدّل ارائه شـــده دارای یک کلید نیمه‌هادی در ساختار خود است بنابراین با توجه به این مطلب با انجام عملیات کلیدزنی دو حالت، ممکن اســـت اتفاق بیافتند. اهداف اصلی استفاده از مبدّل DC/DC دستیابی به بهره ولتاژ مناسب با حداقل المان‌ها اعم از عناصر اکتیو و پسیو و همچنین برقراری ارتباط مستقیم بین منبع انرژی(سیستم ماژول خور شیدی) و بار می‌با شد. با توجه به ســـاختار مبدّل DC/DC، این مبدّل تحت عنوان DBDPC[۵] نام‌گذاری شده است.



شکل (۱): مبدّل DBDPC

برای ساده‌تر شدن تجزیه و تحلیل عملکرد مبدّل DC/DC فرض اولیه این است که مدار در حالت ایده‌آل قرار دارد بدین معنی که از افت ولتاژ روی نیمه‌هادی‌ها و مقاومت داخلی ســـلف‌ها، خازن‌ها و نیمه‌هادی‌ها صرف‌نظر می شود. اندازه سلف‌ها و خازن‌ها به اندازه کافی بزرگ فرض شده است بنابراین ریپل ولتاژ خازن‌ها و جریان سلف‌ها قابل چشم‌پوشی بوده و این پارامترها به صـــورت ثابت در نظر گرفته می‌شـــوند. عملکرد مبدّل در مد هدایت پیوسته[۶] بررسی می‌شود چون یکی از اهداف اصلی عملکرد در این مد است و طراحی‌ها برای عملکرد در مد پیوسته صورت می‌گیرد. ولتاژ خروجی مبدّل DBDPC برابر است با:

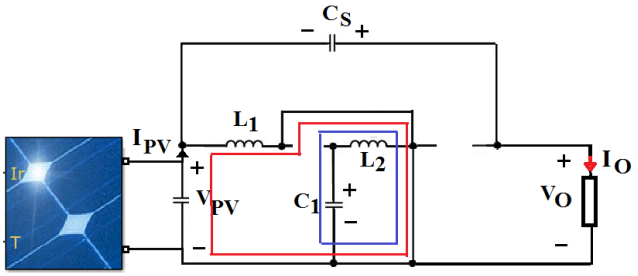
$$V_O = V_{C_S} + V_{PV} \qquad (۱)$$

۲-۱- بررسی عملکرد و محاسبه بهره ولتاژ

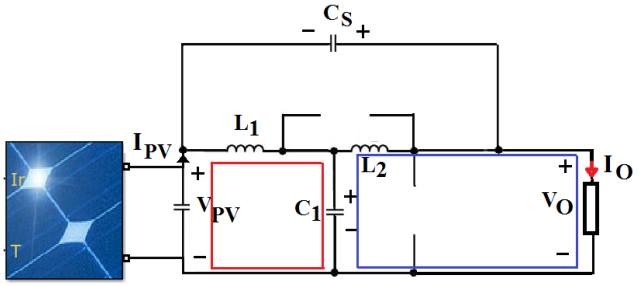
چون در ســـاختار ارائه شـــده تنها یک کلید نیمه‌هادی وجود دارد لذا ساختار ارائه شده دارای مدولاسیون ساده‌ای بوده و تنها دو حالت برای کلید وجود دارد. بنابراین دو مد کاری برای مبدّل قابل تعریف اســـت. ضـــریب وظیفه(K) به صـــورت نســـبت زمان روشـــن شـــدن(t_{on}) کلید نیمه‌هادی به دوره تناوب(T) کلیدزنی تعریف می‌شود.

$$K = \frac{t_{0n}}{T} = t_{0n} f_S \qquad (۲)$$

در معادله (۲)، f_s فرکانس کلید زنی می‌باشـــد. شـــکل‌های (۲) و (۳) مدهای کاری مبدّل DBDPC را نشان می‌دهد.



شکل (۲): مد (۱) عملکرد مبدّل DBDPC



شکل (۳): مد (۲) عملکرد مبدّل DBDPC

مد (۱): با روشن شدن کلید نیمه‌هادی (S) دیود D_2 در بایاس مستقیم قرار گرفته و روشـــن می‌شـــود. همچنین با توجه به ســـاختار مبدّل، دیودهای D_1 و D_3 در بایاس معکوس قرار گرفته و خاموش می‌شـــوند. لذا ساختار مداری در مد (۱) به صورت شکل (۲) می‌با شد. برای مد کاری (۱) می‌توان نوشت:

$$V_{L1} = V_{PV} \qquad (۳)$$

$$V_{L2} = V_{C1} \qquad (۴)$$

ولتاژ دو سر سلف‌ها مثبت بوده درنتیجه در مد (۱) سلف‌ها شروع به شارژ شدن می‌کنند.

مد (۲): با خاموش شـدن کلید (S) دیودهای D_1 و D_3 روشـن و دیود D_2 خاموش می‌گردد. شـــکل (۳) مدار معادل در بازه زمانی مد (۲) را نشان می‌دهد. در این بازه زمانی سلف‌ها به همراه منبع ورودی خازن‌ها را شارژ می‌کنند. برای مد کاری (۲) می‌توان نوشت:

$$V_{L1} = V_{PV} - V_{C1} \qquad (۵)$$

$$V_{L2} = V_{C1} - V_O \qquad (۶)$$

بر اســـاس قانون ولت-ثانیه ولتاژ متوســـط ســـلف‌ها در یک دوره تناوب کلیدزنی برابر با صفر است.

$$\overline{V_{L1}} = \frac{1}{T}\int_0^T V_{L1}(t)dt = 0 \qquad (۷)$$

$$\overline{V_{L2}} = \frac{1}{T}\int_0^T V_{L2}(t)dt = 0 \qquad (۸)$$

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

با در نظر گرفتن معادلات (۱) تا (۸) برای ولتاژ متوسط سلف‌ها معادلات (۹) و (۱۰) بدست می‌آیند:

$$0=\frac{1}{T}[KTV_{PV}+(1-K)T(V_{PV}-V_{C1})] \quad (۹)$$

$$0=\frac{1}{T}[KTV_{C1}+(1-K)T(V_{C1}-V_{O})] \quad (۱۰)$$

از معادلات (۹) و (۱۰) رابطه مابین ولتاژ ورودی و خروجی با ولتاژ خازن C_1 قابل استحصال است.

$$V_{PV}=(1-K)V_{C1} \quad (۱۱)$$

$$V_{C1}=(1-K)V_{O} \quad (۱۲)$$

با قرار دادن مقدار ولتاژ خازن C_1 از معادله (۱۲) در معادله (۱۱) رابطه بهره ولتاژ مبدّل DBDPC بدست می‌آید.

$$V_O=\frac{1}{(1-K)^2}V_{PV} \quad (۱۳)$$

۲-۲- محاسبه جریان و ولتاژ عناصر

از روی مدار معادل در بازه زمانی مد (۱) و عملکرد در ناحیه خطی، برای محاسبه ریپل جریان سلف‌ها می‌توان نوشت:

$$V_{L1}=V_{in}=\frac{\Delta I_{L1}}{\Delta t}L_1=\frac{\Delta I_{L1}f_S}{K}L_1\Rightarrow\Delta I_{L1}=\frac{K}{f_S L_1}V_{PV} \quad (۱۴)$$

$$V_{L2}=V_{C1}=\frac{\Delta I_{L2}}{\Delta t}L_2\Rightarrow\Delta I_{L2}=\frac{K}{f_S(1-K)L_2}V_{PV} \quad (۱۵)$$

با در نظر گرفتن معادله (۱۳) و با صـــرف‌نظر از تلفات مبدّل، رابطه جریان منبع(I_{PV}) با جریان بار(I_L) را می‌توان به صـــورت معادله (۱۶) نوشت:

$$I_{PV}=\frac{V_O}{R_L(1-K)^2}=\frac{I_L}{(1-K)^2} \quad (۱۶)$$

با توجه به مدارات مدهای عملکردی برای جریان سلف‌ها و خازن‌ها:

$$i_{C1}(t)=\begin{cases}-I_{L2} & 0<t<KT\\ I_{L1}-I_{L2} & KT<t<T\end{cases} \quad (۱۷)$$

$$i_{CS}(t)=\begin{cases}-I_{L} & 0<t<KT\\ I_{L2}-I_{L} & KT<t<T\end{cases} \quad (۱۸)$$

$$i_{PV}(t)=\begin{cases}I_{L1}+I_{L} & 0<t<KT\\ I_{L1}-I_{L2}+I_{L} & KT<t<T\end{cases} \quad (۱۹)$$

با توجه به صـــفر بودن جریان متوســـط خازن‌ها رابطه مابین جریان سلف‌ها قابل استحصال است.

$$\overline{V_{C1}}=0=\frac{1}{T}[-KTI_{L2}+(1-K)T(I_{L1}-I_{L2})] \quad (۲۰)$$

$$I_{L2}=(1-K)I_{L1} \quad (۲۱)$$

با فرض ثابت بودن جریان سلف‌ها و جریان بار برای مقادیر موثر جریان خازن‌ها می‌توان نوشت:

$$I_{RMS,C1}=\frac{\sqrt{K}}{(1-K)}I_{L2} \quad (۲۲)$$

$$I_{RMS,CS}=\frac{\sqrt{K}}{(1-K)}I_{L} \quad (۲۳)$$

با توجه به معادلات جریان خازن‌ها ریپل ولتاژ خازن‌ها قابل اندازه‌گیری می‌باشد.

$$\Delta V_{C1}=\frac{KT}{C_1}I_{L2} \quad (۲۴)$$

$$\Delta V_{CS}=\frac{KT}{C_S}I_{L} \quad (۲۵)$$

حداکثر ولتاژ قابل تحمل و جریان عبوری از المان‌های نیمه‌هادی مانند دیودها و ماسفت‌ها نقش مهمی در قیمت تمام شده مبدّل ایفا می‌کنند. حداکثر ولتاژ تنش[۷] نیمه‌هادی‌ها به صـــورت روابط (۲۶) تا (۲۸) قابل محاسبه هستند.

$$V_{PIV,S}=V_{PIV,D3}=V_O \quad (۲۶)$$

$$V_{PIV,D1}=V_{C1}=(1-K)V_O \quad (۲۷)$$

$$V_{PIV,D2}=V_O-V_{C1}=KV_O \quad (۲۸)$$

بیشترین جریان عبوری از عناصر نیمه‌هادی با توجه به جریان سلف‌ها عبارتند از:

$$I_{\max,S}=I_{L1}+I_{L2} \quad (۲۹)$$

$$I_{\max,D1}=I_{\max,D2}=I_{L1} \quad (۳۰)$$

$$I_{\max,D3}=I_{L2} \quad (۳۱)$$

برای متوسط جریان عناصر نیمه‌هادی:

$$I_{av,S}=K(I_{L1}+I_{L2}) \quad (۳۲)$$

$$I_{av,D1}=(1-K)I_{L1} \quad (۳۳)$$

$$I_{av,D2}=KI_{L1} \quad (۳۴)$$

$$I_{av,D3}=(1-K)I_{L2} \quad (۳۵)$$

جریان موثر عبوری از عناصر نیمه‌هادی:

$$I_{RMS,S}=\sqrt{K}(I_{L1}+I_{L2}) \quad (۳۶)$$

$$I_{RMS,D1}=\sqrt{(1-K)}I_{L1} \quad (۳۷)$$

$$I_{RMS,D2}=\sqrt{K}I_{L1} \quad (۳۸)$$

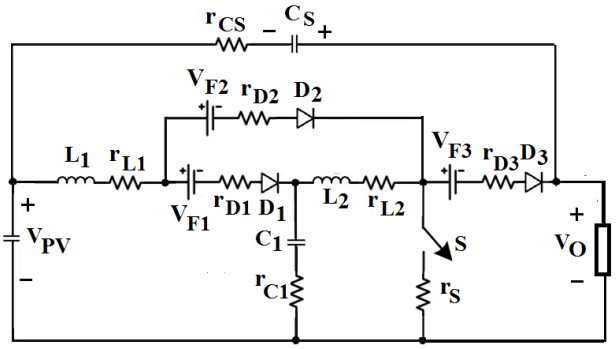
$$I_{RMS,D3}=\sqrt{(1-K)}I_{L2} \quad (۳۹)$$

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023

۳-۲- مطالعه تلفات

عناصر پسیو و نیمه‌هادی‌ها دارای مقاومت داخلی هستند. همچنین نیمه‌هادی‌ها دارای نوعی افت ولتاژ در حالت هدایت می‌باشند. این نوع از مقاومت‌ها و افت ولتاژها برای مبدّل تلفات اهمی و یا تلفات حالت هدایت ایجاد می‌نمایند. نوع دیگری از تلفات مبدّل مربوط به عملیات کلیدزنی است که تحت عنوان تلفات کلیدزنی شناخته می‌شود. در مراجع [۱۱] و [۱۳] در باره تلفات مبدّل‌های DC/DC بحث شده‌است. شکل (۴) مدار معادل مبدّل DC/DC در حضور مقاومت پارازیتی عناصر و ولتاژ حالت هدایت دیودها نشان داده شده‌است. در شکل (۴) r و V_F به ترتیب مقاومت داخلی عنصر و ولتاژ حالت هدایت دیود ها هستند. با فرض ثابت بودن و صرف‌نظر از ریپل جریان سلف‌ها مقادیر متوسط و مؤثر جریان سلف‌ها را می‌توان برابر در نظر گرفت.



شکل (۴): مدار معادل برای مطالعات تلفات

برای تلفات اهمی:

$$P_{RL1} = r_{L1} I_{L1}^2 \quad (۴۰)$$

$$P_{RL2} = r_{L2} I_{L2}^2 \quad (۴۱)$$

$$P_{RC1} = r_{C1} I_{RMS,C1}^2 \quad (۴۲)$$

$$P_{RCS} = r_{CS} I_{RMS,CS}^2 \quad (۴۳)$$

$$P_{RS} = r_S I_{RMS,S}^2 \quad (۴۴)$$

$$P_{RD1} = r_{D1} I_{RMS,D1}^2 \quad (۴۵)$$

$$P_{RD2} = r_{D2} I_{RMS,D2}^2 \quad (۴۶)$$

$$P_{RD3} = r_{D3} I_{RMS,D3}^2 \quad (۴۷)$$

برای تلفات حالت هدایت دیودها:

$$P_{VF,D1} = V_{F1} I_{av,D1} \quad (۴۸)$$

$$P_{VF,D2} = V_{F2} I_{av,D2} \quad (۴۹)$$

$$P_{VF,D3} = V_{F3} I_{av,D3} \quad (۵۰)$$

در مورد تلفات کلیدزنی با توجه به فرکانس کلیدزنی (f_D)و ولتاژ کلید در حالت خاموشی(V_S) رابطه (۵۱) نوشته می‌شود.

$$P_{switching} = f_D C_O V_S^2 \quad (۵۱)$$

در رابطه (۵۱) C_O مقدار خازن خروجی است که برای کلیدهائی نظیر ماسفت در نظر گرفته می‌شود.

تلفات کل مجموع تلفات اهمی(P_R)، هدایت(P_{VF}) و کلیدزنی($P_{switching}$) می‌باشد.

$$P_{Loss} = P_R + P_{VF} + P_{switching} \quad (۵۲)$$

۳- مقایسه مبدّل‌ها

در این بخش یک مقایسه بین ساختار DPDBC و ساختارهایی از مبدّل‌های DC/DC بدون ایزولا سیون تران سفورماتوری انجام می شود بویژه بحث اصلی در خصوص مبدّل‌هایی می‌باشد که از تکنیک PPP یا ارتباط مستقیم بین ورودی و خروجی بهره می‌برند. شاخص های مقایسه‌ای در این بخش شامل تعداد المان‌ها، بهره ولتاژ و ارتباط مستقیم بین منبع ورودی و بار خروجی می باشند. جدول (۱)، پارامترهای مقایسه‌ای از مبدّل‌ها و مبدّل DPDBC را جهت مقایسه ارائه می‌دهد. در جدول (۱) L، C، D و S به ترتیب تعداد سلف، خازن، دیود و کلید نیمه هادی اشاره دارند. همچنین در جدول (۱) K به ضریب وظیفه یا چرخه کاری ا شاره می‌نماید. ساختارهای پی شنهادی مراجع [۹-۱۱] بهره ولتاژ بالاتری نسبت به سایر مراجع جدول (۱) ارائه می‌دهند اما همه این ساختارها از تعداد قطعات بیشتری نسبت به ساختار پیشنهادی استفاده می‌نمایند.

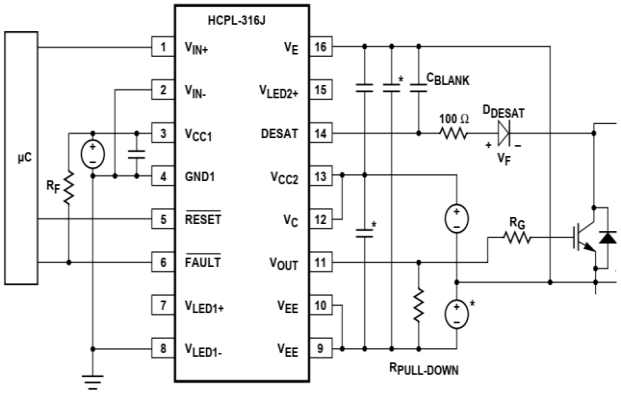
یکی از مهمترین قطعاتی که تاثیر بیشتر در قیمت تمام شده مبدّل می‌گذارد کلید نیمه‌هادی قابل کنترل می‌باشد. هر کلید MOSFET یا IGBT به مدار راه‌اندازی نیاز دارد مدار راه‌انداز از قطعاتی مانند منبع تغذیه، خازن، دیود، مقاومت و آی‌سی راه‌انداز استفاده می‌کند. قیمت آی‌سی راه‌انداز در برخی از موارد از کلید نیمه‌هادی بیشتر است. از طرفی دیگر کلیدها به مدارات محافظ و خنک‌کننده نیز نیاز دارند. از طرفی با افزایش تعداد کلیدها بحث پیچیدگی سیستم کنترل نیز مطرح می‌شود. لذا در مجموع می‌توان گفت با افزایش تعداد نیمه هادی های قابل کنترل و مدار راه‌انداز آن قیمت مبدّل افزایش می‌یابد. شکل (۵) مدار راه‌انداز مبتنی بر آی سی HCPL-316J را نشان می‌دهد. ساختار پیشنهادی از یک کلید نیمه‌هادی استفاده می‌نماید و از این منظر نسبت به ساختارهای مشروحه در جدول (۱) برتری دارد. همچنین در ساختار پیشنهادی بحث ارتباط مستقیم بین منبع ورودی و بار خروجی مطرح ا ست که ا صول تکنیک PPP در آن رعایت شده است این در حالیست که برای مراجع [۹-۱۱] این ارتباط مستقیم وجود ندارد. در مقایسه با مراجع [۱۲] و [۱۳] مبدّل DPDBC بهره ولتاژ بالاتری را ارائه می‌دهد در حالیکه مانند مرجع [۱۲] از یک کلید نیمه‌هادی ا ستفاده می‌کند. ساختار مرجع [۱۳] از دو کلید نیمه‌هادی در ساختار خود بهره می‌برد و نسبت به مرجع [۱۲] بهره ولتاژ بالاتری را ارائه می‌نماید. شکل (۶) مقایسه بهره‌های ولتاژ برای ساختار پیشنهادی و مراجع [۱۲] و [۱۳] را نشان می‌دهد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

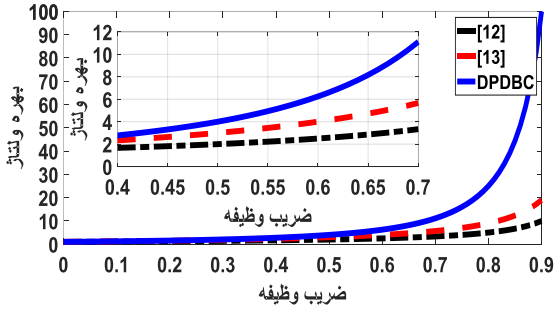
با توجه به مباحث مطرح شده ساختار DPDBC نوعی ساختار بهینه از نظر بهره ولتاژ و استفاده از تکنیک PPP را معرفی می‌نماید.

جدول (۱): مقایسه مبدل‌ها

مرجع	تعداد المان‌ها					بهره	قابلیت PPPT
	C	L	D	S	جمع		
[۹]	۳	۲	۳	۲	۱۰	$\frac{1+K}{(1-K)^2}$	ندارد
[۱۰]	۴	۲	۴	۲	۱۲	$\frac{3-K}{(1-K)^2}$	ندارد
[۱۱]	۶	۳	۵	۲	۱۶	$\frac{2+K}{(1-K)^2}$	ندارد
[۱۲]	۱	۱	۱	۱	۴	$\frac{1}{(1-K)}$	دارد
[۱۳]	۲	۲	۲	۲	۸	$\frac{1+K}{(1-K)}$	دارد
DPDBC	۲	۲	۳	۱	۹	$\frac{1}{(1-K)^2}$	دارد



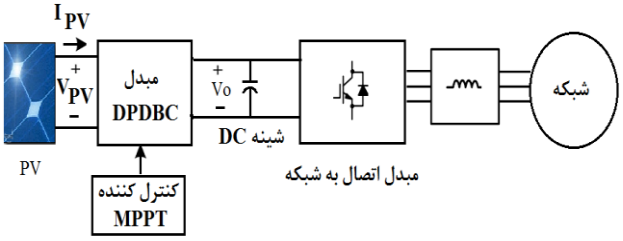
شکل (۵): یک نمونه راه‌انداز کلید نیمه‌هادی با استفاده از HCPL-316J



شکل(۶): مقایسه بهره ولتاژ

۴- کاربرد در سیستم فتوولتائیک

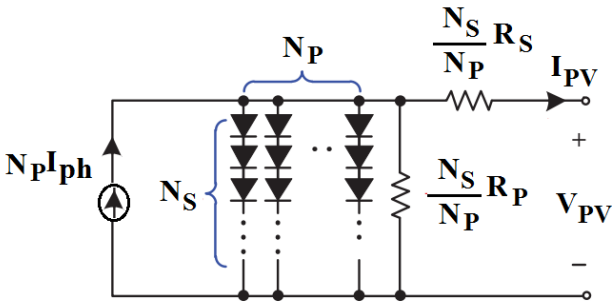
شکل (۷) سیستم فتوولتائیک مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در این مطالعه سیستم فتوولتائیک در حالت متصل به شبکه بررسی شده است. برای تطبیق بار از مبدل افزاینده DPDBC استفاده شده است. در سیستم فتوولتائیک مورد مطالعه خازن شینه DC توسط مبدل اینورتری با دریافت انرژی از شبکه قدرت در مقدار مشخصی تثبیت می‌گردد. در این مطالعه بحث بر روی عملکرد مبدل DC/DC متمرکز می‌شود و فرض این است که ولتاژ شینه DC ثابت است. ولتاژ خروجی ماژول‌های فتوولتائیک علاوه بر شدت تابش خور شید، به دمای محیط، طول عمر، مشخصه بار و به خصوص ولتاژ خروجی آن وابسته است. بنابراین به ازای شرایط آب و هوایی مشخص تنها در یک نقطه حداکثر توان تحویل می‌گردد. از طرفی عمر کوتاه ماژول‌های خورشیدی و هزینه‌ی سرمایه‌گذاری اولیه‌ی بالای آنها اهمیت جذب حداکثر توان ممکن را دو چندان می‌کند. لذا در این خصوص بحث ردیابی حداکثر توان مطرح می‌شود.



شکل (۷): سیستم مورد مطالعه فتوولتائیک

۴-۱- مدل و مشخصات ماژول فتوولتائیک

مدل سازی ماژول خورشیدی برای بررسی عملکرد سیستم فتوولتائیک تحت شدت تابش مختلف نور خورشید و دماهای متفاوت انجام می‌شود. شکل (۸) مدل ماژول خورشیدی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به معادلات استاندارد رابطه (۵۳) برای جریان خروجی ماژول خورشیدی ارائه می‌شود[۱۴].



شکل (۸): مدل ماژول خورشیدی

$$I_{PV} = N_p I_{ph} - N_p I_S \left(e^{\left(\frac{q}{KAT} \left(\frac{V_{PV}}{N_s} + \frac{R_s I_{PV}}{N_p} \right) \right)} - 1 \right) - \left(\frac{V_{PV}}{N_s} + \frac{R_s I_{PV}}{N_p} \right) \frac{N_p}{R_p} \quad (۵۳)$$

در سیستم فتوولتائیک:

I_{ph} بیانگر جریان تابشی خورشید به سطح سلول خورشیدی و برحسب آمپر می‌باشد.

I_S جریان اشباع معکوس دیود برحسب آمپر؛

q بار الکتریکی یک الکترون برابر با c $۱۰^{-۱۹}$* ۱/۶۰۲ ؛

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

K ثابت بولتزمن برابر با J/K $^{-۲۳}$۱۰* ۱/۳۸۱ ؛

A عبارت است از ضریب ایده آلی دیود؛

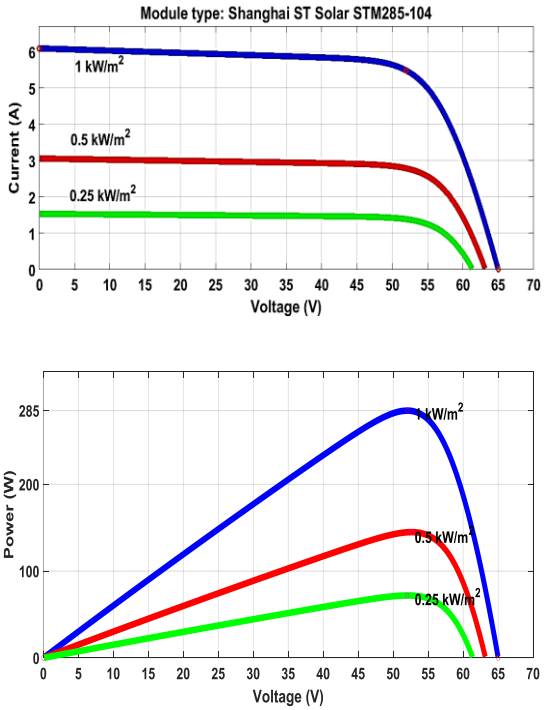
T دما بر حسب درجه کلوین؛

V_{PV} و I_{PV} به ترتیب ولتاژ و جریان ماژول فتوولتائیک می‌باشند.

ماجول PV به کار برده شده در این مقاله ماژول‌های خورشیدی ساخت شرکت Shanghai ST Solar چین می‌باشند. جدول (۲) پارامترهای ماژول خورشیدی مورد استفاده در سیستم فتوولتائیک مورد مطالعه را نشان می‌دهد. سیستم فتوولتائیک دارای ماژول‌هائی با منحنی مشخصه نشان داده شده در شکل (۹) است که برای دمای ثابت ۲۵ درجه سانتیگراد و تابش‌های مختلف ترسیم شده است. این ماژول توان ۲۸۵ وات در تابش ۱۰۰۰ وات بر مترمربع و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد تولید می‌کند.

جدول (۲): پارامترهای ماژول خورشیدی

پارامترها		مقادیر
توان پیک (۵٪+/-)	Pmax	۲۸۴/۹۶W
تعداد سلول‌های در هر ماژول	Ncell	۱۰۴
ولتاژ مدار باز	Voc	۶۵ V
ولتاژ در نقطه توان ماکزیمم	Vmp	۵۲ V
جریان اتصال کوتاه	Isc	۶/۰۹A
جریان در نقطه توان ماکزیمم	Imp	۵/۴۸ A



شکل(۹): منحنی مشخصه(I-V) و (P-V) ماژول خورشیدی STM285-104 به ازای تابش متغیر و دمای ثابت

۲-۴- ردیابی حداکثر توان

به منظور افزایش بازده و کارایی سیستم، همواره سعی بر این است که از ماژول خورشیدی در نقطه حداکثر توان بهره‌برداری شود. روش‌های مختلفی برای این کار وجود دارد[۱۵ و ۱۶]. استراتژی رسانایی افزایش از جمله روش‌های جستجوی قله می‌باشد، اما از رابطه منحصر به فرد منحنی I-V (منحنی ولتاژ جریان) استفاده می‌کند. این روش تخمین جریان و ولتاژ سلول خورشیدی را می‌فهمد و مشتق جریان سلول (dI) و ولتاژ سلول (dV) را اندازه‌گیری می‌کند و از منحنی ولتاژ-جریان PV برای تصمیم‌گیری در مورد خط نقطه کار استفاده می‌شود. در روش رسانش افزایشی، کنترلر، تغییرات افزایشی ولتاژ و جریان پنل‌ها را اندازه‌گیری کرده و تغییر ولتاژ را پیش‌بینی می‌کند. این روش به محاسبات بیشتری نیاز دارد ولی تغییرات شرایط را زودتر از روش اغتشاش و مشاهده تشخیص می‌دهد اما مانند روش اغتشاش و مشاهده، باعث نوسان توان خروجی می‌شود. روش رسانش افزایشی، با مقایسه افزایش رسانایی ($\Delta I / \Delta V$) و رسانایی پنل‌ها(I / V) ، ردیابی نقطه حداکثر توان را انجام می‌دهد. هنگامیکه این دو مقدار برابر باشند ($I / V = \Delta I / \Delta V$)، توان خروجی در نقطه حداکثر قرار دارد و با تغییر شدت تابش آفتاب، چرخه تکرار می شود. هر زمان که شرایط جوی به سرعت در حال تغییر باشد، بسیاری از تکنیک‌های اندازه گام سازگار برای استخراج نقطه حداکثر توان بدون نوسان معرفی شده‌اند. شکل (۱۰) ردیاب حداکثر توان مبتنی بر روش رسانایی افزایشی با کنترل کننده تناسبی انتگرال‌گیر را نشان می‌دهد. ماژول‌های فتوولتائیک از طریق مبدل‌های DC/DC به لینک خازنی در استراتژی سینه DC وصل می‌شوند. وظیفه این مبدل‌ها تغییر سطح ولتاژ ماژول‌های فتوولتائیک و ایجاد شرائط لازم برای ردیابی حداکثر توان است.

۵- شبیه‌سازی کامپیوتری

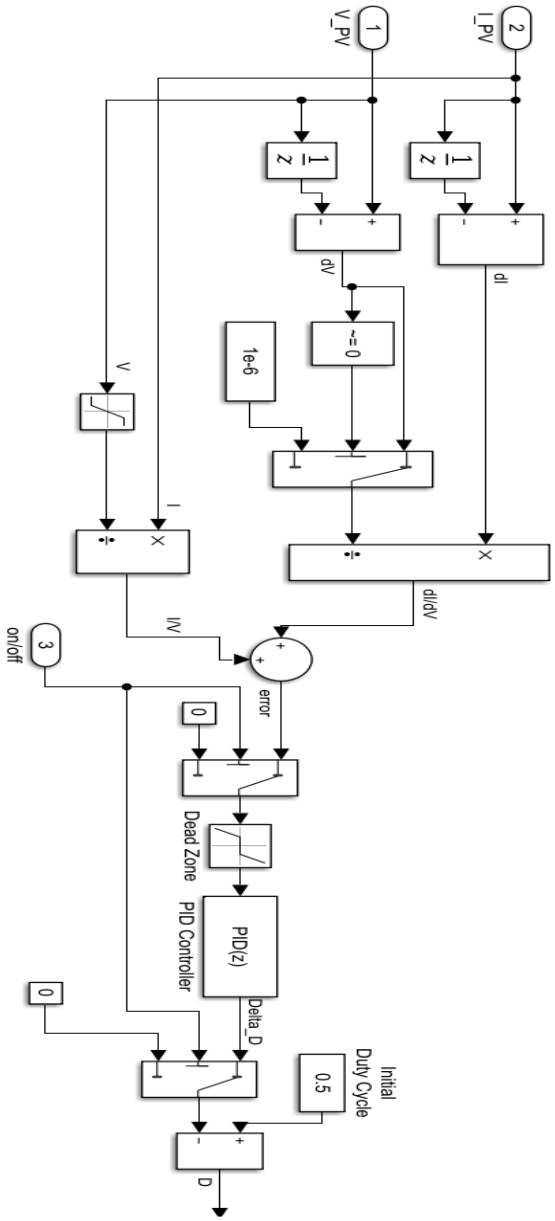
دو نمونه از شبیه‌سازی‌ها در این بخش ارائه خواهند شد. از نرم‌افزار MATLAB/SIMULINK برای انجام شبیه سازی‌ها استفاده شده است. ابتدا مبدل DPDBC شبیه سازی شده و سپس عملکرد مبدل DC/DC در یک سیستم تبدیل انرژی فتوولتائیک در مد اتصال به شبکه مورد شبیه‌سازی و مطالعه قرار می‌گیرد.

۱-۵- شبیه‌سازی مبدل DPDBC

هدف از اولین شبیه سازی برر سی عملکرد مبدل DC/DC است. در این بخش نمونه‌ای از مبدل DC/DC مورد بررسی قرار می‌گیرد که توانایی تبدیل ولتاژ ۱۰۰ ولت به ۵۰۰ ولت را داشته باشد. مدار مبدل DC/DC مطابق با شکل (۱) است. توان خروجی مبدل برابر با ۲۸۵۰ وات است. سعی خواهد شد که مبدل به گونه‌ای طراحی شود که ریپل جریان ورودی و ریپل ولتاژ خازن‌های خروجی کوچک و قابل صرف نظر باشند و یا به عبارتی $\Delta i_{in}/I_{in}$ و $\Delta v_o/V_O$ کمتر از پنج درصد

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

باشند. مقدار پارامترهای مبدّل DC-DC در جدول (۳) نشان داده شده است.

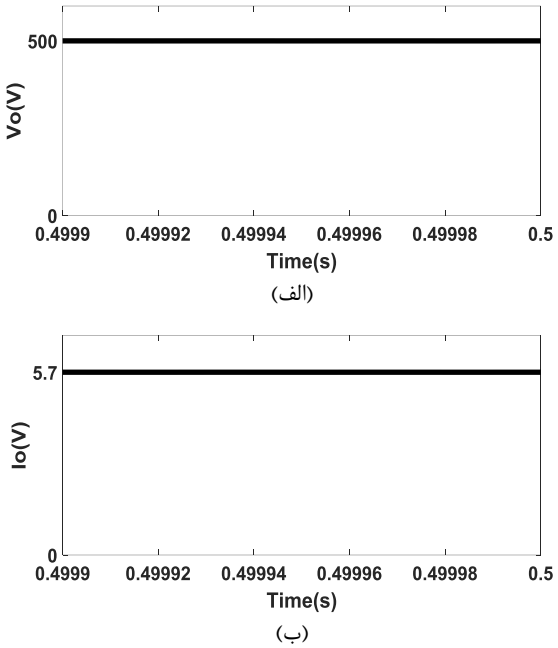


شکل (۱۰): ردیاب حداکثر توان مبتنی بر روش رسانایی افزایشی با کنترل‌کننده تناسبی انتگرال‌گیر

جدول (۳): پارامترهای مبدّل DPDBC

پارامتر	مقدار
L_1 و L_2	۱/۵ و ۷/۵ میلی هانری
C_1 و C_S	۲۲۰۰ میکروفاراد
بار	مقاومتی، ۲۸۵۰ وات
فرکانس کلیدزنی	۳۰ کیلو هرتز
ولتاژ منبع	۱۰۰ ولت
ولتاژ بار	۵۰۰ ولت

برای تبدیل ولتاژ ۱۰۰ ولت به ۵۰۰ ولت باید چرخه کاری در مقداری نزدیک به ۰/۵۵ تنظیم گردد. شکل (۱۱) ولتاژ و جریان خروجی مبدّل DC/DC را نشان می‌دهد. ولتاژ و جریان خروجی مقادیر ثابتی هستند. نتایج شبیه‌سازی برای بازه زمانی سه دوره تناوب ارائه شده‌اند.



شکل (۱۱): ولتاژ و جریان خروجی مبدّل DC/DC (الف) ولتاژ (ب) جریان

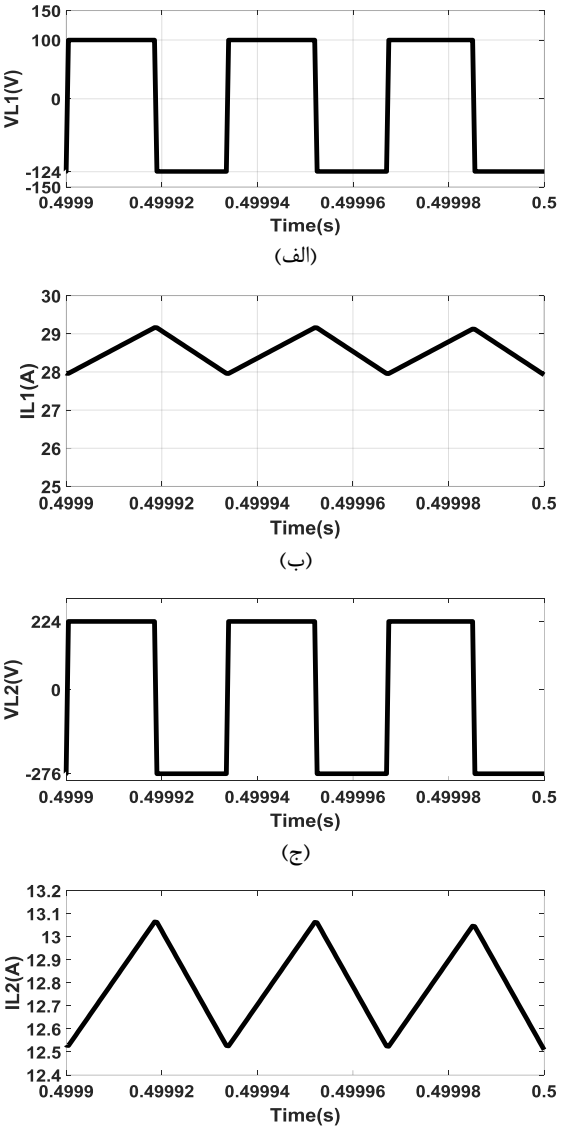
شکل (۱۲) ولتاژها و جریان‌های سلف‌های L_1 و L_2 را نشان می‌دهد. در شکل (۱۲) می‌توان نحوه شارژ و دشارژ سلف‌ها را مشاهده نمود. با قرار گرفتن ولتاژ مثبت در دوسر سلف، سلف در مد شارژ قرار می‌گیرد و بالعکس با منفی شدن ولتاژ دو سر آن، دشارژ می شود. همچنین از شکل (۱۲) می‌توان درستی روابط ارائه شده برای جریان سلف‌ها را بررسی نمود. از پارامترهای مهم نشان داده شده در شکل (۱۲) می‌توان به ریپل جریان سلف‌ها اشاره نمود که ریپل جریان سلف‌های L_1 و L_2 تقریبا به ترتیب ۱ و ۰/۵ آمپر قابل مشاهده می‌باشند. با توجه به روابط (۱۴) و (۱۵) برای ریپل جریان سلف‌های L_1 و L_2 می‌توان نوشت:

$$\Delta I_{L1} = \frac{0.55*100}{30*10^{3}*1.5*10^{-3}} = 1.22 \qquad (۵۴)$$

$$\Delta I_{L2} = \frac{0.55*100}{30*10^{3}*0.45*7.5*10^{-3}} = 0.54 \qquad (۵۵)$$

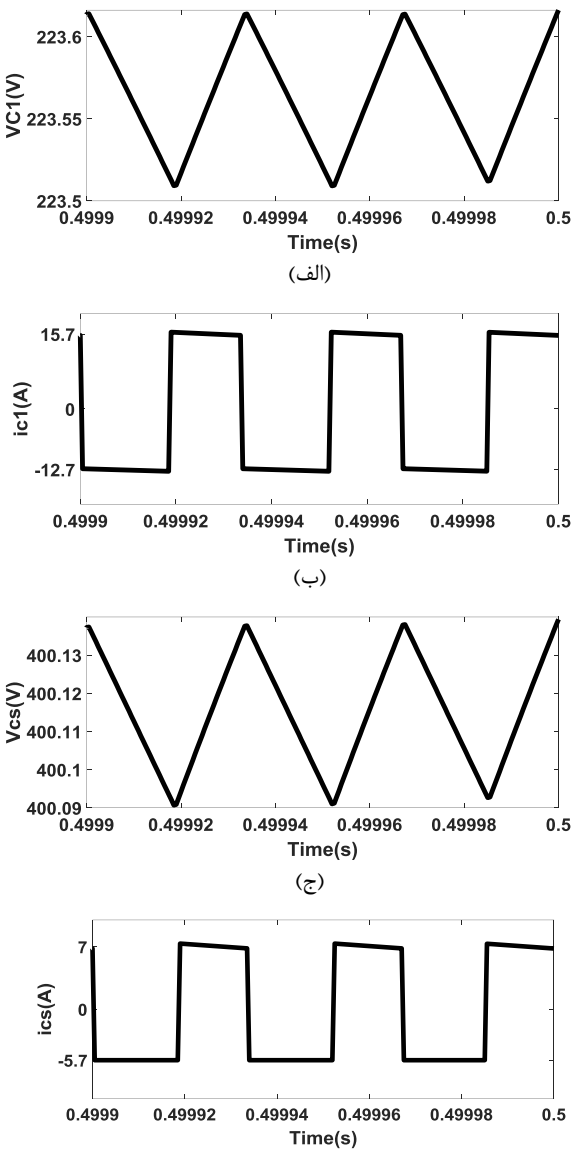
شکل (۱۳) ولتاژها و جریان‌های خازن‌های C_1 و C_S را نشان می‌دهد. در شکل (۱۳) می‌توان نحوه شارژ و دشارژ خازن‌ها را مشاهده نمود. با عبور جریان مثبت از خازن، خازن در مد شارژ قرار می‌گیرد و بالعکس با دریافت جریان منفی خازن دشارژ می شود. آنچه که در شکل (۱۳) برای ولتاژ خازن‌ها قابل مشاهده است ریپل بسیار اندک ولتاژ خازن‌هاست. در حقیقت طراحی به نحوی صورت گرفته است که ریپل ولتاژ خازن‌ها قابل صرف‌نظر کردن باشد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل (۱۲): ولتاژها و جریان‌های سلف‌های L_1 و L_2

ولتاژ و جریان عناصر نیمه‌هادی در شکل (۱۴) نشان داده شده‌اند. از شکل (۱۴) می‌توان نحوه روشن و خاموش شدن دیودها با توجه به کلیدزنی عنصر نیمه‌هادی قابل کنترل را مشاهده نمود. شکل (۱۴) در ستی روابط ارائه شده برای حداکثر ولتاژ قرار گرفته بر روی عناصر نیمه‌هادی و حداکثر جریان عبوری از این عناصر را تصدیق می‌نماید. برای مثال طبق رابطه (۲۶) حداکثر ولتاژ قرار گرفته بر روی کلید نیمه هادی قابل کنترل برابر با ولتاژ خروجی است که در شکل (۱۴(الف)) قابل مشاهده می‌باشد. جریان عبوری از کلید نیمه‌هادی در حالت هدایت طبق شکل (۱۴(الف)) برابر با ۴۱ آمپر می‌باشد که درستی رابطه (۲۹) را اثبات می‌نماید. در رابطه (۲۹) حداکثر جریان عبور از کلید نیمه‌هادی برابر با مجموع جریان سلف‌های L_1 و L_2 بیان شده است. در شکل (۱۲) جریان سلف‌های L_1 و L_2 به ترتیب ۱۲/۷ و ۲۸/۵ آمپر می‌باشد که مجموع این جریان‌ها تقریباً ۴۱ آمپر خواهد شد.



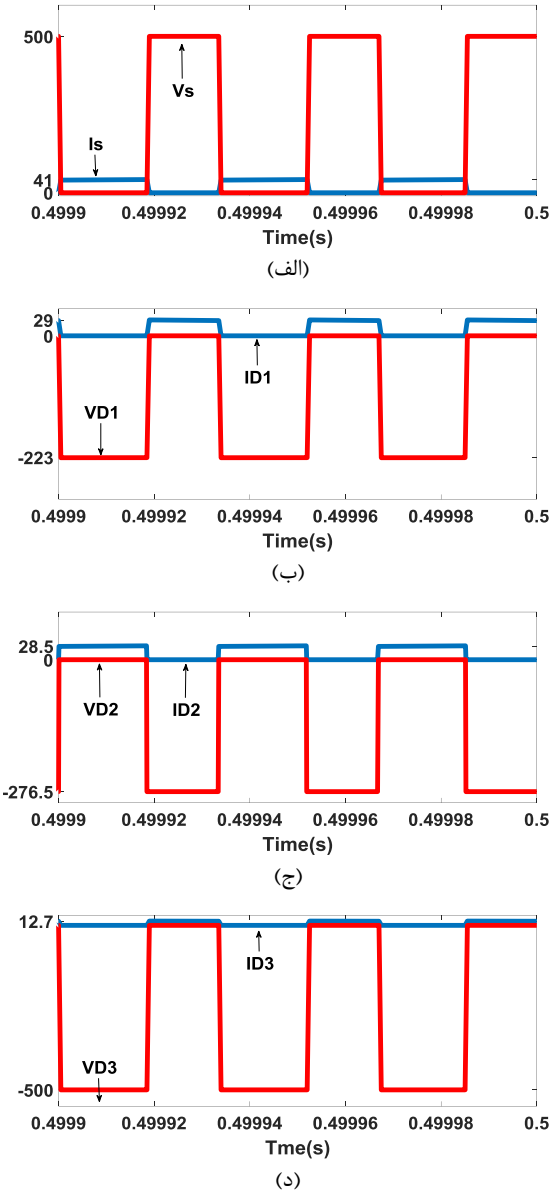
شکل (۱۳): ولتاژها و جریان‌های خازن‌های C_1 و C_S

۲-۵- شبیه‌سازی عملکرد در سیستم خورشیدی

در این شبیه‌سازی یک سیستم فتوولتائیک مطابق با شکل (۷) در نظر گرفته می‌شود. هدف تزریق توان تولیدی از منابع فتوولتائیک در مد اتصال به شبکه است. ولتاژ شینه DC در مقدار ۵۰۰ ولت ثابت نگه داشته می شود. منابع فتوولتائیک از طریق مبدّل DPDBC به شینه DC وصل شده‌اند. پارامترهای مبدّل DPDBC در جدول (۳) داده شده‌اند.

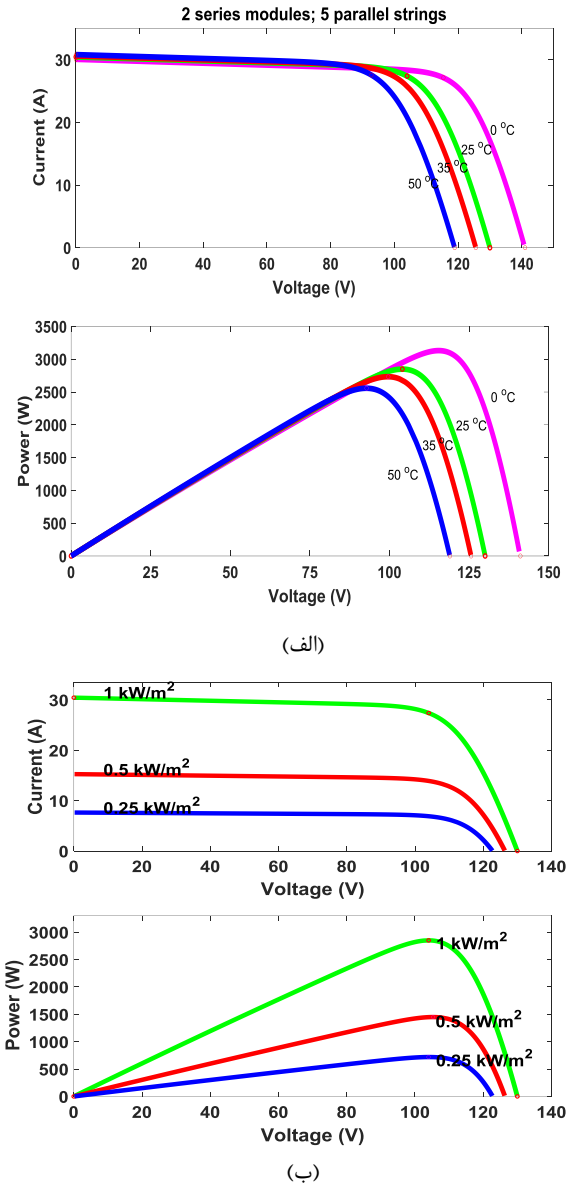
سیستم فتوولتائیک دارای ماژول‌هائی با منحنی مشخصه نشان داده شده در شکل (۹) است. این ماژول توان ۲۸۵ وات در تابش ۱۰۰۰ وات بر مترمربع و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد تولید می‌کند. در آرایه استفاده شده تعداد ۵ رشته با هم موازی شده‌اند که در هر رشته ۲ ماژول وجود دارد.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]



شکل (۱۴): ولتاژها و جریان‌های عناصر نیمه‌هادی الف) کلید، ب)دیود D_1، ج) دیود D_2، د) دیود D_3

شکل (۱۵) منحنی مشخصه‌های ولتاژ- جریان و ولتاژ-توان برای شرایط تابش و دمای متغیر برای آرایه‌های فتولتائیک را نشان می‌دهد. شکل (۱۵ (الف)) مشخصه‌های آرایه خورشیدی به ازای دماهای متغیر و تابش ثابت ۱۰۰۰ وات بر متر مربع را نشان می‌دهد. مشخصه‌های آرایه خورشیدی به ازای تابش‌های متغیر و دما ثابت ۲۵درجه سانتیگراد در شکل (۱۵ (ب)) نمایش داده شده‌اند. با توجه به منحنی‌های شکل (۱۵) می‌توان گفت برای یک آرایه ولتاژ نقطه حداکثر توان بین ۹۰ تا ۱۲۰ ولت است. در حقیقت آرایه فتوولتائیک یک منبع ولتاژ متغیر است که با توجه به شرایط تابش و دما مقدار آن تغییر می‌کند. مبدّل DPDBC با تغییر ضریب وظیفه ولتاژ و جریان سیستم فتوولتائیک را در نقطه کار مطلوب تثبیت می‌نماید.

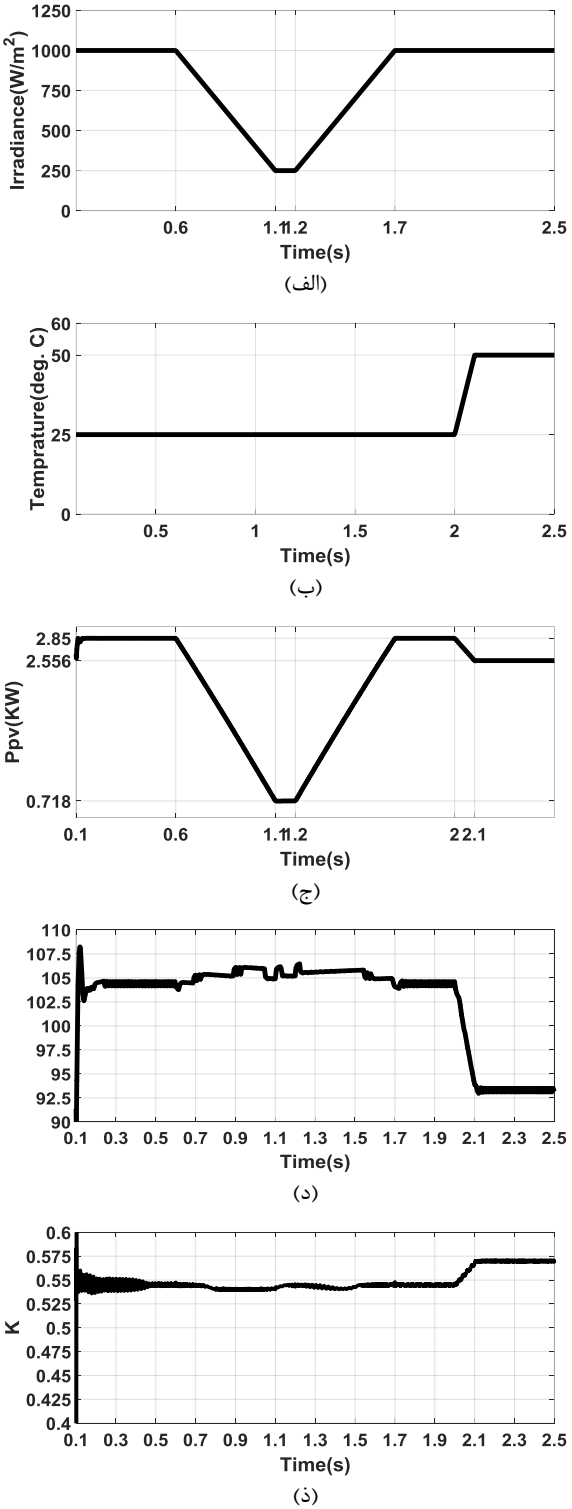


شکل (۱۵): منحنی مشخصه(I-V) و (P-V) آرایه خورشیدی به ازای الف) دمای متغیر تابش ثابت، ب) تابش متغیر و دمای ثابت

تغییر سطح ولتاژ آرایه و رساندن به سطح مطلوب ولتاژ لینک خازنی وظیفه مبدّل DC/DC ا ست. شکل (۱۶) تزریق توان به شبکه توسط سیستم فتوولتائیک را نشان می‌دهد. در شکل (۱۶) توان تولیدی توسط سیستم فتوولتائیک با تغییرات تابش و دما تغییر می‌کند. شکل (۱۶(الف)) تغییرات تابش را نشان می‌دهد. تابش از مقدار ۱۰۰۰ وات بر مترمربع به ۲۵۰ وات بر مترمربع می‌رسد سپس مجدد به میزان سطح ۱۰۰۰ وات بر مترمربع بر می‌گردد. شکل (۱۶(ب)) تغییرات دما را بین دو مقدار ۲۵ و ۵۰ درجه سانتیگراد نشان می‌دهد. شکل (۱۶(ج)) بیانگر توان دریافتی از سیستم فتوولتائیک می‌با شد. با توجه به منحنی مشخصه‌های آرایه فتوولتائیک نشان داده شده در شکل (۱۵) برای شرایط تابش برابر با ۱۰۰۰ وات بر مترمربع و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد توان حداکثر ۲۸۵۰ وات می‌باشد. لذا طبق شکل

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

(۱۵(ج)) ردیابی حداکثر توان به خوبی انجام شده است. شکل (۱۶(د)) ولتاژ آرایه فتوولتائیک و شکل (۱۶(ذ)) ضریب وظیفه (K) را نشان می‌دهند که با توجه به رابطه (۱۳) بهره ولتاژ، تغییر سطح ولتاژ آرایه و رساندن به سطح مطلوب ولتاژ لینک خازنی یعنی ۵۰۰ ولت به خوبی انجام شده است.



شکل (۱۶): عملکرد مبدّل در سیستم فتوولتائیک الف) تابش، ب) دما، ج) توان تزریقی، د) ولتاژ آرایه، ذ) ضریب وظیفه (K).

۶- نتایج عملی

یک مدار آزمایشگاهی برای مبدّل‌های DC/DC تهیه شد که برروی این مدار یک کلید قابل کنترل به همراه مدارات راه‌انداز، دیود، خازن، سلف و میکروکنترلر تعبیه گردید. شکل(۱۷) مدار آزمایشگاهی برای مبدّل‌های DC/DC را نشان می‌دهد. برای ساخت راه‌انداز کلیدهای قابل کنترل از درایورهای نوع HCPL-316j استفاده گردید. آی سی HCPL-316j یک درایور ۱۶ پایه می‌باشد که مناسب برای مدار راه‌انداز یک IGBT یا یک ماسفت قدرت می‌باشد. جدول (۴) پارامترهای ساختار ارائه شده برای مبدّل DPDBC را نشان می‌دهد.



شکل(۱۷): مدار آزمایشگاهی برای مبدّل‌های DC/DC

برای منبع تغذیه ا صلی از یک منبع ولتاژ سوئیچینگ با ولتاژ ۴۸ ولت استفاده گردید. برد آردوینو Arduino DUE با پردازنده ARM برای انجام عملیات کلیدزنی استفاده گردید.

شکل (۱۸) نتایج تجربی برای بخش DC-DC اولین ساختار ارائه شده را تشریح می‌کند. سلکتور زمان در اسیلوسکوپ بر روی ۱۰ میکرو ثانیه تنظیم شده است. ولتاژ فرمان یا ولتاژ گیت-سورس برای کلید مبدّل DPDBC در شکل (۱۸(الف)) نشان داده شده‌اند. در انجام آزمایشات ضریب وظیفه بر روی مقدار نزدیک به ۵۴ درصد تنظیم شده است. با توجه به فرمان ارسالی جریان سلف‌ها و ولتاژ خازن‌ها در شکل‌های (۱۸(ب)) و (۱۸(ج)) نشان داده شده‌اند. شکل (۱۸(د)) نشانگر ولتاژ خروجی مبدّل DC/DC است که یک ولتاژ ثابت می‌باشد.

جدول (۳): پارامترهای مبدّل DPDBC

پارامتر	مقدار
L_1 و L_2	۱/۵ و ۱/۵ میلی هانری
C_1 و C_S	۲۲۰ میکروفاراد
بار	مقاومتی، ۱۰۰ وات
فرکانس کلیدزنی	۳۰ کیلو هرتز
دیود	BYP302
ماسفت	IRFP250
میکروکنترلر	Arduino DUE
ولتاژ منبع	۴۸ ولت
ولتاژ بار	۲۲۰ ولت

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023

۷- نتیجه

در این مقاله، یک ساختار از مبدّل‌های DC/DC افزاینده ولتاژ از مبدّل‌های بدون ایزولاسیون ترانسفورماتوری معرفی گردید. از مهمترین ویژگی‌های ساختار ارائه شده می‌توان به سادگی و ا ستفاده از تکنیک پردازش توان جزئی اشاره نمود. بر طبق تکنیک پردازش توان جزئی ارتباط الکتریکی کوتاه‌تر مابین ورودی و خروجی باعث افزایش بازده مبدّل پیشنهادی می‌شود. از دیگر ویژگی‌های ساختار پیشنهادی می‌توان به استفاده از یک کلید نیمه‌هادی اشاره نمود. مبدّل پیشنهادی با تعداد المان‌های کمی به بهره ولتاژ بالا دست یافته است. مطالعات محاسبات جریان و ولتاژ، محاسبات تلفات، مقایسه با ساختارهای جدید هم خانواده، شبیه‌سازی کامپیوتری و ساخت نمونه آزمایشگاهی در مقاله انجام شده است.

مراجع

[1] L. Tian, Q. Ye, Z. Zhen, *"A new assessment model of social cost of carbon and its situation analysis in China"*, Journal of Cleaner Production, Vol. 211, pp. 1434-1443, 2019.

[2] M. Ding, Z. Xu, W. Wang, X. Wang, Y. Song, and D. Chen, *"A review on China's large-scale PV integration: Progress, challenges and recommendations"*, Renewable Sustain. Energy Rev., Vol. 53, pp. 639–652, Jan. 2016.

[3] M.R. Banaei, E. Salary, *"Application of multi-stage converter in distributed generation systems"*, Energy Conversion and Management, Vol. 62, pp. 76–83, 2012.

[4] V. Fernão Pires, A. Cordeiro, C. Roncero-Clemente, S. Rivera, and T. Dragicevic, *"DC–DC Converters for Bipolar Microgrid Voltage Balancing: A Comprehensive Review of Architectures and Topologies"*, IEEE J. Of Emerg. And Select. Topics In Power Electron, Vol. 11, No. 1, pp. 981-998, 2023.

[5] L. He, Z. Zheng, and D. Guo, *"High step-up DC–DC converter with active soft-switching and voltage-clamping for renewable energy systems"*, IEEE Trans. Power Electron., Vol. 33, No. 11, pp. 9496–9505, Nov. 2018.

[6] M. E. Azizkandi, F. Sedaghati, H. Shayeghi, and F. Blaabjerg, *"Two-and three-winding coupled-inductor-based high step-up DC–DC converters for sustainable energy applications"*, IET Power Electron., Vol. 13, No. 1, pp. 144–156, 2020.

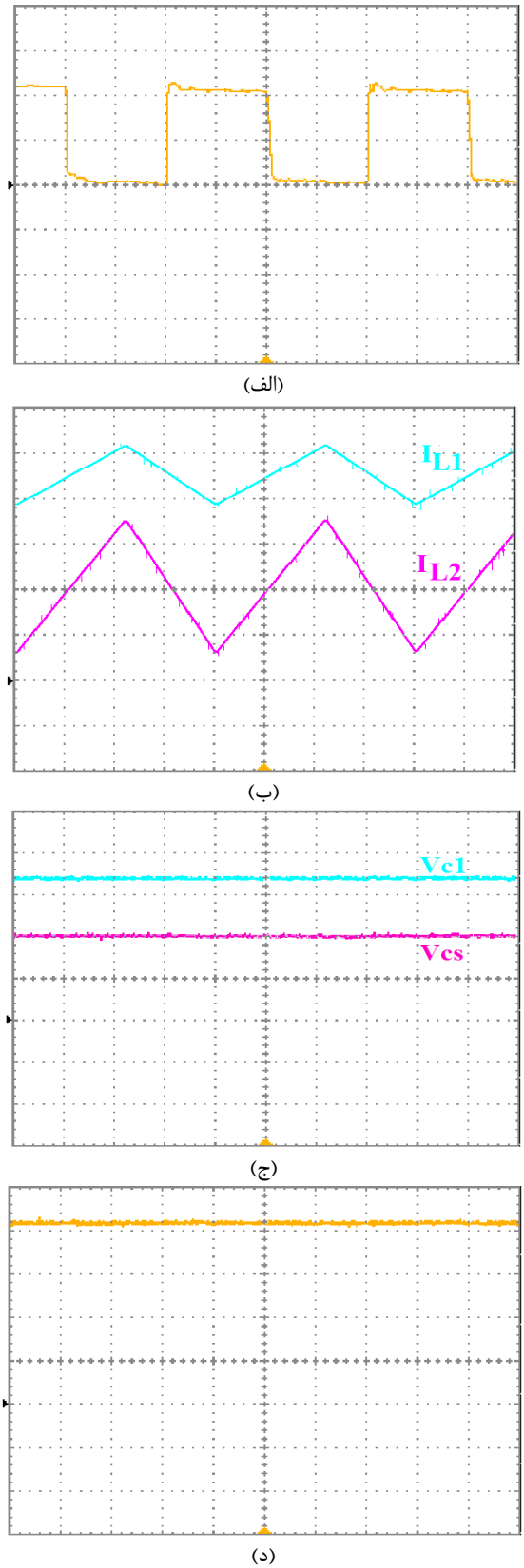
[7] H. Radmanesh, M. R. Soltanpour, and M. E. Azizkandi, *"Design and implementation of an ultra-high voltage DC-DC converter based on coupled inductor with continuous input current for clean energy applications"*, Int. J. Circuit Theory Appl., Vol. 49, No. 2, pp. 348–379, 2021.

[8] S. Hasanpour , Y. P. Siwakoti , and F. Blaabjerg, *"A New High Efficiency High Step-Up DC/DC Converter for Renewable Energy Applications"*, IEEE Trans. On Indust. Electron., Vol. 70, No. 2, pp. 1489-1500, 2023.

[9] S. V. K. Naresh, S. Peddapati, and M. L. Alghaythi, *"Non-isolated high gain quadratic boost converter based on Inductor's asymmetric input voltage"*, IEEE Access, vol. 9, pp. 162108–162121, 2021.

[10] N. Subhan, Z. May, KH. Alam, I. Khan, A. Hossain, AND S. Mamun, *"An Improved Non-Isolated Quadratic DC–DC Boost Converter With Ultra High Gain Ability "*, IEEE Access, Vol. 11, pp. 11350-11363, 2023.

[11] T. Jalilzadeh , N. Rostami , E. Babaei, and M. Maalandish, *"Nonisolated Topology for High Step-Up DC–DC*



شکل (۱۸): نتایج تجربی الف) ولتاژ گیت-سورس ماسفت(20V/div)، ب) جریان سلف‌ها(0.5V/div)، ج) ولتاژ خازن‌ها(50V/div)، د) ولتاژ خروجی(50V/div)

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Converters", IEEE J. Of Emerg. And Select. Topics In Power Electron., Vol. 11, No. 1, pp. 1154-1168, 2023.

[12] M.S. Agamy, M. Harfman-Todorovic, A. Elasser, S. Chi, R. L. Steigerwald, J.A. Sabate, A.J. McCann, L. Zhang, F. J. Mueller, *"An Efficient Partial Power Processing DC/DC Converter for Distributed PV Architectures", IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 29, no. 2, pp. 674–686, 2014.

[13] E. Salary, M. R. banaei and A. Ajami, *"Step-Up DC/DC Converter Based on Partial Power Processing", Gazi University Journal of Science, Vol. 28, pp. 599-607, 2015.*

[14] M. A. Mahmud, H. R. Pota, and M. J. Hossain, *"Dynamic stability of three-phase grid-connected photovoltaic system using zero dynamic design approach"*, IEEE J. Photovolt., vol. 2, no. 4, pp. 564–571, Oct. 2012.

[15] R. Babu Bollipo, S. Mikkili, and P. Kumar Bonthagorla, *"Hybrid, Optimal, Intelligent and Classical PV MPPT Techniques: A Review "*, CSEE J. OF Pow. And Energy Sys., Vol. 7, No. 1, pp. 9-32, JANUARY 2021.

[16] M. A. Abdourraziq, M. Maaroufi, and M. Ouassaid, *"A new variable step size INC MPPT method for PV systems"*, in Proceedings of 2014 International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS), Marrakech, 2014, pp. 1563–1568.

زیرنویس‌ها

[1] Boost
[2] Duty cycle
[3] Partial Power Processing
[4] Partial Power Processing
[5] Double boost Direct Power Converter
[6] Continuous Conduction Mode
[7] Peak Invers Voltage

رزومه



ابراهیم سالاری در خرم‌آباد متولد شده است (۱۳۵۸). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول(۱۳۸۶)، کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از شهید مدنی آذربایجان(۱۳۸۹) و دکتری مهندسی برق-قدرت از شهید مدنی آذربایجان (۱۳۹۳) سپری کرده است. فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه مبدّل‌های الکترونیک قدرت، کیفیت توان، و انرژی‌های تجدیدپذیر است و در حال حاضر استادیار گروه برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج می‌باشد.



سجاد سبزی در کوهدشت متولد شده است (۱۳۶۶). تحصیلات دانشگاهی خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق -الکترونیک از دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد (۱۳۸۹) و کارشناسی‌ارشد مهندسی برق الکترونیک قدرت و ماشین‌های الکتریکی از دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج (۱۳۹۹) سپری کرده است و در حال حاضر دانشجوی دکتری رشته مهندسی برق-قدرت در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج می‌باشد. فعالیت‌های پژوهشی و علاقمندی ایشان در زمینه‌های اتوماسیون صنعتی، درایو، مبدل‌های الکترونیک قدرت و انرژی‌های تجدیدپذیر است.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

Providing voltage boosting DC/DC converter with direct connection between source and load

Ebrahim Salary[1*], Sajad Sabzi[2]

*1- Department of Electrical Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, ebrahim.Salary@iau.ac.ir
2- Department of Electrical Engineering, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran, sajad122000@yahoo.com

Abstract: In this paper, a DC/DC converter with high gain voltage for application in photovoltaic (PV) system is suggested. The proposed structure has the advantages of the simplicity of the structure, the use of only one controllable semiconductor switch, direct connection between the input source and the load, suitable voltage gain and optimal performance in tracking the maximum power in photovoltaic systems. One of the most important features of the proposed structure is the series placement of the output capacitor and the main source. In other words, the voltage source has a short path to feed the load compared to conventional step-up converters. Theoretical analyzes are presented to investigate the performance and design of the power circuit in the continuous conduction state. To confirm the optimal performance in the photovoltaic system, the simulation results have been evaluated in MATLAB/SIMULINK software. Also, a 100 W laboratory sample of the proposed converter was made.

Keywords: DC/DC converter, voltage boost, partial power processing, photovoltaic system

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]

[DOR: 20.1001.1.23222468.1402.12.1.6.5]
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-13]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 12-No. 1- Spring 2023