Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

تاثیر منبع ذخیره انرژی بر رفتار دینامیکی ژنراتور القایی دو سو تغذیه (DFIG)

سید مصطفی حسینی*[۱]، ایمان پورفر[۲]

*۱- دانشجو کارشناسی ارشد، گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، smhahvaz@yahoo.com
۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول، pourfar@jsu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۰

چکیده: بهره برداری از نیروگاه بادی به دلیل ماهیت متغیر باد و شبکه دارای مشکلاتی می‌باشد. به دلیل عدم ثبات در سرعت وزش باد توان خروجی نیروگاه بادی متغیر می باشد. این عدم قطعیت موجب کاهش کنترل‌پذیری نیروگاه‌های بادی می‌گردد. مشکل دیگر، جزیره‌ای شدن نیروگاه از شبکه سراسری بر اثر خطا می‌باشد. در این شرایط عدم تناسب بین توان تولیدی و توان مورد نیاز بار در بخش جدا شده سیستم، موجب دور شدن ولتاژ از مقدار مطلوب می‌شود. مشکل بعدی که مختص DFIG می‌باشد، افزایش جریان مبدل سمت روتور در هنگام وقوع خطا در شبکه می‌باشد. در این مقاله به بررسی تاثیرات منبع ذخیره انرژی بر رفتار نیروگاه بادی با ژنراتور القایی از دو سو تغذیه در یک ریز شبکه پرداخته شده است. هدف این مقاله هموارسازی توان خروجی DFIG در هنگام تغییرات سرعت باد و حفاظت و جلوگیری از خروج آن از مدار با استفاده از منبع ذخیره انرژی باتری و ابر خازن با دو نوع اتصال مختلف می‌باشد. با استفاده از شبیه سازی‌های انجام شده توسط نرم افزار PSCAD نشان داده شده است که سیستم ذخیره انرژی نقش مهمی در بهبود پایداری دینامیکی شبکه و DFIG دارد. همچنین به مقایسه دو سیستم مختلف کنترلی ESS پرداخته شده است و نشان داده شده که ESS توزیع‌شده برای تغییرات درونی DFIG و ESS مجتمع برای خطاهای سمت شبکه تاثیر بهتری در بهبود وضعیت شبکه دارد.

واژه‌های کلیدی: ژنراتور القایی از دو سو تغذیه، منبع ذخیره انرژی، جزیره ای شدن، هموار سازی توان، پایداری دینامیکی

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر به علت کاهش منابع فسیلی، راندمان کم انرژی و آلودگی زیست محیطی، تمایل به تولید توان از طریق منابع تجدید پذیر مانند انرژی باد افزایش یافته است[۱]. اتصال مزارع بادی به شبکه قدرت با چالش‌های فراوانی از قبیل کاهش نوسات توان و پیش بینی الگوی باد، اتصال مزارع بادی بزرگ به شبکه‌های ضعیف، تضمین کیفیت توان و ... روبرو می‌باشد[۲].

یکی از مشکلات نیروگاه‌های بادی ماهیت متغیر سرعت باد می‌باشد که باعث تولید توان خروجی متغیر در نیروگاه‌های بادی می‌شود[۳]. با وجود این تغییرات در توان و با گسترش و بزرگ شدن مزارع بادی نمی‌توان پیش بینی دقیقی از میزان تولید این نیروگاه‌ها داشت و همیشه باید روی حداقل تولید این نیروگاه‌ها حساب کرد. این کار باعث کاهش راندمان نیروگاه می‌شود. برای افزایش قابلیت اطمینان توان تولیدی و افزایش راندمان، ضروری است تا یک سیستم ذخیره ساز انرژی در مزرعه بادی نصب شود. هدف از این کار، ذخیره مازاد انرژی در هنگام تولید بیش از مصرف، و تزریق آن به شبکه در زمان پیک مصرف یا عدم وزش باد می باشد. مشکل دیگر نیروگاه‌های

Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

بادی، جزیره‌ای شدن آن به علت وجود خطا در شبکه می‌باشد[۴]. در این شرایط عدم تناسب بین توان تولیدی و توان مورد نیاز بار در بخش جدا شده سیستم، موجب دور شدن ولتاژ از مقدار مطلوب می‌شود که همین امر موجب قطع شدن بار از ژنراتور و یا خاموش شدن ژنراتور می‌شود. مورد دیگر که مختص نیروگاه بادی با ژنراتور القایی از دو سو تغذیه می باشد، عملکرد نیروگاه در طی خطای شبکه است[۵،۶]. خطا در شبکه حتی اگر دور از محل توربین باشد باعث ایجاد افت ولتاژ در نقطه اتصال توربین بادی به شبکه می‌شود. این امر باعث افزایش جریان کشیده شده از سمت مبدل‌های ژنراتور و بوجود آمدن مشکل در سیم پیچ و مبدل سمت روتور می شود.

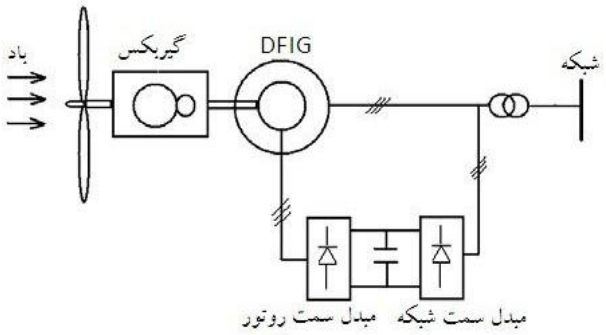
از آنجاییکه بخش الکتریسیته در حال تغییرات عمده است، ذخیره سازی انرژی یک انتخاب مهم برای تحت پوش قرار دادن مسائلی از قبیل تجدید ساختار در بازار برق، وارد شدن منابع تجدیدپذیر، افزایش تولیدات پراکنده، بهبود کیفیت توان و ... است[۷،۸]. پر استفاده‌ترین این منابع، باتری‌ها و ابرخازن‌ها می‌باشند که به علت سرعت در نصب و پاسخ‌گویی به سیستم، از اهمیت بالایی برخوردار هستند [۱۰،۹]. این منابع به طرق مختلف به شبکه متصل می شوند که هر کدام دارای مزایا و معایبی می باشند[۱۱].

در این مقاله تاثیر منبع ذخیره انرژی با سیستم کنترل طراحی شده بر نیروگاه بادی با ژنراتور القایی از دو سو تغذیه، در هنگام تغییر سرعت باد و تغییرات در شبکه به علت خطاهای مختلف و جزیره‌ای شدن آن مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که مسائل بیان شده تنها از جنبه فنی مورد بررسی قرار می گیرند و به بررسی مسائل اقتصادی پرداخته نشده است. شبیه سازی و نتایج، در محیط نرم افزار PSCAD/EMTDC V.4.2 انجام گرفته است.

۲- تئوری مسئله

۲-۱- ژنراتور القایی از دو سو تغذیه

یکی از انواع توربین‌های سرعت متغیر، توربین‌های بادی مجهز به ژنراتور القایی از دو سو تغذیه (DFIG) می‌باشند. امروزه در اکثر توربین‌های بادی از DFIG استفاده شده است[۶]. این ژنراتور روتور سیم پیچی شده، از طریق استاتور به شبکه متصل می‌شود و روتور از طریق مبدل AC/DC/AC فرکانس متغیر پشت به پشت که از سوئیچ‌های IGBT استفاده می‌کند، به شبکه متصل می‌شود. این مبدل تشکیل شده از دو مبدل مختلف است که توسط یک خازن لینک وسط به هم متصل شده اند که در شکل(۱) مشاهده می‌شود[۱۲].



شکل(۱): مدل اتصال ژنراتور القایی از دو سو تغذیه به شبکه [۶]

ژنراتور DFIG درای مزایا و معایبی به شرح زیر می باشد.

- هزینه مبدل الکترونیک قدرت به علت اینکه بازه توان مبدل معمولا ۳۰-۲۵ درصد کل توان سیستم می‌باشد، کاهش می‌یابد. مبدلی با این توان می‌تواند تا ۳۰ درصد تغییرات سرعت سنکرون را کنترل کند.
- عملکرد این سیستم در مقابل اختلالات خارجی بهتر است.
- به علت کاهش توان در مبدل‌ها، هزینه فیلترها نیز کاهش می‌یابد.

ایراد اصلی DFIG استفاده از جاروبک می‌باشد که نیازمند تعمیرات دوره ای بخصوص در مزارع بادی کنار دریا می‌باشد.

۲-۲- سیستم ذخیره انرژی

انرژی الکتریکی نمی‌تواند در یک سیستم جریان متناوب ذخیره شود و باید در زمانی که تولید می‌شود، مصرف گردد. به همین دلیل، برای ذخیره سازی این انرژی باید آن را به صورت‌های دیگری از انرژی تبدیل نمود که البته نیاز به وجود یک مبدل خوب برای این تبدیل است[۷]. بنابر تعریف، یک سیستم فیزیکی با قابلیت اخذ انرژی برای جایگزینی الکتریسیته در زمان‌های بعد را یک منبع ذخیره ساز انرژی الکتریکی(ESS)، می‌نامند.

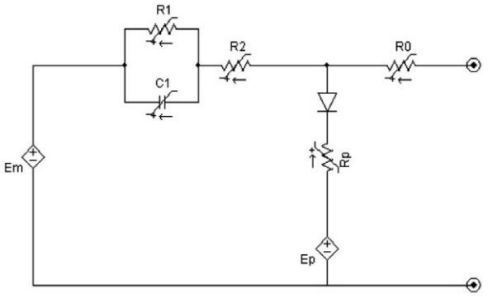
۲-۲-۱- سیستم‌های ذخیره انرژی باتری

باتری‌ها انرژی الکتریکی را از طریق واکنش‌های شیمیایی ذخیره می‌کنند. یکی از ویژگی‌های مهم باتری‌ها زمان پاسخ سریع آنها می‌باشد، برخی از باتری‌ها قادرند در کمتر از ۲۰ میلی‌ثانیه به تغییرات بار پاسخ دهند. بازده باتری‌ها بین ۷۰٪ تا ۸۰٪ می‌باشد که بستگی به نوع باتری و نیز سیکل استفاده از آن دارد. تلفات ذخیره

Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

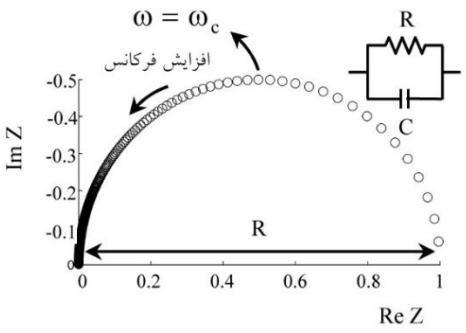
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

انرژی باتری‌ها کم است و در عین حال چگالی ذخیره انرژی الکتریکی بالایی دارند. شاید بتوان ایراد اصلی باتری‌ها را طول عمر آنها و همچنین حساسیت آنها به شرایط محیطی همچون دما و حرارت دانست. باتری به صورت یک مدار الکتریکی که در شکل(۲) نشان داده شده است مدل می‌شود[۹].



شکل(۲): مدل الکتریکی باتری [۹]

مشخصه سیستم باتری غیرخطی است و نسبت به شرایط داخلی سیستم و عوامل بیرونی تغییر می‌کند. باتری ایدآل بصورت یک منبع و یک مقاومت به صورت سری مدل می‌شود. در شکل(۲) Em و R2 به عنوان منبع اصلی باتری در نظر گرفته می‌شود. مدار RC موازی به صورت سری با مدار باتری ایدآل قرار می‌گیرد. این سیستم برای شبیه سازی رفتار امپدانسی باتری در حالات تغییر شارژ و دشارژ باتری در نظر گرفته می‌شود. نمودار نایکوئیست امپدانس یک مدار RC موازی در شکل(۳) نشان داده شده است[۱۳]. Ep و Rp برای زمان شارژ در نظر گرفته شده‌اند که به صورت یک منبع ذخیره انرژی در نظر گرفته شده است. R0 نیز مقاومت شارژ خارج از محدوده می‌باشد که با شارژ شدن کامل باتری میزان آن افزایش می‌یابد. میزان این مشخصه‌ها نسبت به تغییرات شرایط شارژ و دشارژ تغییر می‌کند.



شکل(۳): نمودار نایکوئیست امپدانس یک مدار RC موازی [۱۳]

همانطور که در شکل(۳) نشان داده شده است قطر نمودار نایکوئیست میزان مقاومت R را نشان داده و با بدست آوردن نقطه اکسترمم نمودار به عنوان ω، می‌توان از فرمول(۱) مقدار خازن مدار RC را بدست آورد.

$$\omega_c = 2\pi f_c = \frac{1}{RC} \qquad (۱)$$

۲-۲-۲- سیستم ذخیره انرژی ابرخازن

یکی دیگر از روش‌های ذخیره مستقیم انرژی الکتریکی استفاده از ابرخازن‌ها است. ابرخازن‌ها انرژی الکتریکی را در میدان الکتریکی خازن که بین الکترود و الکترولیت تشکیل می‌شود، ذخیره می‌کنند. ظرفیت و چگالی انرژی ابرخازن‌ها هزار برابر بزرگتر از خازن‌های الکترولیتی است. در مقایسه با باتری‌ها، ابرخازن‌ها چگالی انرژی پایین‌تری دارند، اما ابرخازن‌ها می‌توانند دهها هزار بار شارژ و دشارژ شوند و نسبت به باتری‌ها نرخ شارژ و دشارژ بسیار سریعتری دارند. مهمترین ایراد ابرخازن‌ها و باتری‌ها هزینه بالا و لزوم استفاده از مبدلDC بهAC در آنهاست که این امر نیز به خودی خود موجب کاهش بازده و افزایش هزینه می‌گردد. امروزه استفاده همزمان از ابرخازن‌ها و باتری‌ها برای ذخیره انرژی الکتریکی مطرح گردیده است؛ در این صورت سیکل‌های شارژ و دشارژ باتری کاهش یافته و طول عمر آن افزایش می‌یابد[۱۰].

۲-۲-۳- انواع طریقه اتصال ESS به نیروگاه بادی DFIG

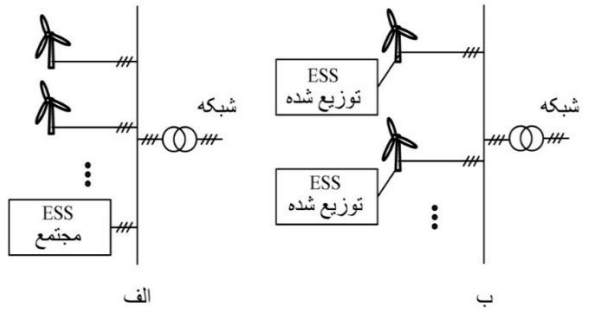
به طور کلی دو نوع اتصال برای منبع ذخیره انرژی به نیروگاه‌های بادی وجود دارد که در شکل(۴) دیده می‌شود. به علت استفاده از نیروگاه‌های بادی به صورت مجتمع می‌توان ESS را به صورت یک مجموعه کلی در کنار مزرعه بادی قرار داد و یا برای هر توربین از یک ESS مجزا استفاده کرد[۱۱]. هر کدام از این سیستم‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند که برخی از آنها به این شرح می‌باشند.

ESS مجتمع به یک مبدل الکترونیک قدرت نیاز دارد و تمام آن به صورت یکجا و حتی بعد از تاسیس مزرعه بادی می‌تواند در کنار آن به کار برده شود در حالی که ESS توزیع‌شده در DFIG باید درون سیستم نصب شود و باید تغییراتی در سیستم نیروگاه اعمال شود. در مقابل در صورت خراب شدن ESS مجتمع کل این سیستم از مدار خارج می شود، اما در حالت ESS توزیع شده، خرابی ESS بر

Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

یک توربین تاثیر گذار است و تاثیر زیادی در عملکرد مزرعه بادی ندارد.



شکل(۴): کاربرد مجتمع ESS(الف)، کاربرد توزیع شده ESS(ب) [۱۱]

در حالت مجتمع چون خروجی ESS به خروجی نیروگاه متصل می‌شود، باید از مبدل AC/DC استفاده کرد. اما در حالت توزیع شده، چون ESS به خازن سر وسط DFIG متصل می‌شود از مبدل DC/DC برای اتصال استفاده می‌شود.

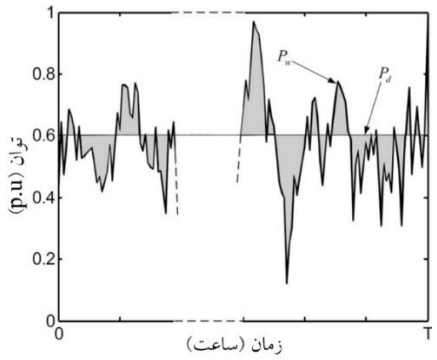
۳- روش حل مسئله

۳-۱- سیستم ذخیره انرژی باتری

سیستم ذخیره انرژی باتری مورد نظر در این مقاله، شامل یک بانک باتری ایدآل، یک مبدل الکترونیک قدرت و یک سیستم کنترل می‌باشد. عمل اصلی این سیستم تبدیل ولتاژ و ذخیره آن در باتری در هنگام افزایش سرعت باد و توان تولیدی و عکس این عمل در زمان کاهش سرعت باد و توان تولیدی نیروگاه می‌باشد. میزان ظرفیت بانک باتری بسته به میزان تغییرات سرعت باد در منطقه و یا مدت زمان تغییرات در سرعت باد متغیر می‌باشد.

منابع ذخیره ساز انرژی گران بوده و راندمان بهره‌برداری معینی دارند. از این رو تعیین ظرفیت نامی آنها برای دستیابی به طراحی بهینه سیستم، از اهمیت بالایی برخوردار است[۸]. به طور کلی الگوی باد در تعیین اندازه باتری نقش مهمی دارد، به این معنی که هر چه تغییرات باد بیشتر باشد ظرفیت باتری نیز باید افزایش یابد که این خود به مثابه افزایش هزینه‌های اقتصادی است. توان مورد نیاز باتری برای تبادل با شبکه در هر لحظه از فرمول(۲) محاسبه می‌شود[۱۴].

$$P_{bat} = P_{wind} - P_G \qquad (۲)$$



شکل(۵): نمودار توان خروجی یک نیروگاه بادی[۱۴]

در شکل(۵) نشان داده شده که اگر بخواهیم در بهترین حالت نیروگاه بادی توان ثابتی برابر با ۰/۶ پریونیت به صورت مداوم به شبکه تزریق نماید، پس باتری باید ظرفیتی برابر بیشترین منطقه هاشور خورده در بالا یا پایین توان تولیدی ثابت، داشته باشد. بنابراین با توجه به الگوهای پیش بینی باد و انجام شبیه سازی بدون در نظر گرفتن منابع ذخیره‌ساز، می‌توان ظرفیت انرژی و توان ذخیره ساز را بدست آورد.

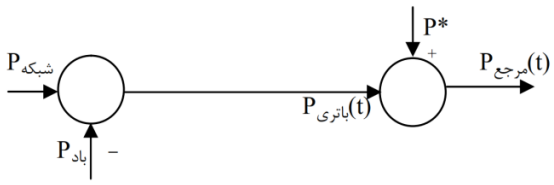
$$W_{ESS}(t) = \int_0^t P_{ESS}(u)du + W_{ESS}(0) \qquad (۳)$$

در این معادله W_{ESS} و P_{ESS} به ترتیب انرژی و توان ESS می‌باشند. مبدلی که برای این ذخیره‌ساز در نظر گرفته شده، یک مبدل AC/DC دوجهته می‌باشد. عامل اصلی در تعیین ظرفیت نامی این مبدل، تعیین ظرفیت سوئیچ‌های آن می‌باشد که خود به دو پارامتر مهم وابسته است؛ ماکزیمم ولتاژ سد معکوس و ماکزیمم جریان هدایت مستقیم. حاصلضرب این دو پارامتر، ولت آمپر نامی هر سوئیچ را می‌دهد و مجموع توان همه سوئیچ‌ها، توان نامی کانورتور می‌باشد[۱۱].

برای این منبع ذخیره‌ساز انرژی سیستم کنترلی بر اساس چند هدف پایه‌گذاری شده است. این اهداف شامل یکنواخت سازی توان خروجی، حفظ توازن و وضعیت شارژ باتری و کنترل ولتاژ در زمان وقوع خطا در شبکه می‌باشد. برای تولید سیگنال کنترلی توان اکتیو، کنترل حلقه بسته‌ای بر اساس فیدبک از توان خروجی مزرعه بادی، حالت شارژ یا SOC باتری و ولتاژ ترمینال مزرعه بادی اعمال شده است. اولین قدم در روش کنترلی پیشنهادی در شکل(۶) نشان داده شده است، که در آن مقدار توانی که باید به شبکه تحویل داده شود با توان خروجی نیروگاه بادی مقایسه می‌شود تا توان باتری P_{bat} بدست آید[۱۵].

Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013



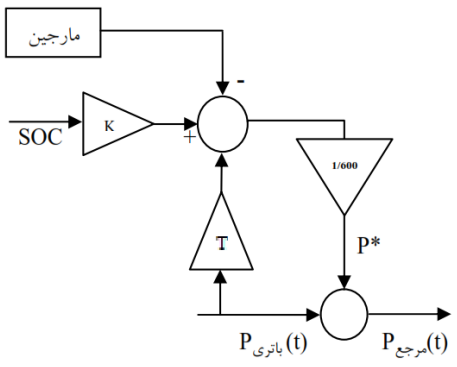
شکل(۶): بلوک محاسبه توان اکتیو مرجع

توان باتری باید با سیگنال تصحیح توان P^* مقایسه شود تا سیگنال مرجع توان بدست آید. از آنجایی که توان خروجی نیروگاه بادی در اثر کلیدزنی دارای نوسانات فرکانس بالا روی شکل موج خروجی می‌باشد، ابتدا باید توان خروجی نیروگاه بادی را از یک فیلتر پایین گذر عبور داد تا این نوسانات فرکانس حذف شوند. سیگنال خروجی این فیلتر همان P_{wind} می‌باشد.

SOC باتری که نشان دهنده وضعیت شارژ باتری است در حقیقت نسبت مقدار ظرفیت انرژی موجود باتری به کل ظرفیت آن است که به صورت درصد بیان می‌شود. بهترین محدوده شارژ و تخلیه باتری درون محدوده ۳۰ تا ۷۰ در صد ظرفیت باتری می‌باشد. در شرایط نامی انرژی مبادله شده از فرمول(۴) محاسبه می‌شود.

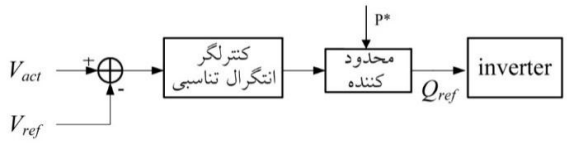
$$E(t) = P_{bat}(t).T \qquad (۴)$$

سیگنال تصحیح توان عبارت است از: "انرژی موجود در باتری ± انرژی مورد نیاز برای تبادل با سیستم منهای مارجین انرژی" که در آن K ضریبی است که SOC را از درصد به مقدار حقیقی تبدیل می‌کند. شکل(۷) حلقه کنترل داخلی محاسبه P^* را نشان می‌دهد[۱۶].



شکل(۷): بلوک محاسبه P^* [۱۶]

اکنون برای کنترل ولتاژ همانند بلوک شکل(۸) در حالات غیر عادی شبکه، باید سیگنال کنترل توان راکتیو را محاسبه کنیم. به همین منظور یک نمونه ولتاژ از ترمینال گرفته شده و با ولتاژ مرجع مورد نظر مقایسه می‌شود. سپس این سیگنال از یک کنترلر انتگرال- تناسبی عبور داده می شود تا مقدار مرجع جریان بدست آید و سپس توسط یک محدود کننده، میزان توان راکتیو مرجع بدست می‌آید که این محدود کننده از همان سیستم ظرفیت باتری تبعیت می‌کند[۱۱].



شکل(۸): بلوک محاسبه توان راکتیو مرجع [۱۶]

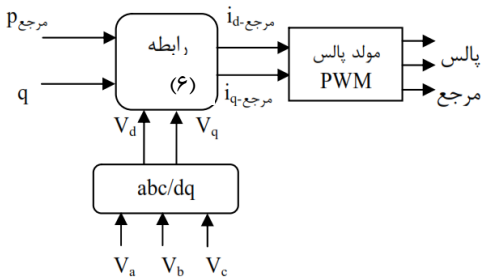
در این مرحله از سیگنال مرجع توان اکتیو و راکتیو برای تولید سیگنال‌های مرجع سوئیچینگ برای مبدل استفاده می‌شود. بدین منظور از ولتاژ و جریان‌های خط ترمینال خروجی مزرعه بادی، نمونه گیری می‌شود. سپس نمونه‌ها را توسط تبدیل پارک به دستگاه مرجع dq می‌بریم. پس توان اکتیو و راکتیو لحظه‌ای از فرمول(۵) محاسبه می‌شوند.

$$\begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_d & V_q \\ -V_q & V_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} \qquad (۵)$$

از فرمول(۶) نیز برای بدست آوردن جریان مرجع برای مقایسه با جریان‌های خط استفاده می شود.

$$\begin{bmatrix} i_{d-ref} \\ i_{q-ref} \end{bmatrix} = \frac{1}{V_d^2 + V_q^2} \begin{bmatrix} V_d & -V_q \\ V_q & V_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{ref} \\ Q_{ref} \end{bmatrix} \qquad (۶)$$

در نهایت توسط بلوک شکل(۹) پالس مرجع جهت تولید سیگنال سوئیچ به مبدل ارسال می گردد.



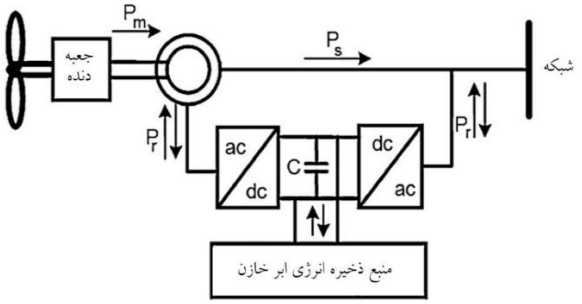
شکل(۹): بلوک تولید پالس مولد PWM

Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

۳-۲- سیستم ذخیره انرژی ابرخازن

سیستم ذخیره انرژی ابرخازن مورد نظر در این مقاله شامل یک ابرخازن، یک مبدل الکترونیک قدرت و یک سیستم کنترل می‌باشد. تفاوت این سیستم با سیستم قبل در مبدل آن می‌باشد. در این سیستم از مبدل DC/DC استفاده می‌شود. این مبدل یک مبدل باک-بوست می‌باشد که در هنگام افزایش توان با کاهش ولتاژ DC، توان را در ابر خازن ذخیره می‌کند و در حالت کاهش توان خروجی توربین، با تخلیه ابر خازن، کاهش توان را جبران می‌کند[۱۷]. شکل(۱۰) طریقه قرار گرفتن ESS در مدار DFIG را نشان می دهد.



شکل(۱۰): مدار DFIGبه همراه ESS توزیع شده [۱۸]

عوامل مهم در این سیستم، میزان ظرفیت ذخیره ساز انرژی یا همان ابرخازن بسته به میزان شارژ و یا تخلیه انرژی، زمان این عملکرد، قدرت مبدل و ... می‌باشد. هر سلول ابر خازن در محاسبات ریاضی به صورت یک خازن و یک مقاومت سری در نظر گرفته می‌شود. بانک خازن تشکیل شده از یک سری خازن است که به صورت سری و موازی به هم متصل شده‌اند. در نهایت این ابرخازن به صورت یک مقاوت سری معادل ESR[۳] و یک خازن در نظر گرفته می‌شود. در ادامه به محاسبه تعداد خازن های سری- موازی در بانک خازن می‌پردازیم. اگر ولتاژ مجاز هر خازن v_{cell} در نظر گرفته شود، تعداد خازن‌ها از فرمول(۷) بدست می‌آید [۱۸].

$$V_{sc-max} = n_s . v_{cell} \qquad (۷)$$

n_s تعداد خازن‌ها و V_{sc-max} حداکثر ولتاژ بانک خازن می‌باشد. مشابه آن برای محاسبه ESR از فرمول(۸) استفاده می‌شود که در آن R_{cell} مقاومت هر خازن و R_s مقاومت کل می‌باشد. برای تعداد خازن‌ها نیز از فرمول(۹) استفاده می‌شود.

$$R_s = n_s . R_{cell} \qquad (۸)$$

$$C_s = C_{cell}/n_s \qquad (۹)$$

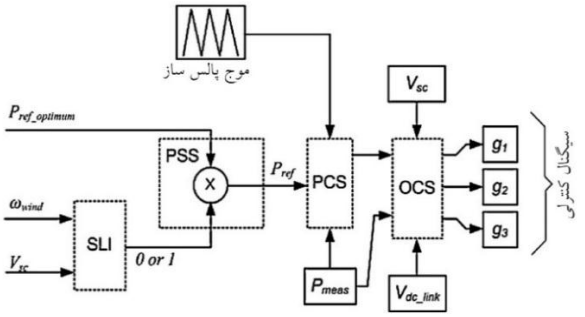
ظرفیت بانک خازن نیز از معادله(۱۰) تعیین می‌گردد در حالیکه V_{sc-nom} ولتاژ نامی، V_{sc-min} حد پایین ولتاژ بانک خازن و t_d مدت زمان تامین انرژی می باشد.

$$C_{sc} = \frac{2.P_c.t_d}{(V_{sc-nom}-V_{sc-min})^2} \qquad (۱۰)$$

مبدل باک-بوست نوعی مبدلDC-DC است که می‌تواند به صورت افزاینده یا کاهنده به کار رود. از این مبدل در منابع تغذیه DC رگولاته شده‌ای استفاده می‌شود که در آنها بخواهیم ولتاژ خروجی بیشتر و یا کمتر از ولتاژ ورودی باشد. برای محاسبه سلف این مبدل از معادله(۱۱) استفاده می‌شود که در آن I_L جریان سلف، T دوره زمانی و D چرخه کار است که معادل ۵۰ درصد در نظر گرفته می شود.

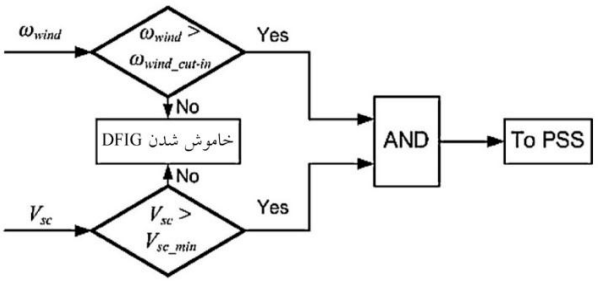
$$L = \frac{V_{sc}}{\Delta I_L} . D.T \qquad (۱۱)$$

در شکل(۱۱) سیستم کنترلی منبع ذخیره انرژی ابر خازن به طور کلی نشان داده شده است که در ادامه بخش‌های مختلف آن را توضیح می‌دهیم. یکی از تفاوت‌های این منبع ذخیره با منبع قبل در این می‌باشد که سیستم کنترل توان آن در مبدل سمت شبکه DFIG می‌باشد. در واقع کنترل توان اکتیو و راکتیو خروجی با مبدل سمت شبکه DFIG می‌باشد و برای کنترل ولتاژ باید تغییراتی را در سیستم کنترل DFIG انجام دهیم[۱۷].



شکل(۱۱):سیستم کنترلی مبدل باک-بوست منبع ذخیره ابر خازن [۱۸]

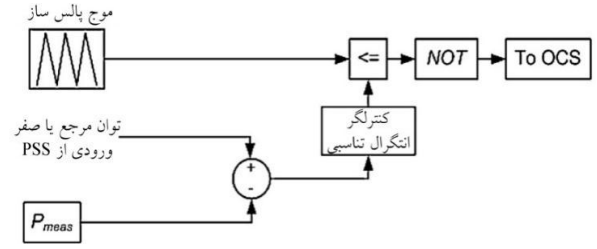
این سیستم کنترلی شامل چهار بخش می‌باشد. بخش اول که در شکل(۱۲) مشاهده می‌شود یک سیستم محدود کننده یا SLI[۴] می‌باشد که در واقع یک سیستم حفاظتی است و در صورت پایین آمدن بیش از حد ولتاژ خازن و یا بالا رفتن سرعت باد، DFIG را خاموش و از مدار خارج می‌کند.



شکل(۱۲): بلوک SLI [۱۸]

قسمت بعد تنظیم توان مرجع سیستم PSS[۵] را انجام می‌دهد. این قسمت سیگنال خروجی از SLI را در توان ورودی مرجع ضرب می‌کند و در صورتی که یکی از شرایط SLI درست نباشد توان ورودی به قسمت بعد صفر می‌شود.

در شکل(۱۳) سیستم کنترل توان PCS[۶] نشان داده شده است که در آن توان مرجع ورودی با توان خروجی DFIG مقایسه شده و پس از عبور از یک سیستم کنترلر انتگرال-تناسبی به صورت پالس در می‌آید و به قسمت کنترلی بعد فرستاده می‌شود.



شکل(۱۳): بلوک کنترل توان PCS [۱۸]

در قسمت کنترل عملیات OCS[۷] که آخرین مرحله این سیستم است سیگنال‌های سوئیچ ساخته می‌شوند. اگر ولتاژ بانک خازنی و ولتاژ خازن لینک DC در مقدار مطلوب خود باشند، سیگنال خروجی PCS از طریق g1 به سوئیچ مبدل فرستاده می‌شود. در صورتی که شروط قبل مورد قبول واقع نشوند سیگنال صفر به g2 ارسال شده و موجب از مدار خارج شدن بانک خازنی می‌شود. همچنین اگر نیروگاه در حالت غیرعادی قرار گیرد و شروع به جذب توان کند، توان نیروگاه منفی شده و برای حفاظت از منبع ذخیره انرژی از طریق ارسال سیگنال به g3، موجب خارج شدن ESS از مدار می‌شود.

۴- نتایج شبیه سازی

۴-۱- سیستم قدرت نمونه

همانطور که اشاره شد در این مقاله از دو نوع منبع ذخیره انرژی با ساختار و سیستم کنترلی مختلف برای بهبود عملکرد DFIG استفاده شده است. شبکه مورد نظر مطابق شکل(۱۴) شامل یک ریز شبکه می‌باشد که از طریق یک ترمینال با یک خط انتقال به شبکه سراسری متصل شده است. این ریز شبکه شامل یک مزرعه بادی متشکل از چند توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی از دو سو تغذیه می‌باشد که در مجموع یک پارک بادی با توان ۶۰ مگاولت آمپر را تشکیل می‌دهند. همچنین یک دیزل ژنراتور با توان ۵ مگا ولت آمپر برای تامین توان مبدل‌های DFIG در حالت جزیره‌ای، در ریز شبکه وجود دارد. توان مصرف‌کننده این ریزشبکه،۲۰مگاوات توان اکتیو و ۵ مگاوار توان راکتیو می‌باشد که به شین سیستم توربین بادی متصل شده است. مشخصات سیستم قدرت در جدول(۱) آورده شده است.

جدول(۱): مشخصات نیروگاه بادی با ژنراتور DFIG

شعاع روتور نیروگاه	۴۰ متر
چگالی هوا	۱.۲۲۵
ضریب قدرت	۰.۲۸
توان نیروگاه	۶۰ مگا ولت آمپر
ولتاژ	۱۳.۸ کیلو ولت
فرکانس	۶۰ هرتز
مقاومت استاتور	۰.۰۰۵۴ پریونیت
مقاومت روتور	۰.۰۰۶۰۷ پریونیت
اندوکتانس متقابل	۴.۳۶۲ پریونیت
اندوکتانس نشتی استاتور	۰.۱۰۲ پریونیت
اندوکتانس نشتی روتور	۰.۱۱ پریونیت
ظرفیت خازن لینک وسط	۰.۲ فاراد

منبع ذخیره انرژی به دو صورت به شبکه متصل می‌شود. نوع اول ESS مجتمع که به شین خروجی DFIG متصل می‌شود و در نوع دوم آن ESS توزیع‌شده که به خازن لینک وسط مبدل DFIG متصل می‌شود. در شکل(۱۴) طریقه اتصال هر دو نوع ESS به مدار نشان داده شده است. منابع ذخیره انرژی به صورت ایده‌آل در نظر گرفته شده‌اند.در جدول(۲) مشخصات منابع ذخیره انرژی بیان شده است.

Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

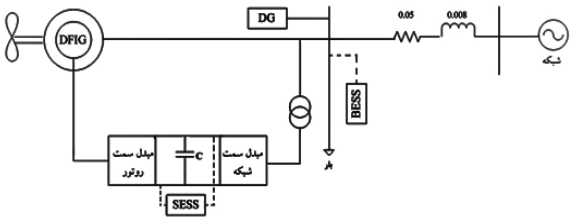
Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

جدول(۲): مشخصات منابع ذخیره انرژی

ولتاژ منبع ذخیره	۱۳۵۰ ولت
مقاومت	۰.۰۰۳ پریونیت
زمان تاخیر	۰.۰۰۱ ثانیه
حد بالای ولتاژ	۱.۰۵ پریونیت
حد پایین ولتاژ	۰.۹۵ پریونیت
فرکانس فیلتر پایین گذر	۱۰۰ هرتز
ظرفیت خازن	۲ فاراد
ظرفیت سلف	۰.۳ پریونیت
ولتاژ خازن	۷۰۰ ولت

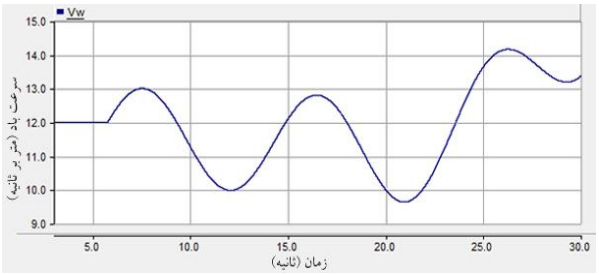
در این بخش، ابتدا به بررسی تاثیر ESS بر کنترل توان اکتیو خروجی DFIG در تغییرات سرعت باد پرداخته می‌شود. در مرحله دوم تاثیر ESS بر جریان مبدل و سیم‌پیچ سمت روتور برای حالت عملکرد بی‌وقفه DFIG در هنگام خطا در شبکه را مورد بررسی قرار می‌دهد. در مرحله سوم مانند مرحله دوم رفتار می‌شود با این تفاوت که در حالت جزیره‌ای شدن ریز شبکه بعد از بر طرف شدن خطا تاثیر ESS بر کنترل ولتاژ را مورد بررسی قرار می‌دهد.



شکل(۱۴): ریز شبکه مورد مطالعه

۴-۲-کنترل توان اکتیو در حالت تغییر سرعت باد

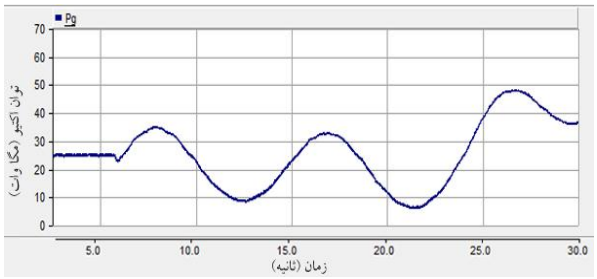
نمونه باد در نظر گرفته شده برای این مقاله در شکل(۱۵) نشان داده شده است. سرعت متوسط باد در نظر گرفته شده در این توربین ۱۲ متر بر ثانیه می باشد.



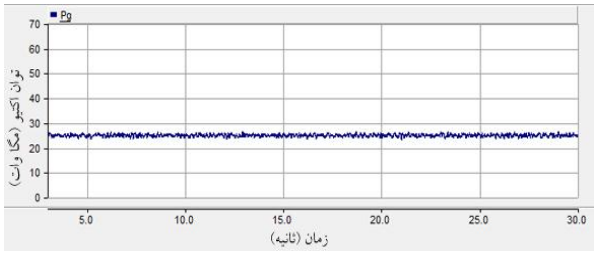
شکل(۱۵): نمودار تغییرات سرعت باد

در شکل(۱۶) توان خروجی DFIG که در معرض این نمونه سرعت باد قرار گرفته است، نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش و کاهش سرعت باد، توان اکتیو هم افزایش و کاهش می‌یابد.

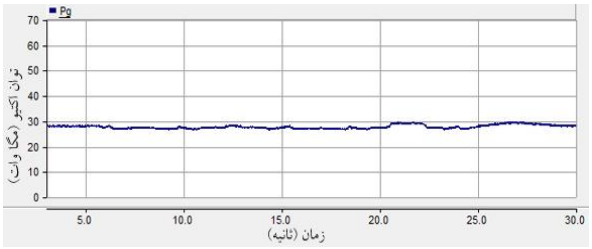
در کنترل توان اکتیو با در نظر گرفتن ESS توزیع شده، با تغییر سرعت باد توان خروجی نیروگاه با توان مرجع مورد مقایسه قرار می‌گیرد. سپس در صورت داشتن تفاوت با ساختن سیگنال سوئیچینگ، ESS شروع به جذب یا ارائه توان از طریق مبدل سمت شبکه DFIG می‌کند. این امر باعث می‌شود که توان اکتیو خروجی DFIG همانگونه که در شکل(۱۷) می‌بینیم در تغییرات سرعت باد ثابت بماند.



شکل(۱۶): توان خروجی DFIG بدون ESS



شکل(۱۷): توان خروجی DFIG با وجود ESS توزیع شده

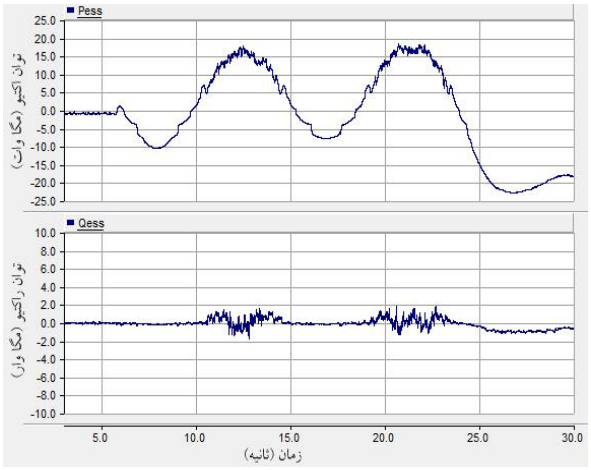


شکل(۱۸): توان خروجیDFIG با وجود ESS مجتمع

همانگونه که در شکل (۱۸) مشاهده می شود، با در نظر گرفتن ESS مجتمع، خروجی DFIG تحت تاثیر قرار گرفته و توان خروجی را در تغییرات سرعت باد یکنواخت ساخته است. در شکل(۱۹) نیز توان اکتیو و راکتیو مبادله شده در ترمینال DFIG با ESS نشان داده شده است.

Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

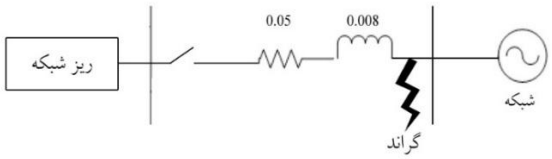
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013



شکل(۱۹): توان اکتیو و راکتیو مبادله شده با ESS

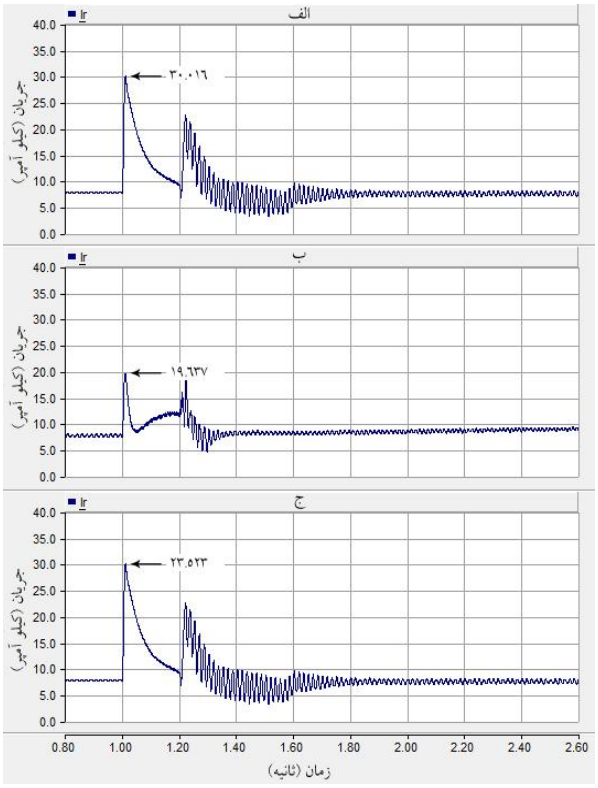
۴-۳-تاثیر ESS بر کنترل جریان روتور در طی خطای شبکه

در این قسمت به بررسی خطای سه‌فاز به گراند ABCG مطابق شکل(۲۰) بر روی سیستم می‌پردازیم و تاثییرات منبع ذخیره انرژی در حالات مختلف بر جریان روتور را نشان می‌دهیم. خطا به مدت ۲۰۰ میلی‌ثانیه اتفاق می‌افتد و بعد از آن برطرف می‌گردد. در حین خطا نیروگاه در مدار بوده و بعد از آن نیز به کار خود ادامه می‌دهد. لازم به ذکر است که هیچ گونه حفاظتی در مراحل زیر برای DFIG به کار برده نشده است. قسمت مهم این نمودارها بیشینه جریان در لحظه اول می‌باشد، چون بعد از آن سیستم‌های حفاظتی سمت روتور وارد عمل می‌شوند.

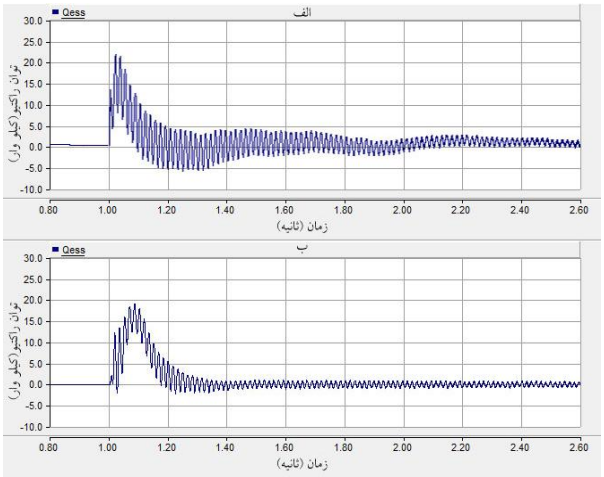


شکل(۲۰): محل خطا در شبکه

در شکل(۲۱) جریان روتور را در حالات مختلف سیستم از جمله بدون ESS، با ESS مجتمع و با ESS توزیع‌شده را مشاهده می‌کنیم. وقتی ESS در مدار نیست مشاهده می‌شود که به علت افت ولتاژ، جریان مبدل سمت روتور افزایش یافته است. اما با استفاده از ESS مجتمع و به علت کنترل توان در لحظه خطا، این اضافه جریان کاهش یافته است و نیز با کنترل توان توسط ESS توزیع شده و سیستم مبدل سمت شبکه، اضافه جریان مبدل سمت روتور کاهش یافته است. همان گونه که مشاهده می‌شود بیشینه جریان در حالت خطای سه فاز به زمین در هر دو حالت وجود ESS کاهش یافته است.



شکل(۲۱): جریان روتور در خطای سه فاز به زمین (الف) بدون ESS(ب) ESSمجتمع (ج) ESSتوزیع شده



شکل(۲۲): توان راکتیو تزریق شده از ESSبه شبکه (الف) ESSمجتمع (ب) ESS توزیع شده

در شکل(۲۲) مشاهده می شود که ESS با تزریق توان راکتیو توانسته بیشینه جریان سمت روتور در خطای سه‌فاز به زمین کنترل کند. با وجود ESS نیز بیشینه جریان روتور در تمام خطاها، اگر چه کمتر می‌شود، اما باعث جلوگیری از مشکل اضافه جریان مبدل سمت روتور نمی‌شود. در واقع از این سیستم به عنوان یک سیستم

Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

کمکی در کنترل جریان استفاده می‌شود. در جدول(۳) نتایج میزان بیشینه جریان در حالات مختلف نشان داده شده است.

جدول(۳): میزان بیشینه جریان مبدل سمت روتور در خطاهای مختلف

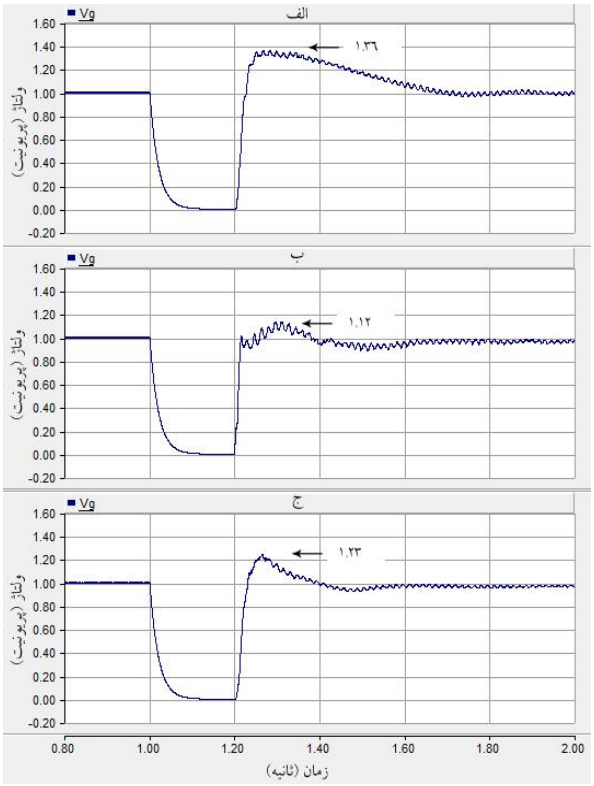
بر حسب آمپر	خطای AG	خطای AB	خطای ABG	خطای ABCG
بدون ESS	۲۶.۸۱۵	۴۲.۲۱۳	۳۷.۱۳۷	۳۰.۰۱۶
ESS مجتمع	۲۰.۶۴۴	۳۵.۹۷۱	۲۹.۶۹۲	۱۹.۶۳۷
ESS توزیع شده	۲۱.۶۲۷	۳۸.۱۳۲	۳۱.۶۸۰	۲۳.۵۲۳

۴-۴-تاثیر ESS بر کنترل ولتاژ ریز شبکه بعد از جزیره‌ای شدن

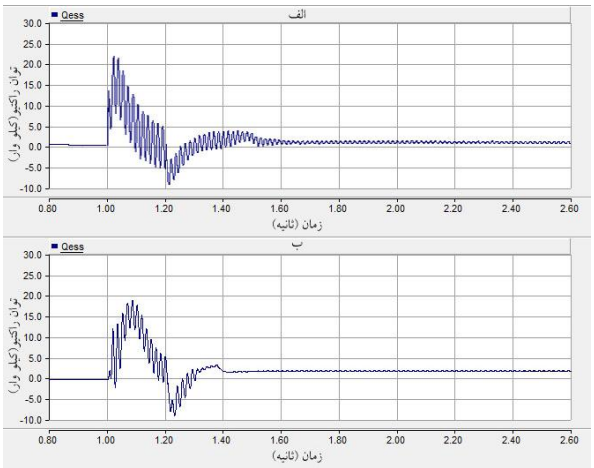
در این بخش به بررسی ولتاژ ریز شبکه درحالت جزیره‌ای شدن بعد از خطا پرداخته می‌شود. در این قسمت هم شبکه در سه حالت بدون وجود ESS، با ESS مجتمع و ESS توزیع شده مورد بررسی قرار گرفته است. شبکه مورد نظر مانند قبل می‌باشد با این تفاوت که این بار خطا بر طرف نشده و مزرعه بادی بعد از وقوع خطا از شبکه سراسری جدا می‌شود. در این قسمت خطای سه فاز به زمین در شبکه رخ داده و اضافه ولتاژ ایجاد شده در ترمینال ریز شبکه بعد از رفع خطا در شکل(۲۳) می‌شود. همانطور که دیده می‌شود در این نوع خطا ولتاژ از حد مجاز مورد نظر بیشتر می‌شود که می‌توان با افزایش ظرفیت منبع ذخیره انرژی و یا استفاده از هر دو سیستم کنترلی مورد نظر آن را کنترل نمود. در شکل(۲۴) نیز خروجی توان راکتیو برای کنترل ولتاژ در خطای سه فاز به زمین مشاهده می‌شود. در جدول(۴) بیشینه ولتاژ بعد از جزیره‌ای شدن ریز شبکه در حالات مختلف استفاده از ESS با یکدیگر مقایسه شده اند.

جدول(۴): میزان بیشینه ولتاژ بعد از جزیره ای شدن شبکه در خطاهای مختلف

بر حسب پریونیت	خطای AG	خطای AB	خطای ABG	خطای ABCG
بدون ESS	۱.۲۱	۱.۲۵	۱.۲٤	۱.۳٦
ESS مجتمع	۱.۰۲	۱.۰۷	۱.۰۳	۱.۱۲
ESS توزیع شده	۱.۰۵	۱.۰۹	۱.۰٦	۱.۲۳



شکل(۲۳): ولتاژ ترمینال در خطای سه فاز به زمین (الف) بدون ESS(ب) ESS مجتمع (ج) ESS توزیع شده



شکل(۲۴): توان راکتیو تزریق شده از ESS به شبکه (الف) ESS مجتمع (ب) ESS توزیع شده

۵- نتیجه گیری

در این مقاله تاثیرات منبع ذخیره انرژی ESS بر رفتار دینامیکی توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی از دو سو تغذیه DFIG در حالات مختلف مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج شبیه سازی مشخص است که هر دو سیستم ESS در کنترل توان اکتیو خروجی ریزشبکه در تغییرات سرعت باد موفق عمل کرده اند و

Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026

Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 2-No. 2- summer 2013

باعث افزایش بازده نیروگاه و کاهش نوسانات توان شده‌اند. همچنین هر دو از قدرت پاسخگویی خوبی در برابر تغییرات سرعت باد برخوردار می‌باشند. در بررسی مورد دوم نیز دیده می‌شود که منبع ذخیره انرژی در کاهش بیشینه جریان روتور در هنگام وقوع خطا توانسته است عملکرد سیستم‌های حفاظتی را بهبود بخشد و با تزریق به موقع توان راکتیو در شبکه و تاثیرگذاری بر ولتاژ، بیشینه جریان اولیه مبدل سمت روتور را کاهش دهد و موجب حفاظت بیشتر از مبدل و سیم پیچ سمت روتور شود. در مورد سوم نیز با کنترل توان راکتیو، ولتاژ نیروگاه در حالت جزیره‌ای شدن و بعد از رفع خطا، به سرعت و بدون خارج شدن از محدوده مجاز به حالت عادی خود باز می‌گردد.

در این مقاله نیز دو منبع ذخیره انرژی با سیستم کنترل، منبع ذخیره و مبدل متفاوت در عملکردهایی مشابه مورد مقایسه قرار گرفته که در حالت کنترل توان، سیستم ذخیره انرژی توزیع شده کنترل بهتری بر توان خروجی نیروگاه و در دو حالت کنترل جریان روتور در وقوع خطای شبکه و کنترل ولتاژ در هنگام جزیره‌ای شدن ریزشبکه، منبع ذخیره مجتمع بهتر عملکرده و تاثیر بیشتری دارد. در کل می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر ESS توزیع شده در تغییرات درونی خود نیروگاه بیشتر است. زیرا این سیستم کنترلی وابسته به سیستم کنترلی نیروگاه می‌باشد و تغییرات درونی نیروگاه را از طریق فیدبک‌های موجود، سریعتر حس می‌کند. اما در طی تغییرات در شبکه، ESS مجتمع به دلیل عملکرد مستقل از نیروگاه بادی عملکرد بهتری دارد. از طرفی به علت کنترل بخشی از توان اکتیو توسط نیروگاه بادی در طی عملکرد ESS مجتمع، این منبع ذخیره انرژی می‌تواند ظرفیت بیشتری را برای تزریق یا جذب توان راکتیو قرار دهد.

مراجع:

[1] R. H. Lasseter, "*Microgrids*," in Proc. IEEE Power Eng. Soc. Winter Meeting, , vol. 1, pp. 305–308,Jan 2002.

[2] Olimpo Anaya-Lara, Nick Jenkins, Janaka Ekanayake, Phill Cartwright, Mike Hughes : *Wind Energy Generation Modelling and Control*, A John Wiley and Sons, Ltd, 2009.

[3] Xisheng Tang, Wei Deng, Zhiping Qi"*Investigation of the Dynamic Stability of Microgrid*"IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS, pp. 1-9. 2013.

[4] W. Qiao, G. K. Venayagamoorthy, R. G. Harley, "*Real Time Implementation of a STATCOM on a Wind Farm Equipped With Doubly Fed Induction Generators*", IEEE Trans. On Industry appl, Vol.45, No.1, Feb 2009.

[5] Feng Wu, Xiao-Ping Zhangand Keith Godfrey, and Ping Ju "*Modeling and Control of Wind Turbine with Doubly Fed Induction Generator*," IEEE Power Syst. Conf. Expo . pp. 1404-1409. 2006.

[6] J. Marques, H. Pinheiro, H. A. Grundling, J. R. Pinheiro, H. L. Hey,"*A Survey on Variable Speed wind Turbine System*", conference offederal university of santa maria, Brazil, 2002.

[7] Paul W. Parfomak: *Energy Storage for Power Grids and Electric Transportation*: A Technology Assessment, A Specialist in Energy and Infrastructure Policy, March 27, 2012.

[8] Anindita Roy, Shireesh B. Kedare, Santanu Bandyopadhyay, "*Application of design space methodology for optimum sizing of wind–battery systems*" Applied Energy, No.86 , PP. 2690–2703, 2009.

[9] S. Teleke, M. E. Baran, A. Q. Hung, S. Bhattacharya, L. Anderson,"*Control strategy for battery energy storage for wind farm dispatching*"IEEE Trans. Energy conversion., vol.24, no. 3, Sep 2009.

[10] C. Abbey and G. Joos, "*Supercapacitor energy storage for wind energy applications*," IEEE Trans.Ind. Appl., vol. 43, no. 3, pp. 769–776, May 2007.

[11] W. Li, G. Joos "*Comparison of energy storage system technologies andconfigurations in a wind farm*," IEEE Power Syst. Conf. Expo. pp. 1280-1285. 2007.

[12] A. Ostadi , A .Yazdani , R .K .Varma "*Modeling and Stability Analysis of a DFIG-Based Wind-Power Generator Interfaced With a Series-Compensated Line*," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 24, no.3, pp. 1504–1514, Jun 2009.

[۱۳] مهدی صدری، عباس شولایی "**مدل سازی داخلی باتری سرب اسیدی با در نظر گرفتن اثر سطح شارژ** " هفدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، ۲۲ الی ۲٤ اردیبهشت ۱۳۸۸، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[14] X. Y. Wang, D. M. Vilathgamuwa, S. S. Choi, "*Determination of battery storage capacity in energy buffer for wind farm*," IEEE Trans. On energy conversion, vol.23, no.3, PP. 2690-2703, sep 2008.

[15] K. Yoshimoto, T. Nanahara, and G. Koshimizu, "*New control method for regulating state-of-charge of a battery in hybrid wind power/battery energy storage system*," in Proc. IEEE Power Syst. Conf. Expo., No. 1, pp. 1244–1251, 2006.

[16] Matthew Clayton, Cody Hill, "*Battery Energy Storage and Wind Energy Integrated into the Smart Grid*," IEEE Trans.On Energy Convers, 2011.

[17] Liyan Qu, Wei Qiao, "*Constant Power Control of DFIG Wind Turbines With Supercapacitor Energy Storage*" IEEE Trans On Industry Application, Vol. 47, No. 1, Jan 2011.

[18] Irtaza M.Syed, Bala Venkatesh, Bin Wu, Alexandre B. Nassif "*Two-layer control scheme for a Supercapacitor Energy Storage System coupled to a Doubly Fed Induction Generator*" Electric Power Systems Research, vol.86, pp. 76-83, 2012.

رزومه



سید مصطفی حسینی در اهواز متولد شده است (۱۳۶۴). تحصیلات دانشگاهی را در مقطع کارشناسی مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد (۱۳۸۶) و کارشناسی‌ارشد مهندسی برق- قدرت از دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول (۱۳۹۴) سپری کرده است.فعالیت‌های پژوهشی و علاقه‌مندی ایشان در زمینه کیفیت توان، و دینامیک سیستم‌های قدرت و انرژی های تجدید پذیر است.

زیرنویس ها

[1] Doubly fed induction generator
[2] *Energy storage system*
[3] Equivalent series resistance
[4] System limits indicator
[5] Presetting system
[6] Power control system
[7] Operation control system

Downloaded from jeps.dezful.iau.ir at 23:31 +0330 on Friday November 13th 2026