

## ساختارهای مختلف اینورترهای متصل به شبکه ی بدون ترانسفورمر با کاربرد انرژی خورشیدی

مهدي خرم دشتي<sup>۱</sup>، محمد مهدي مزده<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، mehdy.khorram@gmail.com  
<sup>۲</sup> دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، Muhammad.mahdavi@gmail.com

چکیده-برق تولیدی از سلول های خورشیدی یک برق  $DC$  می باشد. برای استفاده از انرژی بدست آمده از سلول خورشیدی و اتصال آن به شبکه برق رسانی و تبدیل آن به برق  $AC$  از اینورترهای متصل به شبکه استفاده می شود. اینورترهای متصل به شبکه به دو دسته ی اینورترهای بدون ترانسفورمر و اینورترهای باترانسفورمر تقسیم می شوند. در ساختارهای با توان پایین و مصارف خانگی از اینورترهای متصل به شبکه ی بدون ترانسفورمر استفاده می شود. در این مقاله به بررسی ساختارهای مختلف اینورترهای متصل به شبکه ی بدون ترانسفورمر و مزایا و معایب هر ساختار پرداخته شده است.

کلید واژه- اینورترهای متصل به شبکه، اینورتر بدون ترانسفورمر، جریان نشستی

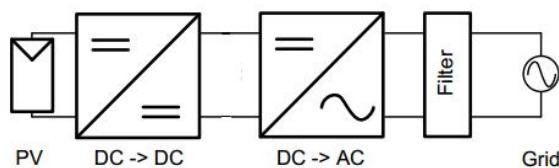
ترانزیستورها عمل می کردند توسط شرکت SMA تولید گردید. در اواسط سال ۱۹۹۰ میلادی فصل جدیدی در اینورترها آغاز شد و تکنولوژی های  $IGBT$ ,  $MOSFET$  در بخش اعظم اینورترها مورد استفاده قرار گرفتند.

به منظور افزایش بازده در قسمت مبدل  $DC-DC$  یک ترانسفورمر فرکانس بالا و یا در خروجی یک ترانسفورمر فرکانس پایین قرار می دهیم. بنابراین در توان های پایین و متوسط و برای مصارف خانگی از ساختارهای بدون ترانسفورمر و در قسمت هایی که به توان های بالا نیاز باشد از ساختارهای ترانسفورمر دار استفاده می شود. [۲]

نکته ی دیگر که باید به آن توجه کرد این موضوع است که هنگام اتصال سلول های خورشیدی به زمین، خازنی پارازیتی ظاهر می شود که این خازن ( $C_p$ ) همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده مسیری برای عبور جریان نشستی ایجاد می کند [۳]. این خازن در اینورترهای باترانسفورمر با وصل کردن پایه ی منفی سلول به زمین این خازن حذف می شود اما در ساختارهای بدون ترانسفورمر حذف جریان نشستی نیازمند راه حل پیچیده تری می باشد. [۴]

### ۱- مقدمه

امروزه با توجه به نیاز روزافزون به انرژی های نو، انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی پاک و قابل دسترس حائز اهمیت می باشد. همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است برق تولیدی از سلول های خورشیدی که برق  $DC$  می باشد به برق  $AC$  تبدیل می گردد. [۱]



شکل ۱-۱ بلوک دیاگرام سلول خورشیدی

جهت تبدیل برق  $DC$  به  $AC$  از اینورترهای متصل به شبکه استفاده می شود. ساختارهای متفاوتی برای اینورترهای متصل به شبکه استفاده می شود که هر یک دارای خصوصیتی می باشند.

اولین اینورترهای متصل به شبکه در سال ۱۹۸۰ میلادی ساخته شد که این اینورترها برپایه ی ترانزیستورها عمل می کردند. پس از آن در سال ۱۹۹۰ اولین سری از اینورترهایی که به وسیله ی

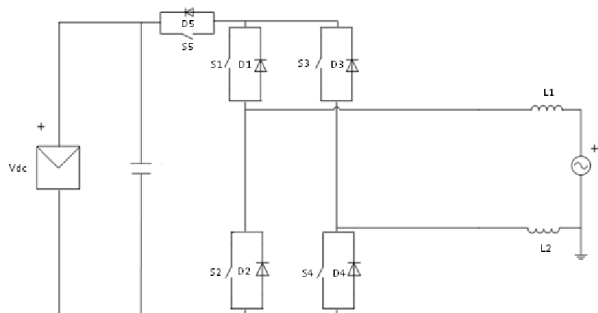
مدولاسیون تک قطبی  
مدولاسیون دو قطبی  
مدولاسیون هایبرید

این ساختار که ابتدایی ترین ساختار اینورترها می باشد علی رغم سادگی، از نظر بازده و جریان نشتی معایبی دارد که چندان مناسب اینورترهای بدون ترانسفورمر نمی باشد. [۲]

## ۲-۱-۲ اینورتر $H5$

در سال ۲۰۰۵ شرکت  $SMA$  ساختار جدیدی از اینورترها به نام  $H5$  را معرفی کرد. این ساختار که در شکل ۳-۲ نمایش داده شده است، همانطور که از نامش مشخص می باشد دارای کلید پنجمی می باشد که این کلید دو عملکرد اساسی را برعهده دارد. اول آنکه از برقراری توان راکتیو بازگشتی بین سلف (در فیلتر) و خازن ( $C_{pv}$ ) در حالت ولتاژ صفر جلوگیری می کند که نتیجه ی آن بالا رفتن بازده می باشد.

دوم آنکه سلول را در حالت ولتاژ صفر از شبکه جدا می کند در نتیجه محتویات فرکانس بالای  $V_{pv}$  حذف شده و به تبع آن جریان نشتی کاهش می یابد. [۲]



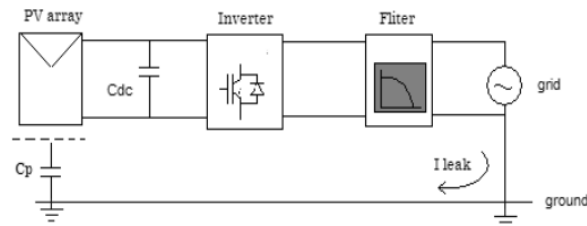
شکل ۳-۲ ساختار  $H5$

در این ساختار سوئیچ های  $S1$  و  $S3$  با فرکانس شبکه و سایر سوئیچ ها با فرکانس بالا سوئیچ می شوند. هنگامی که سوئیچ  $S2$  و یا  $S4$  روشن باشد سوئیچ  $S5$  نیز باید روشن باشد تا اینورتر به درستی عمل کند.

مزایا

تغییرات ولتاژ در طی فیلتر به صورت دو قطبی می باشد (  $0 \rightarrow -V_{pv} \rightarrow 0 \rightarrow +V_{pv} \rightarrow 0$  ) که در پی آن تلفات هسته کاهش می یابد.

بازده ای بالا نزدیک ۹۸٪ به علت عدم برقراری توان راکتیو بین سلف (در فیلتر) و خازن ( $C_{pv}$ ) در حالت ولتاژ صفر و همچنین فرکانس سوئیچ کم تر در یکی از شاخه ها



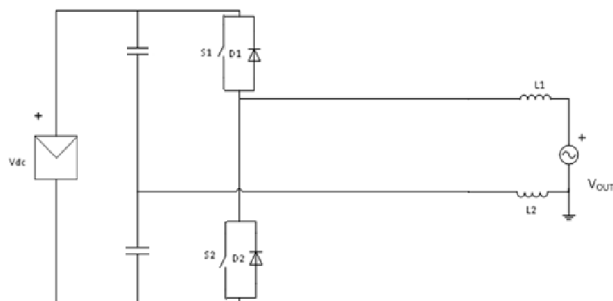
شکل ۱-۱ اضافه شدن خازن به سلول هنگام وصل کردن سلول به زمین و نکته ی آخر بازدهی اینورترها می باشد که در این گزارش معیار بازدهی را بر اساس بازدهی اروپا سنجیده شده است. [۲]

## ۲- ساختارهای اینورترهای متصل به شبکه بدون ترانسفورمر

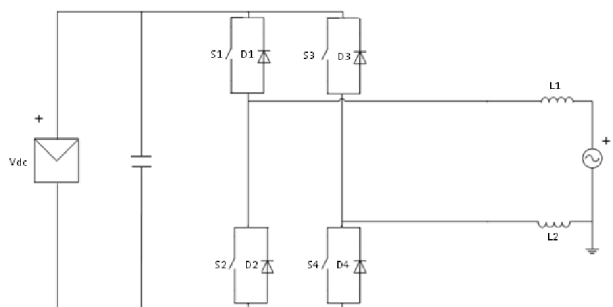
ساختارهای بدون ترانسفورمر معمولاً در دو خانواده ی  $H$ -Bridge و  $Neutral Point Clamped (NPC)$  توسعه یافته اند

### ۲-۱ خانواده ی $H$ -Bridge

این ساختار (نیم پل) یا ساختار تمام پل در سال ۱۹۶۵ به عنوان یک مرجع در توسعه ی الکترونیک قدرت معرفی گردید. شکل های زیر ساختارهای اولیه نیم پل و تمام پل را نشان می دهد



شکل ۲-۱: ساختار نیم پل



شکل ۲-۲: ساختار تمام پل

### ۲-۱-۱ اینورتر تمام پل پایه :

این ساختار که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است به سه روش اصلی کنترل می شود.

$V_{PE}$  (ولتاژ خازن ایجاد شده به علت وصل شدن سلول به زمین) یک مؤلفه فرکانس شبکه می باشد در نتیجه جریان نشتی بسیار کمی خواهد داشت.

معایب

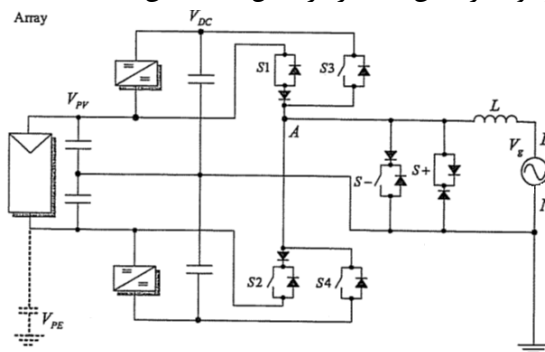
دارا بودن دو سوئیچ اضافی

بنابراین ساختار  $HERIC$  با برطرف کردن معایب مدولاسیون دوقطبی در ساختار تمام پل به وسیله ی فراهم کردن ولتاژ صفر (توسط بای پس کردن  $AC$ ) و در نتیجه بالا بردن بازده، یک حالت بسیار مناسب برای اینورترهای بدون ترانسفورمر می باشد.

مزیتی که ساختار  $HERIC$  نسبت به ساختار  $H5$  دارد تعداد سوئیچ های در حال هدایت می باشد. همانطور که در ساختار  $H5$  بیان شد در حال هدایت ۳ سوئیچ روشن می شدند که این امر موجب بالا رفتن تلفات هدایتی می شود؛ اما در این ساختار ۲ سوئیچ به طور هم زمان روشن می باشند که این امر موجب پایین آمدن تلفات هدایتی می شود. [۲]

۴-۱-۲ اینورتر  $REFU$

در سال ۲۰۰۷ شرکت  $Refu solar$  ساختار جدیدی برگرفته از خانواده ی  $H$ -bridge را معرفی کرد که در آن قسمت بای پس  $AC$  وجود دارد و یک مبدل  $DC-DC$  قابل بای پس شدن نیز وجود دارد. این ساختار در شکل ۵-۲ نشان داده شده است.



شکل ۵-۲ ساختار  $REFU$

نقش قسمت بای پس در این حالت همانند نقش آن در ساختار  $HERIC$  می باشد.

در این ساختار  $S1-S4$  با فرکانس بالا سوئیچ می شوند و کلیدهای  $S+, S-$  با فرکانس شبکه سوئیچ می شوند.

مزایا

تغییرات ولتاژ در طی فیلتر به صورت دو قطبی می باشد (  $0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow +V_{PV} \rightarrow 0$  ) که در پی آن تلفات هسته کاهش می یابد.

$V_{PE}$  (ولتاژ خازن ایجاد شده به علت وصل شدن سلول به زمین) یک مؤلفه فرکانس شبکه می باشد در نتیجه جریان نشتی بسیار کمی خواهد داشت.

معایب

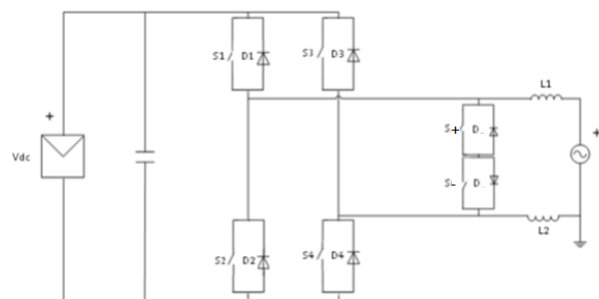
دارا بودن یک سوئیچ اضافی

بالا رفتن تلفات هدایتی به علت قرار گرفتن ۳ سوئیچ در حالت هدایت [۵]

ساختار  $H5$  تمامی مزایای مدولاسیون هایبرید در ساختار تمام پل را دارا می باشد؛ علاوه بر آن محتویات فرکانس بالای  $V_{PV}$  را با جداسازی سلول در حالت ولتاژ صفر از بین می برد و در نتیجه جریان نشتی کاهش می یابد. بنابراین با توجه به بهره ی بالای این ساختار و هم چنین وجود جریان نشتی کم، این ساختار برای اینورترهای بدون ترانسفورمر بسیار مناسب می باشد. [۲]، [۶]

۳-۱-۲ اینورتر  $HERIC$

در سال ۲۰۰۶ شرکت  $Sunways$  ساختار جدیدی را بر اساس خانواده ی  $H$ -bridge معرفی کرد که در آن از یک شاخه ی بای پس در قسمت  $AC$  مطابق (شکل ۴-۲) استفاده کرد که عملکرد این شاخه همانند سوئیچ پنجم در ساختار  $H5$  می باشد. [۲]



شکل ۴-۲ ساختار  $HERIC$

در این ساختار  $S1-S4$  با فرکانس بالا سوئیچ می شوند و کلیدهای  $S+, S-$  با فرکانس شبکه سوئیچ می شوند. [۵]

مزایا

تغییرات ولتاژ در طی فیلتر به صورت دو قطبی می باشد (  $0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow +V_{PV} \rightarrow 0$  ) که در پی آن تلفات هسته کاهش می یابد.

بازده ای بالا نزدیک ۹۸٪ به علت عدم برقراری توان راکتیو بین سلف (در فیلتر) و خازن ( $C_{pv}$ ) در حالت ولتاژ صفر و همچنین فرکانس سوئیچ کم تر در یکی از شاخه ها

در این ساختار سوئیچ های  $S5, S6$  در فرکانس بالا و  $S4-S1$  در فرکانس شبکه سوئیچ می شوند و با خاموش شدن سوئیچ های بای پس  $DC (S5, S6)$  ولتاژ خروجی صفر تأمین می شود. مزایا

تغییرات ولتاژ در طی فیلتر به صورت دو قطبی می باشد (  $0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow +V_{PV}$  ) که در پی آن تلفات هسته کاهش می یابد .

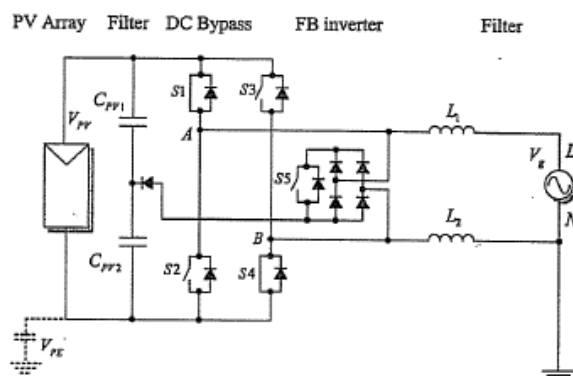
دارا بودن بازده ای بالا به علت عدم برقراری توان راکتیو بین سلف (در فیلتر) و خازن ( $C_{pv}$ ) در حالت ولتاژ صفر و همچنین فرکانس سوئیچ کم تر تمام پل  $V_{PE}$  (ولتاژ خازن ایجاد شده به علت وصل شدن سلول به زمین) یک مؤلفه فرکانس شبکه می باشد در نتیجه جریان ناشی بسیار کمی خواهد داشت. معایب

دارا بودن دو سوئیچ و دو دیود اضافی قراردادشتن ۴ سوئیچ در مسیر هدایت که بالا رفتن تلفات هدایتی را در پی دارد؛ البته این امر تاثیری بر بالا بودن بازده ای این ساختار ندارد.

در نتیجه این ساختار نیز با توجه به بالا بودن بازده و جریان ناشی پایین برای ساختارهای بدون ترانسفورمر بسیار مناسب می باشد. [۲]

## ۲-۱-۶ FB-ZVR اینورتر

ساختار دیگری که بر پایه ی ساختار تمام پل معرفی گردید ساختار تمام پل یکسوساز تمام پل می باشد که در شکل ۷-۲ نشان داده شده است. این ساختار که برگرفته از ساختار  $HERIC$  می باشد برای ایجاد حالت ولتاژ صفر از یک پل دیود و یک سوئیچ پنجم استفاده کرده است. همچنین یک دیود برای کلمپ به نقطه صفر میانی استفاده می شود.



شکل ۷-۲ ساختار FB-ZVR

بازده ای بالا نزدیک ۹۸٪ به علت عدم برقراری توان راکتیو بین سلف (در فیلتر) و خازن ( $C_{pv}$ ) در حالت ولتاژ صفر و همچنین فرکانس سوئیچ کم تر در یکی از شاخه ها و تقویت تنها در صورت لزوم انجام می شود.

$V_{PE}$  (ولتاژ خازن ایجاد شده به علت وصل شدن سلول به زمین) یک مؤلفه فرکانس شبکه می باشد در نتیجه جریان ناشی بسیار کمی خواهد داشت. معایب

نیاز به ولتاژ  $DC$  دوبرابر

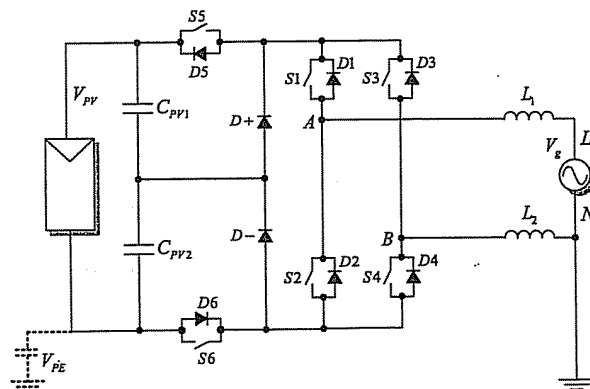
نیاز به دو سوئیچ اضافی

در نتیجه این ساختار که پیشرفت یافته ی ساختار  $H$ - $Bridge$  می باشد با اضافه کردن یک قسمت بای پس  $AC$  و فراهم کردن ولتاژ صفر تلفات هسته را کاهش داده و بازده را افزایش می دهد.

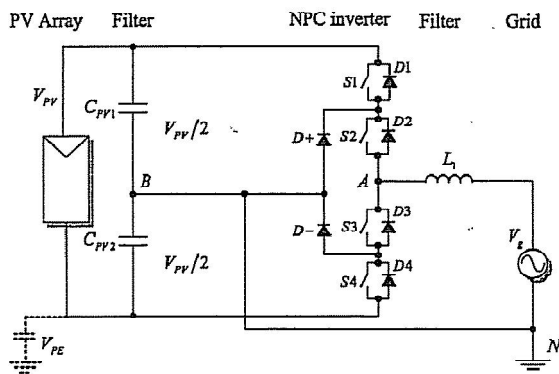
این ساختار با توجه به بالا بودن بازده و پایین بودن جریان ناشی برای اینورترهای بدون ترانسفورمر بسیار مناسب می باشد. [۲]

## ۵-۱-۲ اینورتر FB-DCBP

ساختار دیگری که برگرفته از خانواده ی  $H$ - $Bridge$  می باشد ساختار تمام پل همراه با بای پس  $DC$  می باشد که توسط شرکت  $Ingeteam$  معرفی گردید. این ساختار که در شکل ۶-۲ نشان داده شده است دارای دو سوئیچ اضافی جهت ایزوله کردن سلول از شبکه در هنگام ولتاژ صفر می باشد و هم چنین دو دیود اضافی نیز دارا می باشد که وظیفه ی زمین کردن ولتاژ صفر را داراست (برخلاف ساختارهای  $HERIC, H5$  که ولتاژ صفر معلق می باشد).



شکل ۶-۲ ساختار FB-DCBP



شکل ۸-۲ ساختار نیم پل NPC

سوئیچ های S1 و S4 در فرکانس بالا و S2 و S3 در فرکانس شبکه سوئیچ می شوند .

مزایا

تغییرات ولتاژ در طی فیلتر به صورت دو قطبی می باشد (  $0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow +V_{PV}$  ) که در پی آن تلفات هسته کاهش می یابد .

دارا بودن بازده ای بالا (نزدیک ۹۸٪) به علت عدم برقراری توان راکتیو بین سلف (در فیلتر) و خازن (  $C_{pv}$  ) در حالت ولتاژ صفر (ولتاژ خازن ایجاد شده به علت وصل شدن سلول به زمین ) ثابت و برابر  $-V_{PV}/2$  می باشد و یک مولفه فرکانس سوئیچینگ نمی باشد که در پی آن جریان نشتی بسیار کمی خواهد داشت . میزان ولتاژ سوئیچ ها تا  $V_{PV}/4$  کاهش می یابد که این امر تلفات سوئیچ ها را کاهش می دهد.

معایب

دارا بودن دو دیود اضافی

نیاز داشتن به دو سطح ولتاژ ( به علت وجود دو خازن )

## ۲-۲-۲ اینورتر NPC Conergy

نوع دیگر از اینورترهای خانواده ی NPC اینورترهای Conergy می باشد که در آن از دو سوئیچ دوطرفه برای کلمپ خروجی به نقطه خنثی استفاده می شود. در این ساختار که در شکل ۹-۲ نشان داده شده است جهت کلمپ خروجی به نقطه ی میانی زمین شده از سوئیچ های دوطرفه +S و -S استفاده کرده است. [۷] و [۵]

سوئیچ شدن قسمت تمام پل این ساختار همانند مدولاسیون تک قطبی به صورت قطری می باشد و برای دستیابی به حالت ولتاژ صفر سوئیچ های S1 تا S4 را خاموش و سوئیچ S5 را روشن می کنیم.

مزایا

تغییرات ولتاژ در طی فیلتر به صورت دو قطبی می باشد (  $0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow +V_{PV}$  ) که در پی آن تلفات هسته کاهش می یابد .

دارا بودن بازده ای بالا (نزدیک ۹۶٪) به علت عدم برقراری توان راکتیو بین سلف (در فیلتر) و خازن (  $C_{pv}$  ) در حالت ولتاژ صفر (ولتاژ خازن ایجاد شده به علت وصل شدن سلول به زمین ) یک مولفه فرکانس شبکه می باشد در نتیجه جریان نشتی بسیار کمی خواهد داشت.

معایب

دارا بودن یک سوئیچ و پنج دیود اضافی

تلفات بالایی دارد.

در نتیجه این ساختار فرکانس سوئیچینگ بالای S5 بازده ی پائین تری از ساختار HERIC دارا می باشد اما قادر خواهد بود در تمام ضریب توان ها عمل کند. [۲]

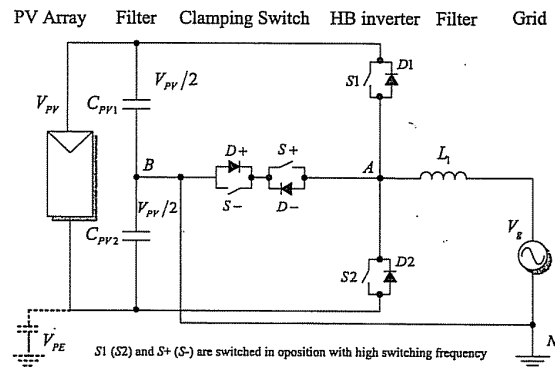
## ۲-۲-۱ خانواده ی Neutral Point Clamped (NPC)

این خانواده که در سال ۱۹۸۱ معرفی گردید پیشرفت های بسیاری را در پایین آوردن تغییرات ولتاژ نسبت به زمان و هم چنین استرس سوئیچ ها ایجاد کرد. هم چنین این ساختار دارای تنوع بسیار خوبی می باشد و برای اینورترهای تک فاز و سه فاز قابل استفاده می باشد.

### ۲-۲-۱-۱ اینورتر نیم پل NPC

در این ساختار که در شکل ۸-۲ نشان داده شده است با استفاده از کلمپ ولتاژ خروجی به نقطه میانی زمین شده به ولتاژ صفر دست یافته ایم. [۷] و [۵]

حداکثر ۹۶.۵٪	دو قطبی	کم	اینورتر <i>FB-DCBP</i>
حداکثر ۹۶.۵٪	دو قطبی	کم	اینورتر <i>FB-ZVR</i>
حداکثر ۹۸٪	دو قطبی	کم	اینورتر نیم پل <i>NPC</i>
حداکثر ۹۸٪	دو قطبی	کم	اینورتر <i>Conergy NPC</i>



#### ۴ - نتیجه گیری

در این مقاله ساختارهای مختلف اینورترهای بدون ترانسفورمر مورد بررسی قرار گرفت که هر یک دارای مزایا و معایبی بودند. با در نظر گرفتن این موارد می توان از ساختار مناسبی که با کاربرد مورد نیاز تطابق بیش تری داشته باشد استفاده کرد.

#### مراجع

- [1] tamaskerekes, Analysis and Modeling of Transformerless Photovoltaic Inverter Systems , 2009
- [2] Remus Teodorescu , Marco Liserre , Pedro Rodriguez, Grid converters for photovoltaic and wind power system,2011.
- [3] Xiaomeng Su, Yaojie Sun, Yandan Lin, Analysis on Leakage Current in Transformerless Single-Phase PV Inverters Connected to the Grid
- [4] Huafeng Xiao, leakage current analytical model and application in single phase transformerlesspv grid connected inverted
- [5] Samuel VasconcelosAraújo ,Highly Efficient Single-Phase Transformerless Inverters for Grid-Connected Photovoltaic Systems,2010
- [6] Claude Morris, Grid-connected Transformerless Single-phase Photovoltaic Inverters: An Evaluation on DC Current Injection and PV Array Voltage Fluctuation, 2009
- [7] Fritz Schimpf, Lars E. Norum, Grid connected Converters for Photovoltaic,State of the Art, Ideas for Improvement of Transformerless Inverters,2008
- [8] Yaow-mingchen and chia-His chang, Yung Ruei chang,H5 inverter with constant frequency asynchronous Sigma-Delta modulation
- [9] Jason Lai, High-Efficiency Power Conversion for Renewable Energy and Distribution Generation, 2009
- [10] tamaskerekes, Analysis and Modeling of Transformerless Photovoltaic Inverter Systems , 2009
- [11] Bo Yang, Wuhua Li, Improved Transformerless Inverter With Common-Mode Leakage Current

شکل ۹-۲ ساختار *Conergy NPC*

در این حالت تمامی سوئیچ ها در فرکانس بالا سوئیچ می شوند. مزایا تغییرات ولتاژ در طی فیلتر به صورت دو قطبی می باشد (  $0 \rightarrow -V_{PV} \rightarrow 0 \rightarrow +V_{PV}$  ) که در پی آن تلفات هسته کاهش می یابد .

دارا بودن بازده ای بالا(نزدیک ۹۸٪) به علت عدم برقراری توان راکتیو بین سلف (در فیلتر) و خازن ( $C_{pv}$ ) در حالت ولتاژ صفر ( $V_{PE}$  ولتاژ خازن ایجاد شده به علت وصل شدن سلول به زمین) ثابت و برابر  $-V_{PV}/2$  می باشد و یک مولفه فرکانس سوئیچینگ نمی باشد که در پی آن جریان نشتی بسیار کمی خواهد داشت . معایب

نیاز داشتن به دو سطح ولتاژ ( به علت وجود دو خازن)

#### ۳ - مقایسه ساختارهای مختلف

همانطور که مشاهده شد در ساختارهای مختلف توجه به جریان نشتی، بازده و تغییرات ولتاژ که تاثیر مستقیم با تلفات هسته دارد توجه می گردد. در اینورترهای بدون ترانسفورمر این پارامترها بسیار حائز اهمیت می باشند. در جدول زیر به مقایسه ساختارهای پرداخته شده است .

جدول (۱) : مقایسه ی ساختارهای مختلف

ساختارهای مختلف	جریان نشتی	تغییرات ولتاژ	بازدهی
اینورتر <i>H5</i>	کم	دو قطبی	حداکثر ۹۸٪
اینورتر <i>HERIC</i>	کم	دو قطبی	حداکثر ۹۸٪
اینورتر <i>REFU</i>	کم	دو قطبی	حداکثر ۹۸٪

- Elimination for a Photovoltaic Grid-Connected Power System,2012
- [12] Wenfeng Cui, Bo Yang, Yi Zhao, Wuhua Li, A Novel Single-Phase Transformerless Grid-connected Inverter
- [13] SoerenBaekhoejKjaer, A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules,2005
- [14] Lin Ma, TamasKerekes, Remus Teodorescu, Xinmin Jin, Dan Floricau,, Marco Liserre, The High Efficiency Transformer-less PV Inverter Topologies Derived,From NPC Topology,2009
- [15] Lin Ma, Fen Tang, Fei Zhou, Xinmin Jin and Yibin Tong,Leakage current analysis of a single-phase transformer-less PVinverter connected to the grid,2008
- [16] Zheng Zhao,High Efficiency Single-stage Grid-tied PV Inverter for Renewable Energy System,2012
- [17] Patrao , Iván , Figueres , Emilio ,González-Espín, Fran , Garcerá , Gabriel, Transformerless topologies for grid-connected single-phase photovoltaic inverters
- [18] Gonzalez,lopez,sanchiz,transformerless inverter for single-phase photovoltaic systems,2007
- [19] Taraksalmi , mounirbouzguenda , Adel Gastli, ahmedmasmoudi,A novel transformerless inverter topology without Zero-Crossing Distortion,2012
- [20] Tamaskerekes,remusTeodorescu,pedrorodriguez,G erardoVazquez,emilianoaldabas,a new high efficiency single phase transformerlesspv inverter topology