

پیشنهاد مبدل DC/DC کاهنده- افزایشنده جهت بهبود اخذ حداکثر توان از سلول‌های خورشیدی

هستی خیابانی، سعید معصومی

دانشکده مکانیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دانشگاه تبریز

تبریز، ایران

علی ایمانی

دانشکده مهندسی برق

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

تبریز، ایران

۱. مقدمه

با منابع انرژی‌های تجدید پذیر، نقش مهمی را در تولید توان الکتریکی بر عهده دارند. منابع انرژی تجدید پذیر مختلفی، مانند انرژی خورشیدی، انرژی باد، انرژی زمین گرمایی و انواع دیگر این نوع انرژی‌ها وجود دارد، که برای تولید انرژی الکتریکی مهم هستند. انرژی خورشیدی انتخاب خوبی برای تولید توان الکتریکی می‌باشد. این نوع انرژی به صورت مستقیم از طریق سلول‌های خورشیدی و از طریق پدیده فوتوالکترونیک و با استفاده از مواد نیمه رسانا به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود [۱ و ۲].

انرژی خورشیدی از طریق سلول‌های خورشیدی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود، اما انرژی تولیدی توسط این سلول‌ها اندک بوده، لذا برای تولید بیشتر این انرژی، سلول‌های خورشیدی به صورت سری به هم وصل می‌شوند و ماژول‌های فوتوولتائیک را تشکیل می‌دهند، که قادر است توان الکتریکی زیادی را تولید کند. به صورت معمول در یک ماژول PV حدود ۳۶ سلول خورشیدی وجود دارد که در حالت مدار باز ولتاژی در حدود ۲۰ ولت را در اختیار ما قرار می‌دهد. میزان جریان تولیدی توسط ماژول PV نیز وابسته به مساحت سلول‌های خورشیدی است. مساحت بزرگتر برای هر سلول خورشیدی موجب تولید جریان بالاتری می‌شود. برای بدست آوردن

چکیده — امروزه با توجه به کاهش منابع انرژی گرایش خاصی به انرژی‌های نو مانند انرژی باد و انرژی خورشیدی ایجاد شده است. انرژی تولیدی توسط سلول‌های خورشیدی تحت تاثیر شرایط محیطی از قبیل دما و تابش است، لذا ولتاژ تولیدی دارای دامنه متغیر است که در یک نقطه خاص این انرژی تولیدی توسط سلول‌های خورشیدی حداکثر مقدار خود را دارد. پس از روش‌هایی موسوم به تعقیب‌گر نقطه حداکثر توان بهره برد. مبدل‌های DC/DC که وظیفه حداکثر کردن توان تولیدی توسط سلول خورشیدی را بر عهده دارند بسته به نوع بار وصل شده می‌توانند از نوع کاهنده، افزایشنده و یا کاهنده-افزاینده باشند، که از این میان نوع کاهنده و افزایشنده عملکردی دارند که به ازای برخی از نواحی کاری سلول خورشیدی نمی‌توانند نقطه حداکثر توان را تعقیب کنند. بنابراین نوع کاهنده-افزاینده مانند KY و ترکیبی، و مبدل پیشنهادی ما برای مقاصد مورد نظر مطلوب‌تر خواهد بود. مبدل پیشنهادی با نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی می‌شود. نتایج حاصل حاکی از رفتار مطلوب این مبدل از قبیل ریپل کم ولتاژ خروجی و جریان ورودی تحت شرایط یکسان در مقایسه با انواع خاصی از مبدل‌های کاهنده-افزاینده و دارای تعداد کلیدهای قدرت کمتر در نتیجه تلفات کمتر در مقایسه با انواع دیگری از این مبدل‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی — سلول خورشیدی، مبدل DC/DC، تعقیب نقطه

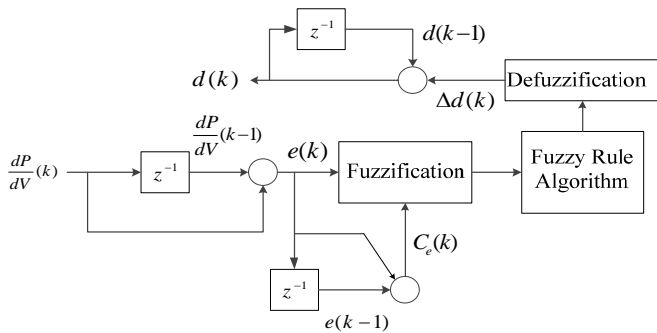
ماکزیم توان، ها، ریپل جریان و ولتاژ

روش‌های بر مبنای منطق فازی برای انجام MPPT به اطلاعات دقیقی از ماژول PV احتیاج ندارند. روش منطق فازی برای انجام MPPT به دو ورودی احتیاج دارد، و خروجی آن‌ها تنها یک سیگنال می‌باشد. دو ورودی منطق فازی متغیر خطای e و تغییر در مقدار خطا یعنی C_e در زمان نمونه k هستند، که به صورت روابط (۱) و (۲) تعریف می‌شوند.

$$e(k) = \frac{dP}{dV}(k) - \frac{dP}{dV}(k-1) \quad (1)$$

$$C_e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (2)$$

که $e(k)$ موقعیت خطا را نشان می‌دهد زمانیکه در نمونه k م قرار داریم، ولی $C_e(k)$ جهت خطا را در این نقطه مشخص می‌کند. خروجی این روش مقدار Duty برای کلیدزنی مبدل توان مورد استفاده است. در شکل (۳) فرآیند روش منطق فازی در پیدا کردن نقطه حداکثر توان نشان داده شده است.



شکل ۳: بلوک دیاگرام روش منطق فازی برای تعقیب نقطه حداکثر توان

PV

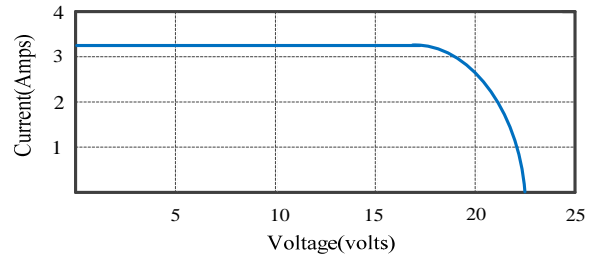
۳. مبدل DC/DC کاهنده-افزاینده پیشنهادی

زمانیکه روش MPPT مورد نظر برای یافتن حداکثر نقطه توان پانل خورشیدی انتخاب شد، گام بعدی انتخاب و طراحی یک مبدل با بازدهی بالا است، که بتوان بوسیله آن روش مورد نظر را پیاده‌سازی کرد.

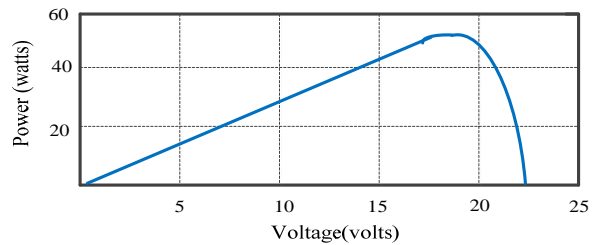
در این مبدل پیشنهادی، که ساختار آن در شکل (۴) نشان داده شده است، در خروجی می‌توان هم به ولتاژی بالاتر از ولتاژ ورودی و هم به ولتاژی پایین‌تر از ولتاژ ورودی دست یافت. به عبارت دیگر مبدل پیشنهادی یک مبدل DC/DC کاهنده-افزاینده با نسبت تبدیل $((1-D)/(1+D))$ می‌باشد. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود، این مبدل دارای سه کلید S_1, S_2, S_3 و دو دیود D_1 و D_2 ، دو سلف L_1 و L_2 در ورودی

توان خروجی بالا، ماژول‌های PV به صورت سری و موازی به هم وصل می‌شوند و پانل PV را تشکیل می‌دهند [۳ و ۴].

به صورت تصادفی یک نمونه از منحنی ویژگی‌های ماژول PV که منحنی‌های $I-V$ و $P-V$ نام دارد، در شکل‌های (۱) و (۲) نشان داده شده است. [۵]



شکل ۱: منحنی V-I ماژول PV



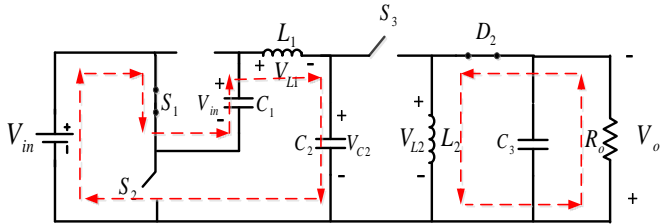
شکل ۲: منحنی V-P ماژول PV

همانطوری که از شکل (۱) دیده می‌شود، تنها یک نقطه کار برای ماژول PV وجود دارد که در آن نقطه، توان تولیدی توسط ماژول PV حداکثر می‌شود، و با توجه به اینکه بهره ماژول PV کم و در حدود ۱۳ درصد است و از طرفی با توجه به اینکه با تغییر شدت تابش خورشید و تغییر دما منحنی‌های $I-V$ و $P-V$ ماژول PV و متناظر با آن نقطه حداکثر توان تغییر می‌کند، لذا ضروری است تا با استفاده از روش‌هایی، نقطه کار PV در نقطه حداکثر توان نگه داشته شود، تا بازده و کارایی آن مطلوب باشد.

۲. روش تعقیب ماکزیمم توان (MPPT)

ابداع روش‌های MPPT هوشمند در سیستم‌های PV بسیار امید بخش است. این روش‌ها عملکرد بسیار خوبی را در اختیار قرار می‌دهند. از مزایای بسیار مهم این روش‌ها پاسخ سریع بدون هیچگونه ضربه و نوسانات کمتر برای پاسخ حالت ماندگار در حالتیکه دما و تابش به سرعت تغییر می‌کند، می‌باشد [۶ و ۷].

قبل از طریق C_2 مغناطیسی شده، در ورودی شارژ می‌شود. در شکل (۵) مبدل پیشنهادی در این مد عملکرد نشان داده شده است.



شکل ۵: مدار الکتریکی مبدل کاهنده-افزاینده پیشنهادی زمانی که کلید S1 روشن است.

معادلات حالت مبدل پیشنهادی در این حالت به صورت زیر در می‌آید:

$$v_{L1} = V_{in} + v_{C1} - v_{C2} \quad (3)$$

$$v_{C1} = V_{in} \quad (4)$$

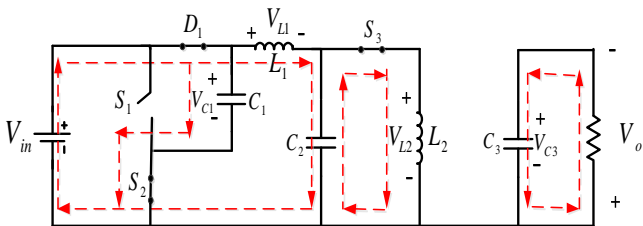
$$v_{L2} = -v_o \quad (5)$$

با جایگذاری رابطه (۴) در رابطه (۳):

$$v_{L1} = 2V_{in} - v_{C2} \quad (6)$$

مد عملکردی دوم:

در این حالت کلید S_1 خاموش و کلید های S_2, S_3 روشن هستند، دیود D_1 بایاس مستقیم و دیود D_2 بایاس معکوس می‌باشد. در این مد C_1 به اندازه ولتاژ ورودی شارژ می‌شود و همزمان L_2 مغناطیس زدایی می‌شود. در شکل (۶) مبدل پیشنهادی در این حالت نشان داده شده است:



شکل ۶: مدار الکتریکی مبدل کاهنده-افزاینده پیشنهادی زمانی که کلید های S_2 و S_3 روشن است.

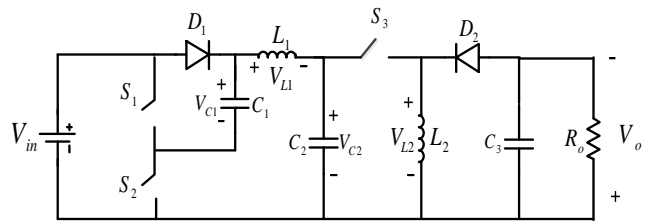
معادلات حالت برای مبدل پیشنهادی در این حالت عبارت اند از:

$$v_{L1} = V_{in} - v_{C2} \quad (7)$$

$$v_{L2} = v_{C2} \quad (8)$$

حال با توجه به اینکه میانگین ولتاژ روی سلف L_1 در یک دوره کلیدزنی صفر است، داریم:

$$\int_0^T v_{L1} dt = 0 \quad (9)$$



شکل ۴: مدار الکتریکی مبدل کاهنده-افزاینده پیشنهادی

و خروجی و دو خازن پمپاژ کننده انرژی (C_1, C_2) و یک خازن در خروجی (C_3) جهت تثبیت ولتاژ خروجی و همچنین کاهش ریبیل ولتاژ خروجی است.

این مبدل همانند مبدل کاهنده-افزاینده Cuk که دارای نسبت تبدیل $(D/1-D)$ می‌باشد، و در خروجی ولتاژی با پلاریته منفی را در اختیار قرار می‌دهد، در خروجی دارای ولتاژی با پلاریته منفی است، اما در مقایسه با این مبدل دارای تعداد کلیدهای قدرت بیشتری است. همچنین مبدل پیشنهادی در مقایسه با دو نوع مبدل DC/DC کاهنده-افزاینده از نوع KY و نوع ترکیبی دارای نسبت تبدیل بهتری است. زیرا دو مبدل کاهنده-افزاینده از نوع KY و نوع ترکیبی دارای نسبت تبدیل $2D$ می‌باشد، به عبارتی با این نسبت تبدیل در خروجی ولتاژی بالاتر از دو برابر ولتاژ ورودی نمی‌شود. ولی مبدل پیشنهادی در خروجی، ولتاژ در محدوده صفر تا بی نهایت را در اختیار قرار می‌دهد. در مقایسه با تعداد کلیدهای قدرت، مبدل پیشنهادی دارای سه کلید قدرت بوده که از نوع مبدل کاهنده-افزاینده ترکیبی با دو کلید قدرت در وضعیت نامطلوب و در مقایسه با مبدل کاهنده-افزاینده KY با چهار کلید قدرت، در وضعیت مطلوب تری از لحاظ تلفات کلیدزنی است [۸ و ۹].

این مبدل دارای دو مد عملکرد است، مد اول زمانی که کلید S_1 روشن و کلید های S_2, S_3 خاموش هستند، مد دوم زمانی که S_1 خاموش و S_2, S_3 روشن هستند. در ادامه معادلات مداری و شکل مدار در دو مد عملکرد بررسی می‌شود. در ادامه معادلات مداری و شکل مدار در دو مد عملکرد مورد بررسی قرار گرفته است.

مد اول عملکردی:

در این مد، کلید S_1 روشن و کلیدهای S_2, S_3 خاموش هستند و دیود D_1 بایاس معکوس و دیود D_2 بایاس مستقیم می‌باشد. در این مد سلف L_1 از طریق ولتاژ ورودی و ولتاژ خازن C_1 که در مد قبلی به اندازه ولتاژ ورودی شارژ شده، یعنی با دو برابر ولتاژ ورودی مغناطیسی می‌شود و خازن C_2 نیز در این مد شارژ می‌شود. همچنین در این مد سلف L_2 که در مد

جدول ۱: پارامترهای مبدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها

مقادیر عناصر	پارامترهای مبدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها
۵ میلی هانری	سلف ورودی
۵ میلی هانری	سلف خروجی
۱۰۰ میکرو فاراد	خازن خروجی
۱۰ اهم	مقاومت بار
۲۰ کیلو هرتز	فرکانس شبیه‌سازی

$$DT * (2 * V_{in} - V_{C2}) + (1 - D)T * (V_{in} - V_{C2}) = 0 \quad (10)$$

$$2 * DV_{in} - DV_{C2} + V_{in} - V_{C2} - DV_{in} + DV_{C2} = 0 \quad (11)$$

$$(1 + D)V_{in} = V_{C2} \quad (12)$$

به طریق مشابه برای سلف L_2 داریم:

$$\int_0^T v_{L2} dt = 0 \quad (13)$$

$$DT * (-V_o) + (1 - D)T * (V_{C2}) = 0 \quad (14)$$

$$DV_o = (1 - D) * (V_{C2}) \quad (15)$$

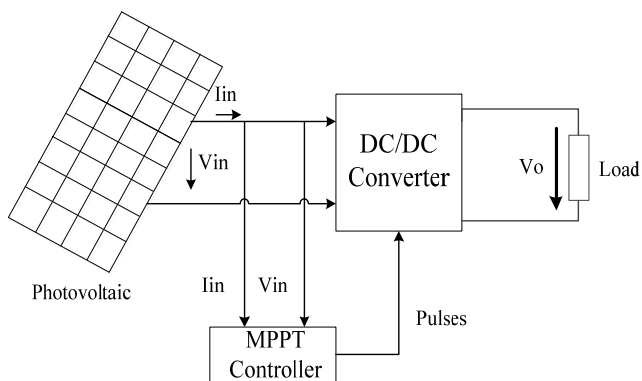
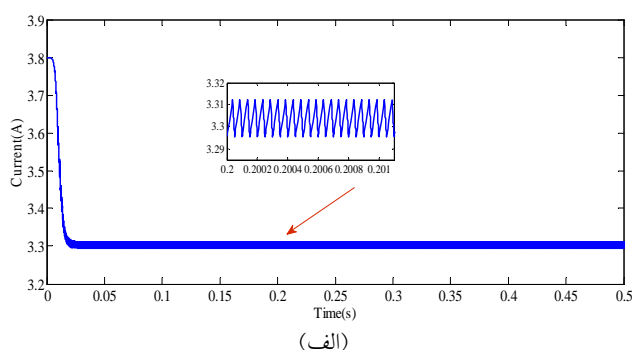
با جایگذاری رابطه (۱۵) در رابطه (۱۲) داریم:

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{(1 - D) * (1 + D)}{D} \quad (16)$$

۴. نتایج شبیه سازی

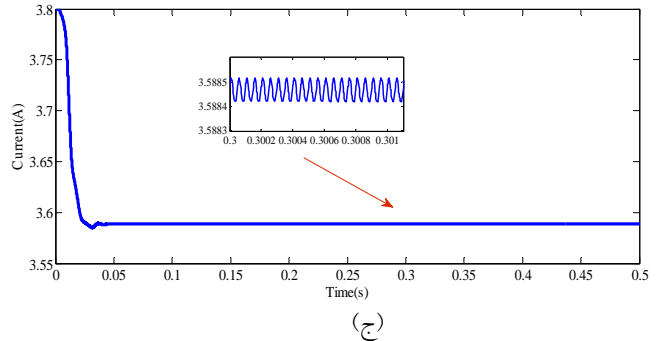
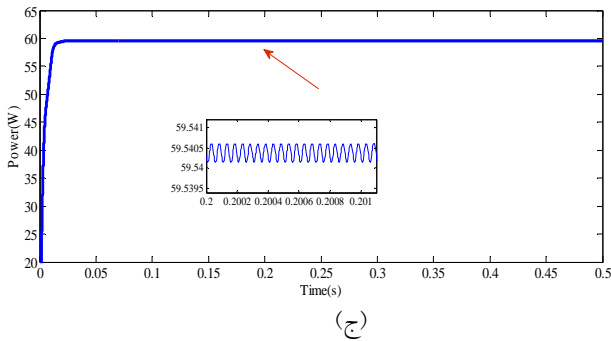
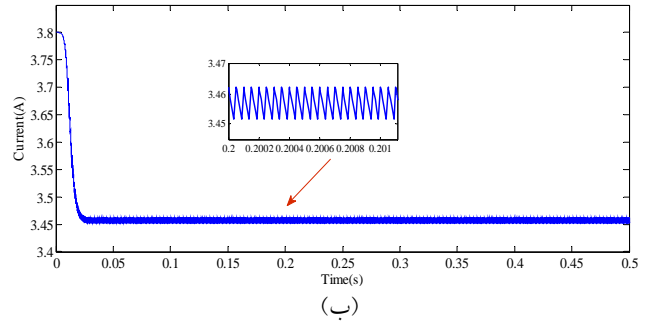
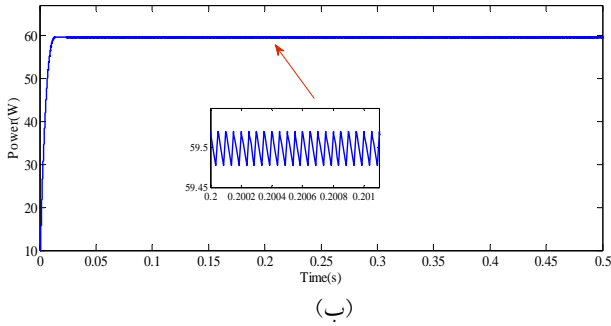
در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها، برای مبدل کاهنده- افزایشده ترکیبی و مبدل KY [۸] با نتایج حاصل برای مبدل پیشنهادی رسم، و مقایسه شده است. مبدل کاهنده- افزایشده ترکیبی و KY دارای نسبت تبدیل $2D$ برای ولتاژ بوده، به عبارتی در خروجی این مبدل نمی‌توان به ولتاژی بالاتر از دو برابر ولتاژ ورودی دست یافت، در حالیکه مبدل پیشنهادی همانطور که در بخش ۳ دارای نسبت تبدیل $\left(\frac{1-D}{D}\right)$ بوده و قادر است در خروجی ولتاژ با دامنه از صفر تا بی نهایت را در اختیار قرار دهد. علاوه بر نسبت تبدیل میزان ریبیل مبدل‌های کاهنده- افزایشده از معیارهای مهم برای بررسی سودمندی این مبدل‌هاست. در این بخش میزان ریبیل جریان، ولتاژ و توان قسمت‌های مختلف مبدل مورد بررسی قرار گرفته است.

از شکل (۸-الف، ب، ج)، که به ترتیب مربوط به شکل موج و ریبیل جریان خروجی PV برای مبدل کاهنده- افزایشده ترکیبی مبدل KY و مبدل پیشنهادی است، مشاهده می‌شود که مبدل پیشنهادی، دارای میزان ریبیل کمتری است.



شکل ۷: مدل کلی سیستم شبیه‌سازی

در جدول (۱) به ترتیب پارامترهای مبدل استفاده شده در شبیه‌سازی‌ها آورده شده است.

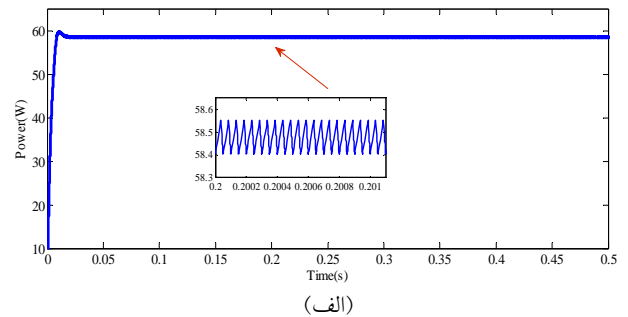
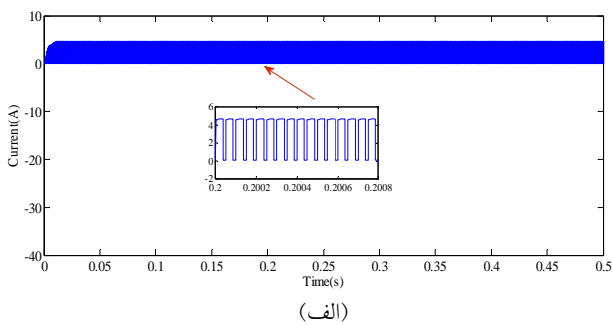


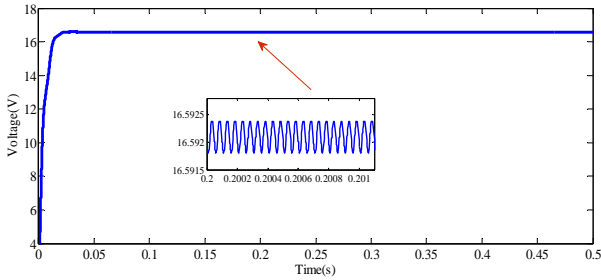
شکل ۹: شکل موج و ریپل توان خروجی PV برای مبدل کاهنده-افزاینده (الف) ترکیبی، (ب) KY، (ج) پیشنهادی

شکل ۸: شکل موج و ریپل جریان خروجی PV برای مبدل کاهنده-افزاینده (الف) ترکیبی، (ب) KY، (ج) پیشنهادی

یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در بررسی عملکرد مبدل‌های DC/DC میزان ریپل جریان ورودی مبدل می‌باشد، در شکل (۱۰-الف، ب، ج)، که به ترتیب مربوط به شکل موج و ریپل جریان خروجی PV برای مبدل کاهنده-افزاینده ترکیبی مبدل KY و مبدل پیشنهادی است، نشان داده شده است. همانطور که از شکل‌ها مشخص می‌شود، میزان ریپل جریان ورودی مبدل پیشنهادی در مقایسه با مبدل ترکیبی به میزان قابل توجهی کمتر است.

از شکل (۹-الف، ب، ج)، که به ترتیب مربوط به شکل موج و ریپل توان خروجی PV برای مبدل کاهنده-افزاینده ترکیبی مبدل KY و مبدل پیشنهادی است، مشاهده می‌شود که مبدل پیشنهادی در مقایسه با دو مبدل دیگر ریپل توان خروجی کمتری دارد که نشانگر عملکرد خوب مبدل و سیستم تعقیب ماکزیمم توان می‌باشد.





(ج)

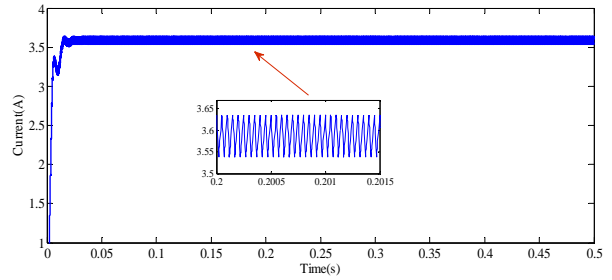
شکل ۱۱: شکل موج و ریبیل ولتاژ خروجی PV برای مبدل کاهنده-افزاینده (الف ترکیبی، (ب) KY، (ج) پیشنهادی)

نتیجه گیری

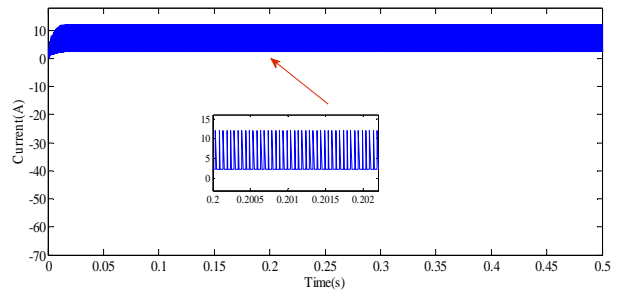
در این مقاله، یک مبدل‌های کاهنده-افزاینده جدیدی پیشنهاد شده که قادر است در خروجی ولتاژی با هر میزان تقویت را در اختیار قرار دهد، همچنین این مبدل در مقایسه با برخی از مبدل‌ها، از لحاظ میزان ریبیل جریان ورودی و ولتاژ خروجی در شرایط بهتری قرار دارد. مبدل پیشنهادی با نرم-افزار MATLAB/Simulink شبیه‌سازی شد. نتایج حاصل حاکی از رفتار مطلوب این مبدل از قبیل ریبیل کم ولتاژ خروجی و جریان ورودی تحت شرایط یکسان در مقایسه با انواع خاصی از مبدل‌های کاهنده-افزاینده و دارای تعداد کلیدهای قدرت کمتر در نتیجه تلفات کمتر در مقایسه با انواع دیگری از این مبدل‌ها می‌باشد.

منابع

- [1] C. Hua and C. M. Shen, "Study of maximum power tracking techniques and control of dc-dc converters for photovoltaic power system," Proceedings of 29th annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, vol. 1, pp. 86-93, 1998.
- [2] W. Xiao, N. Ozog, and W. G. Dunford, "Topology study of photovoltaic interface for maximum power point tracking," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 3, pp. 1696-1704, Jun. 2007.
- [3] A. Safari and S. Mekhilef, "Simulation and Hardware Implementation of Incremental Conductance MPPT with Direct Control Method Using Cuk Converter," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 58, No. 4, pp. 1154-1161, 2017.
- [4] B. Subudhi and R. Pradhan, "Characteristics evaluation and parameter extraction of a solar array based on experimental analysis," in Proc. 9th IEEE Power Electron. Drives Syst., Singapore, Dec. 5-8, 2011.
- [5] B. Subudhi, and R. Pradhan, "A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems," IEEE Trans on Sustainable Energy, vol. 4, no. 1, pp. 1949-3029, 2013.
- [6] C. -S. Chiu, "T-S fuzzy maximum power point tracking control of solar ower generation systems," IEEE Trans. Energy Conv., vol. 25, no. 4, pp. 1123-1132, Dec. 2010.
- [7] B. N. Alajmi, K. H. Ahmed, S. J. Finney, and B. W. Williams, "Fuzzy logic- control approach of a modified hill-climbing method for maximum power point in microgrid standalone photovoltaic system," IEEE Trans. Power Electron., vol. 26, no. 4, pp. 1022-1030, Apr. 2011.



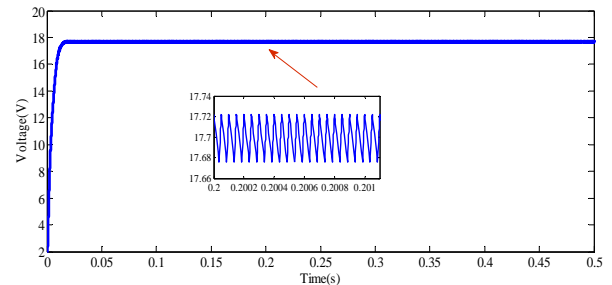
(ب)



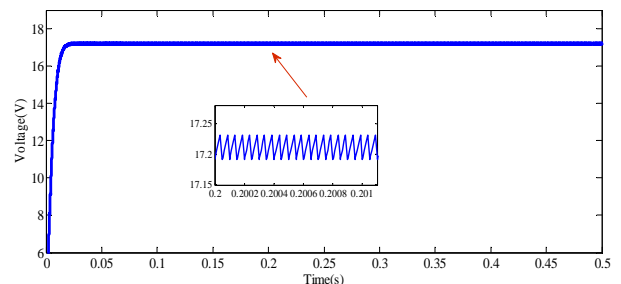
(ج)

شکل ۱۰: شکل موج و ریبیل توان خروجی PV برای مبدل کاهنده-افزاینده (الف ترکیبی، (ب) KY، (ج) پیشنهادی)

از شکل (۱۱-الف، ب، ج)، که به ترتیب مربوط به شکل موج و ریبیل ولتاژ خروجی PV برای مبدل کاهنده-افزاینده ترکیبی مبدل KY و مبدل پیشنهادی است، مشاهده می‌شود که مبدل پیشنهادی، دارای میزان ریبیل کمتری است.



(الف)



(ب)

- [8] K. I. Hwu, and Y. T. Yau, "Two Types of KY Buck-Boost Converters," IEEE Trans. Power Electron., vol. 56, no. 8, pp. 0278-0046, 2015.
- [9] S.-H. Park, T.-S. Kim, J.-S. Park, G.-W. Moon, and M.-J. Yoon, "A new buck-boost type battery equalizer," in Proc. 24th Annu IEEE APEC, Feb. 15-19, pp. 1246-1250, 2009.
- [10] W. Xiao, N. Ozog, and W. G. Dunford, "Topology study of photovoltaic interface for maximum power point tracking," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 3, pp. 1696-1704, Jun. 2016.
- [11] R. Teodorescu, P. Rodriguez, and M. Liserre, "Power electronics for PV power systems integration," in Proc. IEEE ISIE, Jul. 4-7, pp. 4532-4614, 2010.