بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای مهدی حسامی رستمی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان طراحی کنترلگر برای سیستم کنترل دور در توربین های بادی در تاریخ H۲/H چندمنظوره ارائه کردند ۱۳۹۰/۱۲/۶.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد کنترل پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر حیدرضا مومنی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر سجاد ازگلی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمدرضا جاهد مطلق	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	دانشیار	

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی برق است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر محمدرضا سامونی ، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ——— و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ——— از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب محمد حسامی رستمی دانشجوی رشته مهندسی برق گرایش مخابرات مقطع دکتری تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محمد حسامی رستمی

تاریخ و امضا:

۹۱/۱/۲۴

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸٤/٤/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء

دانشگاه تربیت مدرّس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق–کنترل

طراحی کنترلگر چند منظوره H_2/H_∞ برای کنترل دور توربین بادی

مهدی حسامی رستمی

استاد راهنما:

دکتر حمید رضا مومنی

زمستان ۱۳۹۰

تقدیم

به پدر و مادر و همسر عزیزم

که مظهر لطف الهی

و اسوه‌ی تلاش و مهربانی اند

تشکر و قدردانی

حمد وثناپروردگاری راست که تنهااوشایسته‌ی پرستش است، عالم است و کسانی که در راه علم قدم برمی‌دارندرااجرمی‌دهد.اکنون که به لطف پروردگار،این پایان نامه سامان یافته است،برخودلازم میدانم ازاستادراهنمای بزرگوارم جناب آقای دکترحمید رضا مومنی که باارائه‌ی رهنمودهای سودمندو ارزنده‌ی علمی ونگارشی،دقت نظروسعهی صدرخود،پیمودن این مسیررابرمن آسان نمودند و از اساتید پرتلاش گروه کنترل که پایهی علمی خود را مدیون ایشان میدانم، تشکروقدردانی نمایم . همچنین از همه‌ی دوستان عزیزم که مرا در انجام این پژوهش یاری نمودند،کمال تشکررادارم.

بااحترام فراوان

مهدی حسامی رستمی

چکیده

در این پایان نامه رویکرد جدیدی برای کنترل دور توربین بادی سرعت متغیر ارائه می شود . مدل غیر خطی و متغیر با زمان توربین به مدل خطی پارامتری (LPV) تبدیل می شود که با تئوری چند ضلعی محدب بیان می شود.کنترلگر فید بک حالت با عملکرد H2/H∞ در هر گوشه ای از چند ضلعی محدب می تواند بطور عددی توسط نامساوی ماتریس خطی (LMI) حل شود . با استفاده از کنترلگر های طر احی شده در هر گوشه می توان یک کنترلگر خطی پارامتری توسط روش های تجزیه محدب بطور سریع بدست اورد. در انتها با استفاده از نرم افزار Matlab نتایج حاصل از مباحث تئوری بررسی می شود و با نتایج مقالات سال‌های اخیر مقایسه شده که بهینه سازی پاسخ را نشان میدهد.

کلید واژه: مدل خطی پارامتری،کنترلگر H2/H∞ ، نامساوی ماتریس خطی، توربین بادی

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست جدول‌ها..... ج
فهرست شکل‌ها..... د

فصل ۱- مقدمه ای بر استفاده از نیروی باد ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲ باد و تاریخچه ۲
۱-۳ بخش های تشکیل دهنده نیروگاه بادی ۳
۱-۴ طبقه بندی توربین های بادی ۵
۱-۵ هدف از انجام تحقیق ۸

فصل ۲- مدل سازی توربین های بادی ۹
۲-۱- مقدمه ۹
۲-۲- توربین های بادی مورد بهره برداری در جهان ۹
۲-۳- مدل سازی اجزای نیروگاه بادی ۱۳
۲-۳-۱- مدل سرعت باد ۱۳
۲-۳-۲ مدل رتور ۱۵
۲-۳-۳ مدل جعبه دنده یا سیستم انتقال ۱۶
۲-۳-۴- مدل ژنراتور ۱۷
۲-۳-۵- مدل سیستم کنترل ۱۸
۲-۴- نتیجه گیری ۲۱

فصل ۳- بررسی سیستم های کنترل نیروگاه بادی ۲۲
۳-۱- مقدمه ۲۲
۳-۲ کنترل فرایند نیروگاه بادی ۲۲
۳-۲-۱- کنترل کننده کلی ۲۳
۳-۲-۲ کنترل کننده نظارتی ۲۳
۳-۲-۳- کنترل کننده دینامیکی ۲۳
۳-۳- مولفه های اصلی سیستم کنترل ۲۴
۳-۳-۱- سنسورها ۲۴
۳-۳-۲- تقویت کننده های قدرت ۲۵
۳-۳-۳- عملگرهای توربین های بادی ۲۵
۳-۳-۴- کنترل سیستم حلقه بسته ۲۵
۳-۴- نتیجه گیری ۳۵

فصل ۴- کنترلگر مقاوم H2/H∞ برای توربین بادی سرعت متغیر ۳۶
۴-۱- مقدمه ۳۶
۴-۲- مدل سیستم وابسته پارامتری خطی (LPV) توربین بادی: ۳۷
۴-۳ طراحی کنترلگر LPV ۴۰
۴-۳-۱ کنترلگر H2/H∞ ۴۳
۴-۴ فرمول‌بندی در قالب LMI ۴۴
فصل ۵- شبیه سازی و نتایج ۴۸
۵-۱- مقدمه ۴۸
۵-۲- شبیه سازی مدل باد ۴۸
۵-۳ شبیه سازی مبدل باد ۵۰
۵-۳-۱- شبیه سازی ناحیه سرعت پائین ۵۲
۵-۳-۲- شبیه سازی ناحیه سرعت بالا ۵۶
فصل ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۱

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول (۳-۱) تنظیم پارامترهای PID..... 27
جدول(۵-۱) پارامترهای فنی توربین MW ۱..... ۵۱
جدول(۵-۲) مختصات چهار گوشه مجموعه محدب ناحیه سرعت پائین..... ۵۳
جدول(۵-۳) مختصات چهار گوشه مجموعه محدب ناحیه سرعت بالا..... ۵۷

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل۱-۱: اجزای یک توربین بادی[۶] ۵
شکل۱-۲: توربین بادی از نوع محور افقی[7] ۶
شکل۱-۳: توربین بادی از نوع محور عمودی [7] ۶
شکل ۲-۱ توربین بادی با ژنراتور القایی قفس سنجابی(سرعت ثابت)[9] ۱۰
شکل ۲-۲ توربین بادی با ژنراتور القایی دو تغذیه ای سرعت متغیر[9] ۱۱
شکل ۲-۳ توربین بادی با ژنراتور سنکرون سرعت متغیر[9] ۱۲
شکل ۲-۴ زیر سیستم های یک نیروگاه بادی[10] ۱۳
شکل ۲-۵ منحنی مشخصه توربین بادی بر حسب نسبت سرعت نوک پره[۹] ۱۶
شکل ۲-۶ مدل سیستم انتقال توربین بادی[12] ۱۶
شکل ۲-۷ منحنی توان ایده ال[14] ۱۹
شکل ۲-۸ بلوک دیاگرام کنترل کننده زاویه پره[۱۴] ۲۰
شکل ۳-۱ نمای کلی یک سیستم کنترلی ۲۴
شکل ۳-۲ سنسور سرعت شفت[۱۶] ۲۴
شکل ۳-۳ شمای سیستم کنترل فازی مربوط به توربین بادی سرعت ثابت[18] ۳۰
شکل ۳-۴ بلوک دیاگرام کنترل کننده فازی نظارتی[18] ۳۱
شکل ۳-۵ شمای کلی سیستم کنترل فازی[19] ۳۲
شکل ۳-۶ شمای کلی سیستم کنترل فازی به همراه تخمینگر پارامترها[19] ۳۳
شکل ۳-۷ ساختار کنترلگر LQG [16] ۳۴
شکل ۴-۱ کنترلگر مقاوم ۴۲
شکل ۴-۲ دیاگرام بلوکی مسألة مخلوط H2/H∞ ۴۳
شکل ۴-۳ چگونگی وزن‌دهی سیگنالها برای مسئلة حساسیت مخلوط ۴۴
شکل ۵-۱ تابع توزیع ویبول در منطقه منجیل[11] ۴۹
شکل ۵-۲ بلوک دیاگرام برنامه شبیه سازی باد ۵۰
شکل ۵-۳ بلوک دیاگرام کنترل ناحیه سرعت پائین[۱۴] ۵۲
شکل ۵-۴ نمودار بود سیستم سرعت پایین ۵۴
شکل ۵-۵ نمودار سرعت باد در ناحیه سرعت پایین ۵۴
شکل ۵-۶ پاسخ سرعت توربین (rad/s) با طراحی جایابی قطب ۵۵
شکل ۵-۷ پاسخ سرعت توربین (rad/s) با طراحی H2/Hinf ۵۶
شکل ۵-۸ بلوک دیاگرام کنترل ناحیه سرعت بالا[۱۴] ۵۶

شکل ۵-۹ نمودار بود عدم قطعیت سیستم سرعت بالا ۵۸
شکل ۵-۱۰نمودار سرعت باد ناحیه بالا ۵۸
شکل ۵-۱۱ پاسخ سرعت توربین (rad/s) با طراحی جایابی قطب ۵۹
شکل ۵-۱۲ پاسخ سرعت توربین (rad/s) با طراحی H2/Hinf ۵۹

فصل 1 – مقدمه ای بر استفاده از نیروی باد

1 ـ1 – مقدمه

انرژی بخش بزرگی از نیاز گذشته، حال و آینده بشریت را تشکیل داده است و در حال حاضر تبدیل به یکی از نگرانی های بشریت برای آینده شده است.[۱] امروزه با توجه به افزایش روز افزون انواع مصرف کنندگان انرژی الکتریکی در شبکه ، صنعتی شدن، افزایش جمعیت جهان ، افزایش حمل و نقل وهمچنین افزایش شاخص مصرف انرژی به دلیل افزایش استانداردهای زندگی نیاز به گسترش شبکه موجود و افزایش تولید انرژی الکتریکی بیش از پیش احساس می شود . کاهش منابع سوخت فسیلی،افزایش روز افزون هزینه آن ها و مصرف بی رویه انرژی از مهمترین دلایلی است که محققان را بر آن داشته تا روش های جدیدی برای تولید انرژی ارائه دهند .مسئله مهم در مورد انرژی های فسیلی تاثیرات سوء زیست محیطی ناشی از استفاده از سوخت های فسیلی است .این سوخت ها به عنوان یک تولید کننده بزرگ گازهای گل خانه ای نظیر تاثیرCO_2 در الگوهای هواشناسی به اضافه سوخت ناقص هیدروکربن ها و مواد احتراقی مانند اکسید های نیتروژن و گوگرد در تخریب سلامتی و محیط، یکی ازبزرگترین نگرانی ها در حوزه محیط زیست را به وجود آورده اند .لذا روش های جدید تولید انرژی وابسته به طبیعت به وجود آمده که نسبت به روش های تولید با سوخت فسیلی ، آلودگی های کمتری را ایجاد می کنند .اما با توجه به این که مقدار توان تولید شده بستگی به تغییرات تصادفی منابع طبیعی انرژی از قبیل باد، خورشید، موج و ... دارد عموما خروجی این روش ها غیر قابل پیش بینی و با قابلیت اطمینان پایین می باشند . انرژی های تجدید پذیر در حقیقت انرژی موجود در حرکت طبیعی باد، آب و نور خورشید در محیط می باشند .این انرژی ها پیوسته به همان سرعت که استخراج و مصرف می شوند دوباره ساخته می شوند و هیچ گاه تمام نمی شوند.

انرژی های تجدیدپذیر بدون داشتن فرآیندهای شیمیایی و عدم تولید گاز CO_2 و گازهای خطرناک دیگر و همچنین فراوانی و تمیز بودن آنها ، ایجاد حالت های متنوع برای فراهم کردن انرژی، افزایش استقلال تولید انرژی و ترفیع انتخاب مصرف کننده بسیار مورد توجه می باشند.

تاریخچه استفاده از انرژی های تجدید پذیر مربوط به صدها سال قبل می باشد .آسیاب های آبی در یونان و رم باستان ،اولین آسیاب های بادی با محور عمودی در ایران(قرن هفتم میلادی) ، آسیاب های بادی در انگلستان (قرن دهم میلادی) و آسیاب های بادی در چین و افغانستان و ... از نمونه های اولیه مبدل های انرژی های تجدید پذیر بوده اند .در وضعیت کنونی نزدیک به ۲۰ ٪ از مصرف انرژی جهان مربوط به استفاده از انرژی های تجدید پذیر است.

1 ـ 2 – انرژی باد و تاریخچه آن

یکی از انواع انرژی های تجدید پذیر انرژی باد است . تاریخچه استفاده از انرژی باد نشان می دهد که پیشینیان ما از گذشته های بسیار دور در صدد بهره جستن از این انرژی ، به عنوان نیروی محرکه درانجام کارهای خود بوده اند . سیستم های ابتدایی استفاده از این انرژی در چین باستان و خاور نزدیک به کار گرفته شد و اولین کرجی که به وسیله نیروی باد به حرکت در آمد توسط مصریان جهت رفت و آمدبر روی رودخانه ساخته شد و همچنین ایرانیان نخستین آسیاب بادی را که پره های آن توسط نیروی بادچرخانده می شد جهت آرد کردن غلات در آن زمان ساختند.

در جریان جنگ های صلیبی ، فن آوری استفاده از انرژی باد به اروپا انتقال یافت به طوری که در قرن۱۴ میلادی هلند پیشرفته ترین کشور در زمینه استفاده از انرژی باد محسوب گردید و در نیمه دوم قرن نوزدهم کشور دانمارک در استفاده از انرژی باد پیشرفت زیادی پیدا کرد به طوری که بیش از ۲۵ ٪ نیازخود به انرژی را این کشور از انرژی باد تامین کرد نیروی باد جزء منابع جدید تولید برق است که امروزه سریع ترین رشد را در سطح جهانی به خوداختصاص می دهد. [۲]

نیروی باد ، پره های توربین بادی را که در بالای برج های بلند نصب می شوند به حرکت در می آورد ، و این پره ها از طریق شفت یا میله گردان انتقال دهنده حرکت و یک سری چرخ دنده ، ژنراتور الکتریکی را به حرکت در می آورند . اولین توربین بادی در سال ۱۹۴۰ توسط اسمیت[1] که ژنراتور آن با جریان DC کار می کرد و دارای دو پره بود ساخته شد سپس در سال های بعد از آن توربین های سه پره ای ساخته شدند که ژنراتورهای آسنکرون AC جایگزین ژنراتورهای DC در آن زمان گشتند .به خاطر بهبود فن آوری شامل نوآوری های طرح های تولیدی، توربین های بزرگتر باکارآیی های بیشتر در زمینه های مختلف از قبیل تولید آب شیرین و...، برق بادی توان رقابت با منابع متعارف فسیلی را پیدا کرده است . در بهترین سایت های بادی ، هزینه های تولید برق بادی در حال حاضر، معادل هزینه تولید برق از نیروگاههای جدید زغال سنگ سوز و گاز سوز می باشد .اگر هزینه های زیست محیطی و اجتماعی تولید برق نیز در محاسبات مد نظر قرار گیرد ، برق بادی ارزانتر از دیگر فن آوری های تولید برق می باشد .از سوی دیگر ، برق بادی موجب حذف اثرات اقتصادی در ریسک های مربوط به قیمت های متزلزل و فرآیند سوخت های فسیلی می شود و با توجه به هزینه های ثابت ومشخص برق بادی هیچگونه نا اطمینانی نسبت به قیمت آتی برق وجود نخواهد داشت.[۳]

محققین معتقدند که برای رقابتی کردن قیمت برق بادی هنوز به پیشرفت های تکنولوژیک بیشتری نیاز است که بتواند قیمت برق بادی را تا ۳۰ درصد دیگر کاهش دهد تا این نوع انرژی بتواند به طور کامل با سوخت های سنتی منجمله سوخت فسیلی رقابت نماید.

[1] –F.L.Smith

در حال حاضر انرژی باد با رشد متوسط سالیانه بیش از ۲۶ درصد از سال ۱۹۹۰ به بعد، بالاترین میزان رشد را در بین منابع مختلف انرژی داشته است و از نظر تاریخی بازار انرژی بادی عمدتا تحت کنترل پنج کشور آلمان ، اسپانیا ، ایالات متحده آمریکا، هلند و دانمارک بوده است .روند رو به افزایش استفاده ازانرژی های تجدید پذیر در ایران و به خصوص وجود منابع قابل توجه انرژی باد در کشور در سواحل جنوبی ، استان های غربی و شمالی، سیستان و بلوچستان لزوم بررسی و بهینه سازی استفاده از توربین های بادی را لازم می دارد[۴]

1 3 بخش های تشکیل دهنده نیروگاه بادی

یک نیروگاه بادی به طور متداول شامل بخش های ذیل می باشد[۵]

۱-برج یا دکل بادی

پایه ای فلزی است که با فنداسیون خاصی در محل نصب می شود و درون آن آسانسور یا پله هایی برای بالا رفتن از برج جهت بازبینی یا تعمیر اجزای ناسل یا ماشین خانه وجود دارد .برج ها اغلب از لوله فولادی تشکیل شده اند .چون سرعت باد با ارتفاع از سطح زمین تغییر می کند .برج های بلند قادر به دریافت قدرت باد بیشتر و در نتیجه تولید انرژی الکتریکی بیشتری هستند.

انواع برج ها شامل برج های استوانه ای فلزی، برج های مشبک ، برج های بتونی و در توربین های کوچکتر از برج های مهارشده توسط کابل نیز استفاده می گردد .ارتفاع برج معمولا بین ۱ تا۱/۵ برابر قطر روتور در نظر گرفته می شود ولی در هر حالت حداقل ۲۰متر ارتفاع دارد.

۲-توربین بادی

وسیله ای است که در اثر وزش باد پره های آن می چرخند و بدین وسیله الکتریسیته تولید می شود که اغلب توربین های بادی دارای ۳ پره می باشند.

۳-ناسل[1]

ناسل قلب مرکزی یک توربین بادی است که شامل ژنراتور، شفت اصلی ، گیربکس یا جعبه دنده ، سیستم کنترل سرعت چرخش پره ها و ...می باشد.

۴-رتور

رتور شامل پره های توربین و هاب یا توپی مرکزی است که پره ها به آن متصل می گردند .سرعت چرخش رتور به خاطر جلوگیری از ناپایداری در سیستم نباید از یک حد مشخصی بیشتر گردد.

۵-سیستم انتقال قدرت

مجموعه ای از اجزاء مکانیکی و الکتریکی به منظور انتقال انرژی مکانیکی رتور به ژنراتور است .این اجزاء

[1] –Nacelle

عمدتا شامل محور کم سرعت (سمت روتور) ،گیربکس یا جعبه دنده و محور سرعت بالا(در سمت ژنراتور)می باشد .سایر اجزاء این سیستم شامل یاتاقان ها، یک یا چند کوپلینگ ، ترمز مکا نیکی و اجزاءدوار ژنراتور می باشد . در این مجموعه مهمترین جزء جعبه دنده می باشد که وظیفه آن افز ایش سرعت نامی رتور از یک مقدار کم(در حد چند ده دور بر دقیقه) به یک مقدار بالا (در حد چند صد یا چندهزاردور در دقیقه)که مناسب برای تحریک یک ژنراتور استاندارد است ، می باشد.

6--مولد الکتریکی:مولد الکتریکی در توربین های بادی انواع مختلفی از قبیل سنکرون و آسنکرون داردکه می تواند باساختار روتور سیم بندی شده و یا قفس سنجابی باشد. توضیح کامل این مولد های الکتریکی در فصل دوم آمده است.

۷-سیستم کنترل توربین بادی

سیستم کنترلی در توربین های بادی انواع مختلفی از قبیل کنترل گشتاور آئرودینامیکی ، کنترل گشتاور ژنراتور، کنترل زاویه و ...دارد که در فصل سوم شرح کامل این نوع کنترل کننده ها آمده است . همچنین سنسورهای مختلفی از قبیل سنسور سرعت ، دما ، موقعیت ، شرایط محیط زیست ، مشخصات الکتریکی به ثبت اطلاعات می پردازند و در جهت کنترل سیستم کمک بزرگی می کنند و اطلاعات لازم را از طریق کامپیوتر به کنترل کننده و اپراتور می رسانند.

۸-حسگر سرعت باد[1] و جهت یاب[2]

اندازه گیری سرعت باد اغلب توسط بادسنج های فنجانی(پیاله ای) انجام می شود . این بادسنج ها دارای یک محور عمودی هستند و سه کاسه که هوا را می گیرند .تعداد دور در گردش این کاسه ها در دقیقه به طور الکترونیکی ثبت می شود .به طور معمول به بادسنج یک بادنما نیز متصل می گردد تا جهت باد رامشخص کند .سیگنال های الکترونیکی بادسنج به کنترل کننده الکترونیکی وارد می شود .این کنترل کننده توربین بادی را وقتی سرعت باد به حد مشخصی می رسد به کار انداخته و در صورتی که سرعت باد از حد مجاز تجاوز نماید توربین را متوقف می سازد .سیگنال های دریافت شده از جهت یاب هم به کنترل کننده می رود تا میزان انحراف لازم را به مکانیزم انحراف دهنده توربین بدهد و توربین در مسیر باد قرار گیرد

شمای کلی اجزای یک توربین بادی در شکل۱-۱آمده است. [برای جزئیات بیشتر رجوع به پیوست]

[1] -Anemometer

[2] -Wind Vane

شکل۱-۱: اجزای یک توربین بادی[۶]

4 1 – طبقه بندی توربین های بادی

الف - از نظر سایز

1-توربین های بادی کوچک

این توربین ها به طور متداول دارای توان کمتر از۱۰۰ کیلووات هستند و جهت کاربردهای کشاورز ی وجزیره ها و یا مناطقی که تامین برق از طریق شبکه های سراسری مشکل است کاربرد دارند که از مزایای آن ها هزینه کم جهت حمل و نقل ، سرعت چرخشی بالا و کاهش نوسانات باد را می توان نام برد .این توربین ها در مناطقی با منابع بادی کلاس۲-۳می توانند به راحتی عمل کنند .لازم به توضیح است که مناطق جغرافیایی از لحاظ حجم نیروی باد از ۱تا ۷ درجه بندی می شوند . شماره ۷ نشانگر منطقه ا ی است که شدیدترین وزش باد را دارد و مناطقی که درجه ۳ یا بالاتر را کسب می کنند گزینه هایی بر ای طراحی میادین بادخیز محسوب می شوند .مناطق دارای درجه۲ یا بالاتر هم مکان ها ی مناسبی بر ای استقرار ژنراتورهای بادی کوچک به شمار می روند.

۲- توربین های بادی بزرگ

از این توربین ها در کشاورزی استفاده می کنند و قدرت آن ها در حد چند مگاوات می باشد . این توربین ها به منابع بادی کلاس ۴-۵ احتیاج دارند و از جمله مزایای آن ها می توان قدرت زیاد جهت توزیع جریان الکتریکی و هزینه کم را نام برد.

ب -از نظر شکل محور

۱- توربین های بادی با محور افقی

در این توربین ها محور توربین موازی با سطح زمین و در راستای وزش باد می باشد .این توربین ها با

توجه به تعداد پره ها به سه نوع عمده دو پره ای ، سه پره ای و چند پره ای تقسیم می گردند.[۷]
دراکثر اوقات هرچه سرعت باد در منطقه ای کمتر باشد تعداد پره های بیشتری برای توربین های مورد استفاده در آن محل در نظر می گیرند و هرچه سرعت باد بیشتر باشد توربین با تعداد پره کمتر مورداستفاده قرار می گیرد . شکل شماره(۱- ۲)شمای کلی این نوع توربین ها را نشان می دهد.

شکل۱-۲: توربین بادی از نوع محور افقی[7]

۲-توربین های بادی با محور عمودی

در این توربین ها محور توربین بر راستای وزش باد عمود می باشد .توربین های با محورعمودی غالبادارای دو پره می باشند و از نکات قابل توجه این توربین ها امکان ساخت راحت تر آن هاست به این دلیل که به جز پره های رتور و شفت توربین بقیه تجهیزات آن بر روی زمین قرار دارد .اما از معایب این نوع توربین ها می توان کم بودن بازده ، روشن کردن سیستم توسط دکمه روشن کننده ، وجود سیم های رابط و اتصال دهنده برای نگه داشتن توربین و نگهدارنده برای رتور را نام برد .شکل شماره(۱-۳)یک نوع از این توربین ها را نشان می دهد که این توربین با قدرت ۴۲۰۰ کیلو وات و با قطر رتور ۱۰۰ متر در شهر کبک کانادا در حال بهره برداری می باشد.

شکل۱-۳: توربین بادی از نوع محور عمودی [7]

ج -از نظر نوع چرخش در برابر باد

۱- توربین های بادی رو به باد

در این حالت رتور به طور مستقیم با باد مواجه می شود .یک مزیت عمده این توربین ها جلوگیری از قرارگرفتن باد در پشت برج است .بیشتر توربین ها از این نوع هستند در این حالت لازم است که رتور غیر قابل انعطاف باشد و در فاصله ای مناسب تا برج قرار گیرد .علاوه بر آن احتیاج به مکانیسم منحرف کننده پره ها هم برای مقابله با بادها را نیز دارد.

۲-توربین های بادی پشت به باد

این نوع توربین ها رتورشان در محلی قرار گرفته است که در معرض باد قرار نمی گیرند و از نظر تئوری احتیاجی به مکانیسم انحراف پره ها نیز ندارند در این حالت رتور باید انعطاف پذیر باشد و این موضوع یکی از مزایای آن ها به شمار می رود .پره ها باید به راحتی در سرعت های بالای باد قابلیت انعطاف و چرخش و خمیدگی را داشته باشند و معمولا سبک تر از نوع توربین های بادی رو به باد هستند.

د -از نظر سرعت

1-توربین های بادی سرعت ثابت

اکثر توربین های بادی متصل به شبکه نزدیک سرعت ثابتی که توسط طراح و با توجه به نسبت چرخ دنده که از قبل مشخص شده کار می کنند .این توربین ها طوری طراحی شده اند که بالاترین بازده را در یک سرعت باد مشخص به دست می آورندکه این کار از طریق تنظیم پره های توربین بادی صورت می پذیرد .لذا طراحی چنین ساختاری نیازمند مهندسی دقیقی است که تغییر زاویه بهینه را ارائه کند و وقتی زاویه باد تغییر می کند بتواند درجه ای را توسط کامپیوتر مشخص کند که به ازای سرعت های مختلف باد خروجی بهینه داشته باشد[۸]

۲- توربین های بادی سرعت متغیر

در توربین های بادی سرعت متغیر ، سرعت توربین به صورت تابعی از سرعت باد طوری تنظیم می شودکه توان خروجی را حداکثر سازد در این حالت رنج وسیعی از توان قابل دستیابی است.

لازم به ذکر است که یک روش برای داشتن برخی از مزایای توربین بادی سرعت متغیر بدون تمام هزینه ها استفاده از ژنراتور القایی لغزش متغیرمی باشد .به عنوان مثال در ژنراتورهای القایی روتورسیم بندی شده با سیستم کنترلی جهت کنترل لغزش نسبی ژنراتور از تغییر مقاومت روتور استفاده می شود .در بار جزئی ، ژنراتور القایی مشابه حالت عادی با لغزش نسبی ۲ ٪عمل می کند و وقتی که بارکامل حاصل شود، مقاومت روتور تغییر می کند تا لغزش افزایش یابد . در این روش میزان تلفات ژنراتورافزایش می یابد.