



دانشگاه زنجان

مهندسی برق گرایش کنترل

موضوع :

مدل سازی و کنترل توربین های بادی

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر رضا امیدی

نگارش

مسعود واعظی

MasoudVaezi2005@Gmail.com

تابلستان ۹۵

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان

است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می

گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم

سپاسگذارم

مسعود واعظی

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان مطالب
۱	چکیده
۲	مقدمه
۴	فصل اول : مقدمه
۱۶	فصل دوم : مروری بر کارهای انجام شده
۱۷	۱-۲) انواع توربین بادی
۱۷	۲-۲) خصوصیات استاتیکی
۱۹	۳-۲) اجزای نیروگاه بادی
۱۹	۴-۲) انواع مختلف توربین های سرعت متغیر
۱۹	۲-۴-۱) ژنراتور های سنکرون
۲۱	۴-۱-۱) ژنراتورهای سنکرون با سیم پیچ میدان
۲۱	۴-۱-۲) ژنراتور های سنکرون مغناطیس دایم
۲۲	۲-۴-۲) ژنراتور القایی
۲۳	۴-۲-۱) ژنراتور القایی از دو سو تغذیه
۲۴	۴-۲-۲) ژنراتور القایی روتور قفسی
۲۵	۳-۴-۲) انواع دیگر
۲۶	۴-۳-۱) ژنراتور القایی ازدو سو تغذیه بدون جاروبک
۲۷	۴-۳-۲) ژنراتور القایی دو سرعته
۲۷	۵-۲) انواع توپولوژی اتصال توربین های بادی در مزرعه
۳۲	۶-۲) سیستم های قدرت بادی مجهز به DFIG
۳۷	فصل سوم : مدل سازی و کنترل
۳۸	۱-۳) ژنراتور القایی از دو سو تغذیه
۳۹	۱-۱-۳) مدل ماشین
۴۲	۲-۱-۳) کنترل
۵۱	STATCOM (۲-۳)
۵۴	STATCOM (۱-۲-۳) مدل سازی و کنترل
۵۹	crowbar (۳-۳)
۶۰	۴-۳) محدود کننده جریان خطا
۶۰	۱-۴-۳) راکتور های محدود کننده جریان خطا

فهرست مطالب

شماره صفحه	عنوان مطالب
۶۲	۲-۴-۳ Is limiter
۶۳	۳-۴-۳ محدود کننده جریان خطای حالت جامد
۶۶	۴-۴-۳ محدود کننده جریان خطا بر رسانا
۶۷	۱-۴-۴-۳ نوع مقاومتی
۶۸	۲-۴-۴-۳ نوع سلفی
۶۹	۳-۴-۴-۳ نوع راکتور DC
۷۳	فصل چهارم : شبیه سازی
۷۴	۱-۴ عملکرد بی وقفه توربین بادی
۷۵	۲-۴ سیستم قدرت نمونه
۷۶	۳-۴ نتایج حاصل از شبیه سازی
۷۶	۱-۳-۴ اتصال کوتاه سه فاز بدون حفاظت مبدل سمت روتور
۷۷	۲-۳-۴ اتصال کوتاه سه فاز با استفاده از روش انسداد و STATCOM
۸۶	۳-۳-۴ اتصال کوتاه سه فاز با استفاده از FCL و بدون STATCOM
۸۸	۴-۳-۴ اتصال کوتاه سه فاز با استفاده از FCL و STATCOM
۹۵	فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۹۶	نتیجه گیری
۹۷	پیشنهادات
۹۸	پیوست ها
۹۹	ضمیمه
۱۰۰	منابع و ماخذ
۱۰۰	فهرست منابع فارسی
۱۰۰	فهرست منابع لاتین
۱۰۵	چکیده انگلیسی

فهرست جدول ها

عنوان	شماره صفحه
۱-۱: هزینه های مربوط به ساخت یک توربین بادی دو مگاواتی	۸
۱-۲: ظرفیت نصب شده نیروگاه های بادی در چند کشور صنعتی	۱۱
۱-۳: رشد اندازه توربین های بادی	۱۲
۲-۱: شرکت های سازنده توربین های بادی	۲۸
۲-۲: مقایسه بین انواع توپولوژی اتصال توربین بادی در مزرعه بادی	۳۱
۳-۱: نصب STATCOM در آمریکا	۵۲

فهرست نمودارها

- عنوان شماره صفحه
- ۱-۱: تغییرات سالیانه قیمت و نرخ تغییرات انرژی الکتریکی بادی
۶
- ۱-۲: ظرفیت نیروگاه های بادی نصب شده در جهان
۹
- ۱-۳: ظرفیت نصب شده انواع نیروگاه های در اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۸
۹
- ۵: آزمایشگاه پروژه برق

فهرست شکل‌ها

عنوان	شماره صفحه
۳-۳: مدار معادل DFIG	۴۱
۳-۴: ساختار اصلی کنترل RSC	۴۴
۳-۵: ساختار اصلی کنترل GSC	۴۵
۳-۶: حلقه کنترل جریان مبدل سمت شبکه	۴۷
۳-۷: حلقه کنترل ولتاژ اتصال DC	۴۸
۳-۸: طراحی حلقه کنترل جریان برای ثابت نگه داشتن فرکانس سویچینگ	۴۹
۳-۹: حلقه کنترل جریان مبدل سمت روتور با در نظر گرفتن دینامیک PWM	۴۹
۳-۱۰: حلقه کنترل سرعت DFIG	۵۰
۳-۱۱: شمای کلی و مشخصه V-I برای SVC	۵۳
۳-۱۲: شمای کلی و مشخصه V-I برای STATCOM	۵۴
۳-۱۳: ساختار کنترل STATCOM	۵۵
۳-۱۴: مدار مبدل منبع ولتاژ	۵۶
۳-۱۵: بلوک دیاگرام کنترلر جریان	۵۸
۳-۱۶: مدارهای crowbar	۵۹
۳-۱۷: برخی اتصالات متداول CLR	۶۱
۳-۱۸: ساختار Is limiter	۶۱
۳-۱۹: ساختارهای نمونه ای از محدود کننده جریان خطا جامد	۶۴
۳-۲۰: ساختار نمونه ای از محدود کننده جریان خطای جامد	۶۵

فهرست شکل ها

شماره صفحه

۴-۲۶ : جریان روتور با استفاده از STATCOM ۲۰ مگاوازی

۸۹

۴-۲۷ : ولتاژ شین توربین بادی با استفاده از STATCOM ۲۰ مگاوازی

۹۰

۴-۲۸ : ولتاژ شین توربین بادی با استفاده از STATCOM ۲۰ مگاوازی

۹۰

۴-۲۹ : جریان روتور با استفاده از STATCOM ۵۰ مگاوازی

۹۱

۴-۳۰ : جریان روتور با استفاده از STATCOM ۵۰ مگاوازی

۹۱

۴-۳۱ : ولتاژ شین توربین بادی با استفاده از STATCOM ۵۰ مگاوازی

۹۱

۴-۳۲ : ولتاژ شین توربین بادی با استفاده از STATCOM ۵۰ مگاوازی

۹۲

۴-۳۳ : جریان روتور با استفاده از STATCOM ۱۰۰ مگاوازی

۹۲

۴-۳۴ : جریان روتور با استفاده از STATCOM ۱۰۰ مگاوازی

۹۳

۴-۳۵ : ولتاژ شین توربین بادی با استفاده از STATCOM ۱۰۰ مگاوازی

۹۳

۴-۳۶ : ولتاژ شین توربین بادی با استفاده از STATCOM ۱۰۰ مگاوازی

۹۳

۴-۳۷ : توان تزریقی STATCOM

۹۴

چکیده:

ایراد اصلی توربین های بادی مجهز به ژنراتور القایی از دو سو تغذیه عملکرد آن ها در طی بروز اتصال

کوتاه در شبکه می باشد. در این پروژه یک روش جدید برای عملکرد بی وقفه توربین بادی مجهز به

ژنراتور القایی از دو سو تغذیه در طی بروز خطا در شبکه ارایه شده است. یک محدود کننده جریان خطا

به طور سری با مدار روتور قرار می گیرد، در طی بروز خطا محدود کننده جریان یک سلف بزرگ را وارد

مدار روتور می کند تا از افزایش جریان در مدار روتور جلوگیری کند. هنگامی که خطا رفع شد سلف نیز از

مدار روتور خارج می شود. همچنین از یک STATCOM برای تامین توان راکتیو مورد نیاز در حالت

دائمی و در طی بروز خطا استفاده شده است. صحت و عملکرد روش با شبیه سازی سیستم قدرت نمونه

در محیط نرم افزار PSCAD/EMTDC تایید می شود.

مقدمه :

امروزه انواع زیادی از سیستم های توربین بادی در بازار رقابت می کنند که آن ها را به دو گروه اصلی می

توان تقسیم کرد. گروه اول، توربین های بادی سرعت ثابت هستند که ژنراتور به طور مستقیم به شبکه

متصل شده است. در واقع هیچ گونه کنترل الکتریکی برای این سیستم وجود ندارد. به علاوه تغییرات

سریع در میزان سرعت باد به سرعت روی بار القار می شود (به علت تغییرات توان). این تغییرات برای

توربین بادی که به سیستم قدرت متصل است خوشایند نیست و باعث ایجاد فشارهای مکانیکی روی

توربین می شود و عمر توربین را کم می کند و نیز از کیفیت توان می کاهد. در توربین بادی سرعت ثابت

فقط یک سرعت باد وجود دارد که توربین در آن سرعت بهینه کار می کند، از این رو توربین بادی سرعت

ثابت اغلب خارج از عملکرد بهینه خود کار می کند و به طور معمول ماکزیمم توان از باد گرفته نمی شود.

گروه دوم، توربین بادی سرعت متغیر هستند. در این نوع ژنراتور به طور مستقیم به شبکه متصل نمی

شود. نوع سرعت متغیر توربین بادی قابلیت کنترل سرعت روتور را فراهم می کند، این کار به ما اجازه

می دهد تا توربین بادی نزدیک نقطه بهینه خود کار کند. بیشتر توربین های بادی با بازه توان بیشتر از

۱/۵ مگا وات از نوع سرعت متغیر می باشند. یکی از انواع توربین های سرعت متغیر، توربین های بادی

مجهز به ژنراتور القایی از دو سو تغذیه است. امروزه اکثر توربین های بادی به ژنراتور القایی از دو سو

تغذیه مجهز شده اند. در این نوع، ژنراتور القایی روتور سیم پیچی از طریق استاتور به شبکه قدرت

متصل می شود و روتور از طریق مبدل الکترونیک قدرت ac/dc/ac فرکانس متغیر با توان نامی در حدود

۲۵-۳۰ درصد توان نامی ژنراتور به شبکه قدرت متصل می شود. مبدل الکترونیک قدرت شامل مبدل

طرف روتور و مبدل طرف شبکه است که به طور پشت به پشت از طریق یک خازن اتصال dc به هم

متصل شده اند. ایراد اصلی توربین های بادی سرعت متغیر به خصوص توربین هایی که به DFIG مجهز

اند، عملکرد آن ها در طی بروز اتصال کوتاه در شبکه است. اتصال کوتاه روی سیستم قدرت حتی اگر از

محل توربین بادی دور باشد باعث ایجاد افت ولتاژ در نقطه اتصال توربین بادی با شبکه قدرت می شود.

این امر باعث افزایش جریان در سیم پیچ استاتور می شود. به خاطر کوپل مغناطیسی بین استاتور و روتور،

فصل اول : مقدمه

تاریخ استفاده از انرژی باد به دوران باستان بر می گردد، هنگامی که از آن برای حرکت کشتی های

بادی در دریا استفاده می شده است. کاربرد بیشتر انرژی باد از ایران سرچشمه گرفته است، که از

آن برای آسیاب گندم استفاده می شده است. بعد از فتح ایران توسط اعراب، این تکنولوژی به

مناطق در اختیار اعراب و چین منتقل شد. در اروپا، توربین های بادی در قرن یازدهم میلادی

ساخته شد و بعد از دو قرن به یک وسیله بسیار مهم تبدیل شد. اولین توربین بادی برای تولید

انرژی الکتریکی توسط چارلز براش^۱ که تحقیقات آن بر عهده لاکور در دانمارک بود در کلیولند^۲

اوهايو^۳ آمریکا ساخته شد. این توربین دارای ۱۴۴ پره بود تا استحکام بیشتری پیدا کند، با سرعت

کمی می چرخید و دارای گیر بکس بود. قطر این توربین ۱۸/۳ متر و ارتفاع مرکز توربین از سطح

زمین ۱۶/۸ متر و کل وزن آن ۴۰ تن توان آن ۱۲ کیلو وات بود و نوع ژنراتور آن dc بود که از سال

۱۸۸۸ تا ۱۹۰۰ انرژی الکتریکی عمارت چارلز براش را تامین می کرد. با وجود این که باد رایگان

بود، اما به خاطر هزینه بالای سرمایه گذاری و نگهداری آن، در سال ۱۹۰۰ کار آن متوقف شد و

انرژی الکتریکی مورد نیاز عمارت بزرگ براش از شبکه کلیولند تامین شد.

در سال ۱۹۳۹، ساخت ژنراتور های بادی بزرگ در ورمونت^۴ آمریکا آغاز شد. توان نامی این

ژنراتورها ۱/۳ مگا وات در سرعت باد ۱۵ m/s بود و قطر توربین به ۵۳ متر می رسید. در سال

۱۹۴۱، تغذیه مستقیم شبکه قدرت به صورت سنکرون انجام گرفت اما به خاطر نقص در طراحی

پره ها در سال ۱۹۴۵ کار آن متوقف شد.

بعد از جنگ جهانی دوم، به خاطر ارزان شدن قیمت نفت، تحقیقات زیادی روی انرژی های

جایگزین که انرژی باد نیز شامل آن بود، صورت نگرفت. تا اینکه در سال ۱۹۷۳ به خاطر بحران

نفتی، علاقه زیادی در استفاده از انرژی های جایگزین به خصوص انرژی باد ایجاد شد و بودجه های

Charles Brush -^۱

Cleveland -^۲

Ohio -^۳

Vermont -^۴

سرمایه گذاری های زیادی را به خود اختصاص داد که منجر به تاسیس مزارع بادی شد. ماشین

های اولیه به کار رفته در این مزارع، از لحاظ عملکرد مایوس کننده بود و قیمت نگهداری از آن ها

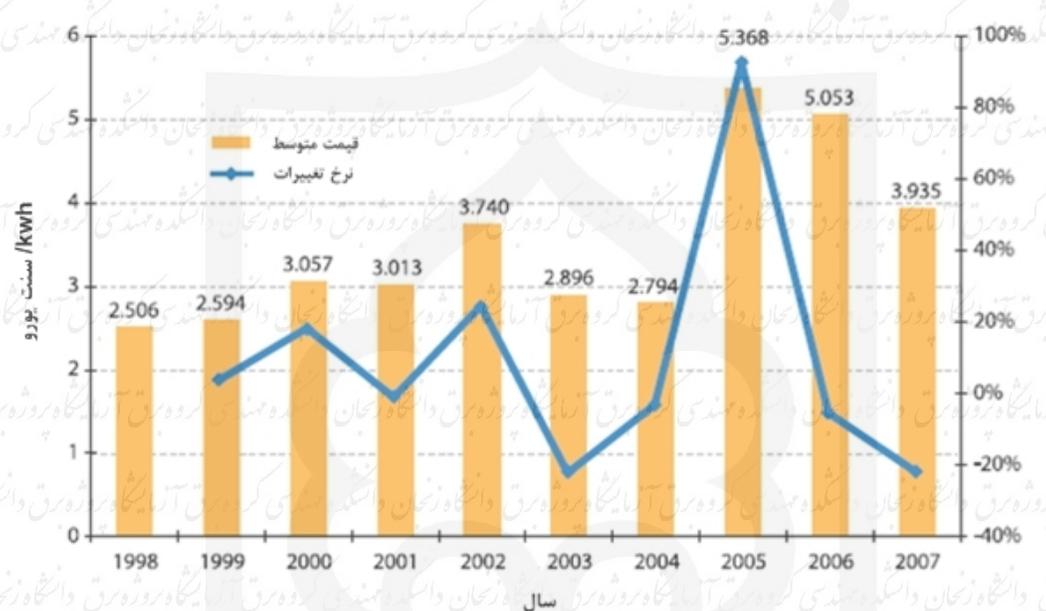
هم بالا بود. به طور مثال در اوایل دهه ۸۰ میلادی، هزینه هر 1 Kw/h انرژی الکتریکی بادی ۲۵

سنت بود. ولی امروزه هزینه هر 1 Kw/h انرژی الکتریکی بادی به کمتر از ۵ سنت رسیده

است [۱].

نمودار (۱-۱) تغییرات سالیانه قیمت انرژی الکتریکی بادی را بین سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۷

میلادی را نشان می دهد [۲].



نمودار (۱-۱) تغییرات سالیانه قیمت و نرخ تغییرات انرژی الکتریکی بادی

عواملی که باعث شده تا امروزه تولید برق از انرژی باد از لحاظ اقتصادی قابل رقابت باشد موارد زیر

است [۳]:

• مشوقها و کمک های ایالتی.

• رشد صنایع بادی که بازده آیرودینامیکی توربین های خود را بهبود داده اند. زنجان و اسکندرمندسی گروه برق آنا میگاه پروژه

برق و انشاه زنجان و اسکندرمندسی گروه برق آنا میگاه پروژه برق و انشاه زنجان و اسکندرمندسی گروه برق آنا میگاه پروژه برق

و انشاه زنجان و اسکندرمندسی گروه برق آنا میگاه پروژه برق و انشاه زنجان و اسکندرمندسی گروه برق آنا میگاه پروژه برق و انشاه

زنجان و اسکندرمندسی گروه برق آنا میگاه پروژه برق و انشاه زنجان و اسکندرمندسی گروه برق آنا میگاه پروژه برق و انشاه زنجان

انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، سهم قابل توجهی از تولید انرژی کشور را تشکیل می‌دهد. با توجه به پتانسیل بالای انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران، استفاده از این منابع برای تولید انرژی می‌تواند به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی محیط زیست منجر شود. در این راستا، استفاده از انرژی بادی به عنوان یکی از گزینه‌های مناسب برای تولید انرژی در ایران مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه به بررسی مزایا، معایب و شرایط احداث نیروگاه‌های بادی در ایران پرداخته می‌شود.

مزایای استفاده از انرژی بادی در ایران عبارتند از: کاهش آلودگی محیط زیست، استفاده از زمین‌های کم‌بهره، کاهش هزینه‌های سوخت، تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر، و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی. با توجه به این مزایا، استفاده از انرژی بادی در ایران می‌تواند به توسعه پایدار و کاهش آلودگی محیط زیست منجر شود.

معایب استفاده از انرژی بادی در ایران عبارتند از: هزینه‌های اولیه بالا، وابستگی به شرایط جوی، آلودگی صوتی، و تداخل با محیط زیست. با توجه به این معایب، استفاده از انرژی بادی در ایران نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش این معایب است.

شرایط احداث نیروگاه‌های بادی در ایران عبارتند از: دسترسی به زمین‌های مناسب، داشتن پتانسیل بادی مناسب، و دسترسی به شبکه انتقال انرژی. با توجه به این شرایط، استفاده از انرژی بادی در ایران نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش این معایب است.

نیروگاه‌های بادی در ایران می‌تواند به کاهش آلودگی محیط زیست، استفاده از زمین‌های کم‌بهره، کاهش هزینه‌های سوخت، تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر، و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی منجر شود. با توجه به این مزایا، استفاده از انرژی بادی در ایران می‌تواند به توسعه پایدار و کاهش آلودگی محیط زیست منجر شود.

معایب استفاده از انرژی بادی در ایران عبارتند از: هزینه‌های اولیه بالا، وابستگی به شرایط جوی، آلودگی صوتی، و تداخل با محیط زیست. با توجه به این معایب، استفاده از انرژی بادی در ایران نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش این معایب است.

شرایط احداث نیروگاه‌های بادی در ایران عبارتند از: دسترسی به زمین‌های مناسب، داشتن پتانسیل بادی مناسب، و دسترسی به شبکه انتقال انرژی. با توجه به این شرایط، استفاده از انرژی بادی در ایران نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش این معایب است.

نیروگاه‌های بادی در ایران می‌تواند به کاهش آلودگی محیط زیست، استفاده از زمین‌های کم‌بهره، کاهش هزینه‌های سوخت، تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر، و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی منجر شود. با توجه به این مزایا، استفاده از انرژی بادی در ایران می‌تواند به توسعه پایدار و کاهش آلودگی محیط زیست منجر شود.

معایب استفاده از انرژی بادی در ایران عبارتند از: هزینه‌های اولیه بالا، وابستگی به شرایط جوی، آلودگی صوتی، و تداخل با محیط زیست. با توجه به این معایب، استفاده از انرژی بادی در ایران نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش این معایب است.

شرایط احداث نیروگاه‌های بادی در ایران عبارتند از: دسترسی به زمین‌های مناسب، داشتن پتانسیل بادی مناسب، و دسترسی به شبکه انتقال انرژی. با توجه به این شرایط، استفاده از انرژی بادی در ایران نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و اتخاذ تدابیر مناسب برای کاهش این معایب است.

نیروگاه‌های بادی در ایران می‌تواند به کاهش آلودگی محیط زیست، استفاده از زمین‌های کم‌بهره، کاهش هزینه‌های سوخت، تولید انرژی پاک و تجدیدپذیر، و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی منجر شود. با توجه به این مزایا، استفاده از انرژی بادی در ایران می‌تواند به توسعه پایدار و کاهش آلودگی محیط زیست منجر شود.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات



فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات

نتیجه گیری

در این پروژه کاربرد هم زمان FCL و STATCOM برای رسیدن به عملکرد بی وقفه توربین بادی مجهز به ژنراتور القایی از دوسو تغذیه در طی اتصال کوتاه در شبکه مورد بررسی قرار گرفت.

FCL به طور سری با مدار روتور قرار می گیرد و هنگامی که اتصال کوتاه در شبکه رخ می دهد موجب محدود شدن جریان روتور می شود. در مقایسه با روش معمول که انسداد RSC و استفاده

از crowbar در مدار روتور برای اتصال کوتاه کردن سیم پیچی روتور است این روش دارای مزایای زیادی است. هنگامی که از روش معمول استفاده شود، ادامه دادن به عملکرد نرمال بعد از رفع خطا،

بدون حالت های گذرا اجتناب ناپذیر است. هنگامی که از FCL استفاده شد پیک های اولیه جریان حذف شد و جریان دارای نوسانات کمتری خواهد شد.

همچنین STATCOM به طور موازی با شین توربین بادی قرار می گیرد و وظیفه تأمین توان راکتیو مورد نیاز را در حالت دائمی و شرایط خطا فراهم می کند. استفاده STATCOM باعث می شود تا ولتاژ بلافاصله بعد از رفع خطا به مقدار قبل خود بازگردد و به عملکرد بی وقفه توربین بادی

کمک می کند. استفاده هم زمان از FCL و STATCOM باعث می شود تا جریان روتور به طور قابل ملاحظه ای در طی شرایط خطا در شبکه محدود شود و ولتاژ شین توربین بادی فوراً بعد از

رفع خطا به مقدار قبل خود بازگردد و از این رو توربین بادی می تواند به طور مطمئن به عملکرد خود ادامه دهد.

پیشنهادهات

در این پروژه از محدود کننده جریان خطای حالت جامد استفاده شد که میتوان از انواع دیگر محدود کننده های جریان خطا با عملکرد بهتر استفاده کرد و نتیجه آن را روی عملکرد توربین بادی مشاهده کرد.

در این پروژه الگوریتم هماهنگ تأمین توان راکتیو بین مبدا سمت روتور و STATCOM به صورت از پیش تعیین شده انجام گرفته است که می توان این الگوریتم هماهنگ را به طور پویا از طریق کنترلر فازی و یا استفاده از فیلتر کالمن فراهم کرد.

در این پروژه مطالعات روی هارمونیک های ایجاد شده در شبکه صورت نگرفت به همین خاطر میتوان تأثیر استفاده از UPQC را روی آن بررسی کرد.

می توان گین های بهینه مربوط به کنترلر های تناسبی- انتگرالی به کار رفته در این پروژه را با روش های بهینه سازی نظیر الگوریتم ژنتیک و کلونی مورچگان و غیره به دست آورد.

منابع و ماخذ

فهرست منابع فارسی

[۱] تحلیل ماشین های الکتریکی، پل سی کراس، ترجمه سید مرتضی سقائیان نژاد و حسن نیک

خواجویی. انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، دی ۱۳۷۶.

فهرست منابع لاتین

[2] A. V. da Rosa, Fundamental of renewable energy processes, 2nd edition. Academic press in an imprint of Elsevier, 2009.

[3] R. Fiestas, et al., "wind power 2008 sectors year book: analysis and data", Spanish wind power association, 2008.

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

[5] Global Wind Energy Council (GWEC). Available online: <http://www.gwec.net>.

[6] G. Shrestha, H. Polinder, D. J. Bang, J. A. Ferreira, "Review of Energy Conversion system for Large wind Turbines", European Wind Energy Conference (EWEC), 2008.

[7] F. Blaabjerg, Z. Chen, power electronics for modern wind turbines. Morgan & claypool publisher, 2006.

[8] S. Soter, R. Wegener, "Development of Induction Machines in Wind Power Technology", IEEE Electric Machines and drives Conference, Antalya, 2007.

[9] R. Pena, J. C. Clare, and G. M. Asher, "Doubly fed induction generator using back-to-back PWM converter and its application to variable speed wind energy generation", Proc. Inst. Elect. Eng.-Elect. Power Appl., vol. 143, no. 3, pp. 231-241, May. 1996.

[10] J. B. Ekanayake, L. Holdsworth, X. WU, N. JENKIS, "Dynamic Modeling Of Doubly Fed Induction Generator Wind Turbines", IEEE Trans On Power System, Vol.18, No.2, May 2003

[11] P. C. Roberts, R. A. McMahon, P. J. Tavner, J. M. Maciejowski, T. J. Flack, "Equivalent circuit for Brushless Doubly Fed Machine Including Parameter Estimation and experimental Verification", IEE Proc-electr. Power Appl, vol.152, No.4, July 2005.

[12] www.sabaniroo.com

[13] L. M. de Alegria, J. L. Villate, J. Andreu, I. Gabiola, P. Ibanez, "Grid Connection of Doubly Fed Induction Generator Wind Turbines : A Survey", European Wind Energy Conference (EWEC), 2004.

[14] A. Mullane, G. Lightbody, R. Yacamini, "Wind Turbine Fault Ride through Enhancement", IEEE Trans. On power sys, Vol.20, No.4, November 2005.

[15] V. Akhmatov, "Analysis of dynamic behavior of electric power system with large amount of wind power", Ph.D. dissertation, Tech. univ. Denmark, Kgs. Lyngby, Denmark, Apr.2003.

[16] 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.

[17] J. Morren, S. W. H. de Haan, "Ridethrough of Wind Turbines with Doubly Fed Induction Generator during a Voltage Dip", IEEE Trans. On Energy Convers, Vol.20, No.2, June 2005.

[18] R. G. de Almeida, J. A. Pecas Lopes, J. A. L. Barreiros, "Improving Power System Dynamic Behavior Through Doubly Fed Induction Machines Controlled By Static Converter Using Fuzzy Control", IEEE Trans. On power sys, Vol.19, No.4, November 2004.

[19] W. Qiao, R. G. Harley, G. K. Venayagamoorthy, "Coordinated Reactive Power Control of a Large Wind Farm and a STATCOM Using Heuristic Dynamic Programming", IEEE Trans. On Energy Convers. Accepted for future application.

[20] A. D. Hansen, G. Michalke, P. Sorensen, T. Lund, F. Iov, "Coordinated Voltage Control of DFIG Wind Turbines IN Uninterrupted Operation During Grid Faults", Wiley Interscience. Wind Energy, Aug 2006.

[21] N. Joshi, and N. Mohan, "A novel scheme to connect wind turbines to the power grid," IEEE Trans. Energy Convers., vol. 24, no. 2, June. 2009.

[22] S. K. Salman, and B. Badrzadeh, "New Approach for Modelling DFIG for grid connection studies," Eropcean Wind Energy Conference (EWEC), 2004.

[23] K. R. Padiyar, FACTS controllers in power transmission and distribution, first edition, June 2007.

[24] C. Schauder and H. Mehta, "Vector analysis and control of advanced static VAR compensator", Proc. Inst. Elect. Eng.-Gener. Transm. Distrib., vol. 140, no. 4, pp. 299-306, Jul. 1993.

[25] N. G. Hingorani, L. Gyugyi, Understanding FACTS: Concepts and Technology of *Flexible AC Transmission Systems*, New York, Wiley-IEEE Press, 1999

[26] C. C. Inwai, C. Yingvivanapong, K. Methaprayoon, W. J. Lee, “Reactive Compensation techniques to Improve the Ride Through Capability Of Wind Turbine During Disturbance”, IEEE Trans. On Industry appl, Vol.41, No.3, June 2005.

[27] Z. Saad-saoud, M. L. Lisboa, J. B. Ekanayake, N. Jenkis, G. Strbac, “Application of STATCOMs to Wind Farms”, IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., Vol.145, No.5, Sept 1998.

[28] A. Tapia, G. Tapia, J. X. Ostolaza, and J. R. Saenz, “Modeling and control of a wind turbine driven doubly fed induction generator”, IEEE Trans. Energy Convers., vol. 18, no. 2, pp. 194-204, Jun. 2003.

[29] T. Tang and L. Xu, “A flexible active reactive power control strategy for a variable speed constant frequency generating system”, IEEE Trans. Power Electron., vol. 10, no. 4, pp. 472-477, Jul. 1995.

[30] M. Yamaguchi, *et al.*, “Performance of DC reactor type fault current limiter using high temperature superconducting coil”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 9, No. 2, Part 1, pp. 940-943, Jun. 1999.

[31] Chang, C. S., and Loh, P. C., “Designs synthesis of resonant fault current limiter for voltage sag mitigation and current limitation”, IEEE Power Eng. Society Winter Meeting, Vol. 4, pp. 2482-2487, 23-27 Jan. 2000.

[32] C. S. Chang and P. C. Loh, “Integration of fault current limiters on power systems for voltage quality improvement,” Journal of Electric Power Systems Research, Vol. 57, No. 2, pp. 83-92, 5 Mar. 2001.

[33] V. K. Sood and S. Alam, "3-Phase fault current limiter for distribution systems", International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems, pp. 1-6, 12-15 Dec. 2006.

[34] Sławomir Kozak, *et al.*, "Experimental and numerical analysis of energy losses in resistive SFCL", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 15, No. 2, Jun. 2005.

[35] Min Cheol Ahn, *et al.*, "The short-circuit characteristics of a DC reactor type superconducting fault current limiter with fault detection and signal control of the power converter", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 15, No. 2, Jun. 2005.

[36] A. P. Jayam, B. H. Chowdhury, "Improving the Dynamic Performance of Wind Farms With STATCOM", IEEE power systems conference & exposition, Washington. USA, 2009.

[37] S. Krohn, P. E. Morthorst, S. Awerbuch, "the economics of wind energy report", European wind energy association, March. 2009.

[38] The European wind energy association, wind energy statistics. Available online: [http:// www.ewea.org](http://www.ewea.org).