

بروندادهای تخصصی

گروه پژوهشی الکترونیک قدرت

سال اول، شماره ۱، زمستان ۱۳۹۴

پژوهشگاه نیرو. گروه پژوهشی الکترونیک قدرت





معرفی توپولوژیهای اینورترهای فتوولتاییک

پیاده‌سازی ولو تریستوری ۶/۶ کیلوولت با بار اندوکتیو

طراحی سیستم کنترلی برای فیلترفعال برمبنای کاهش نامتعادلی جریان در شبکه‌های نامتعادل

بررسی ساختارهای توربین‌های بادی از گذشته تاکنون و چشم انداز تغییرات آن در آینده

به‌نام خدا

بروندادهای تخصصی

گروه پژوهشی الکترونیک قدرت

صاحب‌امتیاز: پژوهشگاه نیرو

مدیرمسئول: سعید حاتمی

سردبیر: بنفشه همدانی

مدیر اجرایی: بنفشه همدانی

گرافیست و صفحه‌آرا: سعیده ثاراللهی

ویراستار: سعیده ثاراللهی

عکس روی جلد: بنفشه همدانی

➢ **همکاران این شماره:**

همکاران گروه: مهندس سعید حاتمی، مهندس بنفشه همدانی، مهندس بهروز عارضی، مهندس محمد مرامی‌ساران، مهندس احسان هاشم‌زاده، مهندس مهدی بابائی رگنی

سایر همکاران: دکتر حسن فشکی فراهانی، مهندس امیرمحمد ساداتی، مهندس مطهره سعیدی

همکاران معاونت پژوهشی: مهندس ثریا رستمی، نوشین فرودی

➢ **ناشر:**

نشانی الکترونیکی: powerele@nri.ac.ir

نشانی: تهران، شهرک غرب، انتهای پونک باختری، پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی الکترونیک قدرت

تلفن: ۸۸۰۷۹۳۸۵-۰۲۱

دورنگار: ۸۸۰۷۹۴۳۹-۰۲۱

اعضای هیئت‌تحریریه:

مهندس سعید حاتمی، دکتر مهدی اسدی، مهندس بنفشه همدانی، مهندس محمد مرامی‌ساران، دکتر حسن فشکی فراهانی

اعضای هیئت‌داوران:

دکتر مهرداد احمدی، دکتر مهدی اسدی، دکتر حسن فشکی فراهانی، مهندس سعید حاتمی، مهندس روزبه بهزادی

اهداف و رویکرد:

«بروندادهای تخصصی گروه پژوهشی الکترونیک قدرت» با هدف فراهم آوردن بستری مناسب برای تبادل اطلاعات و انتشار مطالب مرتبط با حوزه الکترونیک‌قدرت به‌صورت داخلی منتشر می‌شود.

این مجموعه از هرگونه پیشنهاد یا انتقاد برای هرچه بهترشدن مطالب استقبال می‌کند و استفاده از مطالب آن با ذکر منبع بلامانع است.

مسئولیت مطالب، مقالات و پژوهش‌های درج‌شده بر عهده نویسندگان است.

فهرست مطالب

۱ • سخن سردبیر

۲ • معرفی توپولوژی‌های اینورترهای فتوولتاییک

۱۸ • معرفی افراد توانمند

۱۹ • پیاده‌سازی ولو تریستوری ۶/۶ کیلوولت با بار اندوکتیو

۳۳ • کنفرانس PEDSTC 2016

۳۷ • طراحی سیستم کنترلی برای فیلترفعال برمبنای کاهش نامتعادلی جریان در شبکه‌های نامتعادل

۴۹ • معرفی انجمن

۵۱ • بررسی ساختارهای توربین‌های بادی از گذشته تاکنون و چشم انداز تغییرات آن در آینده

۶۷ • معرفی کتاب

سخن سردبیر

الکترونیک قدرت جایگاه مهمی در تکنولوژی مدرن به خود اختصاص داده است. امروزه الکترونیک قدرت بخش مهمی از ساختار صنایعی با تکنولوژی بالا مانند: سیستمهای انرژیهای تجدیدپذیر، سیستمهای قدرت شامل تجهیزات انتقال توان بالا با جریان مستقیم و ادوات جبران‌ساز، محرکه‌های ماشینهای الکتریکی، مولدهای نیروگاهی، منابع تغذیه قدرت، سیستم های محرک وسایل نقلیه و حمل و نقل برقی و ریلی، روشنایی، صنایع هوایی و دریایی، لوازم خانگی و ... را تشکیل می‌دهد و تقریباً در اکثر صنایع و کاربردها جایگاه ویژه‌ای دارد. مشکل بتوان حد مرزی برای کاربرد الکترونیک قدرت تعین کرد، بویژه با روند موجود در توسعه افزارهای قدرت و میکروپروسسورها، حد نهایی الکترونیک قدرت نامشخص است.

گروه پژوهشی الکترونیک قدرت در زمینه‌های تحقیقاتی و پژوهشی، طراحی، ساخت و کاربرد تجهیزات الکترونیک قدرت در سیستم قدرت فعالیت می‌کند. در این گروه تجهیزاتی نظیر جبران‌کننده‌های استاتیک توان راکتیو، تحریک کننده‌های استاتیک ماشینهای الکتریکی، سیستمهای راه‌انداز استاتیکی و کنترل دور موتورها، سیستمهای انتقال توان الکتریکی با جریان مستقیم و ادوات انعطاف‌پذیر در شبکه های انتقال و توزیع (FACTS) به منظور استفاده در سیستم قدرت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و طراحی و پیاده‌سازی می‌شوند.

ازآنجاکه کاربردهای گسترده و رشد و پیشتازی تکنولوژیهای مرتبط با حوزه الکترونیک قدرت روز به روز درحال افزایش می‌باشد، این مجموعه نیز سعی دارد که با انتشار مطالب مرتبط با این حوزه، تشریح کاربردهای مختلف و شفاف‌سازی اهمیت و جایگاه بالای این حوزه در صنعت برق، نقش مؤثری در پیشبرد توسعه فناوری‌های نوین و حل مشکلات صنعت داشته باشد و در این مسیر دست تمامی علاقه‌مندان را به گرمی می‌فشارد.

بنفشه همدانی

گروه الکترونیک قدرت

مقاله مروری

معرفی توپولوژی‌های اینورترهای فتوولتاییک

نویسنده: بنفشه همدانی[۱]، امیرمحمد ساداتی[۲]

چکیده: باتوجه به گسترش روزافزون انرژیهای تجدیدپذیر و بخصوص سیستمهای فتوولتاییک که با اقلیم کشور ایران نیز سازگاری بسیاری دارند، کاربرد این سیستمها در کشور روز به روز در حال افزایش می‌باشد. این امر لزوم شناخت بخشهای مختلف یک سیستم فتوولتاییک را ایجاب می‌کند و یکی از بخشهای مهم در این سیستمها بعد از پنلهای خورشیدی، اینورترهای فتوولتاییک می‌باشد. در این مقاله به معرفی و بررسی انواع ساختار و توپولوژیهای مختلف اینورترهای فتوولتاییک که در کاربردهای متصل به شبکه و مستقل از شبکه به کار می‌روند، می‌پردازیم.

کلیدواژه: فتوولتاییک، اینورتر، مستقل از شبکه، متصل به شبکه.

مقدمه

یکی از قسمت‌های اصلی در ساختار یک سیستم فتوولتاییک، اینورترهای فتوولتاییک می‌باشند که وظیفه تبدیل توان *DC* تولید شده توسط پنلهای خورشیدی به توان *AC*، جهت تزریق به شبکه و یا تغذیه‌ی بارهای *AC* را بر عهده دارند. این گزارش به بیان خلاصه‌ای از انواع سیستم‌های فتوولتاییک و اینورترهایی که در آن‌ها به کار می‌روند می‌پردازد.

سیستم‌های فتوولتاییک

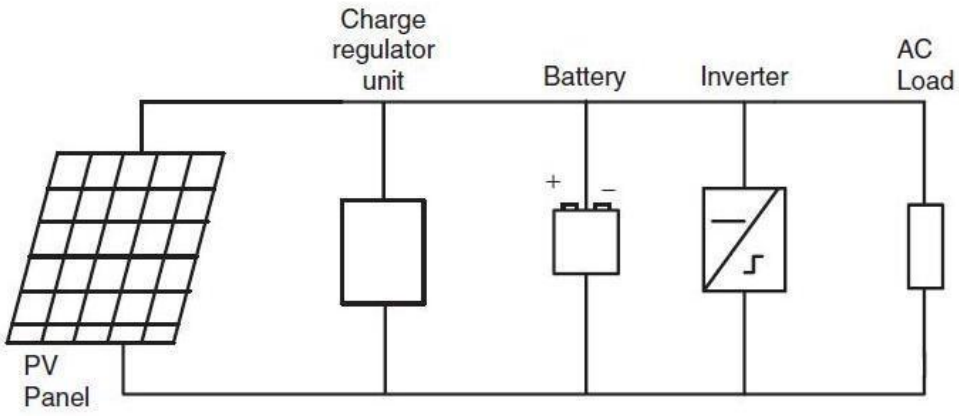
سیستم‌های فتوولتاییک از نظر ساختار کاربرد و نحوه اتصال، به سه دسته‌ی مستقل از شبکه، هیبرید و متصل به شبکه تقسیم می‌شوند.

[۱]- کارشناس پژوهشی گروه الکترونیک قدرت، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: bhamedani@nri.ac.ir

[۲]- کارشناس ارشد مهندسی برق، دانشگاه پادربورن آلمان

۱- سیستم فتوولتاییک مستقل از شبکه (*Stand-alone*)

سیستم‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه (شکل ۱) معمولاً در مناطق دوردست که به شبکه سراسری برق دسترسی ندارند و هزینه اتصال آن‌ها به شبکه سراسری زیاد است استفاده می‌شوند. از مقیاس کوچک خانگی درحد چند کیلووات تا مقیاس‌های بزرگتر (تامین برق روستاهای دور افتاده) در حد چند صد کیلووات استفاده نمود. اجزای تشکیل دهنده یک سیستم فتوولتاییک مستقل از شبکه استاندارد عبارتند از: کنترل کننده شارژ، باتری (برای ذخیره سازی) و اینورتر در صورت نیاز به توان AC [۱]. توان DC تولید شده توسط پنل‌های خورشیدی در باتری‌ها ذخیره شده و سپس برای تبدیل شدن به توان AC باتری‌ها به ورودی اینورتر متصل می‌شوند.

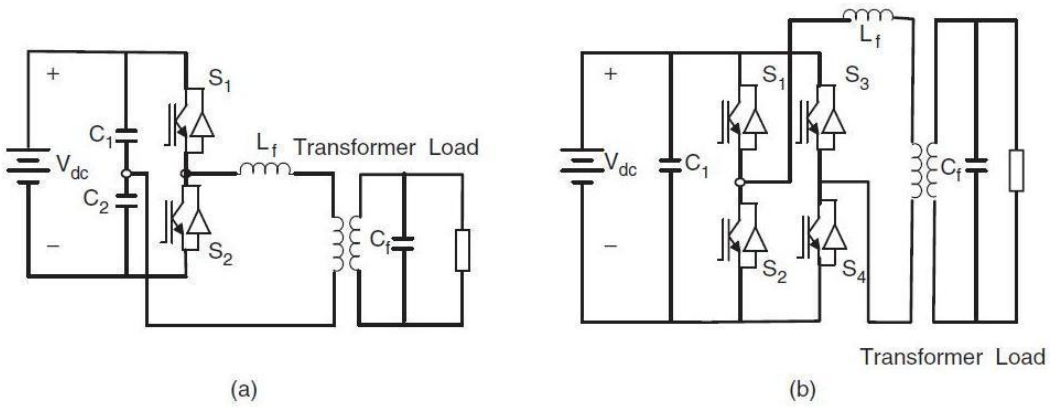


شکل (۱): مدار معادل سیستم فتوولتاییک مستقل از شبکه [۱]

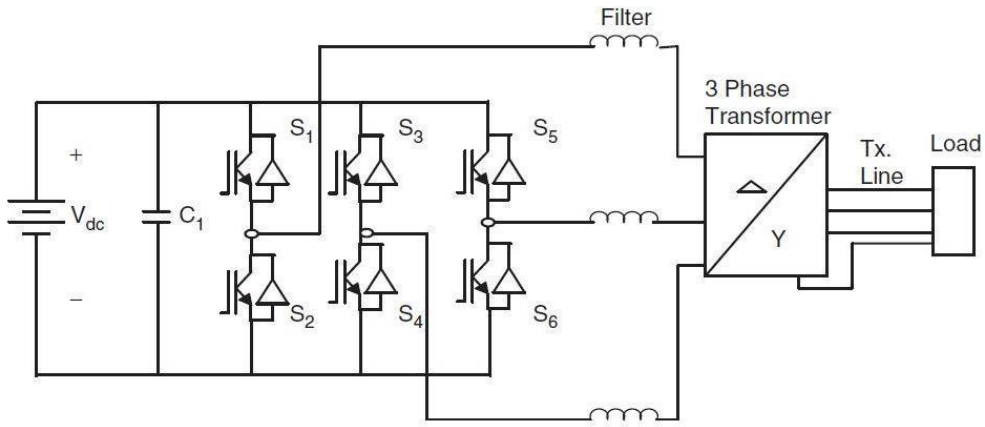
در بسیاری از سیستم‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه، جریان متناوب موظف است تا دستگاه‌هایی با سطح ولتاژ ۲۳۰ (یا ۱۱۰) ولت و فرکانس ۵۰ (یا ۶۰) هرتز را راه اندازی کند. به طور معمول اینورترهای این نوع سیستم ها بسته به سطح توان در سطوح مختلف ولتاژ مستقیم از قبیل ۱۲، ۲۴، ۴۸، ۹۶، ۱۲۰ یا ۲۴۰ ولت کار می‌کنند. یک اینورتر ایده‌آل برای استفاده در سیستم‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه می بایست دارای مشخصه‌های زیر باشد [۱]:

ادوات نیمه هادی مختلفی مانند ترانزیستور اثر میدانی نیمه‌رسانا-اکسید-فلز (*MOSFET*) و یا ترانزیستور دو قطبی با درگاه عایق‌شده (*IGBT*) در اینورترها استفاده می‌شوند. از *MOSFET* به دلیل دارا بودن تلفات پایین سوئیچینگ در فرکانس‌های بالا، در واحدهایی با توان حداکثر ۵ *kVA* و ولتاژ مستقیم *V* ۹۶ استفاده می‌شود. در مقابل *IGBT* به طور معمول در ولتاژهای بالای *V* ۹۶ استفاده می‌شود.

در سیستم‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه معمولاً از اینورترهای منبع ولتاژ استفاده می‌شود. آنها می‌توانند به هر دو صورت تک فاز و یا سه فاز مورد استفاده قرار گیرند. به طور کلی سه روش سوئیچینگ موج مربعی (*square wave*)، موج شبه مربعی (*quasi-square wave*) و مدولاسیون پهنای پالس (*PWM*) در این اینورترها استفاده می‌شود. شکل‌های ۲ و ۳ به ترتیب مدار اینورتر های تکفاز (نیم پل و تمام پل) و سه فاز مستقل از شبکه را نشان می‌دهند.



شکل (۲): اینورتر تکفاز مستقل از شبکه: a) نیم پل، b) تمام پل [۱]



شکل(۳): اینورتر چهارسیم سه فاز مستقل از شبکه [۱]

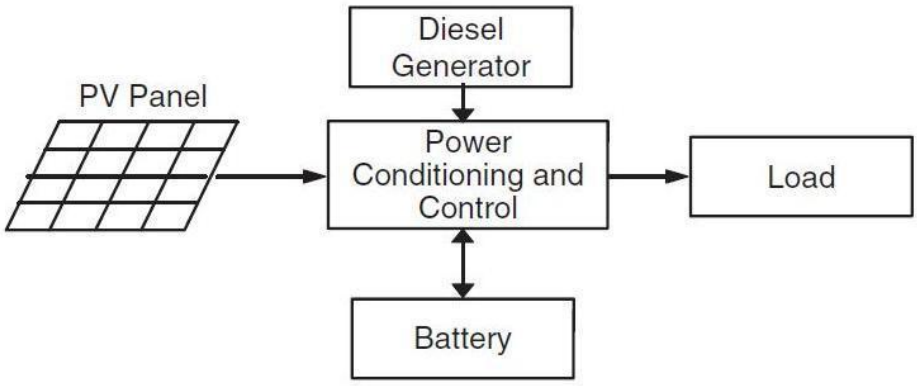
در سیستم‌های فتوولتاییک مستقل از شبکه که دارای ذخیره‌ساز باتری می‌باشند، عمدتاً از اینورترهای چند سطحی استفاده می‌شود. متداول‌ترین توپولوژی‌ها برای اینورترهای چند سطحی عبارتند از: ۱- مبدل مهار دیودی (*neutral*-point-clamped). ۲- خازن شناور. ۳- پل H آبشاری. ۴- چند ترانسفورماتوری. ۵- پل H آبشاری با ترانسفورماتور چند سیم‌پیچه. ۶- پل H آبشاری با مبدل DC ایزوله. ۷- چند منبعی. ۸- ترانسفورماتور چند سیم‌پیچه. ۹- توپولوژی مدولار [۲].

۲- سیستم فتوولتاییک هیبرید

ترکیبی از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند سیستم‌های فتوولتاییک و توربین‌های بادی با موتور ژنراتورها و سیستم‌های ذخیره ساز به عنوان یک جایگزین مناسب برای سیستم‌های تامین توان مرسوم در مناطق دوردست شناخته می شوند. این نوع سیستم‌ها به طور کلی به سیستم‌های هیبرید معروف هستند. سیستم‌های هیبرد معمولاً متصل به شبکه نمی‌باشند، هرچند در مواردی امکان اتصال به شبکه‌ی آن‌ها نیز وجود دارد. در هنگام اتصال به شبکه وجود یک کنترل‌کننده که وظیفه‌ی اصلی آن کنترل تولید توسط منابع مختلف موجود در سیستم هیبرید و مانیتورینگ شبکه برای حفظ پایداری آن می‌باشد. به دلیل استفاده از دو یا چند منبع

مختلف انرژی، سیستم‌های هیبرید در مقایسه با سیستم‌های دارای یک منبع انرژی (مانند سیستم فتوولتاییک مستقل از شبکه) دارای ضریب اطمینان بیشتری می‌باشند. شکل ۴ نمودار بلوکی یک سیستم هیبرید فتوولتاییک–دیزل را نشان می‌دهد [۱].

به دلیل داشتن دو یا چند تولید کننده‌ی توان، سیستم‌های هیبرید نسبت سیستم‌های مستقل از شبکه نیاز به سیستم‌های پیچیده‌تر کنترل دارند. برای مثال در یک سیستم هیبرید فتوولتاییک–دیزل، ژنراتور دیزل می-بایست در هنگام عدم تولید برق خورشیدی و تخلیه‌ی باتری تا مقدار تعیین شده شروع به تولید توان و هنگامیکه باتری به مقدار تعیین شده شارژ گردید، توقف کند. از ژنراتور پشتیبان در سیستم‌های هیبرید می-توان فقط برای شارژ باتری و یا برای تغذیه‌ی بارها در مواقع نیاز استفاده نمود [۵].

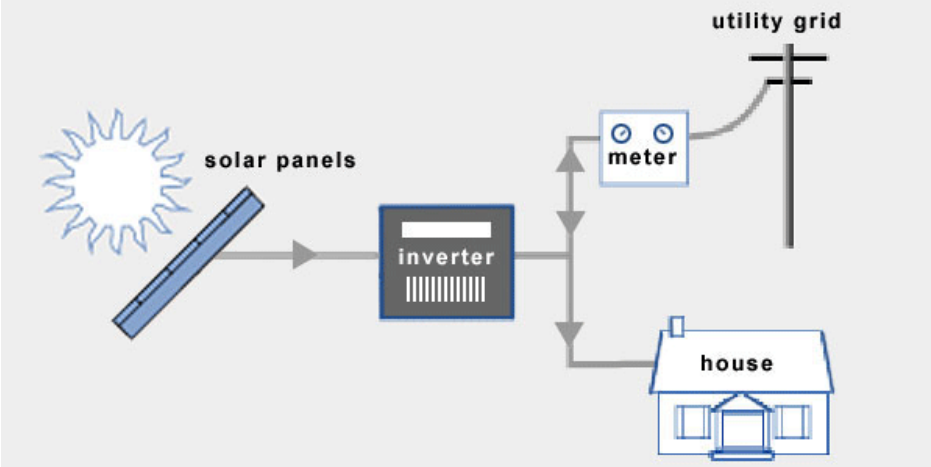


شکل (۴): نمودار بلوکی یک سیستم هیبرید فتوولتاییک–دیزل [۱]

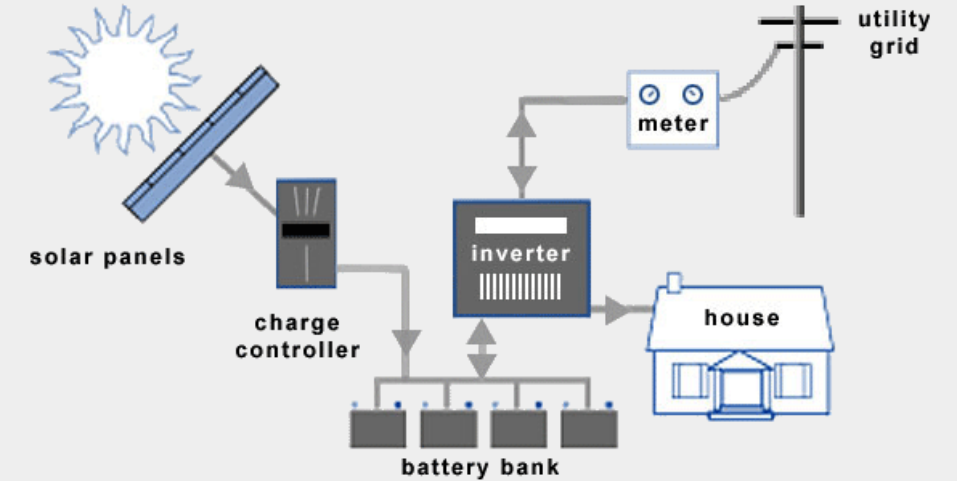
۳- سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه (Grid-connected)

به سیستم‌های فتوولتاییک که خروجی AC اینورتر آن‌ها به شبکه برق متصل باشد، سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه می‌گویند. این سیستم‌ها می‌توانند دارای سیستم‌های ذخیره‌ساز (مانند باتری) نیز باشند.

شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب دو سیستم متصل به شبکه بدون سیستم ذخیره‌ساز و با سیستم ذخیره‌ساز را نمایش می‌دهد [۱].



شکل (۵): شمای یک سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه بدون ذخیره‌ساز [۴]



شکل (۶): شمای یک سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه با ذخیره‌ساز [۴]

در سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه یک اینورتر به عنوان رابط بین پنل‌های خورشیدی و شبکه برق قرار دارد. جریان DC تولید شده توسط سلول‌های خورشیدی توسط این اینورتر برای تغذیه شبکه به AC تبدیل می‌شود. اینورترهای متصل به شبکه می‌بایست دارای مشخصه‌هایی از قبیل خروجی سینوسی با

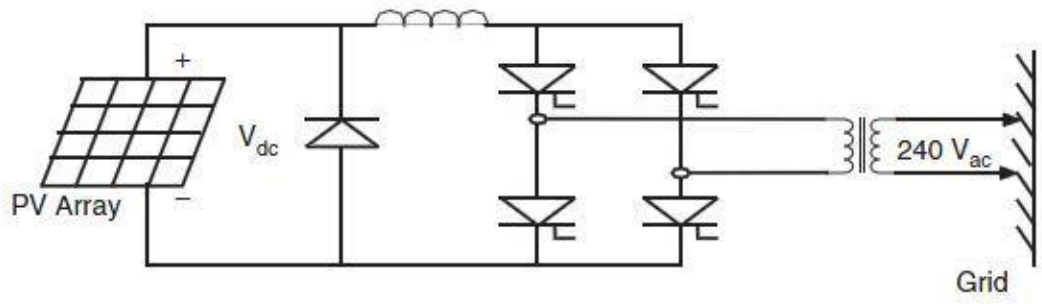
کیفیت، پیروی از ولتاژ و فرکانس شبکه، استخراج توان ماکزیمم از پنل‌های خورشیدی و مشاهده تمام فازهای شبکه باشند.

توپولوژهای اینورترهای فتوولتاییک متصل به شبکه

انواع مختلفی از اینورترها در سیستم‌های متصل به شبکه استفاده می‌شوند که در ادامه بیان شده‌اند.

- **اینورتر با کموتاسیون خطی**

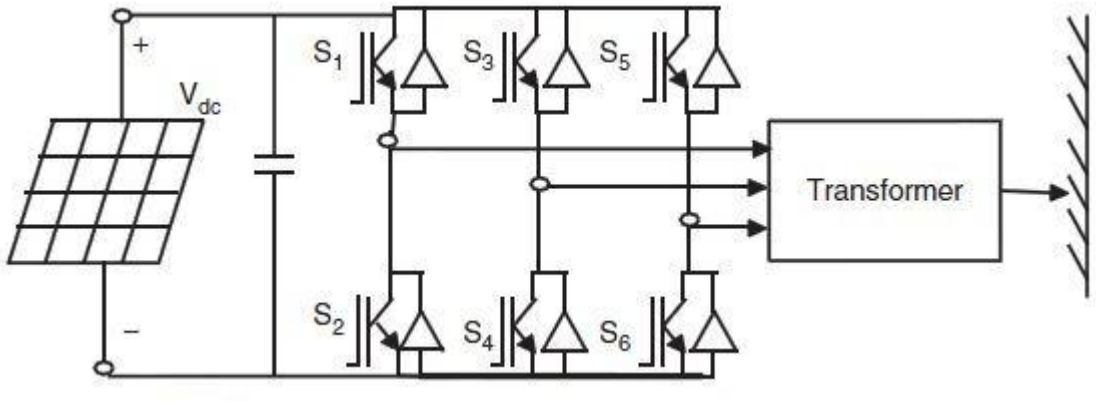
این نوع از اینورترها که شکل مدار آنها در شکل ۷ نشان داده شده به طور معمول در کاربردهای موتورهای الکتریکی استفاده می‌شوند. برای استفاده در سیستم‌های خورشیدی به یک الگوریتم ردیابی حداکثر توان نیاز می‌باشد. اگرچه قیمت این نوع اینورترها پایین است، اما کیفیت و ضریب توان هم به همان نسبت پایین می‌باشد. همچنین هارمونیک‌های تزریق شده به شبکه توسط این اینورترها در صورت استفاده نکردن از فیلترهای مناسب زیاد می‌باشد. برای ایزولاسیون الکتریکی می‌توان از ترانس‌ها و برای بهبود ضریب توان پس فاز از جبران ساز توان راکتیو استفاده نمود [۱].



شکل (۷): اینورتر تکفاز با کموتاسیون خطی [۱]

- **اینورتر با کموتاسیون خودی**

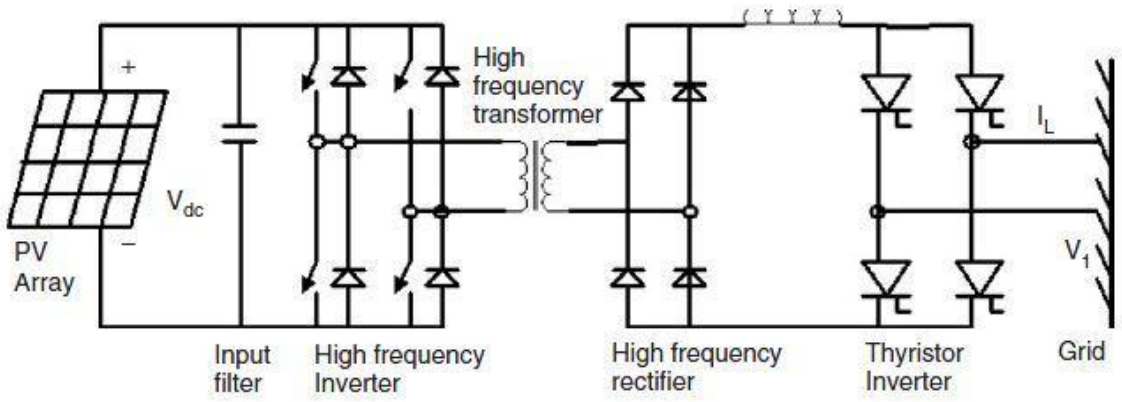
این نوع اینورترها که مدار آن‌ها در شکل ۸ نمایش داده شده می‌توانند با استفاده از روش مدولاسیون پهنای پالس برای کنترل سوییچینگ در سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه استفاده شوند. امروزه اکثر اینورتر ها کموتاسیون خودی هستند [۱].



شکل (۸):اینورتر سه فاز با کموتاسیون خودی و سوییچینگ مدولاسیون پهنای پالس [۱]

- **اینورتر با ترانسفورماتور فرکانس بالا**

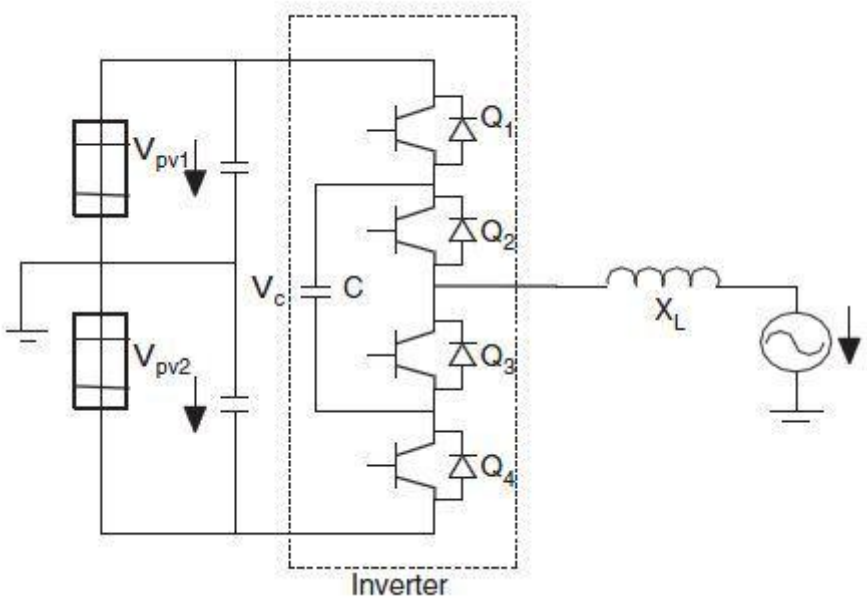
یک ترانسفورماتور $۵۰Hz$ برای اینورتر PWM یک سیستم فتوولتاییک استاندارد می‌تواند بسیار سنگین و هزینه بر باشد. به همین خاطر بهتر است از ترانسفورماتورهای فرکانس بالا با هسته فریت استفاده شود. شکل ۹ یک سیستم فتوولتاییک متصل به شبکه با ترانسفورماتور فرکانس بالا نمایش داده است. به طور معمول برای اینورترهای سیستم‌های خورشیدی نصب شده بر روی سقف منازل با توان کمتر از kW ۳ از ایزولاسیون ترانسفورماتور های فرکانس بالا استفاده می‌شود [۱].



شکل (۹): اینورتر فتوولتاییک با ترانسفورماتور فرکانس بالا [۱]

- **مبدل های چند سطحی**

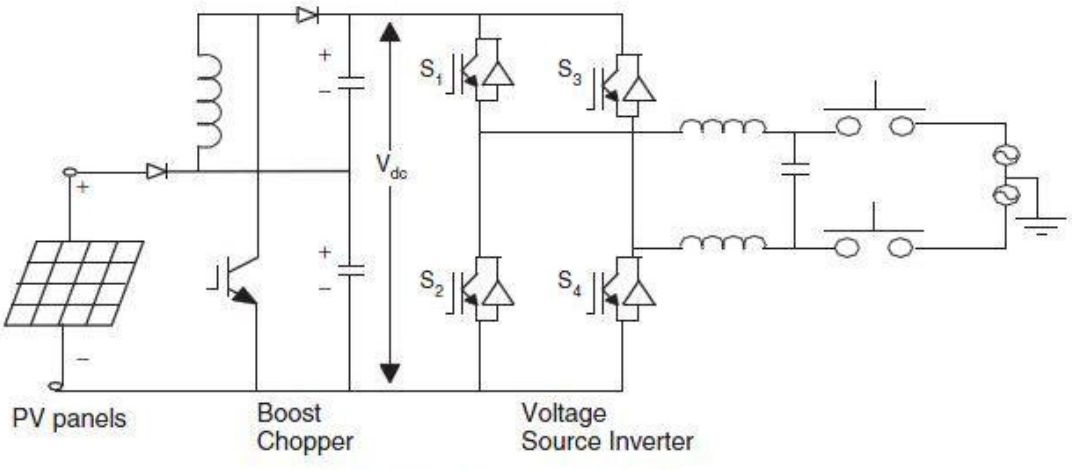
مبدل های چند سطحی را می توان در سیستم‌های فتوولتاییک بزرگ که در آن چندین پنل خورشیدی برای ایجاد گام‌های ولتاژ پیکربندی شده‌اند، استفاده کرد. این مبدل‌های منبع ولتاژ چندخطی نه تنها توانایی تولید شکل موج‌های پلکانی را دارند، بلکه می توانند از ولتاژهای DC در سطوح مختلف، ولتاژ AC ترمینال خروجی را به وجود آورند. این مبدل به نسبت دیگر انواع دارای پیچیدگی کمتر و نیازمند فیلترهای کمتری می‌باشد. یک نمونه از این نوع مبدل‌ها که در آن از ترانسفورماتوری استفاده نشده در شکل ۱۰ نمایش داده شده است [۱].



شکل (۱۰): اینورتر فتوولتاییک سه فاز diode-clamped نیم پل [۱]

- **منبع ولتاژ غیر ایزوله**

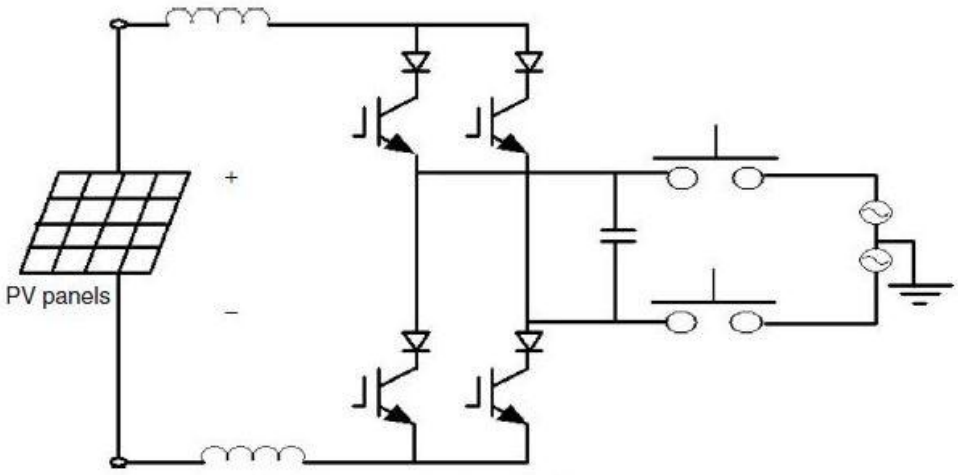
در این طرح رشته‌ای از پنل‌های خورشیدی ولتاژ پایین و یا یک واحد با ولتاژ بالا را می‌توان از طریق یک مبدل DC به DC و یک اینورتر منبع ولتاژ به شبکه متصل کرد. در این توپولوژی که در شکل ۱۱ نمایش داده شده، می‌توان از سوییچینگ PWM برای تولید خروجی AC استفاده نمود [۱].



شکل (۱۱): منبع ولتاژ غیر ایزوله [۱]

- **منبع جریان غیر ایزوله**

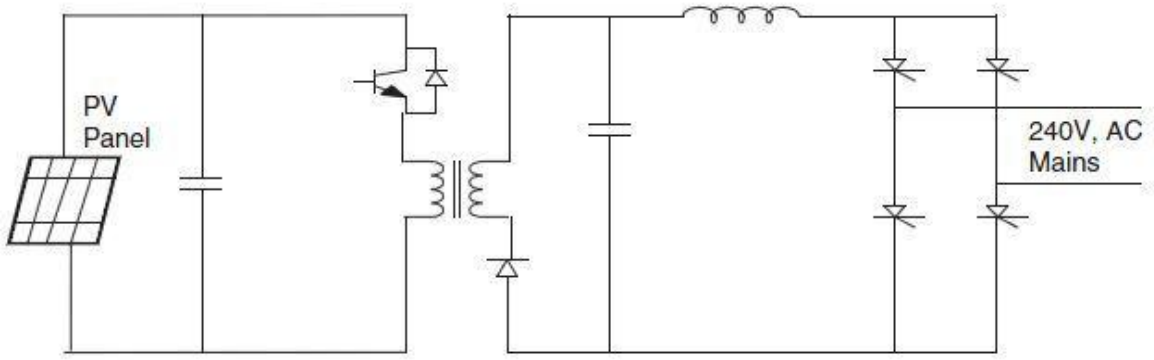
این توپولوژی که در شکل ۱۲ نشان داده شده دارای قیمت پایین و بازده نسبتاً خوبی می‌باشد. برای کاهش هارمونیک‌های جریان می توان از یک کنترل کننده مناسب استفاده کرد [۱].



شکل (۱۲): منبع جریان غیر ایزوله [۱]

- **مبدل فلای‌بک (Flyback)**

در این نوع مبدل سطح ولتاژ سیستم فتوولتاییک ابتدا به سطح باس DC می‌رسد. سپس توسط یک مبدل PWM به شبکه متصل می شود. این توپولوژی که در شکل ۱۳ دیده می‌شود از پیچیدگی و تعداد سوییچ-های کمتری از سایر توپولوژی‌ها می‌باشد. به همین خاطر می توانند گزینه مناسبی برای استفاده در مناطق دوردست باشند [۱].



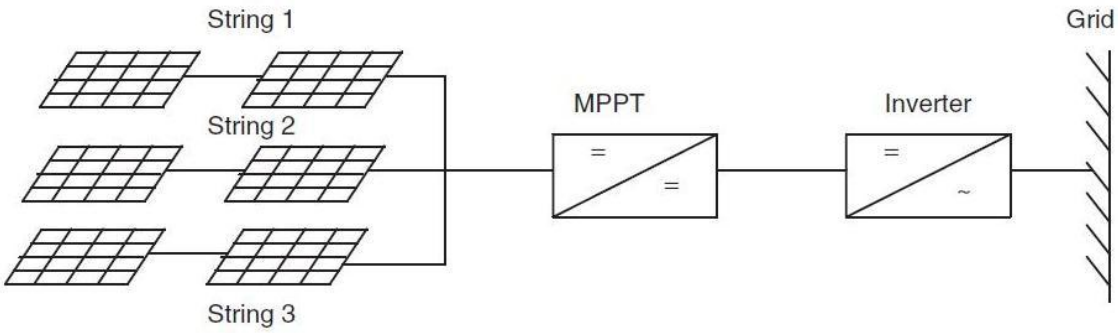
شکل (۱۳): مبدل فلای‌بک [۱]

پیکربندی سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه

به طور کلی چهار نوع پیکربندی بر اساس نوع اینورتر و مبدل DC استفاده شده در سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه که دارای باتری نیستند، تعریف شده است که عبارتند از: ۱- اینورتر مرکزی. ۲- مبدل‌های DC در هر رشته با یک اینورتر خروجی. ۳- اینورترهای مجزا برای هر رشته. ۴- میکرو اینورتر.

۱- اینورتر مرکزی (*Central plant inverter*)

این نوع سیستم‌ها معمولاً دارای یک اینورتر با ظرفیت بالا هستند که از سمت ورودی به یک مبدل بزرگ DC، و از سمت خروجی به شبکه برق متصل می‌باشند. پنل‌های خورشیدی به صورت سری به هم متصل و تشکیل رشته‌هایی می دهند. سپس این رشته‌ها به صورت موازی به هم وصل و در نهایت برای رسیدن به سطح ولتاژ مناسب برای اینورتر و همچنین ردیابی حداکثر توان به مبدل DC متصل می‌شوند. شکل ۱۴ چگونگی اتصال اجزای این نوع سیستم‌ها را نشان می‌دهد [۱].



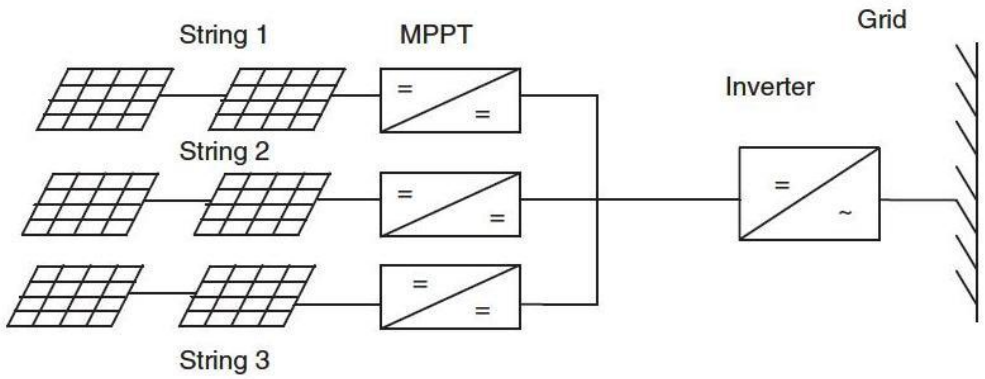
شکل (۱۴): شمای سیستم فتوولتاییک با اینورتر مرکزی [۱]

اینورترهای مرکزی معمولاً دارای توان خروجی ۱۰۰ kW تا ۱۰۰۰ kW می‌باشند [۴]. از سازندگان اصلی این نوع اینورترها می‌توان به ABB و SMA اشاره نمود.

اینورترهای مرکزی با توپولوژی‌های مختلف و با در نظر گرفتن فاکتورهای متعددی طراحی می شوند. یکی از مهمترین آن‌ها استفاده از توپولوژی ایزوله ($isolated$) و یا غیر ایزوله ($non\text{-}isolated$) می‌باشد. فاکتور مهم دیگر در طراحی تصمیم برای وجود قسمت افزاینده (بوست) در اینورتر می‌باشد. از موارد با اهمیت دیگر در طراحی اینورتر مرکزی می‌توان به وجود و یا عدم وجود ترانسفورماتور با تپ‌های چندگانه و همچنین قابلیت مدیریت توان راکتیو در این اینورترها اشاره نمود.

۲- مبدل‌های DC در هر رشته با یک اینورتر خروجی ($Multiple\ String\ DC\ Converter$)

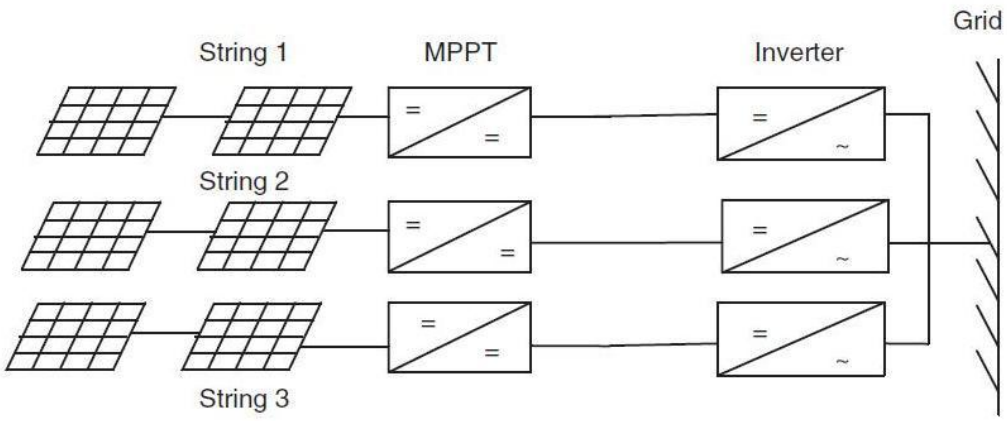
در این نوع از سیستم‌های فتوولتاییک متصل به شبکه همانطور که در شکل ۱۵ مشخص شده هر رشته از پنل‌های خورشیدی دارای یک مبدل بوست جداگانه با ایزولاسیون ترانسفورماتور می‌باشد. خروجی این مبدل‌ها از طریق یک لینک DC به ورودی یک اینورتر متصل می‌شود. در این پیکربندی محدوده‌ی توان نامی اینورترهای چند رشته‌ای ($multi\text{-}string\ inverter$) کمتر از ۱۰۰$kW$ (اینورترهای مرکزی) و معمولاً در حدود ۲۰ kW تا ۲۵ kW می‌باشد [۴].



شکل (۱۵): شمای سیستم فتوولتاییک با اینورتر چند رشته‌ای [۱]

۳- اینورترهای مجزا برای هر رشته (*Multiple String Inverters*)

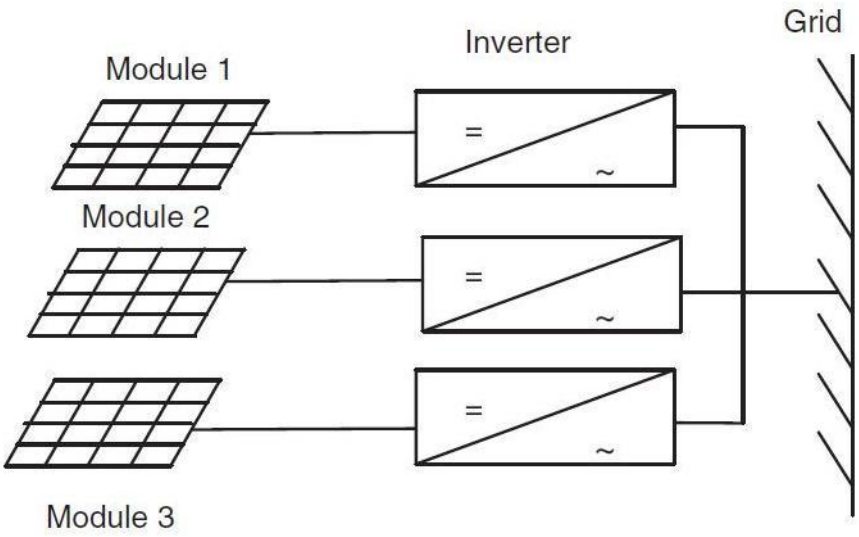
همانگونه که در شکل ۱۶ مشخص شده در این سیستم‌ها هر رشته از پنل‌های خورشیدی دارای اینورتر جداگانه‌ای می‌باشند. این اینورترها از سمت خروجی به هم و در نهایت به شبکه برق متصل می‌شوند. این اینورترها که به اینورترهای رشته‌ای (*string inverter*) معروف هستند، دارای توان نامی زیر ۲۰ *kW* (کمتر از اینورترهای چند رشته‌ای) می‌باشند [۴]. شرکت‌های *ABB* و *SMA* از تولیدکنندگان عمده‌ی این نوع اینورترها می‌باشند.



شکل (۱۶): شمای سیستم فتوولتاییک با اینورتر رشته‌ای [۱]

۴- میکرو اینورترها (*Micro Inverters*)

میکرو اینورترها به طور مجزا برای هر پنل خورشیدی استفاده می‌شوند (شکل ۱۷). این بدین معناست که تمام وظایف افزایش سطح ولتاژ، ردیابی حداکثر توان ، تبدیل توان *DC* به *AC* و غیره می بایست توسط این اینورترهای کوچک (با بازه توانی حدود ۳۰۰ وات) انجام گیرد. سیستم‌های فتوولتاییکی که در آن‌ها از میکرو اینورترها استفاده می‌شود برعکس سیستم هایی با اینورترهای مرکزی و اینورترهای مجزا برای هر رشته دارای رشته ها و کابل‌های *DC* نمی‌باشند. از میکرو اینورترها می‌توان در هریک از انواع متصل به شبکه و مستقل از شبکه سیستم‌های فتوولتاییک استفاده نمود. از معروف‌ترین سازندگان میکرو اینورتر در جهان می‌توان از شرکت‌های *SMA*، *Enphase* و *PowerOne* نام برد.



شکل (۱۷): شمای سیستم فتوولتاییک با میکرو اینورتر [۱]

مراجع

[۱] M. Rashid. POWER ELECTRONICS HANDBOOK. Elsevier Science, 2011.

[۲] Mark Hankins. 2010. Stand-Alone Solar Electric Systems: The Earthscan Expert Handbook on Planning, Design and Installation. Earthscan Publications, Limited.

[۳] Mathias Aarre Mæhlum, Grid-Tied, Off-Grid and Hybrid Solar Systems. URL: http://energyinformative.org/grid-tied-off-grid-and-hybrid-solar-systems/

[۴] ABB solar inverters, one of the broadest offerings in the industry, BCB.00076 Rev. D EN 23.03.2015.

[۵] Miro Zeman, Solar Cells, Chapter 9. Photovoltaic Systems, Delft University of Technology

معرفی افراد توانمند



دکتر خوزه رودریگز

دکتر خوزه رودریگز[1] مدرک خود در رشته‌ی مهندسی برق را از دانشگاه فدریکو سانتا ماریا [2] در شیلی در سال ۱۹۷۷ اخذ نمود. ایشان هم‌چنین مدرک دکترای خود را از دانشگاه ارلانگن[3] در آلمان در سال ۱۹۸۵ گرفت. ایشان در حال حاضر به عنوان استاد تمام در دانشکده مهندسی الکترونیک دانشگاه فدریکو سانتا ماریا فعالیت می‌کنند. دکتر رودریگز در تهیه و تدوین بیش از ۳۰۰ مقاله در ژورنال‌ها و کنفرانس‌های مختلف همکاری کرده است. از علایق پژوهشی ایشان می‌توان به اینورترهای چندسطحی، توپولوژی‌های نوین مبدل‌ها، کنترل مبدل‌های توان و درایوهایی با سرعت قابل تنظیم اشاره نمود.

از سال ۲۰۰۲ ایشان به عنوان معاون سردبیر مجلات *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS* و *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS* فعالیت می‌کنند و پژوهشهای ایشان در زمینه‌های مختلف الکترونیک قدرت قابل توجه می‌باشد. جوایز بهترین مقالات در *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS* در سال ۲۰۰۷، *IEEE INDUSTRIAL ELECTRONICS MAGAZINE* در سال ۲۰۰۸ و *IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS* در سال ۲۰۱۰ به ایشان تعلق گرفته است. دکتر رودریگز هم‌چنین عضو آکادمی مهندسی شیلی می باشد.

[1] Dr. Jose Rodriguez
[2] Universidad Federico Santa Maria (UTFSM)
[3] University of Erlangen

پژوهش

پیاده‌سازی ولو تریستوری ۶/۶ کیلوولت با بار اندوکتیو

نویسندگان: محمد مرامی‌ساران[۱]، بهروز عارضی[۲]

چکیده: در این مقاله طراحی و ساخت درایور تریستورهای سری در ولو تریستوری ۶/۶ کیلو ولت تشریح می‌گردد. یکی از عمده مشکلات درایور ولو تریستوری ولتاژ بالا تامین تغذیه است. در این طرح برای تامین تغذیه درایورها از جریان شاخه اسنابر تریستورها استفاده شده است. به این ترتیب نیاز به تامین تغذیه از سطح پتانسیل صفر و تبعات استفاده از آن روشها بر طرف شده است. در درایور مذکور برای انتقال سیگنالهای فرمان و حفظ ایزولاسیون بین سیستم کنترل و ولو از فیبرهای نوری استفاده شده است. همچنین جهت حفاظت تریستورها در برابر اضافه ولتاژ از نیمه هادی BOD استفاده شده است. همچنین جهت جلوگیری از آتش شدن ناخواسته تریستورها به خاطر وجود نویزهای موجود در محیط، سیگنالهای آتش به صورت کد شده ارسال و در درایور رمزگشائی می‌شود. به منظور اطمینان از عملکرد صحیح کارتهای درایو سیگنال فیدبکی از طریق فیبر نوری به سیستم کنترل در پتانسیل صفر ارسال می‌شود. این درایور در یک TCR ۶/۶ کیلو ولت در پژوهشگاه نیرو پیاده سازی و آزمایش شده است.

کلید واژه: کنترل توان راکتیو، درایور تریستور، حفاظت اضافه ولتاژ، سری کردن تریستور

مقدمه

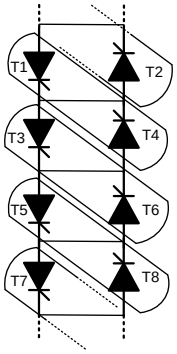
امروزه استفاده از SVC[۳] ها در سیستم های قدرت به منظور کنترل توان راکتیو به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته است. ولو تریستوری TCR[۴] مورد استفاده در SVC به منظور کنترل پیوسته سوسپتانس راکتور

[۱] – کارشناس پژوهشی گروه الکترونیک قدرت، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: mmarami@nri.ac.ir
[۲] – کارشناس پژوهشی گروه الکترونیک قدرت، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: barezi@nri.ac.ir

3 -Static Var Compensator
4 - Thyristor Controlled Reactor

مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساختار ولو تریستوری شامل اتصال سری سطوح تریستوری به یکدیگر است، که در آن هر سطح از دو عدد تریستور موازی معکوس تشکیل شده است [۱]. عملکرد صحیح ولو تریستوری و اعمال کنترل مورد نظر سیستم بر سوسپتانس راکتور مستلزم ارسال همزمان فرمان آتش به گیت تریستورها در سطوح مختلف است. این امر توسط مدار الکترونیکی درایو گیت تریستورهای ولو TCR صورت می‌گیرد. به این کارتها اصطلاحاً TE[1] اطلاق می‌شود[۲].

شکل(۱) یک ولو تریستوری را نشان می‌دهد که در آن تریستورهای (T1-T4) و (T3-T6) و (T5-T8) دو به دو کاتدهای مشترک دارند. بنابراین درایو این تریستورها هم پتانسیل هستند و می‌توانند از طریق یک منبع تغذیه و بر روی یک کارت الکترونیکی قرار گیرند.



شکل (۱): شمای کلی ولو تریستوری

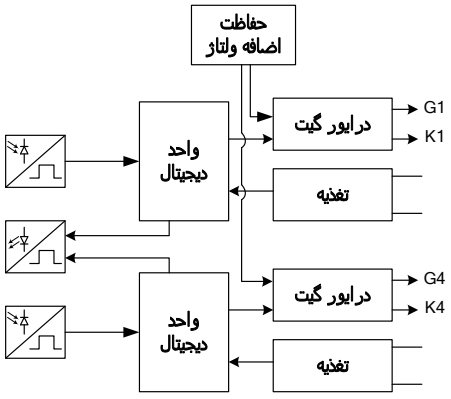
از بین روشهای موجود برای تامین تغذیه مدار درایور گیت تریستورها در ولو تریستوری، روشهای مبتنی بر تامین توان مورد نیاز کارت درایو از پتانسیل صفر (از جمله استفاده از مدار تغذیه سوئیچینگ در سطح پتانسیل صفر [۱]) به دلیل ملاحظات EMC و حجیم بودن ناشی از ملاحظات عایق‌بندی و ایزولاسیون گزینه مناسبی برای این هدف تشخیص داده نشدند.

1- *Thyristor Electronic*

نهایتاً روشی که انتخاب شد، مبتنی بر تامین این توان از دو سر آند-کاتد هر تریستور در سطح مورد نظر (یک مدار تغذیه برای هر سطح مجزا در ولو) و در واقع استفاده از جریان شاخه اسنابر آن سطح در حالت قطع و لحظه سوئیچ‌زنی می‌باشد.

پیکره‌بندی سیستم

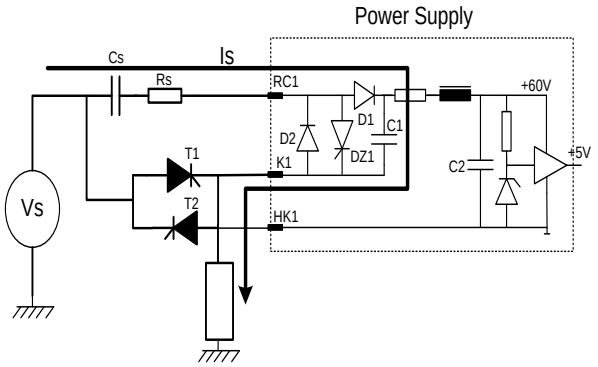
مطابق شکل (۲) مدار TE شامل دو بخش مشابه برای درایو دو تریستور کاتد مشترک می‌باشد که شامل: گیرنده نوری، بخش دیجیتال، تقویت کننده پالس گیت، تغذیه و مدار حفاظت اضافه ولتاژ است. سیگنالهای آتش از طریق فیبر نوری به گیرنده نوری ارسال می‌شود. در این بخش سیگنالهای نوری به الکتریکی تبدیل و به واحد دیجیتال ارسال می‌شوند.



شکل (۲): شمای کلی از مدار درایور تریستور (*TE*)

واحد دیجیتال پس از رمزگشائی سیگنال آتش را به بخش درایور گیت ارسال می‌کند. در این بخش پالس جریان گیت تریستور تولید می‌شود. پس از روشن شدن تریستور واحد دیجیتال از طریق فرستنده نوری یک پالس Report برای بخش کنترل و مانیتورینگ در سطح پتانسیل صفر ارسال می‌کند. از آنجائیکه فرمان

های آتش و در پی آن سیگنال Report برای هر دو درایور موجود در TE در دو سیکل مختلف هستند بنابراین با یک فرستنده نوری می‌توان سیگنالهای Report را ارسال کرد و نیازی به دو فرستنده نوری نیست.



شکل (۳): نحوه تامین تغذیه از اسنابر تریستورها

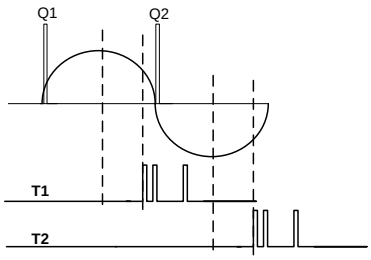
در شکل (۳) شماتیک ساده ای از منبع تغذیه و نحوه اتصال آن در مدار ولو مشاهده می‌شود. مطابق این شکل در زمانیکه سوئیچ خاموش است در سیکل مثبت جریان عبوری از اسنابر از طریق دیود D1 خازن C1 را شارژ می‌کند و جریان سیکل منفی هم از طریق D2 به منبع تغذیه اصلی بر می‌گردد. در صورتی که ولتاژ خازن C1 از 60V بیشتر شد تریستور DZ1 روشن می‌شود و منبع تغذیه را بای‌پس می‌کند. طبقه دوم منبع تغذیه هم وظیفه کاهش ولتاژ ۶۰ ولت به ولتاژ پائین‌تر قابل استفاده در مدارات آنالوگ و دیجیتال را بر عهده دارد.

استفاده از رگولاتور خطی در کاهش ولتاژ از سطح ۶۰ ولت به سطح ۱۲ و ۵ ولت تلفات زیادی به همراه دارد و از آنجائیکه تامین تغذیه کارت درایور از طریق اسنابر انجام می‌شود و محدود است بنابراین این

روش مناسب نیست. برای حل این مسئله از مبدل dc به dc مدل MIW2033 محصول شرکت Minmax استفاده شده است.

طراحی مدار دریافت پالس‌های آتش

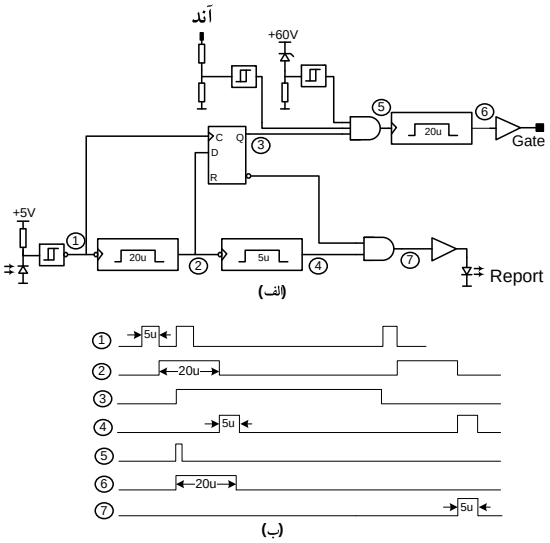
به منظور Firing مطمئن گیت تریستورهای ولو تریستوری و همچنین جلوگیری از آتش شدن ناخواسته تریستورها در این محیط نویزی (dv/dt و di/dtهای بزرگ ناشی از کلید زنی ولو تریستوری) به جای ارسال یک پالس آتش، دو پالس آتش با پهنای مشخص و فاصله زمانی ثابت از هم از بخش کنترل به TE ارسال می‌گردد و در آنجا دیکد گشته و پالس نهایی که به مدار Pulse Amplifire ارسال می‌گردد تولید می‌شود. البته الگوی پالس ارسالی از کنترل به TE، یک پالس سومی را هم شامل می‌شود که به منظور تولید Status Report و ارسال به کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳].



شکل (۴): الگوی پالس تولید شده در بخش کنترل جهت ارسال به *TE*

در شکل (۴) الگوی پالس تولید شده در بخش کنترل نشان داده شده است. مطابق شکل (۴) به ازای هر پالس فرمان آتش ۳ پالس با عرض ۵ میکروثانیه تولید می‌شود.اگر با دریافت پالس اول بعد از حداقل ۵

میکروثانیه پالس دوم دریافت نشود خروجی پالس دیکدر این پالس را نویز تلقی خواهد کرد و فرمان آتش ارسال نخواهد شد.



شکل (۵): (الف):مدار رمزگشا (ب) سیگنالهای هر بخش

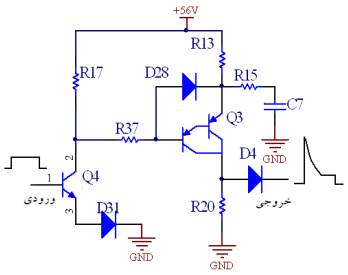
شکل (۵ الف) دیاگرام رمزگشا را نشان می‌دهد. در شکل (۵ ب) سیگنال در نقاط مختلف این طرح نشان داده شده است.

طراحی بخش درایور گیت

این بخش وظیفه تقویت سیگنال آتش که از بخش دیکدر ارسال می‌شود را بر عهده دارد. تریستور استفاده شده در این پروژه با نام تجاری 5STP08G6500 می‌باشد.

مدار طراحی شده برای درایو گیت در شکل (۶) ارائه شده است. در این شکل پالس فرمان ورودی، خرجی مدار پالس دیکودر است. این پالس پس از تقویت جریان توسط ترانزیستور دارلینگتون Q3 از طریق

دیود D4 به گیت تریستور اعمال می‌شود. خازن C7 به همراه مقاومت R15 جریان لحظه آتش شدن تریستور را تا دامنه ۴ آمپر افزایش می‌دهند. پهنای پالس فرمان ورودی حدود 20usec است.

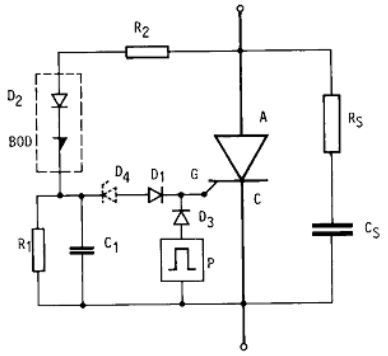


شکل (۶): مدار درایور گیت تریستور

حفاظت در برابر افزایش ولتاژ تریستور

توانائی تریستورها در سد کردن ولتاژ محدود بوده و برای تریستور مورد نظر 6500V است. از مهمترین دلایل بروز اضافه ولتاژ روی تریستورهای ولو علاوه بر اضافه ولتاژهای دینامیکی در شبکه و صاعقه، روشن نشدن تریستور است. به عبارتی در حین کلید زنی ولو اگر به هر دلیلی تریستور یک سطح روشن نشود (قطع بودن فیبر نوری در مسیر فرمان، افت تغذیه کارت TE یا ...) کل ولتاژ شبکه روی یک تریستور می‌افتد. بنابراین حفاظت تریستورها در مقابل اضافه ولتاژ، ضروری به نظر می‌رسد. یکی از مهمترین الزامات این حفاظت سرعت بالای عملکرد آن است و نیمه هادیهای BOD[1] برای این منظور مناسب هستند. زمان روشن شدن BOD ها معمولاً بین ۳ تا ۵ میکرو ثانیه است. در شکل (۷) مدار حفاظت اضافه ولتاژ تریستور بوسیله BOD نشان داده شده است. BOD بین آند و گیت تریستور قرار گرفته است و بوسیله مقاومت R2 جریان آن محدود می‌شود.

[1] *Break Over Diode*



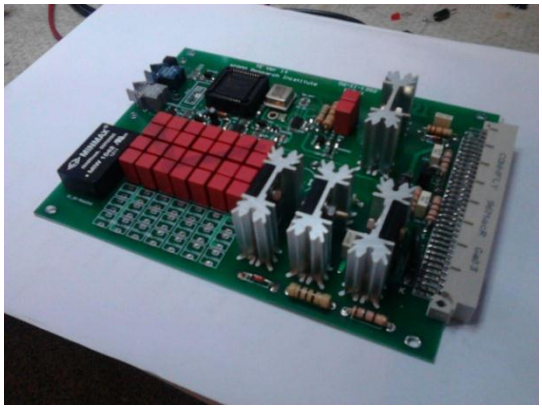
شکل (۷): مدار حفاظت ولتاژ تریستور بوسیله *BOD*

دیود D2 هم برای محافظت BOD در مقابل ولتاژهای معکوس بکار رفته است. فیلتر پایین گذر R1, C1 برای جلوگیری از جریانهای ناشی از dv/dt و روشن شدن ناخواسته تریستور بکار رفته‌اند. همه دیودهای D1، D2 و D3 باید از نوع سریع باشند. مقاومت های Rs و R2 بیشترین جریان عبوری از BOD را تعیین می‌کنند. البته در حالتی که افزایش ولتاژ سریع باشد ثابت زمانی زیاد RsCs موجب می‌شود که خازن Cs نتواند شارژ شود و فقط خازن داخلی تریستور شارژ می‌شود که در این حالت فقط مقاومت R2 نقش محدود کننده گی جریان را به عهده دارد.

حداکثر جریان مجاز BOD وابسته به تحمل حرارتی BOD در شرایط سوئیچ زنی متناوب و سرعت روشن شدن تریستور (زمان تاخیر tgd) است.

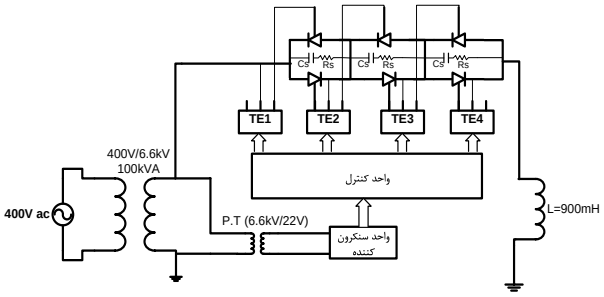
پیاده سازی و نتایج عملی

در شکل (۸) نمونه عملی کارت TE نشان داده شده است.



شکل (۸): نمونه عملی کارت *TE*

مطابق شکل (۸) کارت TE دارای دو مجموعه تقریبا مشابه است. بخش دیجیتالی این کارت (که شامل بلوکهای دیجیتالی شکل (۵) می‌باشد)، بوسیله CPLD شرکت Altera با نام تجاری EPM7064 پیاده سازی شده است. گیرنده و فرستنده نوری کارتهای TE به ترتیب SFH 551 و SGH756 هستند. برای تائید عملکرد کارت TE طراحی شده، یک ولو سه سطحی تک فاز TCR پیاده سازی شده است. در شکل (۹) شماتیک سیستم پیاده سازی شده و در شکل (۱۰) نمونه آزمایشگاهی آن نشان داده شده است.



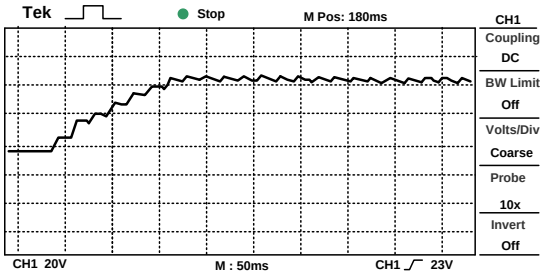
شکل (۹): شماتیک سیستم آزمایشگاهی *TCR*



شکل (۱۰): شماتیک سیستم آزمایشگاهی *TCR*

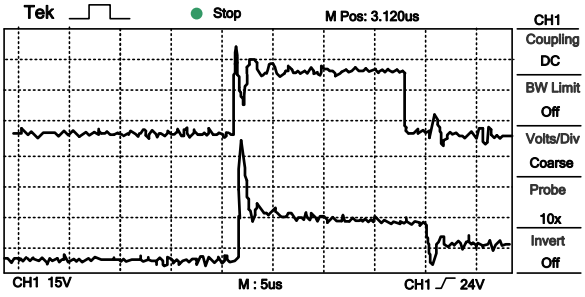
مطابق شکل (۹) سه زوج تریستوربه صورت سری قرار گرفته‌اند و از ۴ عدد کارت TE برای درایو تریستورها استفاده شده است. نیمه بالائی TE1 و نیمه پائینی TE4 استفاده نشده‌اند. با این آزمایش عملکرد کارتهای TE در حالت سری و برای درایو تریستورهای شاخه TCR بررسی شده است.

در شکل (۱۱) خروجی منبع تغذیه کارت TE (خازن C2 در شکل ۳) نشان داده شده است. ولتاژ تغذیه در مدت ۷ سیکل به مقدار نهائی 60V رسیده است.



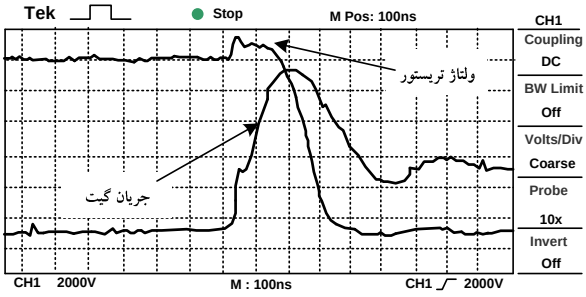
شکل (۱۱): منحنی خروجی منبع تغذیه کارت *TE*

در شکل (۱۲) پالس فرمان ورودی و پالس جریان اعمالی به تریستور نشان داده شده است.



شکل (۱۲): ورودی و خروجی درایور تریستور. (منحنی بالا): پالس ولتاژ ورودی (منحنی پائین): پالس جریان خروجی

مطابق شکل (۱۲)، زمان صعود پالس خروجی درایور کمتر از 1us می‌باشد. بیشترین جریان پالس ۴ آمپر و جریان حالت ماندگار آن ۱/۵ آمپر است.

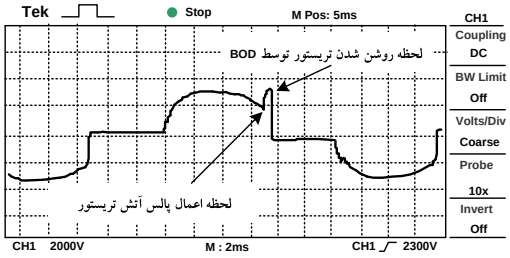


شکل (۱۳): لحظه روشن شدن تریستور پس از اعمال پالس آتش

در شکل (۱۳) لحظه روشن شدن تریستور پس از اعمال پالس آتش نشان داده شده است. مطابق شکل 0.7us پس از اعمال پالس آتش تریستور روشن شده است و ولتاژ دو سر آن با شیب تندی dv/dt=9 kv/us به صفر می‌رسد.

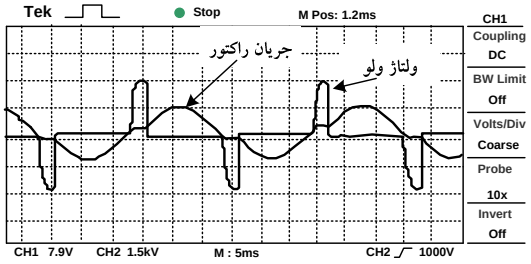
در ادامه عملکرد حفاظت اضافه ولتاژ آزمایش شده است. برای ایجاد اضافه ولتاژ روی یکی از تریستورها کابل فیبر نوری کارت TE همان تریستور از بخش کنترل جدا شده است. با این کار با روشن شدن بقیه تریستورها کل ولتاژ خط روی تریستور مورد نظر اعمال می‌شود. این ولتاژ باعث روشن شدن BOD و در

نتیجه باعث روشن شدن تریستور مورد نظر می‌شود و از آسیب رسیدن به آن جلوگیری می‌کند. در شکل (۱۴) منحنی ولتاژ دو سر تریستور زمانیکه سیگنال فرمان آتش به آن اعمال نمی‌شود، نشان داده شده است.

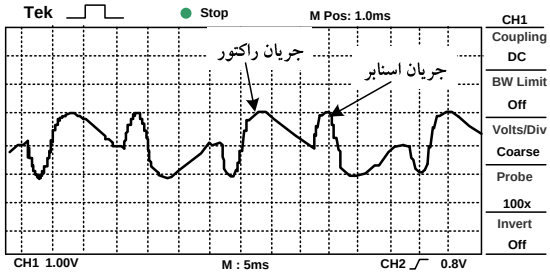


شکل (۱۴): حفاظت اضافه ولتاژ تریستور توسط *BOD*

همانطور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود در لحظه اعمال پالس آتش ولتاژ دو سر تریستور با سرعت زیادی افزایش می‌یابد. با رسیدن این ولتاژ به ولتاژ شکست BOD، باعث روشن شدن آن و در نتیجه موجب روشن شدن تریستور می‌شود. از آنجا که تغذیه کارت TE از جریان اسنابر همان سطح تامین می‌شود. امکان هدایت کامل تریستور (زاویه آتش 90 درجه) در حالت دائم وجود ندارد. زیرا در این شرایط ولتاژ سطح تریستوری صفر و متعاقبا جریان اسنابر آن نیز صفر می‌شود. بنابراین در این روش حداقل زاویه آتش محدود است. در ولو مورد نظر این مقاله بر مبنای محاسبات و شبیه‌سازیها حداقل زاویه آتش 100 درجه است که با در نظر گرفتن حاشیه امن مناسبی که حالتهای گذرای افت ولتاژ و خطای سیستم سنکرونیزاسیون (miss firing) را پوشش دهد حداقل زاویه آتش برابر 105 درجه در نظر گرفته شده است. در شکل (۱۵) عملکرد TCR تحت زاویه آتشهای 105 درجه و 150 درجه نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل (۱۵): عملکرد *TCR* تحت زاویه آتش‌های ۱۰۵ و ۱۵۰ درجه

(الف): ۱۰۵ درجه و (ب): ۱۵۰ درجه

نتیجه‌گیری

در این مقاله طراحی و ساخت درایور تریستورهای شاخه TCR بررسی شد. همانطور که توضیح داده شد کارتهای TE شامل سه بلوک کلی تغذیه، دریافت پالسهای آتش و دیکدر پالس فرمان و مدار درایو گیت تریستور است. معیار اصلی در طراحی تغذیه تامین پیوسته توان مورد نیاز کارت فرمان در کلیه زوایای آتش و محدوده مجاز نوسانات ولتاژ است. همانطور که از نتایج مشاهده شد در زوایای آتش ۱۰۵ و ۱۵۰ کارت TE عملکرد خوبی داشته است. در ادامه مدار دیکد کننده سیگنال پالس آتش طراحی شده است. مهمترین معیار طراحی مدار دریافت پالسهای آتش اطمینان از عدم پاسخ به پالسهای ناخواسته به عنوان سیگنال آتش است. برای پیاده سازی عملی مدار دیکدر پالس سعی بر آن بود که از روش آنالوگ برای پیاده سازی مونو

استابلهای موجود در مدار استفاد نشود، زیرا استفاده از آی سی های آنالوگ به عنوان مونواستابل در این محیط نویزی (کلید زنی ولتاژ و جریان مدار قدرت) عملا ممکن نیست. بنابراین مونواستابل‌ها بصورت دیجیتالی با آی سی‌های CPLD پیاده سازی شد. برای حفاظت اضافه ولتاژ تریستورها از نیمه هادی BOD استفاده شد و نتایج عملی نشان داد که عملکرد خوبی در حفاظت تریستورها دارد.

مراجع

[1]. *Frank Peter Wahl III, "Firing Series SCR at Medium Voltage: Understanding the Topologies Ensures the Optimum Gate Drive Selection" , Power Sys. World Conference Chicago, Illinois, Oct. 31,2002.*

[2]. *Ren Menggan et all. "Photoelectric Firing and On-line Monitoring System for High Voltage Thyristor Valve in TANGGANG SVC Project", p.p. 1446-1449, IEEE 2002.*

[3]. *HERBERT M. LAWATSCH AND JANIS VITINS, "Protection of Thyristors Against Overvoltage with Breakover Diodes", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, VOL. 24, NO. 3. MAYIJUNE 1988.*

[4]. *Zainalabedin Navabi-"Digital Design and Implementation with Field Programmable Devices",2005.*

معرفی و ارائه گزارش کنفرانس

هفتمین کنفرانس فناوری و سیستمهای الکترونیک قدرت و محرکه های الکتریکی



هفتمین کنفرانس فناوری و سیستمهای الکترونیک قدرت و محرکه های الکتریکی باهدف گرد هم آوردن دانشمندان دانشگاهی، مهندسان برجسته و پژوهشگران صنعت جهت تبادل نظر و به اشتراک گذاری تجارب و نتایج تحقیقات در مورد تمام جنبه های الکترونیک قدرت و با حضور دانشمندان مطرح بین المللی در دو محور عمده «مبدلهای الکترونیک قدرت و کاربردهای آنها» و «محرکه های الکتریکی»روزهای چهارشنبه و پنجشنبه ۲۸ و ۲۹ بهمن در دانشگاه علم و صنعت ایران برگزار شد.

این کنفرانس همه ساله به میزبانی دانشگاه های مختلف کشور برگزار می شود و دانشگاه علم و صنعت، میزبان هفتمین دوره آن بود.

روز سه شنبه ۲۷بهمن ماه نیز به برگزاری چهار کارگاه آموزشی اختصاص یافت.برگزاری کارگاه آموزشی 'سازگاری الکترومغناطیسی در مبدل های الکترونیک قدرت' توسط پروفسور شانون از دانشگاه گرونوبل فرانسه، کارگاه آموزشی 'طراحی مدارات کنترل الکترونیک قدرت با *FPGA*' توسط دکتر ذوالفقاری از دانشگاه صنعتی شریف، کارگاه 'معرفی پردازنده های *DSP*' توسط دکتر مدنی از دانشگاه اصفهان و کارگاه 'کاربرد مبدل های الکترونیک قدرت در حمل و نقل ریلی' توسط مهندس فرزین از جهاد دانشگاهی ، از جمله برنامه های کنفرانس بود.

دکتر 'داوود عرب خابوری' رئیس هفتمین کنفرانس فناوری و سیستمهای الکترونیک قدرت و محرکه های الکتریکی آمار مقالات ارسالی به دبیرخانه هفتمین کنفرانس فناوری و سیستمهای الکترونیک قدرت و محرکه های الکتریکی را ۲۱۰ مقاله ذکر کرد و گفت: تعداد ۱۱۴ مقاله توسط هیات داوران برای ارائه در کنفرانس برگزیده شدند که ۷۰ مقاله به صورت شفاهی و بقیه در قالب پوستر به زبان انگلیسی ارائه گردید.

تمامی مقالات ارسالی به دبیرخانه کنفرانس در سایت بین المللی ' *IEEE* ' نمایه خواهند شد و به این ترتیب، این مقالات در سراسر جهان قابل دسترسی و استناد خواهند بود. نکته قابل ذکر در خصوص این کنفرانس ارائه تمامی مقالات به زبان انگلیسی میباشد.

نشست اول کنفرانس با عنوان "آینده الکترونیک قدرت، مطالعه حال و روندها از طریق کاربردها" با ارائه پروفسور 'رودریگز' از کشور شیلی برگزار شد. در این نشست سیر تکاملی تکنولوژی الکترونیک قدرت از دو منظر نیمه هادی و ریزپردازنده ها، توپولوژیهای موجود اعم از چندسطحی و ماتریسی، روشهای کنترلی مختلف و کاربردهای متنوع در صنایع، روشنایی، حمل و نقل اعم از دوچرخه و خودرو

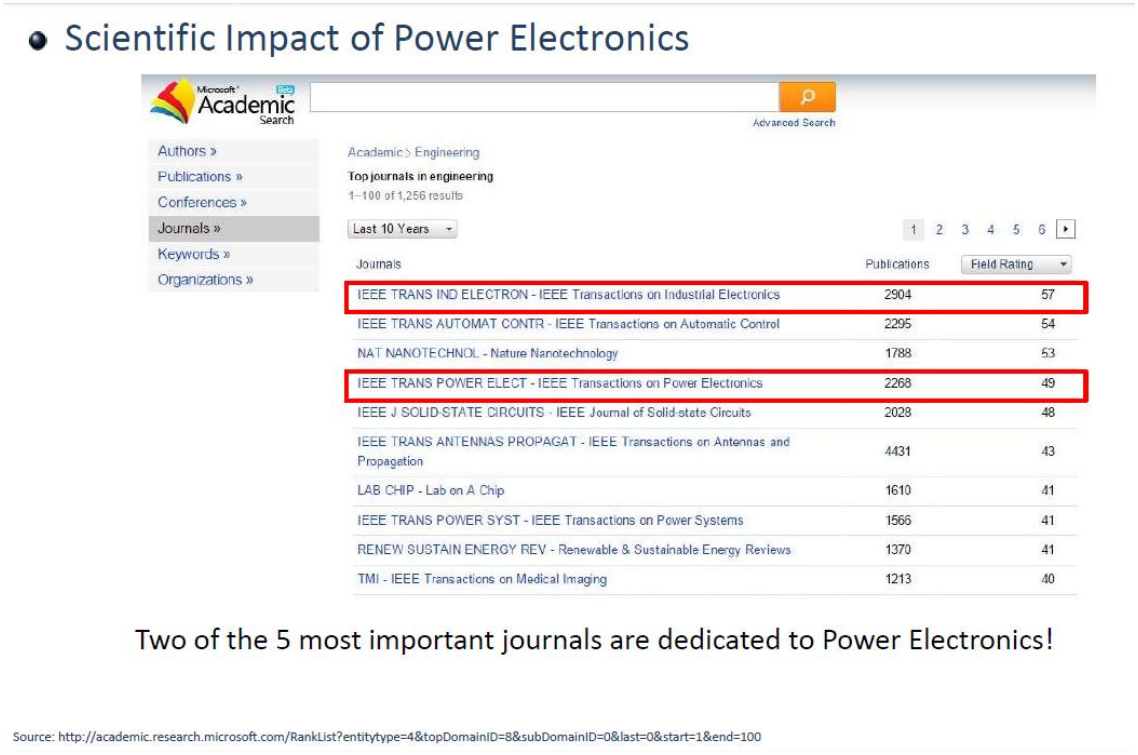
برقی و حمل و نقل دریایی و هوایی، انرژیهای تجدیدپذیر و همچنین کاربرد در سیستمهای قدرت مورد بحث و تبادل نظر قرار گرفت.



برخی از کاربردهای الکترونیک قدرت

همچنین اشاره گردید که دو نشریه از پنج نشریه معتبر دنیا در زمینه تخصصی برق به الکترونیک قدرت اختصاص داده شده است که این موضوع اهمیت توجه بیشتر به این فیلد کاری را نمایان می سازد.

Power electronics has a bright future!!



پس از آن سمیناری در خصوص آینده پیش روی انرژی خورشیدی توسط آقای مهندس صادق زاده ارائه گردید.

در روز دوم نیز نشستی با عنوان 'کاربرد مبدل های الکترونیک قدرت در ریزشبکه ها' و با حضور دکتر Stefan Krauter از کشور آلمان برگزار شد و مباحث مربوط به کاربرد مبدل های الکترونیک قدرت در حوزه انرژی های نو همچون فتولتائیک و توربین های بادی در این نشست به بحث و بررسی گذاشته شد.

همچنین نشست دیگری با عنوان "پیشرفتهای اخیر در اینورترهای فتوولتائیک متصل به شبکه، بررسی روندهای آکادمیک و صنعت" با حضور دکتر شاهرخ فرهنگی از دانشگاه تهران برگزار شد.

قرار است دوره آتی این کنفرانس سال آینده در دانشگاه فردوسی مشهد برگزار شود.

پژوهش

طراحی سیستم کنترلی برای فیلتر فعال بر مبنای کاهش نامتعادلی جریان در شبکه‌های نامتعادل

نویسندگان: حسن فشکی فراهانی[۱]، مطهره سعیدی[۲] ، مهدی بابایی رگنی[۳]

چکیده: یکی از قابلیت‌های فیلترهای فعال، جبران‌سازی نامتعادلی جریان می‌باشد که این عمل با تولید جریان‌های مناسب برای هر یک از فازها و تزریق آن به شبکه صورت می‌گیرد. در این مقاله یک سیستم کنترلی برای فیلترهای فعال موازی جهت کاهش نامتعادلی جریان بار ارائه شده است که می‌تواند نامتعادلی ناشی از بار را جبران‌سازی نماید. در حالت نامتعادل، جریان بار محتوی جریان‌های توالی مثبت، منفی و صفر می‌باشد که در صورتی که بتوان مولفه‌های توالی منفی بار را توسط فیلتر تولید نمود، نامتعادلی کاهش خواهد یافت. لذا برای این منظور ابتدا با استفاده از تبدیل فورتسکیو دامنه مولفه‌های توالی مثبت، منفی و صفر بار محاسبه شده و سپس جریان مرجع فیلتر تولید شده و در نهایت توسط فیلتر تولید خواهد شد. جهت ارزیابی، کنترلر پیشنهادی برای یک نمونه فیلتر فعال پیاده‌سازی شده و نتایج بدست آمده بر روی سیستم مورد ارزیابی قرار گرفته است.

کلیدواژه: فیلتر فعال، نامتعادلی جریان، تئوری توان راکتیو لحظه‌ای، تبدیل فورتسکیو و تبدیل کلارک.

مقدمه

در سال‌های اخیر کاربرد وسیع دستگاه‌های الکتریکی در مصارف خانگی، صنعتی و بطور کلی بارهای غیرخطی باعث کاهش کیفیت توان و تلفات انرژی الکتریکی شده است و به همین دلیل مسئله کیفیت توان مورد توجه قرار گرفته است. یکی از پدیده‌های کیفیت توان، نامتعادلی جریان می‌باشد که از عوامل مهم ایجاد تلفات انرژی الکتریکی می‌باشد. با کاهش میزان این شاخص می‌توان در جهت کاهش تلفات و بهینه‌سازی شبکه، گام‌های مثبتی برداشت. عدم تعادل بار و جریان، عوارض بسیاری بر رفتار شبکه و سایر

[۱]– دکتری مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آشتیان، پست الکترونیک: hfeshki@yahoo.com
[۲]– کارشناس ارشد مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آشتیان
[۳] – کارشناس پژوهشی گروه الکترونیک قدرت، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک:mbabaei@nri.ac.ir

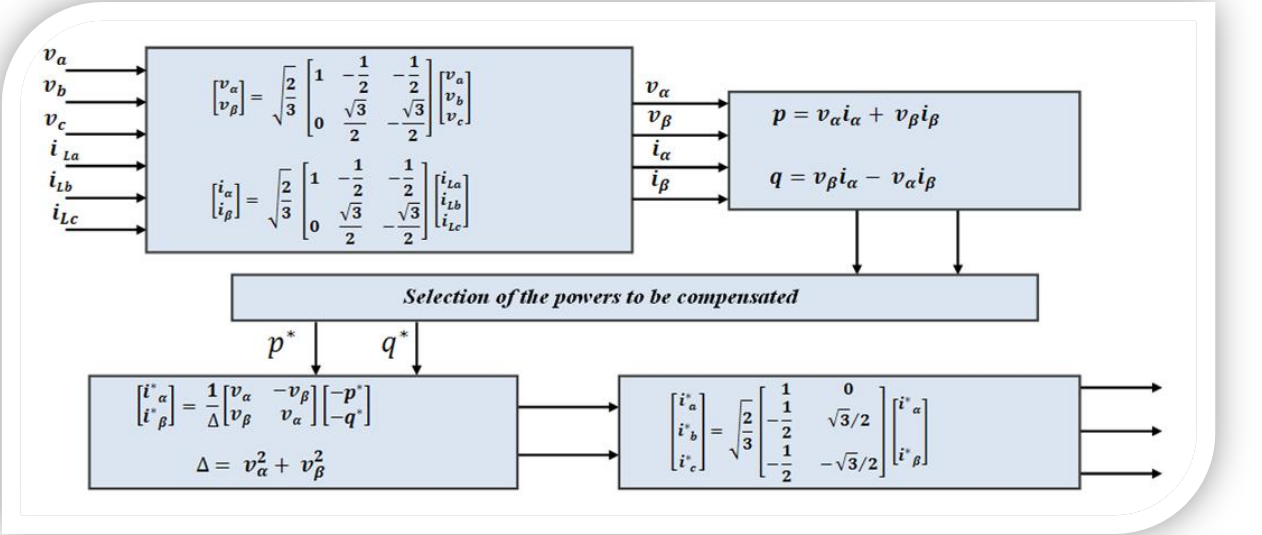
تجهیزات و مصرف‌کنندگان موجود در شبکه می‌گذارد. یکی از تجهیزاتی که می‌تواند در کنار وظیفه اصلی خود به کاهش نامتعادلی کمک نماید، فیلترهای فعال می‌باشند. اگرچه وظیفه اصلی این فیلترها، حذف هارمونیک‌های بار می‌باشد اما می‌توانند در کاهش نامتعادلی نیز نقش اساسی را داشته باشند.

فیلترهای فعال می‌توانند در جبران‌سازی توان راکتیو مورد استفاده قرار گیرند [۱] اما اکثر مقالات ارائه شده در زمینه فیلترهای فعال به موضوع جبران‌سازی هارمونیک‌ها پرداخته‌اند[۲–۵]. در [۶–۱۳] به روش‌های مختلف کنترلی این فیلترها پرداخته است. درحالت کلی استراتژی‌های کنترل فیلتر فعال به چهاردسته تقسیم می‌شوند که هریک جهت کاربرد برای شرایط خاص خود مفید هستند[۱۴]. همچنین جبران‌سازی نامتعادلی جریان در شرایطی که منبع نامتعادل شود نیز ضرورت دارد، اما در این حالت نیز ممکن است ادوات کاربردی در سیستم حجم آن را بالا برده که باعث می‌شود از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد [۱۶–۱۷]. با توجه به موارد ذکر شده هدف این مقاله ارائه یک روش کنترلی برای فیلترهای فعال جهت بهبود نامتعادلی جریان بار می‌باشد در ادامه ساختار این کنترلر به همراه نتایج مربوطه ارائه شده است.

استراتژی کنترلی توان اکتیو- راکتیو لحظه‌ای (P-Q)

روش‌های مختلفی برای استخراج جریان مرجع در *STATCOM* وجود دارد که یکی از این روش‌ها، تئوری توان راکتیو لحظه‌ای می‌باشد و علاوه بر این می‌تواند در سایر جبران سازهای الکترونیک قدرت مانند فیلترهای اکتیو نیز مورد استفاده قرار گیرد. این تئوری برای اولین بار توسط آکاگی مطرح شد [۱۶, ۱۸] و با عناوین تئوری توان راکتیو لحظه‌ای، تئوری توان لحظه‌ای و یا تئوری *p-q* نیز شناخته می‌شود. اساس این تئوری بر مبنای تبدیل کمیت سه‌فاز به دو فاز در دستگاه $\alpha -\beta$ و محاسبه توان‌های اکتیو و راکتیو لحظه‌ای می‌باشد.

شکل (۱) بلوک دیاگرام یک *STATCOM* را نشان می‌دهد که متشکل از یک مبدل منبع ولتاژ سه فاز شش پالسه به همراه یک خازن در لینک *DC* است که این خازن به عنوان تثبیت‌کننده ولتاژ لینک *DC* می‌باشد. با توجه به وجود مولفه‌های فرکانس بالای ناشی از کلیدزنی *PWM* در خروجی مبدل از سه عدد سلف به عنوان فیلتر خروجی جهت اتصال *STATCOM* به شبکه استفاده شده است. در این مدار نمونه‌های ولتاژ و جریان بار و خروجی مبدل و نیز ولتاژ دو سر خازن لینک *DC* که توسط حسگرها اندازه‌گیری شده و به سیستم کنترل جهت انجام محاسبات تئوری *IRP* و نیز تولید پالس‌های *PWM* مناسب اعمال می‌شود. روش استخراج جریان‌های مرجع توسط این تئوری به‌صورت بلوک دیاگرام در شکل (۱) نشان داده شده است [۱۹].



شکل (۱): استخراج جریان‌های مرجع بر مبنای تئوری IRP

در این روش، ابتدا ولتاژهای فاز (v_a, v_b, v_c) و جریان‌های بار (i_{La}, i_{Lb}, i_{Lc}) توسط حسگرها اندازه‌گیری شده و با استفاده از تبدیل کلارک مولفه‌های ولتاژ و جریان در دستگاه α–β مشخص می‌شود که در روابط (۱) و (۲) نشان داده شده است.

$$\begin{bmatrix} v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (۱)$$

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{La} \\ i_{Lb} \\ i_{Lc} \end{bmatrix} \quad (۲)$$

که در آن α و β محورهای مختصات عمود بر هم می‌باشند. در این دستگاه توان‌های اکتیو و راکتیو لحظه‌ای (p و q) به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$p = v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta \quad (۳)$$

$$q = v_\beta i_\alpha - v_\alpha i_\beta \quad (۴)$$

که می‌توان به فرم ماتریسی به صورت رابطه (۵) بیان نمود:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = [A_v] \times \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} \quad (۵)$$

$$[A_v] = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \quad (۶)$$

که اگر طرفین رابطه (۵) در معکوس ماتریس Av ضرب شود، رابطه (۷) بدست می‌آید که بیانگر جریان‌های مرجع در دستگاه $\alpha - \beta$ می‌باشد.

$$\begin{bmatrix} i_\alpha^* \\ i_\beta^* \end{bmatrix} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} -p \\ -q \end{bmatrix} \quad (۷)$$

$$\Delta = v_\alpha^2 + v_\beta^2 \quad (۸)$$

با مشخص شدن جریان‌های مرجع در دستگاه $\alpha - \beta$ جریان‌های مرجع در دستگاه abc با استفاده از تبدیل معکوس کلارک مطابق رابطه (۹) بدست می‌آید.

$$\begin{bmatrix} i_a^* \\ i_b^* \\ i_c^* \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1 & 0 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_0^* \\ i_\alpha^* \\ i_\beta^* \end{bmatrix} \quad (۹)$$

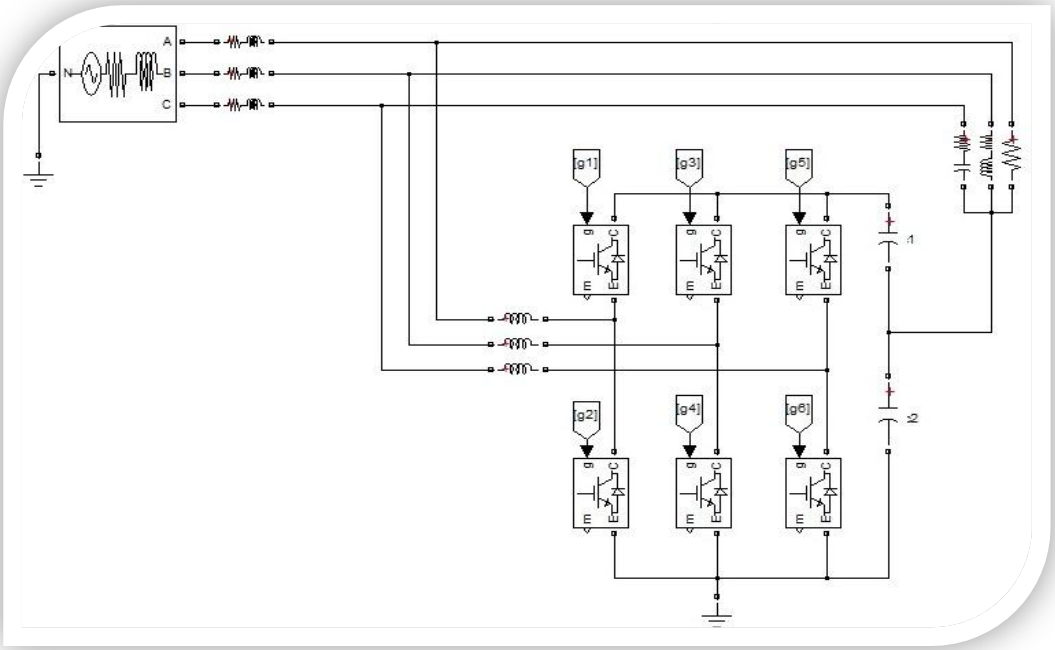
که در آن i_0^* مؤلفه توالی صفر بوده و مقدار آن برای یک سیستم سه فاز سه سیمه برابر با صفر است. میزان توان مربوط به مولفه صفر از عبارت زیر محاسبه می‌شود:

$$p_0 = v_0 \times i_0 \quad (۱۰)$$

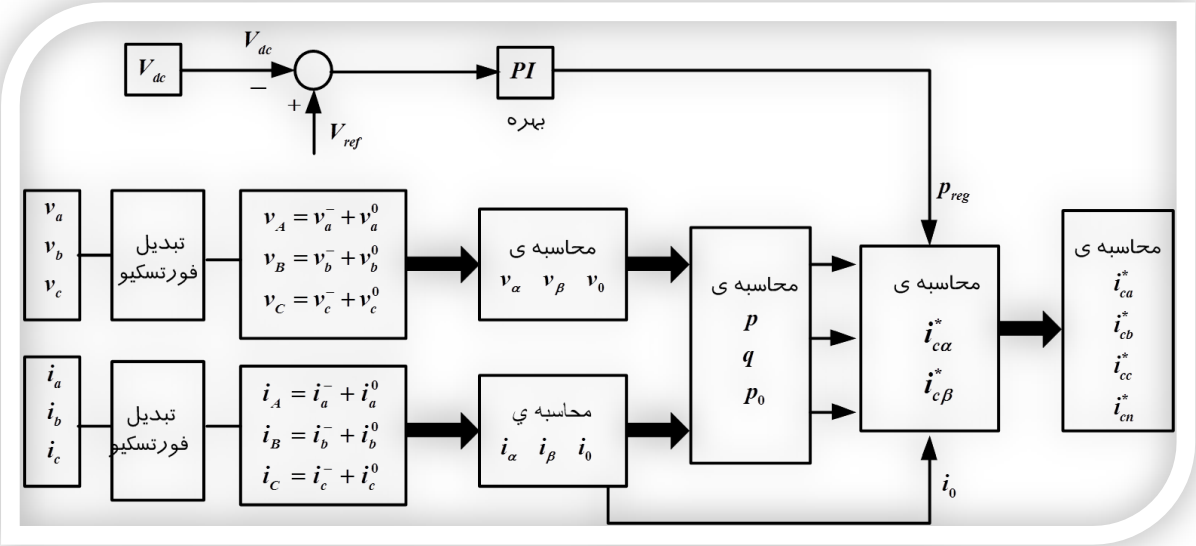
معرفی ساختار پیشنهادی

با توجه به اینکه یکی از ویژگی‌های مهم جریان سه‌فاز نامتعادل، حضور مولفه‌های توالی صفر و منفی جریان می‌باشد، بنابراین اساس متعادل‌سازی بار به کمک جبران‌سازی توان راکتیو، حذف این مولفه‌هاست، به طوری که در هر لحظه دلخواه با اندازه‌گیری جریان سه‌فاز و پردازش آن توسط کنترل‌کننده جبران‌ساز، میزان عدم تعادل بار بر حسب مولفه‌های منفی و صفر جریان، اندازه‌گیری شده و بر اساس آن، جبران‌ساز توان راکتیو، به قسمی کنترل می‌گردد که بتواند جریان‌هایی به نقطه اتصالی مشترک تزریق کند که در نتیجه این عملکرد باعث حذف مولفه‌های توالی صفر و منفی و متعادل‌سازی بار می‌گردد [۱۸].

در شکل (۲) یک فیلتر فعال با آرایش چهار سیمه نشان داده شده است. در شکل (۳) روش کنترلی پیشنهادی ارائه شده است. در این روش ابتدا جریان‌ها و ولتاژهای سه‌فاز اندازه‌گیری شده و در ادامه مولفه‌های توالی منفی و صفر این ولتاژ و جریان که باعث ایجاد نامتعادلی می شود محاسبه می‌شود. در ادامه با استفاده از تبدیل کلارک مولفه‌های $\alpha\beta$ جریان و ولتاژ محاسبه می‌شود و با استفاده از تئوری توان لحظه‌ای، توان‌های لحظه‌ای تعیین می‌شوند. سپس با استفاده از این توان‌ها، جریان‌های مرجع محاسبه می‌شوند و در نهایت سیگنالهای فرمان مورد نیاز تولید و به سوئیچ‌ها اعمال می شود.



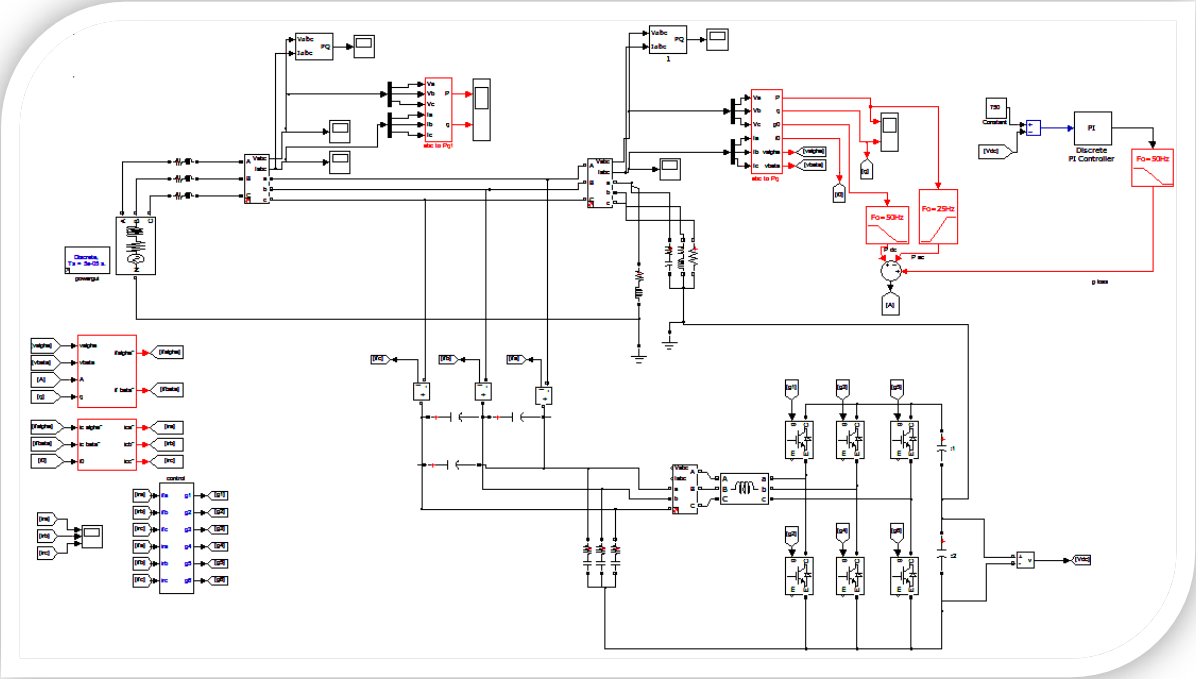
شکل(۲): ساختار کلی فیلتر فعال (با اتصال چهار سیمه)



شکل(۳): دیاگرام تئوری توان اکتیو راکتیو جهت تولید جریان جبران سازی.

نتایج شبیه‌سازی

برای نشان دادن کارائی روش ارائه شده یک نمونه اینورتر سه فاز سه سیمه و چهارسیمه مطابق شکل(۴) توسط نرم‌افزار MATLAB مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است و نتایج بدست آمده مورد ارزیابی قرار گرفته است. مشخصات سیستم و فیلتر به صورت جدول (۱) می‌باشد.



شکل(۴): شماتیک پیاده سازی شده

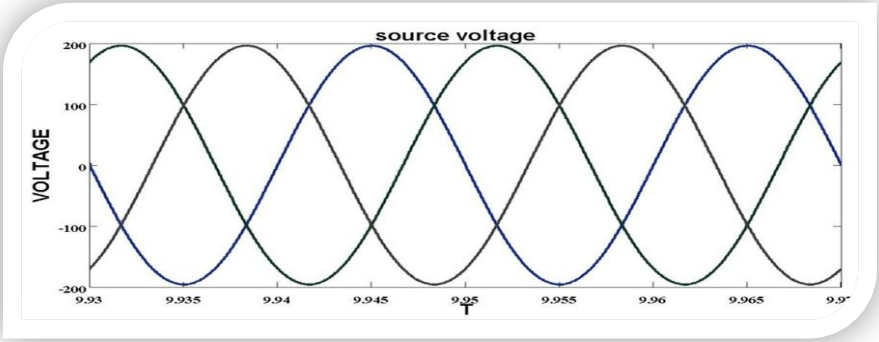
جدول (۱): اجزاء شبکه چهارسیمه طراحی شده.

پارامتر	مقدار	مشخصات
V_s	۱۴۰ V	ولتاژ ورودی موثر
f_s	۵۰ Hz	فرکانس شبکه
R_s	۰/۲۵ $m\Omega$	مقاومت منبع ورودی
L_s	۱ mH	اندوکتانس منبع ورودی
R_a , R_b , R_c	۲۵ Ω	مقاومت بار
L_a	۰	اندوکتاس بار فاز a
L_b	۲۰ mH	اندوکتاس بار فاز b
L_c	۲۰ mH	اندوکتاس بار فاز c

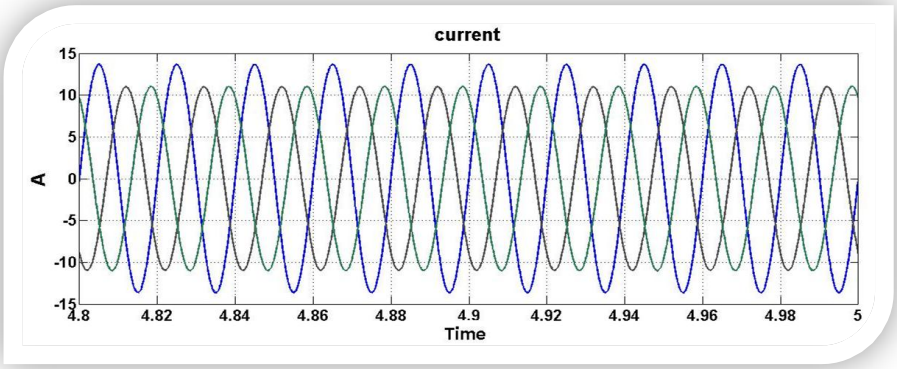
K_i	۰/۵	بهره کنترلی
K_p	۰/۱	بهره تناسبی

عملکرد کنترلر برای یک سیستم سه فاز چهار سیمه

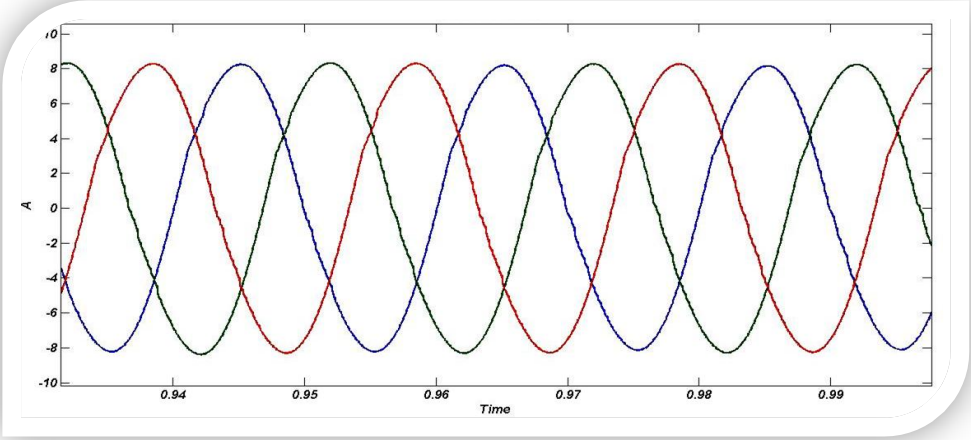
در این حالت فرض شده است که فیلتر به صورت چهار سیمه متصل شود. برای این حالت ولتاژ ورودی در شکل (۵) نشان داده شده است که سینوسی بوده و نامتعادلی در آن وجود ندارد. جریان بار قبل از جبران‌سازی در شکل (۶) نشان داده شده است. در این شکل با توجه به اینکه اندوکتانس فاز a در مقایسه با سایر فازها کمتر است، لذا جریان آن بیشتر است و باعث ایجاد نامتعادلی در جریان بار شده است. در این حالت با استفاده از فیلتر فعال جریان‌های مولفه توالی منفی (و در صورت نیاز مولفه توالی صفر) توسط فیلتر ایجاد و به شبکه تزریق می‌شود که باعث متعادل نمودن جریان بار می‌شود (شکل (۷)). همچنین پس از جبران‌سازی نامتعادلی، توان راکتیو کشیده شده از منبع در شکل (۸) نشان داده شده است که مقدار آن به سمت صفر میل می‌کند.



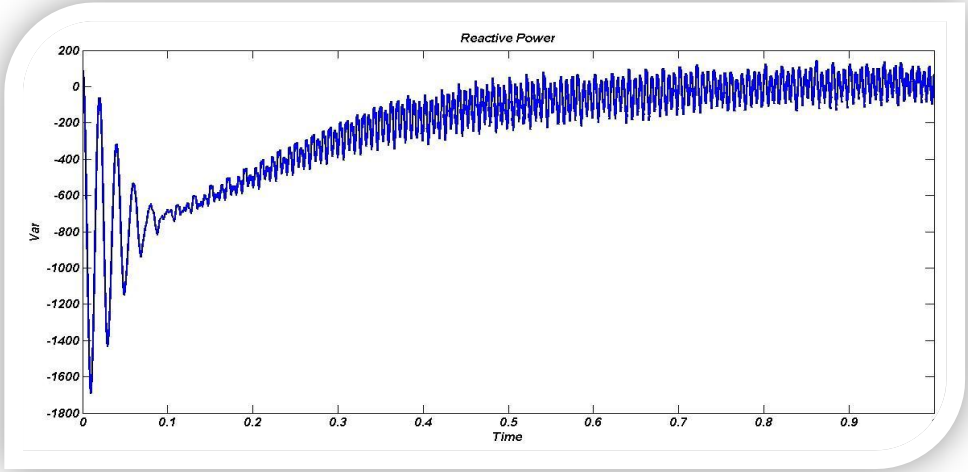
شکل(۵): ولتاژ سه فاز سیستم



شکل(۶): جریان بار قبل از اتصال فیلتر برای یک سیستم چهار سیمه



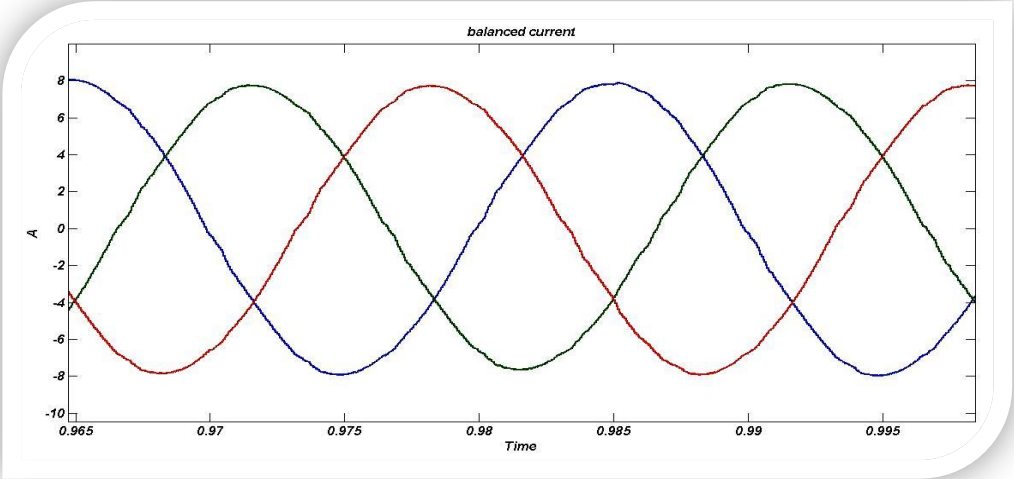
شکل(۷): جریان بار با اتصال فیلتر به یک سیستم چهار سیمه



شکل(۸): توان راکتیو کشیده شده از منبع پس از جبران سازی یک سیستم چهار سیمه

عملکرد کنترلر برای یک سیستم سه فاز سه سیمه

عملکرد فیلتر برای سیستم سه فاز سه سیمه نیز مورد بررسی قرار گرفته است. برای این حالت هم فرض شده است که ولتاژ ورودی سینوسی و متعادل می‌باشد. جریان پس از نصب فیلتر در شکل (۹) نشان داده شده است که این شکل نشان می‌دهد که نامتعادلی جریان از بین رفته است.



شکل(۹): جریان متعادل‌شده سیستم سه سیمه

نتیجه‌گیری

وجود بارهای غیرخطی و نامتعادل از جمله عوامل ایجاد نامتعادلی و کاهش کیفیت توان هستند. فیلترهای فعال از جمله عوامل رفع این مشکلات می‌باشند. در این مقاله بر اساس تئوری توان اکتیو- راکتیو لحظه‌ای، یک الگوریتم جبران‌سازی برای جریان نامتعادل بار ارائه شده است. روش ارائه شده با نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی شده و نتایج آن آورده شده است. این فیلتر می‌تواند نامتعادلی جریان بار سیستم را از لحاظ دامنه از بین برده و جریان بار سه فاز را متعادل کند. رفع نامتعادلی با کاهش میزان توان راکتیو و صفر کردن آن و ثابت نکه داشتن مقدار توان اکتیو صورت می‌گیرد. الگوریتم پیشنهادی برای انواع بارهای خطی و غیرخطی

قابل اعمال است. این فیلتر می‌تواند جهت رفع همزمان هارمونیک و نامتعادلی به‌کار گرفته شود. علاوه بر این نشان داده شد که این روش می‌تواند برای سیستم‌های چهار سیمه و سه سیمه مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

[1] B.Singh, K.Al-Hadad, A.Chandra,"A Review of Active Filters for Power Quality Improvement," IEEE Trans. Ind. vol. 46, no. 5. 1999.

[۲] حسینی. م، علی‌نژاد. ی، "تاثیر روش تولید جریان مرجع بر مشخصه‌های جبران‌سازی فیلتر فعال در سیستم قدرت"، نشریه دهم انرژی ایران، دوره ۱۵، شماره ۴، ۱۳۹۱.

[3] MILLER, T. J. E. : Reactive Power Control in Electric SystemsJohn Willey & Sons, New-York, 1982.

[4] H. Akagi, Y. Kanagawa and A. Nabae, "Instantaneous Reactive Power Compensator Comprising Switching Devices Without Energy Storage Components," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. IA-20, no. 3, pp. 625, 1984.

[4] M. Aredes, H. Watanabe," New Control Algorithms For Series and Shunt Three-Phase Four-Wire Active Power Filters," IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995.

[6] F. Zheng Peng, D. Adams," Harmonic and Reactive Power Compensation Based on the Generalized Instantaneous Reactive PowerTheory for Three-Phase Four-Wire Systems," IEEE Transaction on Power Electronics, VOL. 13, NO. 6, NOVEMBER 1998.

[7] J. L. Willems, "A new interpretation of the Akagi-Nabae power components of nonsinusoidal three-phase situations,"IEEE Trans. Instrum.Meas., vol. 41, no. 4, 1992.

[8] C.C. Chen, Y.Y. Hsu, "A novel approach to the design of a shunt active filter for an unbalanced three-phase four-wire system under nonsinusoidal conditions," IEEE Trans. Power Deliv. 15 (4) (2000)1258–1264.

[9] J. Afonso,C. Couto,J. Martins," Active Filters with Control Based on the p-q Theory," IEEE Industrial Electronics Society Newsletter. vol. 47, nº 3, , ISSN: 0746-1240, pp. 5-10, Sept. 2000.

[10] V. Soares, P. Verdelho," An Instantaneous Active and Reactive Current Component Method for Active Filters," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 15, NO. 4, JULY 2000.

[11] M.-R. Rafiei, H. A. Toliyat, R. Ghazi, and T. Gopalarathanam,"An optimal and flexible control strategy for activefiltering and power factor correction under nonsinusoidal line voltages,"IEEE Trans. Power Delivery, vol. 16, no. 2, pp. 297–305, Apr. 2001.

[12] P. KI-WON," A Review of Active power filters,"2001.

[13] A. Chaghi,A. Guettafi,A. Benoudjit,"Four-Legged Active Power Filter Compensation for a Utility Distribution System," Journal of ELECTRICAL ENGINEERING, VOL. 55, NO. 1-2, 2004.

[14] M. Montero,E. Cadaval,F. González," Comparison of Control Strategies for Shunt Active Power Filters in Three-Phase Four-Wire Systems", IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, VOL. 22, NO. 1, JANUARY 2007.

[۱۵] نظرپور.د، تیموری.م، حسینی.ح،''توپولوژی جدیدی از اکتیو فیلتر جهت اصلاح ضریب توان، جبران سازی هارمونیک ها، کنترل توان راکتیو و متعادل سازی بار در سیستم های سه فاز چهاز سیمه''،هجدهمین کنفرانس بین المللی برق، ۱۳۸۲،

[16] Y. Komatsu, T. Kawabata, "A control method for the active power filter in unsymmetrical voltage systems", Int. J. Electron. 86 (10)1249–1260, 1999.

[17] S.J. Huang, et al., "A study of three-phase active power filters under non-ideal mains voltages", Electric Power Syst. Res. 49,125–137, 1999.

[18] MILLER, T. J. E. : Reactive Power Control in Electric SystemsJohn Willey & Sons, New-York, 1982.

[19] J. Afonso, C. Couto,J. Martins," Active Filters with Control Based on the p-q Theory," IEEE Industrial Electronics Society Newsletter. vol. 47, nº 3, , ISSN: 0746-1240, pp. 5-10, Sept. 2000.

معرفی انجمن

آشنایی با انجمن الکترونیک قدرت ایران

Power Electronics Society of Iran (PESI)

به منظور گسترش، پیشبرد و ارتقای علمی و تخصصی و ایجاد شبکه ارتباطی میان صاحبنظران، محققان و کارشناسان و بهبود بخشیدن به امور آموزشی و پژوهشی در زمینه های مرتبط با علم الکترونیک قدرت در ایران و کشورهای منطقه و ارتباط آنان در این زمینه با کشورهای توسعه یافته، انجمن علمی الکترونیک قدرت ایران تأسیس گردید. به منظور نیل به هدفهای مذکور، انجمن اقدامات زیر را در دست انجام دارد:

- انجام تحقیقات علمی و فرهنگی در سطح بین المللی با محققان و متخصصانی که به گونه ای با علم الکترونیک قدرت سر و کار دارند.
- همکاری با نهادهای اجرایی، علمی و پژوهشی و فناوری در زمینه ارزیابی و بازنگری و اجرای طرح ها و برنامه های مربوط به امور آموزش و پژوهش و فناوری در زمینه علمی موضوع فعالیت انجمن.
- ترغیب و تشویق پژوهشگران و تجلیل از محققان و استادان ممتاز
- ارائه خدمات آموزشی و پژوهشی و فنی
- برگزاری گردهمایی های علمی در سطح منطقه ای و بین المللی
- انتشار کتب و نشریات علمی

در این راستا این انجمن کنفرانس الکترونیک قدرت *PEDSTC* را هرساله با مشارکت دانشگاههای کشور برگزار مینماید.

عضویت دراین انجمن به پنج شکل امکانپذیر میباشد:

الف- عضویت پیوسته : کلیه افرادی که حداقل دارای درجه کارشناسی ارشد و یا بالاتر در رشته های مهندسی بوده و فعالیتهای مرتبط با الکترونیک قدرت دارند می توانند به عضویت پیوسته درآیند.

ب- عضویت وابسته : اشخاصی که دارای درجه کارشناسی هستند و مدت ۵ سال به نحوی در فعالیتهای مرتبط با الکترونیک قدرت فعالیت دارند می توانند به عضویت وابسته درآیند.

ج- عضویت دانشجویی : مختص دانشجویانی است که در رشته های مرتبط با موضوع الکترونیک قدرت به تحصیل اشتغال دارند.

د- عضویت افتخاری : شخصیت های ایرانی و خارجی که مقام علمی آنان در زمینه های مرتبط با علم الکترونیک قدرت حائز اهمیت خاص باشد و یا در پیشبرد اهداف انجمن کمک های موثر و ارزنده ای نموده باشند می توانند به عضویت افتخاری انجمن درآیند.

ه- اعضای مؤسساتی (حقوقی) : سازمان هایی که در زمینه های مختلف صنعتی فعالیت دارند و سالانه حداقل مقدار مشخصی از ظرفیت تحقیقاتی تعیین شده توسط هیات امنا را جهت انجام فعالیتهای مرتبط با اهداف انجمن خریداری می نمایند می توانند به عضویت انجمن درآیند.

جناب آقای دکتر صادق واعظ زاده ریاست انجمن الکترونیک قدرت ایران را بر عهده دارد و نایب رئیس انجمن نیز جناب آقای دکتر محمد توکلی بینا می باشند. ترکیب هیئت مدیره و چارت سازمانی انجمن به شرح زیر میباشد:



مقاله مروری

بررسی ساختارهای توربین‌های بادی از گذشته تاکنون و چشم انداز تغییرات آن در آینده

نویسندگان: احسان هاشم‌زاده[۱]، مهدی بابایی رگنی[۲]

چکیده: در این مقاله ساختار توربین‌های بادی از گذشته تاکنون مورد بررسی قرار گرفته و محصولات سازندگان مطرح در این زمینه شناسایی می‌گردد. همچنین نظر به پیشرفت روزافزون تکنولوژی نیمه هادیها و طراحی ماشین و روند رو به رشد قیمت مواد اولیه خصوصا فلزات و برآورد هزینه تمام شده به ازای توان و ولتاژ، به گرایش و روند طراحیهای توربین‌های بادی در آینده پرداخته می‌شود.

کلیدواژه: توربین بادی، کانورتر الکترونیک قدرت، ولتاژ متوسط، ژنراتورهای الکتریکی قطب بالا، فلزات.

مقدمه

ماشین القایی (آسنکرون) به شکل گسترده‌ای بصورت موتوری بکار گرفته می‌شود، اما تا کنون غیر از نیروگاه‌های بادی، کاربرد چشمگیر دیگری به شکل ژنراتور نداشته است. در میانهٔ دههٔ ۱۹۹۰، اغلب توربین-های بادی نصب شده بر اساس ماشین‌های القایی قفس سنجابی بود که مستقیماً به شبکه برق متصل می شدند و تولید برق همواره در یک سرعت تقریباً ثابت صورت می‌گرفت. امروزه، اکثر توربین‌های بادی نصب شده براساس DFIG است و بازار توربین‌های بادی را با ژنراتورهای سنکرون روتور سیم پیچی شده سهیم هستند.[۱]

[۱] – کارشناس پژوهشی گروه الکترونیک قدرت، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: ehashemzadeh@nri.ac.ir

[۲] – کارشناس پژوهشی گروه الکترونیک قدرت، پژوهشگاه نیرو، پست الکترونیک: mbabaei@nri.ac.ir

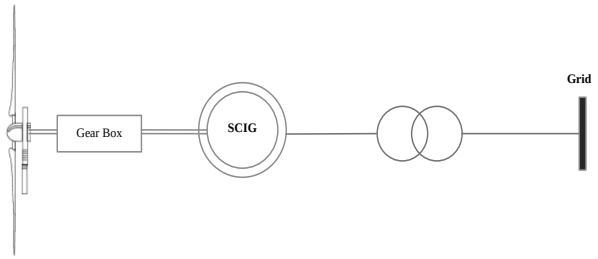
ساختار توربین‌های موجود

امروزه، انواع سیستم‌های توربین بادی موجود در بازار را می‌توان به دو گروه اصلی دسته‌بندی کرد: اولین گروه که معمولا در یک سرعت ثابت کار می‌کنند.(مدل Danish) در این شرایط، ژنراتور مستقیماً و بدون واسط الکترونیک قدرت به شبکه وصل می‌شود. گروه دوم در سرعت‌های متغیر کار می‌کنند. در این شرایط ژنراتور مستقیماً به شبکه وصل نمی‌شود. بنابراین با بکارگیری کانورترهای الکترونیک قدرت بین ژنراتور و شبکه قدرت، روتور اجازه دارد تا در بازه سرعت بیشتری گردش کند.[۲] هر دو نوع ژنراتور سنکرون و القایی می‌توانند در سیستم‌های توربین بادی بکار گرفته شوند. ژنراتورهای القایی می‌توانند در سیستم‌های سرعت ثابت و یا سرعت متغیر استفاده شوند، در حالی که ژنراتورهای سنکرون معمولاً در سیستم‌هایی که از یک واسطهٔ الکترونیک قدرت استفاده می‌کنند بکار رفته و عموماً سرعت متغیر هستند[۲].

۲-۱- توربین بادی با سرعت ثابت

روش Danish که اتصال مستقیم یک توربین بادی به شبکه اصلی است، بصورت وسیعی برای رنج توانی تا حدود ۲/۳ مگاوات استفاده شده است. این طرح شامل یک ژنراتور القایی قفس سنجابی[۱] (SCIG) است که از طریق یک ترانسفورماتور به شبکه وصل است. سیستم توربین بادی که از ژنراتور القایی قفس سنجابی استفاده می‌کند اغلب در یک سرعت ثابت کار می‌کند (با تغییرات ٪۱ تا ٪۲). شکل ۱ ساختار این نوع ژنراتور را نشان می‌دهد [۱].

[۱] *Squirrel Cage Synchronous Generator*



شکل(۱): نمای کلی توربین بادی قفس سنجابی

مزیت توربین‌های بادی با ژنراتورهای القایی قفس سنجابی ساختار ساده آن است. به علاوه هیچ وسیله سنکرون‌سازی نیز نیاز نمی‌باشد. این سیستم‌ها به دلیل قیمت و پایداری آن جذاب بوده، اما برای کنترل توان اکتیو به اندازهٔ کافی سریع نیستند (در محدودهٔ چند میلی ثانیه). این توربین بادی در یک سرعت تقریباً ثابت کار می‌کند. این مدل نیاز به یک شبکه قدرت بسیار قوی دارد تا قادر به عملکرد پایدار باشد. همچنین این سیستم به ساختارهای مکانیکی بسیار گران قیمت نیاز دارد تا تنش‌های شدید مکانیکی را جذب کند، زیرا طوفان‌های بادی باعث ایجاد ضربات و نوسانات شدید گشتاور در محور و جعبه دنده خواهند شد. از دیگر معایب آن می‌توان به جریان‌های راه‌اندازی بالا و تقاضای توان راکتیو اشاره نمود.[۲]

۲-۲- توربین بادی با سرعت متغیر

در سیستم‌های سرعت متغیر، ژنراتورها همواره از طریق یک مبدل الکترونیک قدرت به شبکه وصل می‌شوند. ژنراتورهای سنکرون و ژنراتورهای القایی قفس سنجابی، به یک مبدل الکترونیک قدرت با توان کامل (Full Converter) بین استاتور ژنراتور و شبکه نیاز دارند.[۳] همهٔ توان تولید شده باید از طریق این کانورتر الکترونیک قدرت به شبکه تحویل داده شود. برای ژنراتورهای القایی روتور سیم‌پیچی شده (DFIG)، استاتور ژنراتور مستقیماً به شبکه متصل می‌شود و فقط روتور از طریق یک سیستم الکترونیک قدرت به شبکه متصل می‌شود. این کار این مزیت بزرگ را به دنبال دارد که فقط بخشی از توان تولید شده از طریق کانورتر الکترونیک

قدرت به شبکه داده می‌شود. بطور معمول توان نامی کانورتر می‌تواند ٪۳۰ توان نامی توربین بادی باشد که به روتور اجازهٔ تغییرات سرعت در حدود گستره ۳۰ ± درصد سرعت نامی را می‌دهد.

توانایی کنترل سرعت روتور در ساختارهای سرعت متغیر اجازه می‌دهد که سیستم توربین بادی همواره نزدیک به نقطهٔ کار بهینه کار کرده و همچنین در گستره وسیع‌تری از سرعت باد به تولید انرژی الکتریکی بپردازد. عمده‌ترین مزیت‌های ساختارهای سرعت متغیر نسبت به ساختارهای سرعت ثابت عبارت است از [۲]:

- تولید انرژی سالانه (AEP)[۱] افزایش می‌یابد، زیرا سرعت توربین می‌تواند بصورت تابعی از سرعت باد تنظیم شده تا حداکثر توان خروجی حاصل شود. بسته به آیرودینامیک‌های توربین و رژیم بادی، توربین بطور متوسط حدود ٪۱۰ انرژی سالانه بیشتری را از باد دریافت می‌کند.
- تنش‌های مکانیکی کاهش می‌یابد. آشفتگی و اغتشاشات باد می‌تواند جذب شود، یعنی انرژی باد در اینرسی مکانیکی توربین ذخیره شده (بصورت افزایش جزئی در سرعت توربین) و باعث کاهش در نوسانات و ضربان گشتاور توربین خواهد شد.
- تغییرات توان خروجی تا حدی از شرایط لحظه‌ای موجود در باد و سیستم مکانیکی جداسازی می‌شود. وقتی یک تندباد به یک توربین می‌رسد، سیستم الکتریکی می‌تواند تحویل توان ثابت خود به شبکه را ادامه دهد تا اینرسی سیستم مکانیکی مازاد انرژی را با افزایش سرعت روتور جذب کند.

[۱] - *Annual Energy Production*

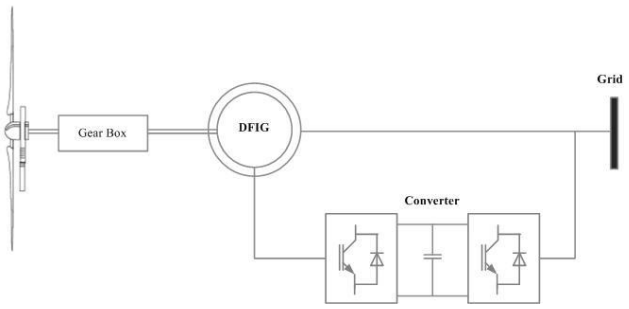
- کیفیت توان می‌تواند با کاهش نوسانات توان افزایش یابد. کاهش نوسانات توان باعث می‌شود که انحراف ولتاژ از مقدار نامی خود در نقطهٔ اتصال به شبکه (PCC)[۱] کاهش یابد. این امر اجازهٔ افزایش نفوذ توان بادی در شبکه را می‌دهد.

ساختار سرعت ثابت با مشخصهٔ دینامیکی انعطاف‌ناپذیر شناخته می‌شود. به دلیل اینکه ژنراتور اصطلاحا در شبکه محبوس شده، در نتیجه فقط به آن اجازهٔ تغییرات کوچک در سرعت شفت روتور داده می‌شود. ساختار و عملکرد این سیستم به مشخصات مکانیکی زیرسیستم‌های مکانیکی (مانند ثابت زمانی پیچ کنترل (Pitch Control)) بسیار وابسته است. به علاوه آشفتگی و اغتشاشات باد، نوسانات ناگهانی بار را ایجاد کرده که بصورت تغییرات در توان خود را نشان می‌دهد. این تغییرات برای توربین بادی متصل به شبکه ناخواسته است، در نتیجه، استرس‌های مکانیکی به دنبال داشته که عمر مفید توربین و همچنین کیفیت توان را کاهش می‌دهد. علاوه بر آن، در توربین‌های سرعت ثابت، تنها یک گستره سرعت باد بسیار محدود وجود دارد که ژنراتور قادر به تولید توان الکتریکی است.[۱]

اگرچه مهمترین عیب ساختارهای سرعت متغیر هزینه‌های اضافی و پیچیدگی کانورترهای قدرت مورد نیاز برای اتصال ژنراتور به شبکه می‌باشد، اما استفاده از این توربین‌ها (خصوصا DFIG) به دلیل مزایای ذکر شده در بالا و پیشرفت تدریجی ادوات الکترونیک قدرت رو به افزایش بوده است. [۲]

شکل ۲ نحوه اتصال یک توربین بادی با ژنراتور القایی دوسو تغذیه (DFIG)[۱] با اتصال مستقیم استاتور و اتصال روتور از طریق یک کانورتر قدرت به شبکه را نشان می‌دهد.

[۱] - *Point of Common Coupling*



شکل(۲): نمای کلی توربین بادی DFIG به همراه کانورتر پشت به پشت

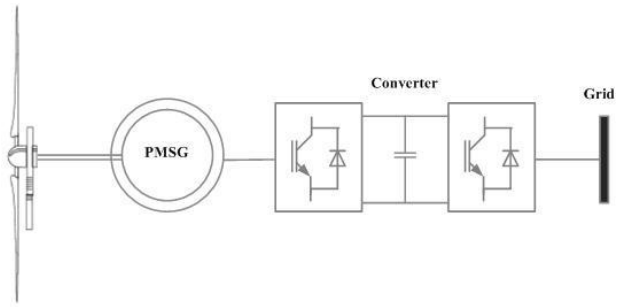
یک توربین بادی DFIG می‌تواند هم از طریق استاتور و هم از طریق روتور توان را به شبکه انتقال دهد. وقتی ژنراتور در سرعت فوق سنکرون کار می‌کند، توان از طریق کانورتر و از روتور به شبکه انتقال می‌یابد و وقتی که ژنراتور در حالت سرعت زیرسنکرون کار می‌کند، توان از طریق کانورتر، از شبکه به روتور منتقل می‌شود[۴]. کنترل دینامیکی ژنراتور DFIG از طریق کانورتر قدرت صورت می‌گیرد. هدف اصلی کانورتر، جبران‌سازی اختلاف بین سرعت روتور و سرعت سنکرون با کنترل لغزش است.

ساختاری که اخیرا در بازار توربین‌های بادی خودنمایی می‌کند، بکارگیری ژنراتور سنکرون مغناطیس دایم(PMSG)[۲] در ساختار توربین بادی است.

شکل ۳ نحوه اتصال توربین بادی با ژنراتور مغناطیس دایم به همراه کانورتر توان کامل را نشان می‌دهد. در این ماشین روتور سیم پیچی شده با یک آهنربای دایم جایگزین می‌گردد.[۸] به دلیل طراحی با قطبهای بالای این ژنراتور، گیربکس از ساختار این توربین حذف خواهد شد. بنابراین تمامی مشکلات مربوط به حضور گیربکس در توربین بادی مرتفع می‌گردد.

[۱] - *Double Fed Induction Generator*

[۲] - *Permanent Magnet Synchronous Generator*



شکل ۳: نمای کلی توربین بادی PMSG به همراه کانورتر توان کامل

همچنین در سال‌های اخیر با استفاده از این ساختار، توربین‌های بادی خیلی بزرگ در حد توان‌های چند مگاوات نیز توسط سازندگانی چون GE و Vestas بکار گرفته شده است.

جدول ۱: اجزای مختلف توربین بادی و نسبت درصد هزینه به کل

Element	Percentage to overall cost %
Tower	26.3
Rotor Blades	22.2
Rotor Hub	1.37
Rotor Bearings	1.22
Main Shaft	1.91
Main Frame	2.8
Gearbox	12.91
Generator	3.44
Yaw System	1.25
Pitch System	2.66
Power Converter	5.01
Transformer	3.59
Brake System	1.32
Nacelle Housing	1.35
Cable	0.96
Screws	1.04

۳- اجزای یک توربین بادی ۲ مگاواتی DFIG

جدول ۱ بخش‌های مختلف یک توربین بادی DFIG ۲ مگاواتی نمونه به همراه سهم آن بخش بر حسب درصد نسبت به هزینه کل برپایی توربین را نشان می‌دهد [۴]. جدول ۲ نیز به وزن هر یک از این اجزا بر حسب تن اشاره کرده است.

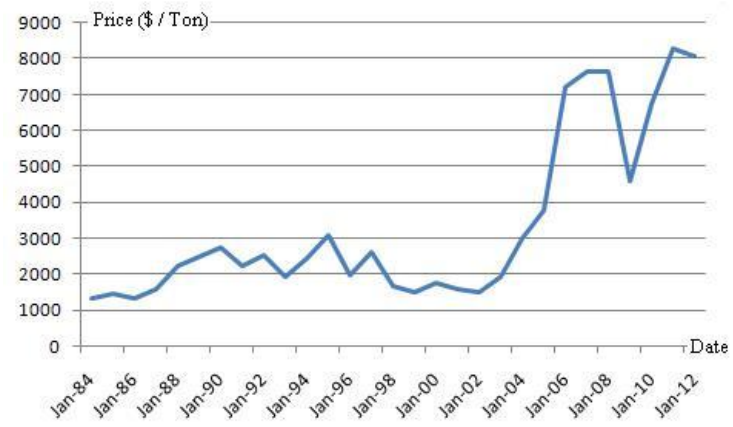
جدول ۲: وزن اجزای مختلف توربین بادی بر حسب تن

Element	Weight (Tonne)
Tower	200
Rotor Blades	24
Rotor Hub	11
Rotor Bearings	2.5
Main Shaft	7.7
Main Frame	23
Gearbox	15
Generator	4.5
Yaw System	2.5
Pitch System	1.8
Power Converter	1.8
Transformer	7
Others	17

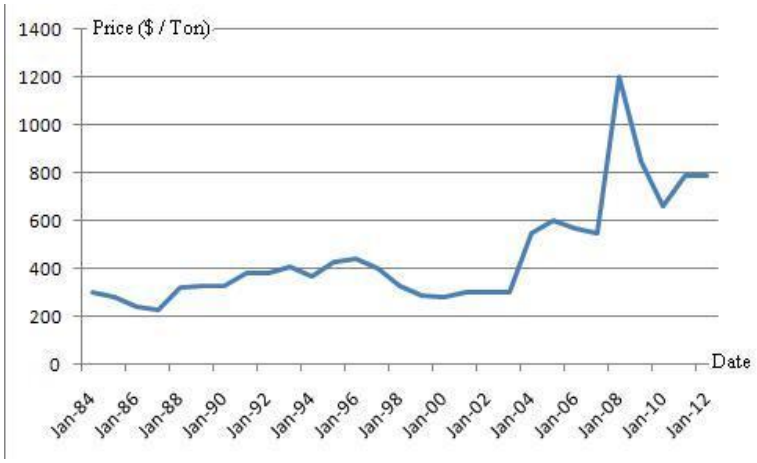
همانطور که در جدول ۱و۲ مشخص شده است، بخش عمده‌ای از هزینه و وزن توربین بادی ۲ مگاواتی DFIG مربوط به گیربکس و ترانسفورماتور و برج است. از این رو حذف و یا تعدیل هر یک از این اجزار موجب کاهش موثر در برپایی یک واحد توربین بادی خواهد شد.

۴- منحنی تغییرات قیمت مس و فولاد

شکل ۴و۵ به ترتیب منحنی قیمت مس و فولاد (دلار در هر تن) در بین سالهای ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۲ را نشان می‌دهد که حاکی از افزایش چشمگیر قیمتها است. [۵]



شکل ۴: منحنی تغییرات قیمت مس در بین سالهای ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۲



شکل ۵: منحنی تغییرات قیمت فولاد در بین سالهای ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۲

۵- شناسایی محصولات سازندگان برتر توربین بادی

یک روش برای شناسایی انواع توربین‌های بادی تولید شده، مروری بر محصولات سازندگان برتر بازار و طرحهای بکار گرفته شده توسط هر یک می‌باشد.در دهه ۸۰ و ۹۰ میلادی اکثر توربین‌های تولید شده، از ژنراتورهای القایی قفس سنجابی بدون کانورتر استفاده می‌کردند.[۶]

در جدول ۳ به ۱۰ سازنده برتر توربین‌های بادی با در نظر گرفتن مگاوات فروخته شده و سهم آنها در بازار توربین بادی و نیز نوع محصولات توان بالاتر آنها در سال ۲۰۰۰ اشاره شده است.

جدول ۳: لیست ۱۰ سازنده برتر توربین‌های بادی به همراه محصولات آنها و سهم بازار هریک در سال ۲۰۰۰ میلادی

Top 10 list suppliers	Sold MW	Share in %	Wind Turbine	Configuration
1. NEG Micon	761	18.9	NM 2000/72	SCIG
2. Vestas	652	16.2	V80 - 2MW	DFIG
3. Gamesa	494	12.3	G52 - 850kW	DFIG
4. Enercon	488	12.1	E66 - 1.8MW	WRSG
5. Enron	360	8.9	1.5s - 1.5MW	DFIG
6. Bonus	338	8.4	2 MW	SCIG
7. Nordex	306	7.6	N80/2500 kW	DFIG
8. Made	218	5.4	N.A	N.A
9. Ecotecnia	59	1.5	N.A	N.A
10. Dewind	58	1.4	D4 - 600kW	DFIG
Others	298	7.4	…	…
Total	**4032**	**100**		

بین سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ سازندگان معتبر از ژنراتورهای القایی دو سو تغذیه (DFIG) به همراه کانورتر به جای ژنراتورهای القایی قفس سنجابی در ساختار توربین‌های تولیدی خود استفاده کرده‌اند.[۷]

جدول ۴: لیست ۱۰ سازنده برتر توربین‌های بادی به همراه محصولات آنها و سهم بازار هریک در سال ۲۰۰۷ میلادی

Top 10 list suppliers	Share in %	Wind Turbine	Configuration
1. Vestas	22.8	V90 - 3MW	DFIG
2. GE	16.6	2.5XL - 2.5MW	PMSG
3. Gamesa	15.4	G90 - 2MW	DFIG
4. Enercon	14	E82 - 2MW	WRSG
5. Suzlon	10.5	S88 - 2.1MW	DFIG
6. Siemens	7.1	3.6SWT - 2 MW	DFIG
7. Acciona	4.4	AW/3000 kW	DFIG
8. Goldwind	4.2	Repower/750 kW	DFIG
9. Nordex	3.4	N100 - 2.5MW	DFIG
10. Sinovel	3.4	1500 kW	DFIG

جدول ۵: محصولات سازندگان مطرح توربین‌بادی در سالهای مختلف

Manufacture	Generator	Power (kW)	Year
GE	PMSG	2500	2007
	PMSG	4000	2012
Siemens	DFIG	3600	2007
	PMSG	6000	2012
Vestas	DFIG	2000	2000
	DFIG	3000	2007
	PMSG	7000	2012

بررسی‌های به عمل آمده در مورد تولیدات جدید شرکتهای بزرگ و معتبر سازنده توربین بادی نظیر Siemens, GE, Vestas ... نشان می‌دهد که گرایش به سمت استفاده از ژنراتورهای سنکرون مغناطیس دایم (PMSG) می‌باشد. همچنین جدول ۵ رشد قابل ملاحظه توان نامی توربین‌های بادی تولید شده توسط این شرکتها را نشان می‌دهد.این سازندگان در حال ساخت توربین‌های بزرگتری هستند تا تولید توان الکتریکی بادی را افزایش دهند. پیش‌بینی می‌شود که در طی چند سال آینده، توربین‌های داخل دریا[۱] با توان ۱۰ مگاوات ساخته شود.[۶]

با توجه به ولتاژ اتصال ماشین، پیشرفت‌های اخیر نشان می‌دهد که برخی سازندگان نظیر (Vestas, Repower, Acciona) ، مقادیر ولتاژ را به همراه افزایش توان توربین‌های بادی تا سطح ۱۲ کیلو ولت افزایش داده‌اند. در

[۱] *Offshore*

نتیجه سیر تکاملی توربین‌های بادی نشان می‌دهد که روند آن به سمت توربین‌های با توان بالاتر و با ولتاژ بالاتر پیش می‌رود.[۶]

جدول ۶ خلاصه‌ای از بازار درایوهای در محدودهٔ مگاوات را به همراه سازندگان آنها نشان می‌دهد. به طور مثال شرکت ABB قادر به طراحی در گستره توانی ۷ تا ۷۲ مگاوات و در سطح ولتاژ بین ۲/۱ تا ۱۰ کیلوولت می-باشد.

جدول ۶: مروری بر سازندگان درایوهای صنعتی در گستره مگاواتی

Manufacturer	Type	Power	Voltage[kV]	Control
Ingeteam	Ingedrive ® MV	0.75-27MVA	2.3, 3.3, 4.16	?
Asirobicon	Perfect Harmony	0.3-31MVA	2.3-13.8	Vector Control
	Silcovert GN	3-20MVA	4.16	?
	Silcovert H	1-25MVA	2.2-13.8	?
Toshiba Mitsubishi GE	TM GE Dura-Bilt5i MV	4.8-9.6MVA	5	?
	TM GE 10 Tmdrive 70	6-40MVA	3.3	PWM
Allen Bardley	Power Flex 7000	0.15-6.7MVA	2.3, 3.3, 4.1, 6.6	Vector Control
Siemens	Masterdrive MV	0.66-9.1MVA	2.3, 3.3, 4.16, 6, 6.16	Vector Control
	Masterdrive ML2	5-30MVA	3.3	Vector Control
ABB	ACS 1000	0.3-5MVA	2.3, 3.3, 4.0	DTC
	ACS 5000	5.2-24MVA	6, 6.6, 6.9	DTC
	ACS 6000	3-27MVA	3, 3.3	DTC
	LCI	7-72MVA	2.1, 10	?
Converteam (Alstom)	VDM5000	1.4-7.2MVA	2.3, 3.3, 4.2	Vector Control
	VDM6000	0.3-8MVA	2.3, 3.3, 4.2	Vector Control
	VDM7000	7-9.5MVA	3.3	Vector Control

۶- پیش‌بینی ساختار توربین‌های بادی در آینده

همانطور که در شکل ۴و۵ نشان داده شده است، ادامه روند افزایشی قیمت فلزات و بسیاری از مواد اولیه قابل پیش‌بینی بوده و بدیهی است که روند توسعه توربین‌های بادی به سمت ساخت توربین‌های بادی با توان و قابلیت اطمینان و بهره وری بالاتر و کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری می‌باشد. از این رو بسیاری از سازندگان به دنبال راهکارهایی جهت حذف و تعدیل برخی اجزای هزینه‌بر و مشکل‌ساز هستند.

با بکارگیری روشهای نو می‌توان بعضی از اجزای یک توربین بادی مانند گیربکس و ترانسفورماتور را از ساختار آن حذف کرد. به طور مثال اگر ژنراتورهای الکتریکی با قطبهای بسیار بالا (۲۰۰-۱۰۰ قطب) ساخته شوند نیازی به استفاده از گیربکس نیست. همچنین اگر بتوان ولتاژ خروجی ژنراتور را تا سطح ولتاژ متوسط (۱۲-۶ کیلوولت) افزایش داد، استفاده از ترانسفورماتور ولتاژ متوسط برای هر توربین بی‌مورد خواهد بود.

یکی از راهکارهایی که بتوان به اهداف فوق نایل شد، استفاده از ژنراتورهای سنکرون مغناطیس دایم است. ژنراتورهای سنکرون مغناطیس دایم معمولا با قطب‌های بالا ساخته می‌شوند که با توسعه فن‌آوری ساخت ماشین‌های الکتریکی و رقابت بین سازندگان مختلف، قیمت تمام شده آنها رو به کاهش خواهد بود.

افزایش ولتاژ ژنراتورها که خود پیامد پیشرفت طراحی ماشین‌های الکتریکی نیز است می‌تواند باعث حذف ترانسفورماتور، استفاده از بریکرهای ارزانتر (بدلیل کاهش جریان)، کابلهای نازکتر و ارزانتر و کاهش تلفات - شود. برخی مشکلات ناشی از وجود ترانسفورماتور نیز به شرح زیر است:

- وزن و حجم ترانس
- تلفات حدود ۱ درصد
- هزینه‌های بالای طراحی و ساخت
- هزینه‌های مربوط به حفاظت و نگهداری

همچنین تحقیقات نشان می‌دهد توربین‌های جدیدتر دارای توان بالاتر هستند و از کانورتر قدرت بهره می‌برند. دلیل استفاده از توربین‌های با توان بالاتر افزایش راندمان کلی توربین، کاهش قیمت ویژه برق (وات بر ریال) و استفاده بهتر از مزارع بادی است.

با رشد روز افزون تکنولوژی ساخت نیمه هادیهای الکترونیک قدرت و افزایش تحمل جریان و ولتاژ و کاهش تلفات، استفاده از کانورترهای توان بالا و ولتاژ متوسط جایگزینی برای روش کلاسیک توربین بادی ولتاژ پایین – که به شبکه ۶۹۰ ولت متصل می‌شوند– خواهند شد. البته به دلیل جدید بودن تکنولوژی ساخت کانورترهای ولتاژ متوسط، قیمت آنها تا حدودی نسبت به کانورترهای ولتاژ پایین بالاتر است، اما با پیشرفت‌های صورت گرفته و رقابت شدید بین سازندگان، قیمت آنها سریعا رو به کاهش است.

استفاده از ژنراتورهای سنکرون مغناطیس دایم با تعداد قطبهای زیاد در توربین‌های بادی باعث حذف گیربکس خواهد شد. برخی مشکلات ناشی از وجود گیربکس به شرح زیر است:

- وزن و حجم بالا
- تلفات بالا (حدود ۳-۴ درصد)
- خسارت‌های وارده به گیربکس ناشی از تنش‌های مکانیکی بادها و کاهش بازه عملکرد توربین در طول عمر آن
- هزینه‌های طراحی و ساخت (حدود ۱۳ درصد کل توربین)
- هزینه‌های نگهداری

حذف گیربکس و ترانس باعث کاهش چشمگیر وزن و ابعاد ناسل، کاهش هزینه‌های مربوط به استحکامات مکانیکی ناسل، برج و فنداسیون می‌شود. حذف گیربکس باعث افزایش بازه عملکرد توربین نیز خواهد شد. همچنین حذف تلفات ناشی از ترانس و گیربکس باعث افزایش حدود ۵ درصدی راندمان توربین و کاهش سایز پره‌ها می‌شود. این موارد باعث صرفه‌جویی حدود ۲۰ تا ۲۵ درصدی هزینه‌های ساخت توربین خواهد شد.

۷- نتیجه گیری

توربین‌های بادی با ژنراتور سنکرون مغناطیس دایم در حد مگاوات و در سطح ولتاژ متوسط بسیار اقتصادی‌تر از سایر ساختارهای رایج خواهد بود. دلایل اصلی می‌تواند بصورت زیر خلاصه شود:

- هزینه کابل‌های اتصال در سیستم‌های ولتاژ متوسط نسبت به سیستم ولتاژ پایین کاهش اساسی دارد.
- حذف گیربکس و ترانسفورماتور باعث صرفه‌جویی موثر در ساخت توربین بادی خواهد شد.
- وزن و ابعاد ناسل و برج و نیز هزینه‌های نصب و نگهداری توربین بادی کاهش چشمگیری خواهند داشت.

بریکرهای اصلی سیستم ولتاژ متوسط به علت نیاز به قطع شدن جریان کمتر، بسیار ارزانتر از قیمت آن در سیستم-های ولتاژ پایین هستند.

مراجع

[۱] "بررسی و مقایسه کانورترهای مورد استفاده در ژنراتورهای القایی DFIG توربین بادی و انتخاب چند مدل نمونه"، پژوهشگاه نیرو، اسفند ۱۳۹۰.

[2] J. Marques, H. Pinheiro, H. A. Gründling, J. R. Pinheiro and H. L. Hey "a survey on variable-speed wind turbine system".

[3] Frede Blaabjerg and Zhe Chen, "power electronics for modern wind turbines", Institute of Energy Technology Aalborg University, Denmark, synthesis lectures on power electronics, Copyright ©2006 by Morgan & Claypool.

[4] A. Efiong and A.Crispin, “Wind turbine manufacturers” in Industry Renewable Energy.Merill Lynch Uk: 10 Aug 2007.

[5] http://www.infomine.com/.

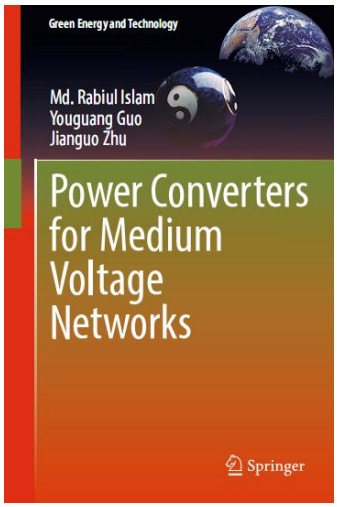
[6] Gonzalo abad biain, "predictive direct control techniques of the doubly fed induction machin for wind energy generation application", Tesis Doctoral en el programa de

Doctorado, Goi Eskola Politeknikoa / Escuela Politécnica Superior / Faculty of Engineering 03 de julio de 2008.

[7] Yao Duan and Ronald G. Harley " Present and Future Trends in Wind Turbine Generator Designs", 978-1-4244-4936-1/09/$25.00 ©2009 IEEE.

[8] Rui Melício, Victor M. F. Mendes And João P. S. Catalão, " Wind Turbines with Permanent Magnet Synchronous Generator and Full-Power Converters: Modelling, Control and Simulation".

معرفی کتاب



Title: Power Converters for Medium Voltage Networks
Authors: Md. Rabiul Islam,Youguang Guo, Jianguo Zhu

عنوان فارسی: مبدل‌های توان مورد استفاده در شبکه‌های ولتاژ متوسط

سال انتشار: ۲۰۱۴

ناشر : Springer

این کتاب به بررسی موضوعاتی می‌پردازد که به طور عمده در ارتباط با پیشرفت در ادوات نیمه‌هادی و مواد مغناطیسی، تحولات در فناوری‌های نیروگاه‌های تجدید پذیر در مقیاس‌های متوسط و بزرگ، تکنیک‌های اتصال به شبکه و توپولوژی‌های جدید مبدل‌ها (که شامل سیستم های پیشرفته کنترل دیجیتال برای شبکه‌های ولتاژ متوسط است) می‌باشد. هدف اصلی این کتاب معرفی فرآیندهای طراحی و پیاده‌سازی مبدل‌های ولتاژ متوسط که امکان اتصال به شبکه‌ی نیروگاه‌های تجدیدپذیر بدون نیاز به ترانس‌های افزاینده را فراهم می‌کنند، می‌باشد.