

دریافت حداکثر توان از ماژول فتوولتائیک با استفاده از مبدل DC/DC با افزایش با

12-F-REN-1923

اسما سلیمانی ساردو ، علی اکبر قسامی ، دکتر سید محمد صادق زاده

دانشگاه شاهد

ایران

واژه ای کلیدی: سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه، مبدل DC/DC با افزایش با،
سلف کوپل شده، الگوریتم هدایت افزایشی (INC)، میکروکنترلر ATXMEGA

چکیده

این نتیجه مبدل DC/DC ساخته شده را جزء پربازده ترین
مبدل های سیستم فتوولتائیک تقسیم بندی می نماید..

۱- مقدمه

با افزایش روز افزون در قیمت های سوخت، مخاطرات
زیست محیطی و تقاضای انرژی، استفاده از منابع انرژی
تجدید پذیر بخصوص انرژی خورشیدی مورد توجه ملی
و بین المللی واقع شده است. مجموع انرژی جذب شده
زمین از خورشید ۳۸۵۰۰۰۰ اکزا ژول است که مقدار
بسیار ناچیزی از آن مورد استفاده قرار می گیرد [۱]. در
میان سیستم های فتوولتائیک مورد استفاده انواع سیستم
های متصل به شبکه سهم بزرگی را به خود اختصاص
داده اند بطوریکه نود درصد ظرفیت تولید توان الکتریکی
از فتوولتائیک در کشورهای عضو سیستم های توان
فتوولتائیک سازمان بین المللی انرژی از انواع متصل به
شبکه است [۲]. پیشرفت در فناوری ادوات الکترونیک
قدرت و کاهش قیمت سلول های خورشیدی نیز حرکت
به سمت استفاده از این انرژی و دستیابی به یک سیستم با
کارایی بالا و مقرون بصره را سرعت بخشیده است،

در این مقاله، یک مبدل DC/DC با بازده مناسب و
نسبت تبدیل بالا، مناسب برای سیستم های فتوولتائیک
خانگی پیشنهاد شده است. این مبدل ولتاژ خروجی ماژول
۱۰۰ وات خورشیدی را به ولتاژ مورد نیاز اینورتر تبدیل
می کند. بدین منظور یک مبدل با سلف کوپل شده بکار
گرفته شده است. در کنترل مبدل، از الگوریتم هدایت
افزایشی (incremental conductance) ، برای
ردیابی نقطه حداکثر توان (Maximum power point
tracking) استفاده شده است. در مرحله دوم از یک
مبدل تمام پل منبع ولتاژ با کنترل جریان برای تزریق
جریان سینوسی همفاز با ولتاژ شبکه، بهره گرفته شده
است. علاوه بر شبیه سازی تمامی سیستم در نرم
افزار PSCAD، طبقه اول سیستم فتوولتائیک ۱۰۰وات
ساخته و نتایج آن بررسی شده است. به منظور کنترل و
اجرای الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان توسط مبدل
DC/DC از میکروکنترلر ATXMEGA استفاده شده و
نتایج عملی آن ارائه شده است. مقادیر اندازه گیری شده
بازده بین ۹۶ تا ۹۸ درصد را برای مبدل را نشان می دهد.

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

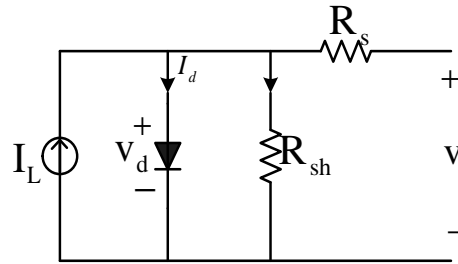
بر انواع مبدل های DC/DC غیر ایزوله دارد. در این تحقیق از مبدل های ایزوله بدلیل پالسی بودن جریان ورودی که موجب کاهش عمر سلول فتوولتاییک می شود صرف نظر شده است [۹]. به طور کلی برای کاهش هزینه ها و بهبود بازده از مبدل های DC/DC غیر ایزوله استفاده می شود [۱۰، ۱۱]. راه حل دیگر برای افزایش سطح ولتاژ، استفاده از ترانسفورماتور فرکانس خط بعد از اینورتر است که بدلیل حجم، وزن و قیمت زیاد مطلوب نیست [۱۲]. در این مقاله از میان تمام توپولوژی ها، از یک مبدل با افزایش پهنای باند غیر ایزوله با ساختار سلف کوپل شده بهره گرفته شده است. این مبدل دارای مزایایی همچون، بهره ی ولتاژ بالا، بازیافت (recycle) انرژی پراکندگی، عدم حلقه شدن ولتاژ روی کلید بوسیله ی مدار کلمپ، کاهش استرس روی کلید که منجر به کاهش تلفات رسانایی می شود، کاهش زمان بازیافت معکوس (reverse-recovery) دیود خروجی بوسیله ی اندوکتانس نشستی سلف کوپل شده، سادگی و کنترل آسان می باشد [۹]. برای کنترل مبدل DC/DC و اجرای الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان، از یک میکروکنترلر ATXMEGA بهره گرفته شده است. در مرحله تبدیل ولتاژ DC به AC نیز یک مبدل تمام پل منبع ولتاژ به کار گرفته شده است. این قسمت وظیفه ی تزریق جریان سینوسی همفاز با ولتاژ شبکه را بر عهده دارد. مطابق استاندارد NEC690 نیازی به زمین کردن ماژول نیست، چرا که ولتاژ خروجی ماژول کمتر از ۵۰ ولت است [۱۳]- [۱۵]. در ادامه ی مقاله بخش های مختلف به شرح زیر اختصاص دارد. در بخش دوم مشخصات سلول خورشیدی و الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان شرح داده می شود. بخش سوم به شرح مرحله ی اول که یک مبدل DC/DC با افزایش پهنای باند است، می پردازد. بخش چهارم به عملکرد مرحله ی دوم که شامل مبدل DC/AC است و نحوه ی کنترل آن اختصاص یافته و شبیه سازی سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه ۱۰۰ وات انجام می شود. نتایج عملی در بخش پنجم بیان شده و در بخش آخر نیز نتیجه گیری کلی ارائه شده است.

بطوریکه قیمت بر وات ماژول های خورشیدی از ۴/۴- ۷/۹ دلار در سال ۱۹۹۲ به ۲/۳۴ دلار در سال ۲۰۱۱ رسیده است. همچنین در دهه ی اخیر، سال ۲۰۱۱، بالاترین نرخ کاهش قیمت ماژول خورشیدی (۱/۰۴ دلار) را داشته است [۳]. فناوری های جدید نیز مانند سلیکون نازک و سلیکون بی نظم (amorphous) منتج به کاهش قیمت ماژول ها شده است [۴]. در باب ادوات الکترونیک قدرت، تلاش های بسیاری در حال انجام است و توپولوژی های ارزان و پربازده گوناگونی تاکنون معرفی شده اند. در مرجع [۴] مروری کلی بر انواع اینورتر های متصل به شبکه تکفاز ارائه شده است. اولین اینورتر ها، اینورتر های مرکزی بودند که معایب فراوانی داشتند. با توجه به این معایب اینورتر های شاخه ای معرفی شدند. برای کاهش تعداد مبدل های DC/AC و انعطاف پذیری اینورتر های شاخه ای، اینورتر های چند شاخه ای توسعه یافتند. در این توپولوژی هر شاخه یک مبدل DC/DC منحصر به خود را دارد که ولتاژ ثابتی را برای ورودی مبدل DC/AC فراهم می کند [۵]. در نهایت تک مبدل مشترک، DC/AC، جریان سینوسی را به شبکه تزریق می کند. ساختار دیگر، ماژول اینورتر است که برای فراهم کردن ایمنی و استفاده حداکثری از توان خورشیدی، از یک ماژول با یک اینورتر تشکیل شده است. استفاده از یک ماژول با ولتاژ پائین ایمنی را برای کاربردهای خانگی فراهم می کند و همچنین بدلیل عدم استفاده از ساختار سری ماژول ها برای افزایش ولتاژ، از حداکثر توان ماژول ها نیز استفاده می شود. با اینکار از تلفات ناشی از عدم تطابق (MISMATCH) و تلفاتی که از سایه های درختان و ابر و ... ایجاد می شود، اجتناب می شود [۶]، [۷]. این سایه ها تاثیر فراوانی بر توان تولیدی هر ماژول دارند، بطوریکه ۱۰ درصد سایه بر روی ماژول توان استحصال آن را حدود ۵۰ درصد کاهش می دهد [۸]. بدلیل ولتاژ پایین ماژول، یک مبدل DC/DC با افزایش پهنای باند برای تامین سطح ولتاژ مورد نیاز مبدل DC/AC نیاز است. تاکنون توپولوژی های گوناگونی برای این منظور ارائه شده است. مرجع [۱] مروری کلی

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

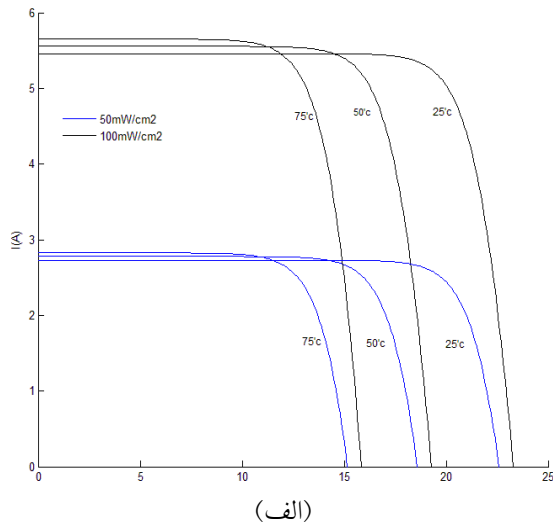
۲- سلول خورشیدی

در شکل ۱ مدار معادل الکتریکی سلول نشان داده شده است که در آن منبع جریان، معرف اثر جریان نوری، R_{sh} اثر جریان های نشتی و R_s مقاومت داخلی سلول است.

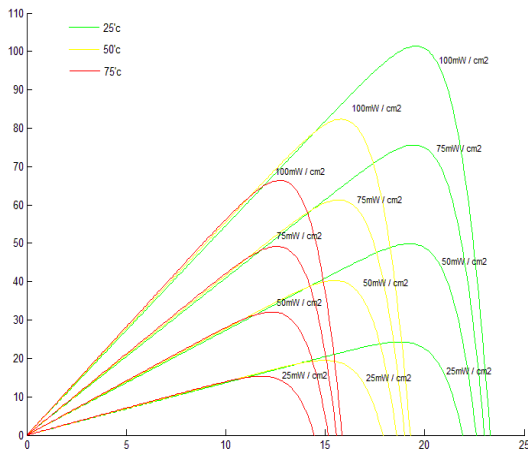


شکل ۱ مدار معادل الکتریکی سلول خورشیدی

مطابق معادلات بدست آمده از مدار معادل الکتریکی سلول خورشیدی نمودارهای جریان- ولتاژ و توان- ولتاژ برای ماژول ۱۰۰ وات مورد استفاده در این تحقیق ساخت شرکت فیبر نوری و کابل های شهید قندی با ولتاژ مدار باز ۲۴/۳ ولت، جریان اتصال کوتاه ۵/۳ آمپر و ولتاژ حداکثر توان ۱۹/۶ ولت با ۴۰ سلول سری، در شکل ۲ نمایش داده شده است. این نمودارها با اعمال شرایط مختلف دما و تابش در نرم افزار سیمولینک متلب شبیه سازی شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۲ مشخصه ماژول خورشیدی ۱۰۰ وات مورد استفاده در مطالعه بازاء شرایط مختلف دما و تابش: (الف) جریان - ولتاژ (ب) توان - ولتاژ

با صرفنظر از R_{sh} روابط زیر از مدل حاصل می شوند [۱۶].

$$I = I_L - I_D \quad (۱)$$

$$I_L = \frac{S}{S_{ref}} I_{sc} [1 + \beta \Delta T] \quad (۲)$$

$$I_D = I_0 \left[e^{\frac{qV_D}{nKT}} - 1 \right] \quad (۳)$$

$$\Delta T = T - T_{ref} \quad (۴)$$

$$q = 1.602 \times 10^{-19} C \quad (۵)$$

$$K = 1.38 \times 10^{-23} J/k \quad (۶)$$

که در آن :

I_{sc} جریان اتصال کوتاه پانل

I_0 جریان اشباع معکوس

T دمای نقطه کار سلول بر حسب کلوین

T_{ref} دما در شرایط استاندارد برابر با ۲۷۳ کلوین

n ضریب ایده آل دیود

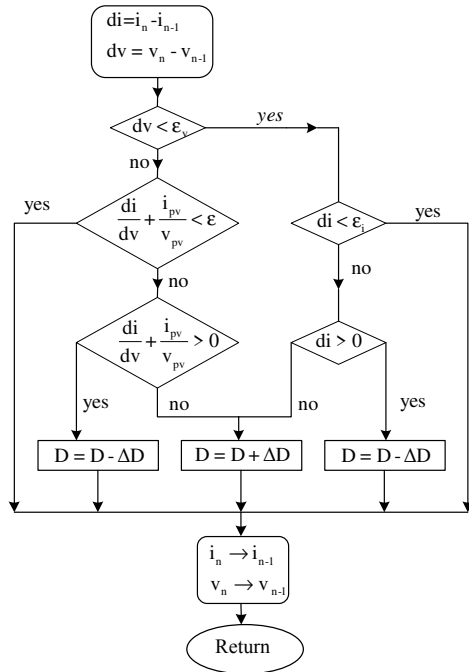
β ضریب حرارتی جریان فتوولتائیک بر حسب $A/^{\circ}C$

S شدت تابش خورشید بر حسب W/m^2

S_{ref} شدت تابش مرجع خورشید برابر با $1000 W/m^2$

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

شیب با مقداری کوچک، می‌تواند مفید واقع شود. در شکل ۳ الگوریتم استفاده شده و پیاده‌سازی شده توسط میکروکنترلر ATXMEGA، نشان داده شده است.



شکل ۳ الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان هدایت افزایشی (INC) اصلاح شده

همانطور که از نمودارهای مشخصه ماژول خورشیدی، شکل ۲ بر می‌آید، جریان و توان ماژول با افزایش دما و کاهش شدت تابش اشعه‌ی خورشید کاهش می‌یابد. با توجه به تاثیرپذیری تغییرات توان از ولتاژ، می‌توان الگوریتمی اجرا نمود تا با تغییر ولتاژ، بوسیله‌ی تغییر دوره‌ی کاری کلید مبدل DC/DC، شاخص توان در نقطه حداکثر خود نگه داشته شود. در این تحقیق از الگوریتم هدایت افزایشی برای این منظور استفاده شده است [۱۶]. الگوریتم هدایت افزایشی، براساس شیب منحنی عمل می‌کند. بدین ترتیب که با محاسبه‌ی شیب منحنی توان-ولتاژ، نقطه کار فعلی مشخص می‌شود. اگر این شیب مثبت بود، نقطه کار در سمت چپ منحنی است و برای رسیدن به نقطه حداکثر توان، باید دوره‌ی کاری کلید (D) کاهش یابد. در صورت منفی بودن شیب، نقطه عملکرد در سمت راست نقطه‌ی حداکثر توان قرار دارد و باید دوره‌ی کاری کلید افزایش یابد. در شیب صفر نیز، حداکثر توان از ماژول گرفته می‌شود و به تغییر دوره‌ی کاری کلید نیازی نیست. با استفاده از معادلات زیر شیب محاسبه می‌شود:

$$\frac{I}{V} + \frac{\Delta I}{\Delta V} > 0 \tag{۷}$$

$$\frac{I}{V} + \frac{\Delta I}{\Delta V} < 0 \tag{۸}$$

$$\frac{I}{V} + \frac{\Delta I}{\Delta V} = 0 \tag{۹}$$

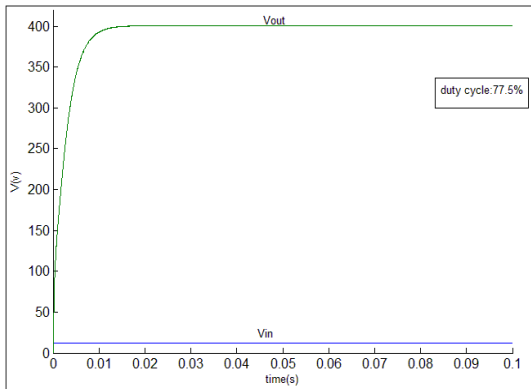
در فلوچارت اولیه‌ی روش هدایت افزایشی، معادلات بالا لحاظ می‌شوند. اما در این صورت، نوسان زیادی حول نقطه حداکثر توان مشاهده می‌شود. برای جلوگیری از این نوسانات، شیب منحنی توان-ولتاژ و ولتاژ و تغییرات ولتاژ و جریان به جای صفر، با مقداری کوچک ارزیابی می‌شود. علاوه بر این، در پیاده‌سازی عملی با توجه به اینکه مقادیر خوانده شده از سنسور جریان و ولتاژ خود دارای نوسانات کوچکی می‌باشد، نوسان حول نقطه‌ی حداکثر توان تشدید می‌شود و مقایسه

۳- مبدل DC/DC

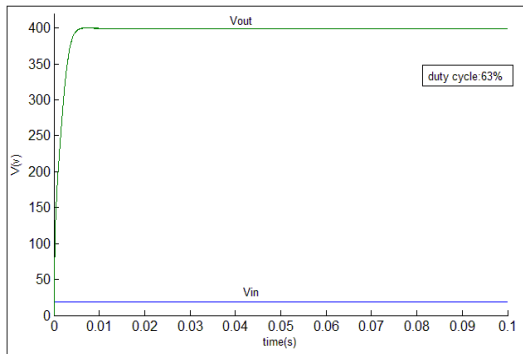
وظیفه این قسمت، اجرای الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان (MPPT) و فراهم کردن ولتاژ ۴۰۰ ولت، برای ورودی مبدل تمام پل است. در این قسمت از یک مبدل کارای تک کلیدی با افزایشی بالا و سلف کوپل شده، استفاده شده است. در این مبدل بدلیل استفاده از یک اسنابر پسیو احیا کننده، دوره‌ی کاری کلید می‌تواند در دامنه وسیعی کار کند و از این طریق بهره‌ی ولتاژ افزایش یابد. تمام عناصر استفاده شده در این مبدل را می‌توان ولتاژ پایین و با تلفات رسانایی کم انتخاب کرد. زمان بازیافت معکوس دیود خروجی نیز بوسیله‌ی اندوکتانس نشی سلف کوپل شده کاهش یافته است [۱۷]. این مبدل در شکل ۴ نمایش داده شده است. بهره‌ی ورودی خروجی این مبدل، در زیر آمده است.

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

جریان، برای تزریق جریان سینوسی همفاز ولتاژ شبکه استفاده می‌شود. برای طراحی کنترلر، منبع فتوولتائیک به صورت منبع جریان متغیر DC مدل شده است. شکل ۶ سیستم متصل به شبکه را با کنترلر آن نمایش می‌دهد. هدف کنترلر، تحویل توان حاصل از منبع انرژی فتوولتائیک، به شبکه است.

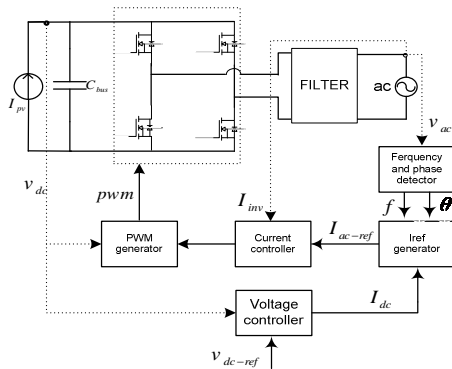


(الف)



(ب)

شکل ۵ مشخصه بهره ولتاژ مبدل DC/DC: (الف) ولتاژ ورودی ۱۵ ولت (ب) ولتاژ ورودی ۱۹ ولت همانطور که از شکل ۶ نیز بر می‌آید کنترلر از دو لوپ کنترل داخلی و بیرونی تشکیل شده است.



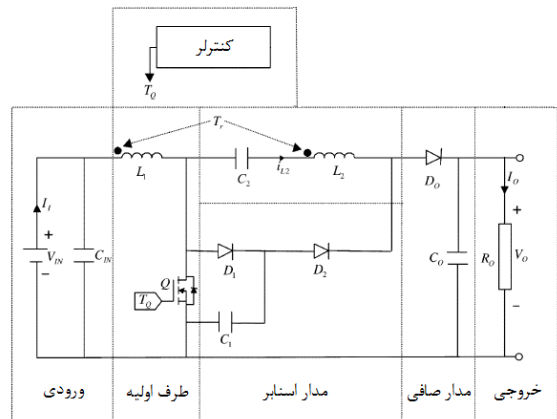
شکل ۶ اینورتر منبع ولتاژ تکفاز

$$G_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{2 + nk}{1 - D} + \frac{D(1 - k)(n - 1)}{1 - D} \quad (10)$$

$$n = N_1/N_2 \quad (11)$$

$$K = \frac{L_m}{L_m + L_k} \quad (12)$$

که در آن k ضریب اتصال تزویج و n نسبت دور ترانسفورماتور است، D دوره ی کاری کلید، L_m سلف مغناطیسی و L_k سلف پراکندگی ترانسفورماتور است. در این مبدل خازن ورودی و خروجی بصورت زیر محاسبه می‌شوند [۴].



شکل ۴ مبدل DC/DC با افزایش دگی بالا و سلف کوپل

$$C = \frac{P_{pv}}{2 \cdot \omega_{grid} \cdot U_c \cdot u_c} \quad (10)$$

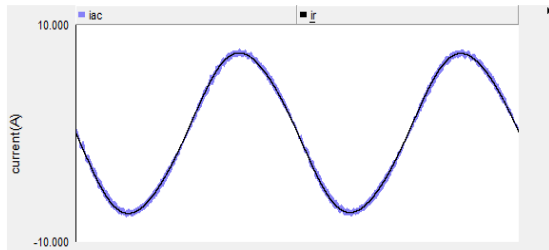
که در آن P_{pv} بیانگر توان سیستم، ω_{grid} فرکانس شبکه، U_c متوسط ولتاژ خازن و u_c اندازه ی قابل قبول ریپل ولتاژ خازن است. این ریپل ولتاژ برای خروجی ماژول ۱/۷ ولت بدست آمد. مطابق رابطه بالا با این ریپل و ولتاژ ۱۹/۵ ولت خروجی ماژول، مقدار خازن ورودی مبدل، ۴/۷ میلی فاراد بدست می‌آید. اندازه ی خازن خروجی نیز با ولتاژ خازن ۴۰۰ ولت و ریپل ۳۲ ولت، برابر ۱۴/۵ میکروفاراد محاسبه می‌شود. نمودار ولتاژ خروجی این مبدل به ازای مقادیر مختلف ولتاژ ورودی، با شبیه سازی در نرم افزار متلب، در شکل ۵ نشان داده شده است.

۴ - مبدل DC/AC

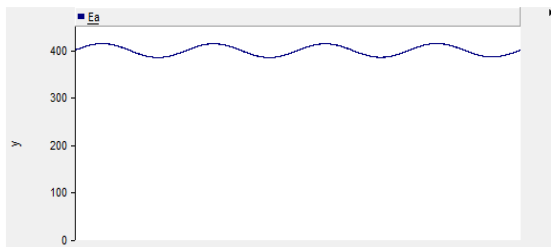
در این قسمت از یک مبدل تمام پل، منبع ولتاژ کنترل

بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق

ولتاژ ۴۰۰ ولت برای ورودی اینورتر، ساخته شده است. بازده این مبدل DC/DC در حدود ۹۷ بدست آمد که نسبت به سایر توپولوژی‌ها در این توان، بازده بالایی را دارا است. مبدل DC/DC ساخته شده، الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان را توسط میکروکنترلر ATXMEGA اجرا می‌کند. الگوریتم اجرا شده همانطور که در بخش اول توضیح داده شد باعث می‌شود حداکثر توان در شرایط مختلف دمایی و تابش بدست بیاید. بدلیل ولتاژ پایین مازول، ایمنی لازم برای کاربرد های خانگی فراهم است و نیاز به پیش بینی خاصی در این زمینه ضروری به نظر نمی‌رسد. سیستم ساخته شده در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۷ جریان تزریق شده توسط اینورتر به شبکه



شکل ۸ ولتاژ باس DC



شکل ۹ طبقه ی اول سیستم فتوولتائیک متصل به شبکه

برای ثابت نگه داشتن ولتاژ باس DC باید جریان کشیده شده توسط اینورتر برابر با جریان ورودی به باس DC باشد. این وظیفه به عهده ی کنترلر ولتاژ باس DC می‌باشد. جریان I_{dc} خروجی این کنترلر می‌باشد. این جریان بعد از معادل سازی به یک جریان سینوسی هم فاز و هم فرکانس با ولتاژ شبکه تبدیل می‌گردد، که با I_{ac-ref} نشان داده شده است. بعد از مقایسه ی I_{ac-ref} با جریان شبکه، خطای ایجاد شده، وارد کنترلر جریان می‌شود. خروجی کنترلر جریان نیز از طریق تعیین ولتاژ خروجی مبدل تمام پل، دوره ی کاری کلید ها را مشخص می‌کند. برای اجتناب از جریان پراکندگی احتمالی از روش مدولاسیون عرض پالس دو قطبی استفاده شده است. برای کنترل کردن ولتاژ باس DC از یک کنترل کننده ی PI بهره گرفته ایم تا ولتاژ باس DC در V_{dc-ref} که برابر ۴۰۰ ولت است، ثابت بماند. برای کنترل کننده ی جریان هم می‌توان از کنترلر PI بهره گرفت که بخش انتگرالی آن خطای جریان را کاهش می‌دهد و بخش تناسبی آن، میزان ریپل را تنظیم می‌کند. مشکل پیش آمده در این کنترلر وجود خطای دائمی فاز و دامنه است. خطای جریان وارد شده به جبرانگر، سینوسی است و کنترل کننده ی PI، نمی‌تواند خطای فاز و دامنه را به صفر برساند چرا که بخش انتگرالی فقط در فرکانس های نزدیک صفر، می‌تواند خطا را به طور کامل صفر کند [۱۸]. روش کنترلی دیگر استفاده از کنترلر تناسبی رزناسی است. نتایج شبیه سازی انجام شده در در نرم افزار PSCAD در شکل ۷ و ۸ نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۸ مشاهده می‌شود، از آنجا که توان دریافت شده ی اینورتر از باس DC، با فرکانسی معادل دو برابر فرکانس شبکه تغییر می‌کند، ولتاژ باس DC نیز مولفه ای با همین فرکانس دارد.

۵- نتایج عملی

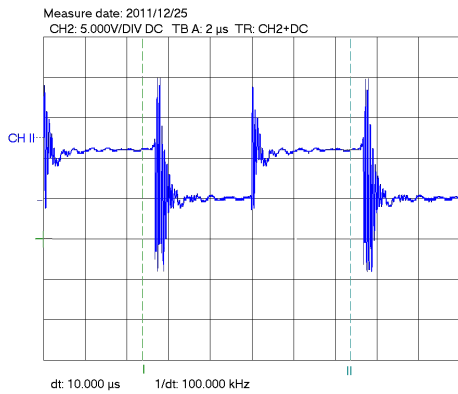
در این مقاله یک نمونه آزمایشگاهی ۱۰۰ وات برای تحویل توان از مازول خورشیدی به باس DC و ایجاد

پارامترهای طراحی در ساخت مبدل عبارتند از :

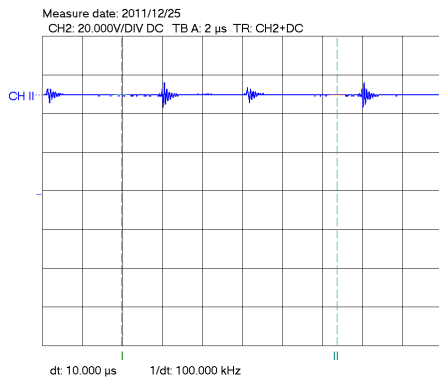
فرکانس کلید زنی: 100 kHz

سلف کوپل شده: $n = 1/6$ ، $L_1 = 13\mu H$

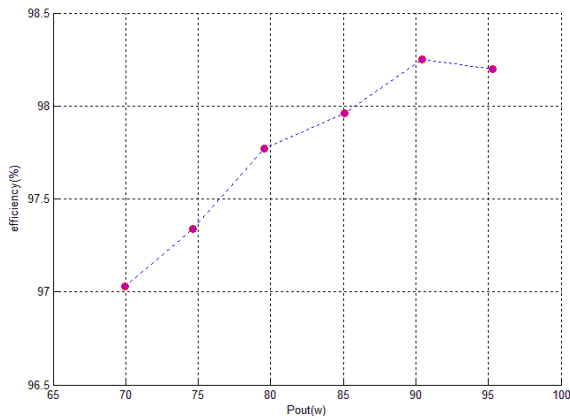
بیست و هفتمین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل ۱۲ نمودار جریان عبوری از کلید برای خروجی ۴۰۰ ولت و توان ۹۰ وات (مقدار ولتاژ خوانده شده بر حسب ولت $\times 1/3 =$ جریان بر حسب آمپر)



شکل ۱۳ نمودار ولتاژ دو سر خازن C_1 برای خروجی ۴۰۰ ولت و توان ۹۰ وات



شکل ۱۴ نمودار بازده در توان‌های مختلف

۶- نتیجه گیری

برای سیستم‌های فتوولتائیک متصل به شبکه در کاربردهای خانگی، بدلیل ایمنی و استفاده حداکثری از توان خورشیدی، استفاده از ساختاری که در آن مازول‌ها

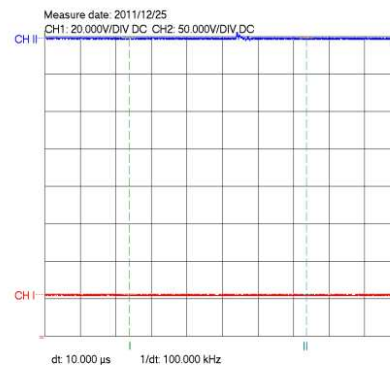
$K = 98\%$ $L_2 = 470\mu H$
 خازن‌ها: $C_2 = 6.8\mu F$ $C_1 = 5\mu F$

کلید: IRFP4228

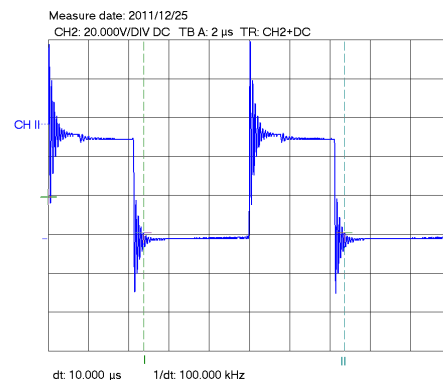
دیود $D_2 = HFA16TA60$ ،

$D_1 = SCHOTTKYDIODE$
 میکروکنترلر : ATXMEGA 128A1

نمودار ولتاژ و جریان کلید به ترتیب در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود. همانطور که از شکل مشخص است، حداکثر ولتاژ کلید ۵۰ ولت است. این ولتاژ کم کاهش تلفات و در نتیجه افزایش بازده را در پی دارد. از آنجا که در لحظاتی خازن C_1 در مدار شکل ۴ با کلید موازی می‌شود، ولتاژ دو سر خازن نیز در شکل ۱۳ نشان داده شده است. نمودار بازده برای توان‌های مختلف در شکل ۱۴ نشان داده شده است. حداکثر بازده اندازه‌گیری شده برای این مبدل ۹۸/۳ درصد در توان ۹۰/۲۴ وات بدست آمد.



شکل ۱۰ نمودار ولتاژ ورودی و خروجی مبدل



شکل ۱۱ نمودار ولتاژ کلید در خروجی ۴۰۰ ولت

[8] V. Scarpa, S. Buso, and G. Spiazzi.: 'Low-complexity MPPT technique exploiting the PV module MPP locus characterization', *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 5, May 2009, pp. 1531–1538

[9] Wuhua Li, and Xiangning He.: 'Review of Nonisolated High-Step-Up DC/DC Converters in Photovoltaic Grid- Connected', *Applications IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 4, APRIL 2011, pp.1239-1250

[10] R.J.Wai, W.H.Wang, and C. Y. Lin.: 'High-performance stand-alone photovoltaic generation system', *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 1, Jan. 2008, pp. 240–250

[11] R. J. Wai and W. H. Wang.: 'Grid-connected photovoltaic generation system', *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, vol. 55, no. 3, Apr. 2008, pp. 953–964

[12] Roberto González, Jesús López, Pablo Sanchis, and Luis Marroy.: 'Transformerless Inverter for Single-phase Photovoltaic Systems', *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 2, MARCH 2007, pp. 693-697

[13] 2002 National Electrical Code, National Fire Protection Association, Inc., Quincy, MA, 2002

[14] Y. Xue, L. Chang, S. B. Kjaer, J. Bordonau, and T. Shimizu.: 'Topologies of single-phase inverters for Small distributed power generator: an overview', *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 19, no. 5, Sep. 2004, pp. 1305–1314

[15] Roberto F. Coelho, Filipe Cancer, Denizar C. Martins.: 'A Proposed Photovoltaic Module and Array Mathematical Modeling Destined to Simulation', *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, July 2009, pp. 1624-1629

[16] O. Wasynczuk.: 'Dynamic behavior of a class of photovoltaic power systems', *IEEE Trans. Power App. Syst.*, vol. 102, no. 9, Sep. 1983, pp. 3031–3037

[17] Trishan Eram and Patrick L. Chapman.: 'Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques', *IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION*, VOL. 22, NO. 2, JUNE 2007, pp.439-449

[18] Rong-Jong Wai, Rou-Yong Duan.: 'High Step-Up Converter With Coupled-Inductor', *IEEE Trans. Power Electron* vol. 20, no. 5, Sep 2005, pp.1025-1035

با یکدیگر سری نشده باشند، مناسب بنظر می رسد. در نتیجه با توجه به ولتاژ پائین این ساختار، به مبدل با افزایش دقت بالا و بازده مناسب نیاز می شود. در این مقاله یک سیستم با ماژول ۱۰۰ وات طراحی شده و بخش اول شامل مبدل DC/DC و کنترل آن توسط میکروکنترلر ATXMEGA128A ساخته شد. الگوریتم ردیابی نقطه حداکثر توان اجرا شده در این مبدل از نوع هدایت افزایشی است. بازده اندازه گیری مبدل در توان های مختلف بین ۹۶ تا ۹۸ درصد اندازه گیری شده است که نشان دهنده کارایی بالای آن است.

فهرست مراجع

[1] Mervin Johns, Hanh-Phuc Le and Michael Seeman.: 'Grid-Connected Solar Electronics'. Report, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California at Berkeley, EE-290N-3-Contemporar Energy Issues, 2010

[2] <http://solarbuzz.com/facts-and-figures/retail-price-environment/module-prices>, accessed December 2011

[3] 'Trends in photovoltaic applications. Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2006'. Report, Int Energy Agency, Paris, France, IEA-PVPS T1-16, 2007

[4] Soeren Baekhoej Kjaer, John K. Pedersen, Frede Blaabjerg.: 'A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules', *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 41, no 5, SEPTEMBER /OCTOBER 2005, pp. 1292-1306

[5] M. Calais, J. Myrzik, T. Spooner, and V. G. Agelidis.: 'Inverters for single-phase grid connected photovoltaic systems—An overview', in *Proc. IEEE PESC'02*, vol. 2, 2002, pp. 1995–2000

[6] M. Meinhardt and G. Cramer.: 'Past, present and future of grid connected photovoltaic- and hybrid-power-systems', in *Proc. IEEE-PES Summer Meeting*, vol. 2, 2000, pp. 1283–1288

[7] B. Verhoeven et al.: 'Utility Aspects of Grid Connected Photovoltaic Power Systems'. Report, International Energy Agency Photovoltaic Power Systems, IEA PVPS T5-01, 1998