

الله اعلم

١٥٧٤٩٢



دانشکده فنی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق قدرت

کاربرد ادوات FACTS در شبکه توربین بادی برای افزایش حد پایداری و متعادل سازی سیستم قدرت

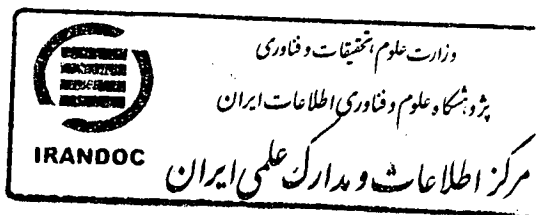
تحقیق و نگارش:

مژگان بالاور

استاد راهنما:

دکتر مرتضی فرسادی

زمستان ۱۳۸۹



۱۵۷۴۶۲

۱۳۹۰/۳/ ۵

تقدیم به

پدر بزرگوارم

او که سپید موگشت تا سفید روشوم

مادر عزیزم

او که دریایی است و دریا کفایتش نکند او که با حضورش بودنم را معنا بخشید

خواهران نازنینم

که حضورشان در کنارم دری گرانهاست

اکنون حاصل این تلاش با قطره ای است تقدیم به دریای وجودشان . امید است که از امروز تا بهر سی فردا ای دور دعایشان بدرقه

راهم باشد.

تقدیر و تشکر

شکر و سپاس خدای متعال را که توفیق آموختن علم و تفکر در هستی بی متهایش را به ما داد، اینکه در سایه توجهات الهی، توفیق گذر از یکی دیگر از مراحل تحصیلی ام را پیدا نموده ام. برخورد لازم می‌دانم از زحمات بی‌پایان کسانی که این نگارش مرهون زحمات آنهاست، سپاسگذاری کنم.

تشکر و سپاس بی‌کران خود را نسبت به خانواده عزیزم که مشوقم در تمامی مراحل زندگی‌ام بودند ابراز می‌دارم و برای خواهرانم آرزوی موفقیت و خوشبختی دارم.

از جناب آقای دکتر فرسادی، استاد راهنمای پایان نامه کمال تشکر و سپاسگذاری را دارم.

از جناب آقای دکتر سجاد توحیدی که مرا از راهنمایی‌های خود بهره‌مند نمودند و بی‌هیچ چشم‌داشتی در تمام مراحل کار راهگشای مشکلات من بودند و با صفا و صداقت خویش به بنده درس دقت‌پشتکار و اعتماد به نفس آموختند، تشکر می‌کنم.

از همکلاسی‌های خویم و دوستان عزیزم که در طی این دوره یار و همراه من بودند و به خاطر همه خوبی‌ها و کمک‌هایشان تشکر و قدردانی می‌نمایم و امیدوارم در تمامی مراحل زندگیشان موفق و موید باشند.

باشد که این یادآوری نشانگر سپاس بی‌پایان اینجانب نسبت به کمک‌های بی‌دریغ این عزیزان به شمار آید.

فصل اول پیشگفتار.....	۱
فصل دوم تبدیل انرژی باد	۴
۱-۲- مقدمه	۴
۲-۲- انرژی باد	۴
۳-۲- توربین بادی محور عمودی و افقی	۵
۴-۲- ساختار توربین بادی	۶
۵-۲- انواع ژنراتورها	۷
۶-۲- مدل آیرودینامیکی توربین بادی	۱۰
۷-۲- اندازه گیری سرعت باد	۱۱
۸-۲- اتصال ژنراتور توربین بادی به شبکه الکتریکی	۱۲
۹-۲- نتیجه گیری	۱۳
فصل سوم ژنراتور القایی دو سو تغذیه	۱۴
۱-۳- مقدمه	۱۴
۲-۳- مدل ژنراتور القایی دو سو تغذیه (DFIG)	۱۴
۳-۳- مدل سیستم شفت DFIG	۱۷
۴-۳- کنترل ژنراتور توربین بادی DFIG	۱۸
۱-۴-۳- کنترل مبدل سمت رتور	۱۸
۲-۴-۳- کنترل مبدل طرف شبکه	۲۱
۳-۴-۳- کنترل کننده زاویه گام پره	۲۲
۵-۳- سیستم حفاظتی DFIG	۲۳
۶-۳- محدودیت‌های DFIG	۲۴
۱-۶-۳- ظرفیت مبدل رتور	۲۵

عنوان	فهرست مطالب	صفحه
۲-۶-۳- ظرفیت استاتور		۲۵
۳-۶-۳- توان نامی توربین بادی		۲۵
۶-۳- نتیجه گیری		۲۶
فصل چهار ادوات FACTS و سیستم‌های ذخیره انرژی		۲۷
۱-۴- مقدمه		۲۷
۲-۴- ادوات FACTS		۲۸
۱-۲-۴- استاتاکام		۲۸
۲-۲-۴- جبران کننده سری سنکرون استاتیکی		۲۹
۳-۴- سیستم ذخیره انرژی		۳۱
۱-۳-۴- باتری		۳۱
۲-۳-۴- سیستم ذخیره انرژی دورانی		۳۳
۳-۳-۴- سوپر خازن		۳۴
۴-۴- طراحی مدل و سیستم کنترلی استاتاکام همراه با خازن الکتریکی دولایه		۳۶
۱-۴-۴- مدل و کنترل مبدل منبع ولتاژ		۳۷
۲-۴-۴- مدل و کنترل مبدل باک/پوست DC-DC		۳۸
۵-۴- نتیجه گیری		۴۰
فصل پنج تحلیل نتایج شبیه سازی		۴۱
۱-۵- مقدمه		۴۱
۲-۵- مدل سیستم قدرت		۴۱
۳-۵- مدل سیستم توربین بادی		۴۲
۴-۵- مدل DFIG		۴۳
۱-۴-۵- سیستم کنترلی Crow-bar		۴۳

صفحه	فهرست مطالب	عنوان
۴۴		۵-۴-۲- سیستم کنترلی مبدل طرف رتور
۴۷		۵-۴-۳- سیستم کنترلی مبدل طرف شبکه
۴۷		۵-۴-۴- سیستم کنترلی زاویه گام پره
۴۸		۵-۵- شیه سازی سیستم قدرت بدون استفاده از ECS/STATCOM
۴۸		۵-۵-۱- خطای تک فاز به زمین
۵۰		۵-۵-۲- خطای دو فاز
۵۳		۵-۵-۳- خطای سه فاز به زمین
۵۸		۵-۶- شیه سازی سیستم قدرت با استفاده از ECS/STATCOM
۶۶		نتیجه گیری
۶۷		پیشنهادات
۶۸		ضمایم
۷۲		فهرست منابع

جدول ۱: پارامترهای بانک EDLC..... ۶۹

جدول ۲: قانون کار کنترل کننده منطق فازی..... ۷۱

- شکل ۲-۱: منحنی تولید انرژی بادی از سال ۱۹۹۰ تا سال آخر سال ۲۰۰۷ برحسب گیگاوات..... ۵
- شکل ۲-۲: نمودار انرژی بادی نصب شده در مناطق مختلف جهان..... ۵
- شکل ۲-۳: نمونه از توربین های بادی محور عمودی و محور افقی..... ۶
- شکل ۲-۴: ساختمان توربین بادی..... ۶
- شکل ۲-۵: ژنراتور القایی قفس سنجابی..... ۸
- شکل ۲-۶: ساختمان ژنراتور القایی رتور سیم پیچی شده..... ۸
- شکل ۲-۷: ساختار ژنراتور القایی از دوسو تغذیه..... ۹
- شکل ۲-۸: ساختمان ژنراتور سنکرون..... ۱۰
- شکل ۲-۹: منحنی $C_p-\lambda-\beta$ در یک توربین بادی ۳.۶ مگاوات..... ۱۱
- شکل ۳-۱: ساختار ژنراتور القایی دو سو تغذیه (DFIG)..... ۱۵
- شکل ۳-۲: مدل سیستم شفت دو قسمتی توربین بادی DFIG..... ۱۷
- شکل ۳-۳: مدار کنترلی RSC..... ۲۰
- شکل ۳-۴: منحنی مشخصه جذب توان..... ۲۱
- شکل ۳-۵: مدار کنترلی GSC..... ۲۲
- شکل ۳-۶: کنترل کننده زاویه گام پره..... ۲۳
- شکل ۴-۱: دیاگرام تک خطی استاتکام..... ۲۹

- شکل ۴-۲: دیاگرام تک خطی جبران کننده سری سنکرون استاتیکی..... ۳۰
- شکل ۴-۳: بلوک دیاگرام تک خطی STATCOM/BESS..... ۳۲
- شکل ۴-۴: سیستم کنترلی STATCOM/BESS..... ۳۳
- شکل ۴-۵: ساختمان سیستم ذخیره انرژی دورانی..... ۳۴
- شکل ۴-۶: مدار معادل بانک خازن الکتریکی دولایه..... ۳۵
- شکل ۴-۷: مدل STATCOM/ECS..... ۳۶
- شکل ۴-۸: سیستم کنترلی ESC/STATCOM..... ۳۷
- شکل ۴-۹: بلوک دیاگرام سیستم کنترلی مبدل باک/بوست..... ۳۸
- شکل ۴-۱۰: ساختار مبدل بوست..... ۳۹
- شکل ۴-۱۱: ساختار مبدل باک..... ۳۹
- شکل ۵-۱: دیاگرام تک خطی شبکه الکتریکی..... ۴۲
- شکل ۵-۲: سیستم کنترلی مدل توربین..... ۴۲
- شکل ۵-۳: مدل DFIG..... ۴۳
- شکل ۵-۴: سیستم کنترلی Crow-bar..... ۴۴
- شکل ۵-۵: سیستم کنترلی RSC..... ۴۵
- شکل ۵-۶: سیستم کنترلی بلوک تنظیم کننده جریان مبدل RSC..... ۴۶

- شکل ۷-۵: سیستم کنترلی بلوک محاسبه‌کننده زاویه و فاز ولتاژ خروجی RSC..... ۴۶
- شکل ۸-۵: سیستم کنترلی مبدل طرف شبکه..... ۴۷
- شکل ۹-۵: سیستم کنترل زاویه پره..... ۴۸
- شکل ۱۰-۵: جریان رتور در طی بروز خطای تک فاز به زمین..... ۴۸
- شکل ۱۱-۵: ولتاژ نقطه اتصال DFIG به شبکه در طی بروز خطای تک فاز به زمین..... ۴۹
- شکل ۱۲-۵: ولتاژ لینک dc مبدل فرکانس متغیر AC-DC-AC..... ۵۰
- شکل ۱۳-۵: جریان رتور بدون بلوکه شدن RSC در حین خطای دوفاز..... ۵۰
- شکل ۱۴-۵: جریان رتور با مسدود شدن RSC در حالت خطای دو فاز به هم..... ۵۱
- شکل ۱۵-۵: ولتاژ نقطه اتصال DFIG به سیستم قدرت در خطای دو فاز به هم..... ۵۲
- شکل ۱۶-۵: توان راکتیو ژنراتور توربین بادی در خطای دو فاز به هم..... ۵۲
- شکل ۱۷-۵: توان اکتیو DFIG در خطای دو فاز به هم..... ۵۳
- شکل ۱۸-۵: پالس فعال کننده سیستم crow-bar..... ۵۴
- شکل ۱۹-۵: جریان رتور در خطای سه فاز به زمین..... ۵۴
- شکل ۲۰-۵: ولتاژ نقطه اتصال توربین بادی: V_k ۵۵
- شکل ۲۱-۵: توان اکتیو ژنراتور توربین بادی..... ۵۶
- شکل ۲۲-۵: گشتاور الکترومغناطیسی ژنراتور توربین بادی..... ۵۶
- شکل ۲۳-۵: توان راکتیو ژنراتور توربین بادی..... ۵۷
- شکل ۲۴-۵: خازن لینک DC مبدل فرکانس متغیر ژنراتور توربین بادی در خطای سه فاز به زمین..... ۵۷

شکل ۵-۲۵: بلوک دیاگرام ECS/STATCOM	۵۸
شکل ۵-۲۶: سیستم کنترلی و بلوک دیاگرام EDLC	۵۸
شکل ۵-۲۷: سیستم کنترلی مبدل منبع ولتاژ	۵۹
شکل ۵-۲۸: پالس تولیدی جهت فعال کردن سیستم crow-bar با حضور جبران کننده	۶۰
شکل ۵-۲۹: جریان رتور در حضور ECS/STATCOM	۶۱
شکل ۵-۳۰: ولتاژ نقطه اتصال در حضور ECS/STATCOM	۶۱
شکل ۵-۳۱: ولتاژ لینک DC مبدل فرکانس متغیر DFIG	۶۲
شکل ۵-۳۲: توان اکتیو تولیدی DFIG	۶۲
شکل ۵-۳۳: توان راکتیو تولیدی DFIG	۶۳
شکل ۵-۳۴: گشتاور الکترومغناطیسی DFIG	۶۳
شکل ۵-۳۵: توان راکتیو مبادله شده میان سیستم قدرت و ECS/STATCOM	۶۴
شکل ۵-۳۶: ولتاژ لینک DC جبران کننده ECS/STATCOM	۶۴
شکل ۵-۳۷: ولتاژ DC بانک EDLC	۶۵
شکل ۵-۳۸: انرژی ذخیره شده در بانک خازنی	۶۵
شکل الف: مجموعه فازی و تابع عضویت آنها	۷۰

چکیده

امروزه نفوذ انرژی‌های تجدیدپذیر در سیستم‌های قدرت باعث ایجاد مشکلاتی شده است که به عنوان نمونه می‌توان به عملکرد توربین‌های بادی دارای ژنراتورهای القایی از دو سو تغذیه در هنگام بروز افت ولتاژ در سیستم قدرت اشاره کرد. در طی بروز خطا در شبکه الکتریکی، جریان سیم‌پیچ‌های استاتور افزایش می‌یابد و به دلیل تزویج مغناطیسی میان سیم‌پیچ‌های رتور و استاتور این جریان در سیم‌پیچ‌های رتور و مبدل الکترونیک قدرت طرف رتور نیز ظاهر می‌گردد و در نتیجه منجر به آسیب دیدن سیم‌پیچ‌های رتور و مبدل طرف رتور می‌گردد. به همین دلیل برای جلوگیری از آسیب دیدن مبدلهای الکترونیک قدرت ژنراتور القایی دو سو تغذیه از یک سیستم حفاظتی crow-bar استفاده می‌شود. با فعال شدن سیستم حفاظتی، مبدل طرف رتور ژنراتور القایی دو سو تغذیه غیر فعال می‌شود. بعد از رفع خطا بدلیل ظرفیت کم مبدل طرف شبکه توان راکتیو مورد نیاز ژنراتور القایی تامین نمی‌شود در نتیجه لازم است که سیستم توربین بادی از شبکه خارج شود. در این رساله قابلیت گذار از خطا¹ و عملکرد سیستم‌های توربین بادی مجهز شده به ژنراتور القایی دو سو تغذیه در هنگام فعال شدن سیستم حفاظتی crow-bar در حین بروز اتصال کوتاه تک فاز به زمین، دوفاز به هم و سه فاز به زمین بررسی شده است. سپس یک روش جدید ارایه شده است که در آن از سیستم انرژی خازنی کنترل شده با منطق فازی استفاده شده است. این سیستم توان اکتیو و راکتیو را در نقطه اتصال توربین بادی به شبکه کنترل می‌کند. شبیه سازی در محیط MATLAB/SIMULINK انجام گرفته است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که سیستم انرژی خازنی پایداری گذرا سیستم توربین بادی وصل شده به سیستم قدرت را افزایش داده و به ژنراتور توربین بادی کمک می‌کند تا به صورت بی‌وقفه در سیستم قدرت به عملکرد خود ادامه بدهد.

¹ -Ride Through Capability

فصل اول

پیشگفتار

به دلیل آلودگی محیط زیست و کمبود انرژی فسیلی تمایل به سمت تکنولوژی‌هایی برای تولید انرژی الکتریکی از منابع انرژی تجدیدپذیر افزایش یافته است. در میان انواع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی باد بخاطر مسایل اقتصادی و پاک بودن بیشتر مورد توجه قرار گرفته است، به گونه‌ای که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۰، ۲۰ درصد انرژی کل جهان از انرژی باد تامین گردد. دو نوع تکنولوژی برای تولید انرژی باد در بازارهای جهان موجود است که یکی ژنراتورهای بادی سرعت ثابت و دیگری ژنراتورهای بادی سرعت متغیر است. ژنراتورهای القایی بخاطر هزینه نگهداری کم و فاقد جاروبک بودن و ساختار ساده و مزایای دیگر گوی سبقت را ربوده است. در سال ۲۰۰۴ حدود ۶۰ درصد فروش بازار جهانی مختص به فروش ژنراتورهای بادی سرعت متغیر بوده است. در این میان ژنراتورهای القایی از دو سو تغذیه (DFIG) به عنوان ژنراتور بادی سرعت متغیر بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است [۱]. در مدل DFIG، ژنراتور القایی از طریق پایانه‌های استاتور به شبکه الکتریکی وصل شده است و رتور آن توسط یک مبدل الکترونیک قدرت AC / DC / AC فرکانس متغیر (VFC) به شبکه وصل شده است. ظرفیت این مبدل برای کنترل کامل ژنراتور حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد ظرفیت کل DFIG می‌باشد. VFC شامل یک مبدل طرف رتور (RSC) و یک مبدل طرف شبکه (GSC) است که از طریق یک خازن لینک DC به صورت پشت به پشت به هم وصل شده‌اند. ایراد اصلی توربین‌های بادی سرعت متغیر به خصوص توربین‌هایی که دارای DFIG هستند، عملکرد آنها در هنگام بروز اتصال کوتاه در سیستم قدرت می‌باشد. اتصال کوتاه در سیستم قدرت - حتی اگر از محل توربین بادی دور باشد- باعث ایجاد افت ولتاژ در نقطه اتصال توربین

^۱ -Doubly Fed Induction Generator

^۲ -Variable Frequency AC/DC/AC

^۳ -Rotor-Side Converter

^۴ - Grid-Side Converter

بادی به سیستم قدرت می‌گردد و در نتیجه جریان در سیم‌پیچ‌های استاتور افزایش می‌یابد و به دلیل توزیع مغناطیسی میان سیم‌پیچ‌های رتور و استاتور این جریان در سیم‌پیچ‌های رتور و مبدل طرف رتور نیز ظاهر می‌شود و منجر به آسیب دیدن آنها می‌گردد. در چنین مواقعی مبدل طرف رتور بایستی برای حفاظت در برابر اضافه جریان رتور مسدود گردد و ممکن است ژنراتور توربین بادی برای جلوگیری از اختلالات بعدی از شبکه قطع گردد. تا چند سال پیش به خاطر سهم کم انرژی باد در تامین انرژی الکتریکی، هنگامی که یک حالت غیر عادی در ولتاژ شبکه شناسایی می‌شد، قطع مزارع بادی از شبکه مشکلی را پیش نمی‌آورد اما با افزایش ظرفیت انرژی باد در سیستم قدرت در سالهای اخیر قطع ناگهانی مزارع بادی از سیستم قدرت منجر به خاموشی‌های عظیم و ناپایداری در سیستم قدرت می‌گردد [۲]. یک راه حل برای افزایش قابلیت حین خطا توربین بادی DFIG بهبود طرح کنترلی مبدل طرف رتور است. در [۲۳] نویسنده روش کنترل ولتاژ DC را پیشنهاد کرده است. مقدار نوسانات ولتاژ DC را هنگام وقوع خطا در شبکه کاهش می‌دهد. در این روش به حالت‌های گذرای جریان رتور که از فرضیات اصلی عملکرد DFIG است، اشاره نشده است. در مرجع [۲۴] یک کنترل کننده غیر خطی و یک کنترل کننده فازی به ترتیب برای کنترل RSC پیشنهاد شده است که در مقایسه با کنترل کننده‌های خطی قدیمی این کنترل کننده اضافه جریان در مدار رتور را در طی بروز خطا کاهش می‌دهد. با این وجود در شبکه قدرت ضعیف احتمال خطر ناپایداری ولتاژ وجود دارد که منجر به تریپ ژنراتور توربین بادی می‌شود. در مرجع [۳] برای اینکه ژنراتور توربین بادی هنگام بروز اتصال کوتاه در شبکه الکتریکی به عملکرد عادی خود ادامه دهد پیشنهاد شده است که RSC موقع رخ دادن خطا در شبکه، برای حفاظت در برابر اضافه جریان رتور قفل شده و مدار رتور از طریق یک مقاومت خارجی به نام Crow-bar اتصال کوتاه گردد. در این هنگام DFIG به ژنراتور القایی معمولی تبدیل شده و شروع به جذب توان راکتیو می‌کند و توربین بادی به عملکرد خود با تولید کم توان اکتیو ادامه می‌دهد. در این رساله GSC همانند جریان ساز توان راکتیو ولتاژ را در نقطه اتصال به شبکه کنترل می‌کند. همچنین برای جلوگیری از افزایش سرعت توربین، کنترل کننده زاویه گام پره (Pitch) فعال شده و وقتی که خطا رفع شد و ولتاژ و فرکانس به حالت پایدار رسید، RSC دوباره شروع به کار کرده و مقاومت خارجی از مدار رتور خارج می‌شود و DFIG به شرایط عملکرد عادی خود باز می‌گردد. اما در شبکه‌های قدرت ضعیف در هنگام خطا GSC به دلیل داشتن توان کم، نمی‌تواند توان راکتیو لازم را تامین کند و در نتیجه احتمال فروپاشی ولتاژ وجود دارد. بنابراین بایستی بلافاصله توربین بادی برای جلوگیری از چنین اتفاقاتی از شبکه خارج شود و وقتی که شرایط به

حالت نرمال رسید، دوباره به شبکه وصل شود. مسئله پایداری ولتاژ چنین سیستم‌هایی می‌تواند با استفاده از ادوات FACTS موازی بهبود یابد [۴]. کاربرد STATCOM در مرجع [۵] مورد بحث قرار گرفته است اما کاربرد STATCOM های قدیمی تنها در تامین توان راکتیو محدود شده است. برای غلبه بر این مشکل در مرجع [۶-۷] از سیستم ترکیبی STATCOM با سیستم ذخیره انرژی باطری (STATCOM / BESS) استفاده شده است که قابلیت کنترل توان اکتیو و راکتیو را دارد. اما BESS^۰ مبتنی بر فرایندهای شیمیایی است، بنابراین دارای مشکلاتی از قبیل سرعت پاسخ کم و عمر کارکرد کوتاه می‌باشد. برای غلبه بر این مشکلات ما در این رساله از یک سیستم انرژی خازنی همراه با استاتکام (STATCOM/^۱ECS) استفاده کرده‌ایم که از قطعات الکترونیک قدرت و خازن دولایه الکتریکی تشکیل شده است. این سیستم به دلیل نداشتن عناصری همچون نیکل، کادمیم و فسفر انرژی پاکتری نسبت به باطری‌ها محسوب می‌شود و تقریباً دارای سیکل کاری نامحدود و تلفات خیلی ناچیز می‌باشد و دارای قابلیت کنترل هر دو توان اکتیو و راکتیو را دارد. ECS/STATCOM به صورت موازی با شینی که توربین بادی از طریق آن به شبکه متصل شده است، قرار می‌گیرد. بنابراین در هنگام بروز اتصال کوتاه در سیستم قدرت توان راکتیو مورد نیاز ژنراتور را تامین کرده و از ناپایداری ولتاژ در شینی که توربین بادی به آن وصل شده است جلوگیری می‌کند و وقتی که اتصال کوتاه رفع شد و ولتاژ و فرکانس در شبکه به حالت عادی بازگشت، RSC شروع به کار کرده و ژنراتور توربین بادی دوباره به صورت DFIG به عملکرد خود ادامه می‌دهد. درستی روش فوق با شبیه سازی یک سیستم قدرت نمونه در نرم افزار MATLAB / SIMULINK مورد تایید قرار گرفته شده است. در فصل دوم این پایان‌نامه تبدیل انرژی باد در فصل سوم مدل و سیستم کنترل ژنراتور القایی از دو سو تغذیه بحث شده است. در فصل چهار انواع ادوات FACTS همراه با سیستم ذخیره انرژی و کاربرد آنها در مزارع بادی مورد بحث قرار گرفته است و فصل آخر نتایج شبیه سازی مربوط به یک ژنراتور توربین بادی متصل به شبکه بی- نهایت را در هنگام بروز انواع اتصال کوتاه‌ها در سیستم قدرت نشان می‌دهد.

^۰ - Battery Energy Storage system

^۱ - Energy capacitor System

فصل دوم

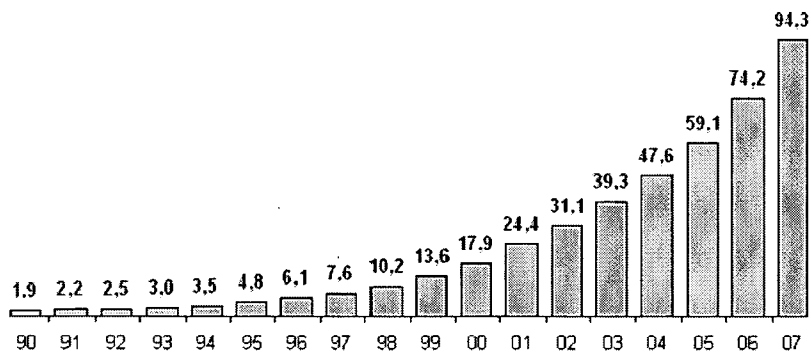
تبدیل انرژی باد

۲-۱ مقدمه

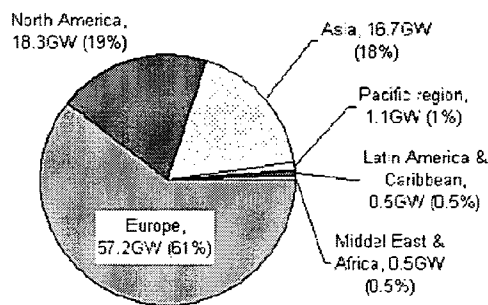
بخاطر آلودگی محیط زیست و کمبود انرژی فسیلی نیاز به تکنولوژی‌های برای تولید انرژی الکتریکی از منابع انرژی تجدیدپذیر روز به روز در حال افزایش هست. بر اساس تعریف، منابع تولید پراکنده به منابعی اطلاق می‌گردد که ظرفیت تولید آنها از چند کیلووات تا چند مگاوات باشد. تکنولوژی واحدهای تولید پراکنده شامل فتوولتائیکها، توربین‌های باد، پیل‌های سوختی، توربین‌های کوچک گازی و میکروتوربین‌ها با ژنراتور / موتورهای احتراق داخلی و غیره می‌باشد. از بین این منابع انرژی، انرژی باد بخاطر مسایل اقتصادی و انرژی پاک قابل دسترس، بیشترین توجه را به خود اختصاص داده است.

۲-۲ انرژی باد

استفاده از انرژی باد از ۲ گیگاوات در سال ۱۹۹۰ به ۱۰۰ گیگاوات در حال حاضر رسیده است و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۵ این مقدار به ۱۰۰۰ گیگاوات برسد. نمودار ظرفیت انرژی باد تولید شده و انرژی باد نصب شده در مناطق مختلف جهان از سالهای ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۰۷ در کشورهای مختلف در اشکال (۲-۱) و (۲-۲) به ترتیب نشان داده شده است [۸].



شکل (۱-۲): منحنی تولید انرژی باد از سال ۱۹۹۰ تا سال آخر سال ۲۰۰۷ برحسب گیگا وات



شکل (۲-۲): نمودار انرژی باد نصب شده در مناطق مختلف جهان

۳-۲ توربین‌های بادی محور عمودی و افقی

توربین‌های بادی از نظر فیزیکی به دو نوع تقسیم می‌شوند: توربین‌های بادی محور افقی و توربین‌های بادی محور عمودی. در توربین‌های بادی محور افقی، پره حول یک محور موازی با زمین و مسیر باد می‌چرخد، مانند آسیابهای بادی. در توربین‌های بادی محور عمودی پره‌ها حول یک محور عمود بر زمین چرخش می‌کنند، مانند Darrieuse. نمونه‌ای از این توربین‌ها در شکل (۳-۲) نشان داده شده است.

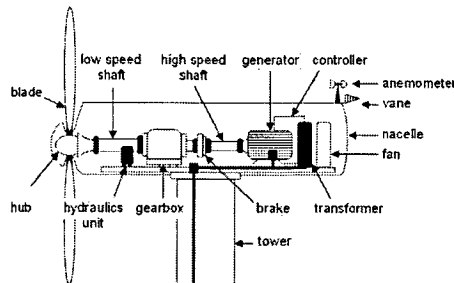


شکل (۳-۲): نمونه از توربین های بادی محور عمودی و محور افقی

بیشتر توربین های بزرگ استفاده شده در مزارع بادی، از نوع توربین های بادی محور افقی هستند. یکی از دلایلی که از این نوع توربین ها استفاده کرده اند این است که سرعت باد شدید و آرام را در ارتفاعات مهار می کند. از نظر فرسوده گی و بارگیری، پره های توربین های بادی محور افقی برای معکوس کردن بارهای گرانشی مناسب هستند. این باعث شده که اندازه این توربین ها کاهش یابد و از نظر مواد، توربین های محور عمودی دارای استحکام بیشتری هستند و در نتیجه بسیار سنگین می باشند [۹].

۲-۴ ساختار توربین بادی

قسمت های اصلی ژنراتور توربین بادی در شکل (۲-۴) نشان داده شده است. توربین از پره ها، چرخ و قطعات اتصال دهنده مانند یطاقنها و سیستم محرک تشکیل شده است. آن انرژی جنبشی باد را به انرژی مکانیکی تبدیل می کند. در توربین های چند مگاواتی به پره ها با طول بزرگتری در حدود ۳۵ تا ۶۰ متر نیاز است.



شکل (۲-۴): ساختمان توربین بادی