

دانشگاه کاشان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی برق

پایان نامه

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق - قدرت

عنوان:

کنترل توان اکتیو و راکتیو یک توربین بادی با ژنراتور
دوسو تغذیه (*DFIG*) با استفاده از روش کنترل تک سیکلی

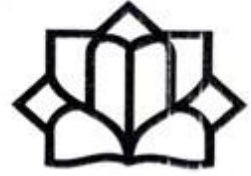
استاد راهنما:

دکتر عباس کتابی

بوسیله:

علی یزدخواستی

اسفندماه ۱۳۸۹



دانشگاه کاشان
دانشکده مهندسی

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه

صور جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

تاریخ:
شماره:
پیوست:

نام و نام خانوادگی دانشجو: علی یزد خواستی	شماره دانشجویی: ۸۷۳۳۱۱۰۰۰۷
رشته: مهندسی برق-قدرت	دانشکده: مهندسی
عنوان پایان نامه: کنترل توان اکتیو و راکتیو یک توربین بادی بازنراتورردو سو تغذیه (DFIG) با استفاده از روش کنترل تک سیکلی	
تعداد واحد پایان نامه: ۹ واحد	تاریخ دفاع: ۸۹/۱۲/۲۱

این پایان نامه به مدیریت تحصیلات تکمیلی به منظور بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد ارائه می‌گردد. دفاع از پایان نامه در تاریخ ۸۹/۱۲/۲۱ مورد تأیید و ارزیابی هیات داوران قرار گرفت و بانمره ^{۱۸۱۹} _{جیمه زردم} و درجه ^۴ به تصویب رسید.

اعضاء هیات داوران

عنوان	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱. استاد راهنما	دکتر عباس کنایی	استادیار	
۳. متخصص و صاحب نظر در دلتا دانشگاه	دکتر ابوالفضل خلویی	استادیار	
۴. متخصص و صاحب نظر در دلتا دانشگاه	دکتر حمیدرضا محمدی	استادیار	
۵. نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر قنبر علی شیخ زاده	دانشیار	

آدرس: کاشان- بلوار قطب روانی

کدپستی: ۵۱۱۶۷-۸۷۳۱۷

تلفن: ۵۵۵۱۲۳-دورنگار-۵۵۵۱۲۳

http://www.kashanu.ac.ir

تقديم به :

**پدر و مادر عزيزم كه بس شك گرچه حمايت آنها شامل
حالم نمى شد رسيدن به اين مرحله امكان پذير نبود .**

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خدای را که توفیق کسب دانش و معرفت را به ما عطا فرمود. در اینجا بر خود لازم می‌دانم از تمامی اساتید بزرگوار به ویژه اساتید دوره کارشناسی ارشد که در طول سالیان گذشته مرا در تحصیل علم و معرفت و فضائل اخلاقی یاری نموده‌اند تقدیر و تشکر نمایم.

از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر عباس کتابی که راهنمایی اینجانب را در انجام تحقیق پژوهش و نگارش این پایان نامه تقبل نموده‌اند نهایت تشکر و سپاسگذاری را دارم.

همچنین از تشریک مساعی آقای دکتر حمید رضا محمدی به عنوان استاد داور داخل دانشگاه و آقای دکتر ابوالفضل حلوی به عنوان استاد داور مدعو از داخل دانشگاه که این پایان نامه را مورد مطالعه قرار داده و در جلسه دفاع شرکت نموده‌اند تشکر می‌نمایم.

در پایان از جناب آقای دکتر قنبر علی شیخ زاده که بعنوان نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه قبول زحمت نموده‌اند سپاسگذاری می‌نمایم.

چکیده

امروزه استفاده از سیستم‌های مبتنی بر انرژی باد گسترش چشمگیری پیدا کرده است. در این تحقیق یک سیستم بادی با ژنراتور القایی دو سوتغذیه پیشنهاد شده است که از سیستم کنترلی موسوم به تک سیکلی برای کنترل مبدل پشت به پشت استفاده شده است. ژنراتور از طریق یک مبدل پشت به پشت به شبکه متصل گردیده است. مبدل سمت ژنراتور سرعت ژنراتور را تنظیم کرده و مبدل سمت شبکه توان راکتیو را کنترل می‌نماید. سیستم شبیه سازی شده شامل یک مزرعه بادی ۹ مگاواتی (متشکل از ۶ توربین ۱,۵ مگاواتی) است که به شبکه توزیع ۲۵ کیلوولت متصل گردیده است. هدف کنترل کننده تک سیکلی، کنترل توان اکتیو ورودی به ژنراتور و نیز کنترل توان راکتیو باس بار سمت ترمینال ژنراتور تحت حالت‌های مختلف از جمله تغییر بار، اعمال خطا و همچنین بارهای نامتقارن از قبیل بار غیرخطی است. به منظور دقت بهتر کنترل کننده پارامترهای PI موجود در کنترل کننده را توسط الگوریتم بهینه سازی پرندگان یا اجتماع ذرات (PSO) تخمین می‌زنیم. با انجام شبیه سازی و رویت نتایج بدست آمده دقت و سرعت کنترل روش پیشنهاد شده و همچنین سادگی سیستم کنترل در مقایسه با روش‌های کنترلی مرسوم بخوبی نمایان است.

کلمات کلیدی: کنترل کننده تک‌سیکلی، مبدل پشت به پشت، ژنراتور القایی دوسو تغذیه، الگوریتم بهینه سازی پرندگان.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه

- ۱-۱- انرژی بادی..... ۱
- ۱-۱-۱- سیستم بادی و بهره گیری از انرژی های نو..... ۱
- ۲-۱-۱- بادی..... ۳
- ۳-۱-۱- منشا باد..... ۳
- ۴-۱-۱- الگوی باد..... ۴
- ۲-۱- تاریخچه..... ۶

فصل دوم: توربین های بادی و کاربرد آن در شبکه

- ۱-۲- پیدایش توربین های بادی..... ۸
- ۱-۱-۲- بررسی شبکه های بزرگ تولید انرژی بادی..... ۹
- ۲-۱-۲- صنعت توربین بادی در آینده..... ۱۲
- ۲-۲- ساختمان توربین بادی..... ۱۴
- ۱-۲-۲- تشریح کلی ساختمان داخلی یک توربین بادی..... ۱۴
- ۱-۱-۲-۲- توربین های بادی مدرن..... ۱۴
- ۲-۱-۲-۲- اجزای تشکیل دهنده یک توربین بادی..... ۱۶
- ۳-۲- انواع توربین های بادی توربین های بادی..... ۱۸
- ۱-۳-۲- توربین های سرعت ثابت..... ۱۸
- ۲-۳-۲- توربین های سرعت متغیر..... ۱۹
- ۴-۲- توان توربین..... ۲۰
- ۱-۴-۲- محدوده تغییرات توان خروجی توربین..... ۲۲

فصل سوم: ژنراتور القایی و روش کنترل آن

- ۱-۳- مروری بر انواع ژنراتورها..... ۲۳
- ۱-۱-۳- ژنراتورهای آسنکرون (القایی)..... ۲۳
- ۲-۱-۳- ژنراتور قفس سنجابی..... ۲۴
- ۳-۱-۳- ژنراتور روتور سیم پیچی شده..... ۲۴
- ۲-۳- ژنراتور از دوسو تغذیه (DFIG)..... ۲۵

- ۲۵-۳-۲-۱- توربین بادی سرعت متغیر با ژنراتور دوستغذیه.....
- ۲۶-۳-۳- سیستم ژنراتور از دوستغذیه برای توربین بادی.....
- ۲۷-۳-۱- مدار معادل ژنراتور *DFIG*.....
- ۳۰-۳-۲- پخش توان.....
- ۳۲-۳-۳- مدار معادل لینک *DC*.....
- ۳۳-۳-۴- نسبت دور استاتور به روتور.....
- ۳۴-۳-۵- انواع دیگر ماشین‌های دوستغذیه.....
- ۳۶-۴-۴- کنترل ژنراتور از دوستغذیه در توربین بادی.....
- ۳۷-۴-۱- کنترل مبدل سمت ژنراتور.....
- ۳۸-۴-۲- کنترل جریان.....
- ۳۸-۴-۳- کنترل گشتاور.....
- ۳۹-۴-۴- کنترل سرعت.....
- ۳۹-۴-۵- کنترل توان راکتیو.....
- ۴۰-۴-۶- کنترل مبدل سمت شبکه.....
- ۴۱-۵-۵- روش کنترلی تک سیکلی موسوم به *(OCC)*.....
- ۴۲-۵-۱- مفهوم کلی کنترل تک سیکلی.....
- ۴۴-۵-۲- سوئیچ‌های کنترل شده با روش تک سیکلی.....
- ۴۴-۵-۲-۱- کنترل تک سیکلی سوئیچ‌هایی با فرکانس ثابت.....
- ۴۶-۵-۲-۲- کنترل تک سیکلی سوئیچ‌هایی با زمان روشن شدن ثابت.....
- ۴۷-۵-۲-۳- کنترل تک سیکلی سوئیچ‌هایی با زمان خاموش شدن ثابت.....
- ۴۹-۵-۲-۴- کنترل تک سیکلی سوئیچ‌هایی با حالت متغیر.....
- ۵۰-۶-۳- روند عملکرد کنترل تک سیکلی.....
- ۵۳-۷-۷- کنترل تک سیکلی مبدل‌های مدولاسیون پهنای پالس *(PWM)*.....
- ۵۳-۷-۱- وظیفه حلقه‌های کنترل.....
- ۵۴-۷-۲- کنترل تک سیکلی.....
- ۵۷-۷-۲-۱- برطرف کردن اختلالات ولتاژ ورودی.....
- ۵۹-۷-۲-۲- برطرف کردن اغتشاش در بار.....
- ۶۰-۷-۲-۳- دنبال کردن مرجع کنترل.....
- ۶۲-۷-۳- تاثیر فیلتر پایین گذر ورودی.....
- ۶۴-۷-۴- تاثیر فیلتر پایین گذر خروجی.....
- ۶۶-۸-۳- بررسی آزمایشگاهی مبدل باک کنترل شده با *OCC*.....

- ۶۷-۹-۳- مقایسه کلی روش *PWM* با *OCC*.....
- ۶۸-۱۰-۳- خلاصه.....

فصل چهارم: نتایج شبیه سازی

- ۷۰-۱-۴- الگوی سرعت باد و توان دریافتی از باد.....
- ۷۲-۲-۴- کنترل سرعت ژنراتور توسط روش تک سیکلی.....
- ۷۴-۳-۴- شرح کلی سیستم شبیه سازی شده.....
- ۷۸-۴-۴- کنترل توان اکتیو و ولتاژ سمت استاتور ژنراتور.....
- ۷۹-۱-۴-۴- عملکرد کنترل کننده تک سیکلی تحت افزایش بار.....
- ۸۱-۱-۴-۴- کنترل ولتاژ باس ژنراتور.....
- ۸۲-۲-۴-۴- کنترل توان راکتیو شبکه.....
- ۸۲-۳-۴-۴- کنترل توان اکتیو.....
- ۸۳-۲-۴-۴- عملکرد کنترل کننده تک سیکلی تحت بار غیر خطی.....
- ۸۶-۱-۲-۴-۴- کنترل ولتاژ باس ژنراتور.....
- ۸۶-۲-۲-۴-۴- کنترل توان راکتیو شبکه.....
- ۸۶-۳-۲-۴-۴- کنترل توان اکتیو.....
- ۸۷-۳-۴-۴- عملکرد کنترل کننده تک سیکلی تحت اعمال خطا.....
- ۸۹-۱-۳-۴-۴- کنترل ولتاژ باس ژنراتور.....
- ۹۰-۲-۳-۴-۴- کنترل توان راکتیو شبکه.....
- ۹۰-۳-۳-۴-۴- کنترل توان اکتیو.....
- ۹۰-۵-۴- کنترل ولتاژ لینک *DC*.....
- ۹۳-۶-۴- مقایسه کنترل تک سیکلی با *PWM*.....

فصل پنجم: نتیجه گیری

- ۹۶-۱-۵- نتیجه گیری.....
- ۹۶-۲-۵- کارهای آینده.....
- ۹۷- فهرست مراجع.....
- ۱۰۰- ضمیمه ۱.....

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۱.....	جدول (۱-۲): ظرفیت مزارع بادی نصب شده در نیروگاه‌های بادی منجیل.....
۱۵.....	جدول (۵-۲): چکیده از مهمترین تفاوت‌های توربین‌های محور افقی و قائم.....
۷۶.....	جدول (۱-۴): پارامترهای استفاده شده در الگوریتم <i>PSO</i>
۷۷.....	جدول (۲-۴): پارامترهای بهینه شده <i>PI</i>
۱۰۰.....	جدول (۳-۴): پارامترهای ژنراتور و خط.....

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۵.....	شکل (۱-۱): نمونه تغییرات سرعت باد.....
۱۰.....	شکل (۱-۲): توربین نصب شده در منطقه منجیل.....
۱۵.....	شکل (۲-۲): توربین بادی محور عمودی و افقی.....
۱۷.....	شکل (۳-۲): اجزاء تشکیل دهنده یک توربین بادی.....
۱۸.....	شکل (۴-۲): توربین بادی سرعت ثابت با یک ژنراتور القائی.....
۱۹.....	شکل (۵-۲): توربین بادی سرعت متغیر با یک ژنراتور القائی/سنکرون.....
۲۴.....	شکل (۱-۳): توربین بادی با یک ژنراتور القائی قفسه سنجابی.....
۲۴.....	شکل (۲-۳): توربین بادی با یک ژنراتور القائی روتور سیم‌پیچی شده.....
۲۵.....	شکل (۳-۳): توربین بادی سرعت متغیر با ژنراتور دوستغذیه.....
۲۶.....	شکل (۴-۳): سیستم <i>DFIG</i> با مبدل پشت به پشت.....
۲۷.....	شکل (۵-۳): مختصات گشتاور-سرعت یک <i>DFIG</i>
۲۷.....	شکل (۶-۳): مدار معادل <i>DFIG</i>
۳۱.....	شکل (۷-۳): پخش توان یک سیستم بدون تلفات <i>DFIG</i>
۳۲.....	شکل (۸-۳): مدل لینک <i>DC</i>
۳۳.....	شکل (۹-۳): نسبت دور استاتور نشان داده شده با یک ترانسفورماتور.....
۳۴.....	شکل (۱۰-۳): ماشین القائی دوستغذیه آبشاری.....
۳۵.....	شکل (۱۱-۳): ماشین القائی دوستغذیه بدون جاروبک.....
۳۶.....	شکل (۱۲-۳): کنترل توربین بادی با سیستم <i>DFIG</i>
۴۲.....	شکل (۱۳-۳): سوئیچ.....
۴۵.....	شکل (۱۴-۳): کنترل تک‌سیکلی سوئیچ‌هایی با فرکانس ثابت.....
۴۶.....	شکل (۱۵-۳): شکل موج سوئیچ‌هایی با فرکانس ثابت کنترل شده توسط تک‌سیکلی.....
۴۷.....	شکل (۱۶-۳): کنترل تک‌سیکلی سوئیچ‌هایی با زمان خاموش شدن ثابت.....
۴۹.....	شکل (۱۷-۳): شکل موج سوئیچ‌هایی با زمان خاموش شدن ثابت کنترل شده با تک‌سیکلی.....
۵۰.....	شکل (۱۸-۳): قانون مثلثی کنترل تک‌سیکلی با فرکانس ثابت.....
۵۱.....	شکل (۱۹-۳): عدم وابستگی به تغییرات درسیگنال ورودی توسط کنترل تک‌سیکلی.....
۵۱.....	شکل (۲۰-۳): دنبال کردن سیگنال کنترل در یک سیکل.....
۵۲.....	شکل (۲۱-۳): دنبال کردن سیگنال کنترل و عدم وابستگی به تغییرات درسیگنال ورودی.....
۵۴.....	شکل (۲۲-۳): مبدل باک.....

- شکل (۳-۲۳): طرز کار شکل موج مبدل باک..... ۵۵
- شکل (۳-۲۴): مبدل باک تک‌سیکل..... ۵۶
- شکل (۳-۲۵): شکل موج ولتاژ دیود مبدل باک..... ۵۶
- شکل (۳-۲۶): برطرف کردن اختلالات ولتاژ ورودی..... ۵۷
- شکل (۳-۲۷): برطرف کردن اختلالات ورودی فرکانس بالا..... ۵۸
- شکل (۳-۲۸): شکل موج دندان‌اره‌ای مبدل باک..... ۵۹
- شکل (۳-۲۹): دنبال کردن سیگنال کنترل در یک سیکل..... ۶۰
- شکل (۳-۳۰): دنبال کردن سیگنال و برطرف کردن اغتشاش در ولتاژ ورودی..... ۶۱
- شکل (۳-۳۱): دنبال کردن سیگنال و برطرف کردن اغتشاش بار..... ۶۱
- شکل (۳-۳۲): مبدل باک مجهز به یک فیلتر ورودی..... ۶۲
- شکل (۳-۳۳): طرز کار شکل موج مبدل باک با فیلتر ورودی..... ۶۲
- شکل (۳-۳۴): کنترل تک‌سیکلی مبدل باک با فیلتر پایین‌گذر ورودی..... ۶۳
- شکل (۳-۳۵): مدار معادل مبدل باک با کنترل تک‌سیکلی..... ۶۴
- شکل (۳-۳۶): پاسخ سیستم مرتبه دوم..... ۶۵
- شکل (۳-۳۷): کنترل تک‌سیکلی مبدل با بصورت آزمایشگاهی..... ۶۶
- شکل (۴-۱): الگوی تغییرات سرعت باد..... ۷۰
- شکل (۴-۲): توان دریافتی از باد..... ۷۱
- شکل (۴-۲): الف-نوسانات توان دریافتی از باد..... ۷۱
- شکل (۴-۳): سرعت روتور کنترل شده با تک‌سیکلی..... ۷۲
- شکل (۴-۴): مشخصه توان خروجی باد به سرعت ژنراتور..... ۷۳
- شکل (۴-۵): منحنی ضریب توان بر نسبت نوک پره..... ۷۴
- شکل (۴-۶): سیستم تک‌فاز شبیه‌سازی..... ۷۵
- شکل (۴-۷): مدار کنترلی تک‌سیکلی در محیط شبیه‌سازی..... ۷۵
- شکل (۴-۸): زمان بهینه بدست آمده از الگوریتم *PSO* تحت افزایش بار..... ۷۷
- شکل (۴-۹): زمان بهینه بدست آمده از الگوریتم *PSO* تحت افزایش بار غیرخطی..... ۷۷
- شکل (۴-۱۰): زمان بهینه بدست آمده از الگوریتم *PSO* تحت خطا..... ۷۸
- شکل (۴-۱۱): عملکرد کنترل کننده تحت افزایش بار (الف)..... ۷۹
- شکل (۴-۱۱): عملکرد کنترل کننده تحت افزایش بار (ب) و (ج)..... ۸۰
- شکل (۴-۱۱): عملکرد کنترل کننده تحت افزایش بار (د)..... ۸۱
- شکل (۴-۱۲): شکل موج ولتاژ شینه ژنراتور تحت بار غیرخطی..... ۸۳
- شکل (۴-۱۳): عملکرد کنترل کننده تحت بار غیرخطی (الف) و (ب)..... ۸۴
- شکل (۴-۱۳): عملکرد کنترل کننده تحت بار غیرخطی (ج) و (د)..... ۸۵

- شکل (۴-۱۴): عملکرد کنترل کننده تحت خطای سه فاز(الف)..... ۸۷
- شکل (۴-۱۴): عملکرد کنترل کننده تحت خطای سه فاز(ب)و(ج)..... ۸۸
- شکل (۴-۱۴): عملکرد کنترل کننده تحت خطای سه فاز(د)..... ۸۹
- شکل (۴-۱۵): عملکرد ولتاژ لینک DC تحت خطا و تغییر بار و بار غیرخطی(الف)و(ب)..... ۹۱
- شکل (۴-۱۵): عملکرد ولتاژ لینک DC تحت خطا و تغییر بار و بار غیرخطی(ج)..... ۹۲
- شکل (۴-۱۶): مقایسه‌ایی از عملکرد دو روش تحت اعمال خطا به شبکه(الف)..... ۹۳
- شکل (۴-۱۶): مقایسه‌ایی از عملکرد دو روش تحت اعمال خطا به شبکه(ب)و(ج)..... ۹۴

فهرست علائم و اختصارات (Abbreviations)

OCC	One Cycle Control
PWM	Pulse-Width Modulation
WECS	Wind Electric Conversion System
DFIG	Doubly Feed Induction Generator
PV	Photo Voltaic
WRSG	Wound Rotor <i>synchronous</i> Generator
PMSG	Permanent Magnet <i>synchronous</i> Generator
SCIG	Squirrel Cage Induction Generator
WRIG	Wound Rotor Induction Generator
MPPT	Maximum Power Point Tracking
GSC	Grid-Side Converter
PSO	Particle Swarm Optimization

فصل اول : مقدمه

۱-۱- انرژی باد

۱-۱-۱ سیستم بادی و بهره‌گیری از انرژی‌های نو

گسترده‌گی نیاز انسان به منابع انرژی همواره از مسائل اساسی مهم در زندگی بشر بوده و تلاش برای دستیابی به یک منبع تمام نشدنی انرژی از آرزوهای دیرینه انسان بوده است، از نقوش حک شده بر دیوار غارها می‌توان دریافت که بشر اولیه توانسته بود نیروی ماهیچه‌ای را به عنوان یک منبع انرژی مکانیکی به خوبی شناخته و از آن استفاده کند. ولی از آنجایی که این نیرو بسیار محدود و ضعیف است انسان همواره در تصورات خود نیرویی تمام نشدنی را جستجو می‌کرد که همواره در هر زمان و مکان در دسترس باشد. کم‌کم با پیشرفت تمدن بشری، چوب و پس از آن ذغال سنگ، نفت و گاز وارد بازار انرژی گردید. اما به دلیل افزایش روز افزون نیاز به انرژی و محدودیت منابع فسیلی، از یک سو افزایش آلودگی محیط زیست ناشی از سوزاندن این منابع از سوی دیگر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را روز به روز با اهمیت‌تر و گسترده‌تر نموده است. با توسعه نگرش‌های زیست محیطی و راهبردهای صرفه‌جویانه در بهره‌برداری از منابع انرژی‌های تجدیدناپذیر، استفاده از انرژی باد در مقایسه با سایر منابع انرژی مطرح در بسیاری از کشورهای جهان رو به فزونی گذاشته است. باد یکی از انواع اصلی انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد که از دیر باز ذهن بشر را به خود معطوف کرده بود به طوری که وی همواره به فکر کاربرد این انرژی در صنعت بوده است. بشر از انرژی باد برای به حرکت درآوردن قایق و کشتی‌های بادبانی و آسیاب‌های بادی استفاده می‌کرده در شرایط کنونی نیز با توجه به موارد ذکر شده و توجیه‌پذیری اقتصادی انرژی باد در مقایسه با سایر منابع انرژی‌های نو، پرداختن به انرژی باد امری حیاتی و ضروری به نظر می‌رسد. در کشور ما ایران قابلیت‌ها و

پتانسیل‌های مناسبی جهت نصب و راه‌اندازی توربین‌های برق بادی وجود دارد، که با توجه به توجه‌پذیری آن و تحقیقات، مطالعات و سرمایه‌گذاری که در این زمینه صورت گرفته، توسعه و کاربرد این مطالعات و سرمایه‌گذاری چشم‌انداز روشنی را فراروی سیاست‌گذاران بخش انرژی کشور در این زمینه قرار داده است. به منظور شناخت دقیق محدودیت‌ها، موانع و امکانات موجود در جهت استفاده از منابع انرژی در کشور، ضروری است. میزان بهره‌برداری از پتانسیل‌های موجود انرژی و روند تحولات حامل‌های انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور نیز به روش علمی و دقیق محاسبه و ارزیابی گردد. کشور ایران از لحاظ منابع مختلف انرژی یکی از غنی‌ترین کشورهای جهان محسوب می‌گردد، چرا که از یک سو دارای منابع گسترده سوخت‌های فسیلی و تجدیدناپذیر نظیر نفت و گاز است و از سوی دیگر دارای پتانسیل فراوان انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله باد می‌باشد. استفاده از تکنولوژی توربین‌های بادی به دلایل زیر می‌تواند یک انتخاب مناسب در مقایسه با سایر منابع انرژی تجدیدپذیر^۱ باشد. قیمت پایین توربین‌های برق بادی در مقایسه با دیگر انرژی‌های نو، کمک در جهت ایجاد اشتغال، عدم آلودگی محیط زیست در کشورهای پیشرفته نظیر آلمان، دانمارک، آمریکا، اسپانیا، انگلستان، و بسیاری کشورهای دیگر کرده است. بطوری که توربین‌های بادی بزرگ و کوچک ساخته شده و برنامه‌هایی نیز جهت ادامه پژوهش‌ها و استفاده بیشتر از انرژی باد جهت تولید برق در واحدهایی با توان چند مگاواتی مورد مطالعه قرار گرفته است. در ایران نیز با توجه به وجود مناطق بادخیز طراحی و ساخت آسیاب‌های بادی از ۲۰۰۰ سال پیش از میلاد مسیح رایج بوده و هم اکنون نیز بستر مناسبی جهت گسترش بهره‌برداری از توربین‌های بادی فراهم می‌باشد. مولدهای برق بادی می‌تواند جایگزین مناسبی برای نیروگاه‌های گازی و بخاری باشند. استفاده فنی از انرژی باد وقتی ممکن است که متوسط سرعت باد در محدوده ۵ مایل بر ثانیه الی ۲۵ مایل بر ثانیه باشد. از مزایای استفاده از این انرژی عدم نیاز توربین بادی به سوخت، تامین بخشی از تقاضاهای انرژی برق، کمتر بودن نسبی انرژی باد نسبت به انرژی فسیلی در بلند مدت، تنوع بخشیدن به منابع انرژی و ایجاد سیستم پایدار انرژی، قدرت مانور زیاد در بهره‌برداری (از چند وات تا چندین مگاوات)، عدم نیاز به آب و نداشتن آلودگی محیط زیست می‌باشد.

۲-۱-۱ باد

یکی از انواع اصلی انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد که از دیر باز ذهن بشر را به خود معطوف کرده بود به طوری که وی همواره به فکر کاربرد این انرژی در صنعت بوده است. بشر از انرژی باد برای به حرکت درآوردن قایق و کشتی‌های بادبانی و آسیاب‌های بادی استفاده می‌کرده است. در شرایط کنونی نیز با توجه به موارد ذکر شده و توجه‌پذیری اقتصادی انرژی باد در مقایسه با سایر منابع انرژی‌های نو، پرداختن به انرژی باد امری حیاتی و ضروری به نظر می‌رسد.

۳-۱-۱ منشأ باد

هنگامی که تابش خورشید به طور نامساوی به سطوح ناهموار زمین می‌رسد سبب ایجاد تغییرات در دما و فشار می‌گردد و در اثر این تغییرات باد به وجود می‌آید. همچنین اتمسفر کره زمین به دلیل حرکت وضعی زمین، گرما را از مناطق گرمسیری به مناطق قطبی انتقال می‌دهد که این امر نیز باعث به وجود آمدن باد می‌گردد. جریانات اقیانوسی نیز بصورت مشابه عمل نموده و عامل ۳۰٪ انتقال حرارت کلی در جهان می‌باشند. در مقیاس جهانی این جریانات اتمسفری به صورت یک عامل قوی جهت انتقال حرارت و گرما عمل می‌نماید. دوران کره زمین نیز می‌تواند در برقراری الگوهای نیمه دائم جریانات سیاره‌ای در اتمسفر، انرژی مضاعف ایجاد نماید.

۴-۱-۱ الگوی باد

مدل و تقریب مناسب باد از اهمیت بسیاری برخوردار است زیرا میزان توان تولیدی توسط توربین بادی به الگو و مدل باد بصورت مستقیم بستگی دارد. الگوهای رفتاری بسیاری جهت وزش باد به توربین مطرح گردیده که از معروفترین آنها می‌توان به دو مدل رایلی و ویبال^۱، [۲] اشاره کرد. با توجه به اینکه میزان باد دائماً تغییر می‌کند میزان متوسط مشخص شده برای یک منطقه خاص صرفاً نمی‌تواند میزان تولید توربین بادی نصب شده در آن منطقه را مشخص کند. برای مشخص کردن فراوانی سرعت باد در یک منطقه معمولاً از یک ضریب توزیع^۲ در اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به منطقه استفاده می‌کنند. مناطق مختلف دارای مشخصه توزیع سرعت متفاوتی هستند. مدل رایلی به طور دقیق میزان ضریب توزیع سرعت در مناطق گوناگونی را تخمین می‌زند. فرمول تابع چگالی ویبال و رایلی به ترتیب در رابطه (۱-۱) و (۲-۱) مشخص است.

تابع چگالی ویبال عبارت است از:

$$f_{\alpha}(t) = \alpha \beta t^{\alpha-1} \exp(-\beta t^{\alpha}) \quad (\alpha > 0, \beta > 0, t \geq 1) \quad (1-1)$$

که در آن α و β مثبت می‌باشند و t نیز نامنفی است.

با جایگذاری علایم مربوط به سیستم بادی داریم:

$$f(v_w) = \frac{k}{c} \left(\frac{v_w}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v_w}{c}\right)^k\right] \quad (k > 0, v_w > 0, c \geq 1) \quad (2-1)$$

که در آن c و k دو پارامتر صحیح منحنی هستند و v_w سرعت باد است.

در سرعت‌های بالاتر از نامی پارامتر c بزرگ و پارامتر k بزرگ متوسط باد وابسته است

۱- Rayleigh & Weibull

۲- Distribution Coefficient

تابع چگالی رایلی عبارت است از:

$$f(v_w) = \frac{\pi v_w}{2v_0^2} \exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(\frac{v_w}{v_0}\right)^2\right] \quad (3-1)$$

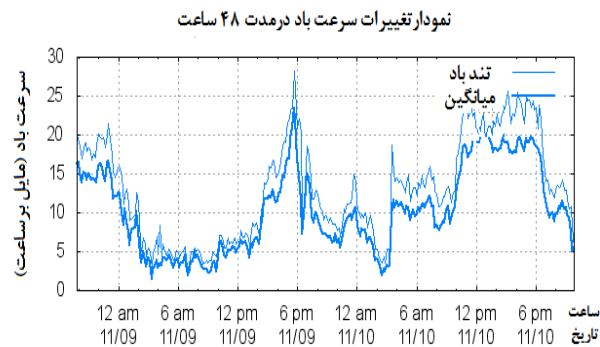
که در آن v_0 سرعت متوسط باد است.

دو تابع مذکور جهت استفاده در زمان‌های طولانی بکار می‌رود. در دوره‌های کوتاه در حدود یک ساعت می‌توان از رابطه زیر (۴-۱) استفاده کرد. [۳]

$$v_w = v_0 + \sum_{i=0}^n A_i \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (4-1)$$

در رابطه فوق A_i دامنه سرعت باد در فرکانس ω_i و فاز φ_i است. n تعداد مولفه هاست.

در شکل (۱-۱) یک الگو از تغییرات سرعت باد بر حسب زمان را مشاهده می‌کنید.



شکل (۱-۱): نمونه تغییرات سرعت باد. [۴]

۲-۱ تاریخچه

بشر از زمان‌های بسیار دور انرژی باد را به شیوه‌های مختلف بکار گرفته است. ایرانیان اولین کسانی بودند که در حدود ۲۰۰ سال قبل از میلاد مسیح برای آرد کردن غلات از آسیاب‌های بادی استفاده کرده‌اند که امروزه آثار آن در نواحی خواف و تایباد در شرق کشور به چشم می‌خورد. همچنین مصریان باستان از نیروی باد برای راندن کشتی‌های خود روی رودخانه نیل استفاده کردند. اگر بخواهیم نگاه اجمالی به تکامل بهره برداری از انرژی بادی داشته باشیم می‌توان به تاریخچه عظیم استفاده از این سیستم پی ببریم، بطوری که در اواسط قرن نوزدهم در حدود ۹ هزار ماشین بادی به منظورهای گوناگون مورد استفاده قرار می‌گرفته است. در زمان انقلاب صنعتی در اروپا استفاده از ماشین‌های بادی رو به کاهش گذاشت. استفاده از انرژی باد در ایالات متحده از سال ۱۸۵۴ شروع شد. از این ماشین‌ها بیشتر برای بالا کشیدن آب از چاه‌های آب و بعدها برای تولید الکتریسیته استفاده شد. بزرگترین ماشین بادی در زمان جنگ جهانی دوم توسط آمریکایی‌ها ساخته شد. در شوروی سابق در سال ۱۹۳۱ ماشینی بادی با محور افقی بکار انداختند که انتظار می‌رفت ۱۰۰ کیلو وات برق به شبکه بدهد. ارتفاع برج ۲۳ متر و قطر پره‌ها ۵/۳۰ متر بود. در قرن هفدهم میلاد، مردم هلند طرح پایه آسیاب‌های بادی را بهبود دادند. همین امر باعث شد تا این کشور در زمره غنی‌ترین و صنعتی‌ترین کشورهای اروپا قرار گیرد. برخی از کشورها آسیاب‌های بادی را برای آسیاب گندم و ذرت، پمپ کردن آب و قطع درختان استفاده کرده‌اند. در آغاز قرن بیستم اولین توربین‌های بادی سریع و مدرن ساخته شد. امروزه فعالترین کشورها در این زمینه آلمان، ایتالیا، آمریکا، دانمارک و هند می‌باشند. واضح است مهمترین بخش در یک سیستم بادی جهت دریافت بهترین راندمان از سیستم بخش کنترلی آن است که تاکنون روش‌های مختلفی نیز ارائه شده است که البته در کنار مزایای آن معایبی نیز داشته‌اند که در ادامه به اختصار به آنها می‌پردازیم. از جمله روش‌های مهم می‌توان به روش مدولاسیون پهنای پالس^۱ (PWM) اشاره کرد. [۵]، [۶] این روش یک روش کنترلی خطی است. در این روش ولتاژ خروجی مبدل سوئیچ با مقدار مرجع مقایسه شده و خطای بین مرجع و سیگنال خروجی پس از آن که از یک گین جهت تقویت سیگنال عبور داده می‌شود، با یک شکل موج دنداناره‌ای مقایسه می‌شود تا بتواند نسبت دوره کار را در جهت کاهش خطا تنظیم نماید. بمنظور رسیدن یک سیگنال ورودی

۱- Pulse Width Modulation

۲- Duty Cycle