بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

موضوع:

دستیابی به عملکرد بیشینه توان در سیستم توربین بادی متصل به ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم با استفاده از کنترل هوشمند

اساتید راهنما:

دکتر سید اصغر غلامیان

دکتر عبدالرضا شیخ الاسلامی

استاد مشاور:

مهندس سید باقر سلطانی

دانشجو:

هادی سفیدگر

شهریور ماه ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش قدرت

موضوع:

دستیابی به عملکرد بیشینه توان در سیستم توربین بادی متصل به ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم با استفاده از کنترل هوشمند

اساتید راهنما:

دکتر سید اصغر غلامیان

دکتر عبدالرضا شیخ الاسلامی

استاد مشاور:

مهندس سید باقر سلطانی

اساتید داور:

دکتر جعفر ادبی

دکتر هدی قریشی

دانشجو:

هادی سفیدگر

شهریور ماه ۱۳۹۲

تقدیم به صبر و شکیبایی همسرم

و

روح لطیف و مهربان مادرم

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم که سپاسگزار تمام آن‌هایی باشم که در این دوره، همراهی صمیمانه‌شان رهگشایم بود؛ خانواده عزیزم که با صبر و حوصله در کنارم بودند؛ اساتید عزیز و گرانقدر دانشکده مهندسی برق، بخصوص جناب آقای دکتر سید اصغر غلامیان و جناب آقای دکتر عبدالرضا شیخ‌الاسلامی که در تمام طول دوره کارشناسی ارشد اینجانب را یاری نمودند و برای حل مشکلات از هیچ کمکی دریغ نورزیدند. همچنین جناب آقای مهندس سید باقر سلطانی رئیس گروه هواشناسی دریایی اداره کل هواشناسی استان مازندران که اطلاعات ارزشمندی را در اختیار من قرار دادند. برای همه این عزیزان آرزوی سلامتی و سربلندی دارم. همچنین برخود لازم می‌دانم از تمام دوستانی که به نحوی مرا در تکمیل این پایان‌نامه یاری نمودند کمال سپاسگزاری را داشته باشم.

چکیده

امروزه استفاده از منابع تولید بادی چه در بخش تأمین برق بارهای دور از شبکه و چه بصورت متصل به شبکه‌ی سراسری برق، کاربرد وسیعی پیدا کرده است. اگرچه سیستم بادی در مقایسه با سیستم خورشیدی هزینه‌ی نصب کمتری دارد، با این حال، با بکارگیری مبدلهای قدرت مناسب، به نحوی که به ازای تغییرات شرایط جوی، توان کسب شده بهینه باشد، هزینه‌ی سیستم کاهش بیشتری پیدا خواهد کرد.

تولید توان الکتریکی با استفاده از انرژی باد به دو روش توربین‌های بادی سرعت ثابت و توربین‌های بادی سرعت متغیر (با استفاده از مبدلهای الکترونیک قدرت) انجام می‌گیرد. مزیت عمده‌ی توربین‌های بادی سرعت متغیر، دارا بودن توانایی کسب حداکثر توان از منبع انرژی باد می‌باشد. جهت کسب حداکثر توان از باد، بکارگیری سیستم ردیاب نقطه‌ی حداکثر توان (MPPT[1]) ضروری است. بطوریکه کنترل کننده‌ی MPPT، نقطه کار توربین بادی را به گونه‌ایی مشخص می‌کند تا بتوان حداکثر توان را از عملکرد توربین بادی دریافت کرد.

تکنیکهای مختلف زیادی جهت ردیابی نقطه‌ی حداکثر توان در سیستم بادی استفاده شده‌اند، که بیشتر این روشها بر اساس منحنی حداکثر توان توربین بادی و پروفایل سرعت باد کار می‌کنند. در این پایان‌نامه، استراتژی جدید ردیابی نقطه‌ی حداکثر توان برای سیستم بادی سرعت متغیر با ماشین سنکرون مغناطیس دائم (PMSM[2]) ارائه شده است. استراتژی MPPT پیشنهادی بر اساس منطق فازی کار می‌کند و مستقل از مشخصات توربین و ژنراتور می‌باشد. جهت کاهش هزینه و افزایش قابلیت اطمینان سیستم، ردیاب نقطه‌ی حداکثر توان پیشنهادی، فاقد هرگونه حسگر مکانیکی می‌باشد. ردیاب MPPT با کنترل مناسب مبدل DC/DC بوست به ازای سرعتهای مختلف باد، سیستم را وادار به عملکرد در نقطه‌ی حداکثر توان می‌نماید.

واژه‌های کلیدی:

توربین بادی، ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم، ردیابی نقطه بیشینه توان، الگوریتم فازی.

[1] Maximum Power Point Tracking
[2] Permanent Magnet Synchronous Generator

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول

توربین بادی

۱- ۱- مقدمه ۲
۱- ۲- انرژی باد ۲
۱- ۳- توربین بادی ۴
۱- ۳- ۱- کاربرد توربین‌های بادی ۴
۱- ۳- ۱- ۱- کاربرد غیر نیروگاهی ۴
۱- ۳- ۱- ۲- کاربردهای نیروگاهی ۵
۱- ۳- ۲- انواع توربین‌های بادی ۵
۱- ۳- ۲- ۱- توربین‌های بادی از حیث اندازه ۵
۱- ۳- ۲- ۲- توربین‌های بادی از نظر استقرار ۶
۱- ۴- ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم (PMSG) ۸
۱- ۴- ۱- انواع ژنراتورهای بکار رفته در توربین‌های بادی ۹
۱- ۴- ۲- ژنراتورهای سنکرون ۱۰
۱- ۴- ۲- ۱- ژنراتور سنکرون با تحریک کلاسیک (WRSG) ۱۱
۱- ۴- ۲- ۲- ژنراتورهای سنکرون آهنربای دائم (PMSG) ۱۲
۱- ۵- مدلسازی توربین بادی ۱۴

فصل دوم

ردیابی نقطه بیشینه توان در سیستم توربین بادی و پیشینه تحقیق

۲- ۱- ردیابی نقطه بیشینه توان ماکزیمم (MPPT) ۱۷
۲- ۲- روش کنترلی نسبت سرعت نوک پره (TSR) ۱۹
۲- ۳- روش کنترلی گشتاور بهینه (OT) ۲۰
۲- ۴- روش کنترلی فیدبک سیگنال توان (PSF) ۲۲
۲- ۵- روش جستجوگر نقطه ماکزیمم (SC) ۲۳
۲- ۵- ۱- الگوریتم مشاهده و آشوب (P&O) جهت دستیابی به نقطه بیشینه توان ۲۴
۲- ۵- ۲- روش جستجوی تپه صعود (HCS) ۳۰
۲- ۵- ۳- روش کنترلی GRA ۳۴
۲- ۵- ۴- روش فیلتر شکاف دار تطبیقی (ANF) ۳۷

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل سوم

پیشنهاد کنترل‌کننده هوشمند جهت دستیابی به نقطه بیشینه توان

۳- ۱- مقدمه ۴۵
۳- ۲- اجزای تشکیل‌دهنده سیستم تبدیل انرژی بادی ۴۶
۳- ۲- ۱- مشخصات توربین بادی ۴۶
۳- ۲- ۲- انتخاب ژنراتور برای سیستم تبدیل انرژی باد ۴۸
۳- ۲- ۳- طراحی یکسوساز برای سیستم تبدیل انرژی بادی ۵۰
۳- ۲- ۴- مبدل DC-DC در سیستم تبدیل انرژی باد ۵۰
۳- ۲- ۴- ۱- طرز کار مبدل بوست ۵۱
۳- ۲- ۴- ۲- طراحی مبدل بوست ۵۳
۳- ۲- ۵- طراحی کنترل‌کننده ردیاب نقطه بیشینه توان در سیستم توربین بادی ۵۴
۳- ۲- ۵- ۱- کنترل‌کننده آشوب و مشاهده (P&O) جهت ردیابی نقطه بیشینه توان ۵۴
۳- ۲- ۵- ۲- کنترل‌کننده فازی جهت ردیابی نقطه بیشینه توان ۵۷

فصل چهارم

شبیه سازی و نتایج حاصل از آن

۴- ۱- مقدمه ۶۲
۴- ۲- ترسیم مشخصه توربین بادی ۶۳
۴- ۳- شبیه‌سازی تحت شرایط استاندارد ۶۴
۴- ۴- شبیه‌سازی تحت شرایط متغیر سرعت باد ۶۷
۴- ۵- مقایسه روش پیشنهادی با یک مرجع معتبر ۷۰

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵- ۱- نتیجه‌گیری ۷۵
۵- ۲- پیشنهادات ۷۵

فصل ششم

پیوست‌ها

۶- ۱- پیوست (الف) ۷۸
۶- ۲- پیوست (ب) ۸۰

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
منابع و مراجع	۸۲

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

فصل اول

شکل ۱- ۱- توربین‌های با محور چرخش افقی و عمودی ۷
شکل ۱- ۲- توربین بادی سرعت متغیر با ژنراتور سنکرون سیم پیچی شده متصل به شبکه ۱۲
شکل ۱- ۳- توربین بادی سرعت متغیر با ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم با تعداد قطب زیاد متصل به شبکه ۱۳
شکل ۱- ۴- مشخصه‌ی $C_p - \lambda$ توربین بادی ۱۵

فصل دوم

شکل ۲- ۱- مشخصه توان- سرعت رتور برای سرعتهای باد مختلف ۱۷
شکل ۲- ۲- مشخصه گشتاور سرعت رتور برای سرعتهای باد مختلف ۱۷
شکل ۲- ۳- ساختار سیستم تبدیل انرژی بادی مستقل ۱۸
شکل ۲- ۴- بلوک دیاگرام روش کنترلی نسبت سرعت نوک پره (TSR) ۲۰
شکل ۲- ۵- بلوک دیاگرام روش کنترلی گشتاور بهینه (OT) ۲۲
شکل ۲- ۶- بلوک دیاگرام یک سیستم انرژی باد به روش کنترل فیدبک سیگنال توان ۲۳
شکل ۲- ۷- توان خروجی توربین بادی و مشخصات گشتاور با استفاده از فرایند ردیابی MPP ۲۵
شکل ۲- ۸- فلوچارت ردیابی نقطه‌ی حداکثر توان به روش P&O ۲۶
شکل ۲- ۹- پروفایل سرعت باد و سرعت روتور توربین ۲۸
شکل ۲- ۱۰- منحنی توان و گشتاور مکانیکی خروجی توربین به ازای تغییرات سرعت باد ۲۹
شکل ۲- ۱۱- ضریب توان توربین بادی با ردیاب نقطه‌ی حداکثر توان ۲۹
شکل ۲- ۱۲- کنترل HCS (الف) اغتشاش بزرگتر و (ب) اغتشاش کوچکتر ۳۰
شکل ۲- ۱۳- ساختار سیستم جهت ردیابی نقطه بیشینه توان به روش HCS بهینه شده ۳۲
شکل ۲- ۱۴- روش کنترلی HCS ۳۳
شکل ۲- ۱۵- نتایج شبیه سازی ۳۳
شکل ۲- ۱۶- ساختار سیستم توربین بادی جهت ردیابی نقطه بیشینه توان به روش GRA ۳۴
شکل ۲- ۱۷- منحنی توان کسب شده برحسب ولتاژ خروجی ژنراتور ۳۵
شکل ۲- ۱۸- منحنی چرخه کار بر حسب توان خروجی ژنراتور ۳۶
شکل ۲- ۱۹- منحنی ضریب توان توربین (Cp) برحسب زمان ۳۶
شکل ۲- ۲۰- منحنی چرخه کار (Duty Cycle) برحسب زمان ۳۷
شکل ۲- ۲۱- منحنی ولتاژ خروجی ژنراتور برحسب زمان ۳۷
شکل ۲- ۲۲- پیکربندی و سیستم کنترل ساختار توربین بادی پیشنهادی ۳۸
شکل ۲- ۲۳- مدل فیلتر شکاف دار تطبیقی ۳۹
شکل ۲- ۲۴- منحنی ولتاژ باس DC بر حسب سرعت رتور بهینه ۴۰
شکل ۲- ۲۵- منحنی ولتاژ باس DC بر حسب سرعت رتور بهینه حاصل از شبیه سازی و تقریب آن ۴۱
شکل ۲- ۲۶- منحنی تغییرات سرعت باد ۴۲
شکل ۲- ۲۷- ولتاژ DC در خروجی یکسوساز ۴۲
شکل ۲- ۲۸- منحنی سرعت رتور واقعی و تخمین زده شده ۴۳

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

فصل سوم

شکل ۳- ۱- مشخصه‌ی $C_p - \lambda$ توربین بادی مورد مطالعه به ازای مقادیر مختلف زاویه پیچ پره ۴۷
شکل ۳- ۲- بلوک دیاگرام توربین بادی ۴۸
شکل ۳- ۳- بلوک دیاگرام ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم (PMSG) ۴۹
شکل ۳- ۴- ساختمان مبدل افزاینده DC/DC و نحوه کار این مبدل ۵۲
شکل ۳- ۵- اندوکتانس مینیمم به ازای تغییرات سیکل کاری ۵۴
شکل ۳- ۶- الگوریتم آشوب و مشاهده **(P&O)** ۵۵
شکل ۳- ۷- الگوریتم آشوب و مشاهده **(P&O)** پیشنهادی ۵۶
شکل ۳- ۸- ساختار کنترل‌کننده نقطه بیشنه توان الف) کنترل‌کننده فازی متداول ب) کنترل‌کننده فازی ۵۸
شکل ۳- ۹- توابع عضویت کنترل‌کننده فازی پیشنهادی برای (الف) ورودی اول، (ب) ورودی دوم، (ج) خروجی سیکل کاری ۶۰

فصل چهارم

شکل ۴- ۱- ساختمان سیستم تبدیل انرژی باد جدا از شبکه برای شبیه‌سازی ۶۲
شکل ۴- ۲- ساختار سیستم کنترل‌کننده پیشنهادی ۶۳
شکل ۴- ۳- مشخصه توان- سرعت توربین بادی در سرعت باد مختلف ۶۴
شکل ۴- ۴- مشخصه گشتاور سرعت توربین بادی در سرعت باد مختلف ۶۴
شکل ۴- ۵- سیستم بدون کنترل کننده در شرایط سرعت باد نامی (۱۲ متر بر ثانیه)، الف) منحنی ضریب توان توربین بادی، ب) منحنی توان خروجی توربین بادی ۶۵
شکل ۴- ۶- سیستم با استفاده از کنترل کننده آشوب و مشاهده در شرایط سرعت باد نامی (۱۲ متر بر ثانیه)، الف) منحنی ضریب توان توربین بادی، ب) منحنی توان خروجی توربین بادی ۶۶
شکل ۴- ۷- سیستم با استفاده از کنترل کننده فازی پیشنهادی در شرایط سرعت باد نامی (۱۲ متر بر ثانیه)، الف) منحنی ضریب توان توربین بادی، ب) منحنی توان خروجی توربین بادی ۶۶
شکل ۴- ۸- منحنی تغییرات سرعت باد ۶۷
شکل ۴- ۹- سیستم با استفاده از کنترل کننده آشوب و مشاهده در سرعت باد مختلف، الف) تغییرات سرعت رتور ، ب) منحنی ضریب توان توربین بادی، ج) منحنی توان خروجی توربین بادی ۶۸
شکل ۴- ۱۰- سیستم با استفاده از کنترل کننده فازی پیشنهادی در سرعت باد مختلف، الف) تغییرات سرعت رتور ، ب) منحنی ضریب توان توربین بادی، ج) منحنی توان خروجی توربین بادی ۶۹
شکل ۴- ۱۱- منحنی ضریب توان توربین با استفاده از روش GRA ۷۰
شکل ۴- ۱۲- منحنی ضریب توان توربین بر حسب پریونیت با استفاده از روش ANFIS ۷۱
شکل ۴- ۱۳- منحنی توان خروجی با استفاده از روش ANFIS ۷۱
شکل ۴- ۱۴- منحنی ضریب توان توربین با استفاده از روش فازی پیشنهادی ۷۱
شکل ۴- ۱۵- منحنی توان خروجی توربین بادی با استفاده از روش فازی پیشنهادی ۷۲

فصل ششم

شکل ۶- ۱- ساختمان سیستم تبدیل انرژی باد جدا از شبکه در محیط simulink ۸۰
شکل ۶- ۲- ساختار سیستم کنترل‌کننده ۸۱

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

فصل اول

جدول ۱- ۱- وضعیت ۱۰ کشور اول جهان در عرصه انرژی‌های بادی ۳
جدول ۱- ۲- مزایا و معایب انواع ژنراتورها ۱۳

فصل دوم

جدول ۲- ۱- مقایسه برخی از روش‌های ذکر شده ۴۳

فصل سوم

جدول ۳- ۱- مشخصات توربین بادی ۴۷
جدول ۳- ۲- مشخصات ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم (PMSG) ۵۰
جدول ۳- ۳- قوانین فازی به منظور بهینه‌سازی سیکل کاری در روش پیشنهادی ۶۰

فصل چهارم

جدول ۴- ۱- مشخصات مبدل بوست ۶۳
جدول ۴- ۲- نوسانات ضریب توان در حالت پایدار ۶۹
جدول ۴- ۳- نوسانات توان خروجی در حالت پایدار بر حسب وات ۷۰
جدول ۴- ۴- مقایسه مدت زمان لازم جهت خیزش منحنی Cp برای سه روش ۷۲
جدول ۴- ۵- مقایسه مدت زمان لازم جهت خیزش منحنی توان خروجی ۷۳

لیست علائم و اختصارات

PMSG	ژنراتور سنکرون مغناطیس دائم
T_m	گشتاور مکانیکی توربین
T_{Load}	گشتاور بار
P_m	توان مکانیکی روتور
ω	سرعت زاویه‌ای رتور
V	سرعت باد
A	سطح جاروب پره‌ی توربین
ρ	چگالی هوا
C_p	ضریب توان توربین
λ	نسبت سرعت نوک پره
β	زاویه پیچ پره توربین
MPPT	ردیابی نقطه بیشینه توان
D	سیکل کاری
P&O	آشفتن و مشاهده کردن
FLC	کنترلر منطق فازی

فصل اول

توربین بادی

۱-۱- مقدمه

در حال حاضر در بین منابع انرژی تجدیدپذیر سیستمهای بادی توجیه اقتصادی بیشتری نسبت به دیگر منابع تجدیدپذیر دارند از دیگر مزایای این نوع انرژی این است که می - توان بطور سرعت متغیر از آن بهره برداری کرد بطوریکه سیستمهای سرعت متغیر ۲۰ الی ۳۰ درصد انرژی بیشتر نسبت به سیستمهای توان ثابت تحویل می‌دهند. در ضمن باعث کاهش نوسان توان و بهبود عرضه توان راکتیو می‌شوند. برای دستیابی به ماکزیمم توان در سرعتهای مختلف باد، بایستی سرعت توربین در محدوده وسیعی قابل تغییر باشد. جهت عملکرد سیستم در سرعت بهینه، انتخاب نوع توربین، مبدل، ژنراتور و نوع کنترل کننده به عوامل مختلفی از جمله نوع عملکرد مشخصات ماشین، سرعت و شدت باد محل نصب و تعمیر و نگهداری و قیمت تجهیزات بستگی دارد. در این فصل نگاهی مختصر به عوامل و تجهیزات مورد نیاز در سیستم تبدیل انرژی باد پرداخته شده است [۶].

۱-۲- انرژی باد

امروزه به علت کاهش منابع سوخت های فسیلی و افزایش نگرانی‌ها در مورد افزایش آلودگی و گرمای زمین، تمایل به استفاده از منابع غیر فسیلی و تجدیدپذیر جهت تولید برق افزایش یافته است. منابع متفاوت تجدیدپذیر مانند خورشید، زمین گرمایی، باد و ... برای این منظور معرفی شده‌اند که در حال حاضر انرژی باد از سایر موارد مورد بیشترین توجه قرار گرفته و بیشترین رشد را داشته است. انرژی باد و توربین‌های بادی در ابتدا به عنوان آسیابهای بادی و همچنین تلمبه‌هایی جهت بالا کشیدن آب از زیر زمین استفاده می‌شدند بطوریکه در حد فاصل سالهای ۱۸۸۰ تا ۱۹۳۰ حدود ۶/۵ میلیون آسیاب بادی در آمریکا مشغول به کار بودند، که به دلیل اختراع ماشین بخار، موتورهای انفجاری و دیزلی و همچنین بهای اندک نفت، دوران رکود تکنولوژی مبتنی بر باد فرا رسید. پس از بحران جهانی نفت در سال ۱۹۷۳، در چارچوب برنامه

استفاده از انرژیهای تجدید شونده (انرژی سبز)، بار دیگر مولدهای بادی با اقبال مواجه شدند. چنانکه طی ۱۳ سال (۱۹۸۶-۱۹۷۳) تقریباً یکصدهزار نیروگاه بادی در کشورهای صنعتی نصب شده‌اند که بیش از بیست هزار مورد آن به شبکه توزیع برق متصل شدند [۱]. در سالهای اخیر، چین بانصب ۱۸/۹ گیگاوات نیروگاه در ۲۰۱۰ کل ظرفیت نصب شده‌اش به۴۴/۷ گیگاوات رسید و به این ترتیب رتبه اول را در جهان بدست آورد و توانست جای ایالات متحده آمریکا را در این عرصه بگیرد. صنعت باد آمریکا علیرغم رشد اقتصادی آهسته و سیاستهای غیر قابل پیش بینی‌اش به رشد خود ادامه می‌دهد بطوریکه در سال ۲۰۱۰ ، ۵% رشد داشته و سهم ۲۶ درصدی در ظرفیت جدید تولید برق را در این کشور برعهده دارد. با ظرفیت ۵/۱۱۶ گیگاواتی که در سال گذشته اضافه شد، کل ظرفیت برق بادی در آمریکا به۴۰/۱۸۰ گیگاوات رسیده است [۲]. جدول (۱-۱) بطور خلاصه وضعیت ۱۰ کشور اول جهان در این عرصه را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱ - وضعیت ۱۰ کشور اول جهان در عرصه انرژی‌های بادی [۲]

نام کشور	ظرفیت نصب شده تا انتهای ۲۰۱۰ بر حسب GW
چین	۴۴/۷۳۳
آمریکا	۴۰/۱۸۰
آلمان	۲۷/۲۱۵
اسپانیا	۲۰/۶۷۶
هندوستان	۱۳/۰۶۵۸
ایتالیا	۵/۷۹۷
فرانسه	۵/۶۶
انگلیس	۵/۲۰۳
کانادا	۴/۰۰۸
دانمارک	۳/۷۳۴

۱-۳- توربین بادی

توربین بادی دستگاهی است که دارای تعدادی پره می‌باشد که قابلیت دریافت انرژی، از باد و تبدیل آن از طریق یک محور به انرژی مکانیکی را دارا می‌باشد این انرژی مکانیکی در غالب موارد به یک ماشین الکتریکی منتقل می‌شود و در نهایت انرژی الکتریکی تولید می‌شود. بیشتر توربین‌های بادی زمانی که سرعت باد حدود ۳- ۴ متر در ثانیه می‌باشد، شروع به تولید برق می‌نمایند و حداکثر مجاز برق را در حدود ۱۵ متر در ثانیه تولید می‌کنند و برای جلوگیری از خسارات حاصل از توفان در ۲۵ متر در ثانیه و یا بیشتر متوقف شده و از کار می‌افتند [۱].

روابط مربوط به باد و مشخصه گشتاور-سرعت توربین‌های بادی از حوصله این پایان‌نامه خارج است. روابط و معادلات مورد نیاز در فصل سوم آمده است.

۱-۳-۱-کاربرد توربین‌های بادی

توربین‌های بادی بعنوان مبدلهای انرژی جنبشی باد به انرژی مکانیکی، کاربردهای مختلفی دارند.

۱-۳-۱-۱- کاربرد غیر نیروگاهی

پمپهای بادی آبکش جهت :

- تامین آب آشامیدنی حیوانات در مناطق دور افتاده
- آبیاری در مقیاس کم
- آبکشی از عمق کم جهت پرورش آبزیان
- تامین آب مصرفی خانگی

۱- ۳ -۱ -۲- کاربردهای نیروگاهی

نیروگاههای توربین‌های بادی خارج از شبکه:

- مصرف جزیره‌ها، مکان‌های دور افتاده از شبکه برق
- تامین برق شارژ باتری
- گرمایش آب

نیروگاههای توربین‌های بادی متصل به شبکه:

- توربین‌های بادی منفرد
- مزارع بادی

۱- ۳ -۲ - انواع توربین‌های بادی

پس از به وجود آمدن فکر استفاده از توربین‌های بادی جهت تولید برق، مدل‌های مختلفی پیشنهاد گردید که همچنان در حال تکامل و پیچیده‌تر شدن می‌باشند. زیرا مدل‌های ابتدایی قابلیت کنترل کمتری داشتند ولی با پیشرفت تکنولوژی و افزایش سرعت و کارآیی تجهیزات و به کاربردن روش‌های جدید این قابلیت افزایش یافت و برق تولیدی با کیفیت بیشتری ارائه شد. همچنین علاوه بر کیفیت، کمیت نیز مورد توجه قرار گرفته و از همان میزان باد، برق بیشتری تولید گردید.

۱-۳- ۲-۱ - توربین‌های بادی از حیث اندازه

توربین‌های بادی را از حیث اندازه نیز به سه دسته تقسیم بندی می‌کنند:

۱- توربین‌های کوچک

توربین‌های کوچک قادرند ۵۰ تا ۶۰ کیلو وات انرژی تولید کنند. پره‌های رتور آن روی دایره‌ای به قطر ۱ تا ۱۵ متر می‌چرخند. توربین‌های بادی کوچک اصولا در جاهای پرت و جاهایی که برق رسانی به آنها به صرفه نیست بکار می‌روند.

۲- توربین‌های متوسط

بیشتر ژنراتورهای بادی تجاری از نوع دوم هستند قطر دایره‌ای که پره‌های رتور روی آن جابجا می‌شود ۱۵ تا ۶۰ متر است و ۵۰ تا ۵۰۰ کیلو وات انرژی تولید می‌کنند. اما انواع متداول آنها ۵۰۰ تا ۷۵۰ کیلو وات برق تولید می‌کنند.

۳- توربین‌های بزرگ

توربین‌های بزرگ که قطر دایره حرکت پره‌ها در آنها ۶۰ تا ۱۰۰ متر است، بین ۲ تا ۳ مگاوات انرژی الکتریکی تولید می‌کنند. با افزایش تعداد کارخانه‌ها و بزرگ شدن آنها، فکر استفاده از توربین‌های متوسط غالب شده است. بسیاری از کشورها روی این موضوع سرمایه گذاری کردند. اما به زودی مشخص گردیده است که صرفه‌ی اقتصادی توربین‌های بزرگ و قابلیت اطمینان آنها در مقابل توربین‌های متوسط با مراتب کمتر است [۳ و ۴].

۱- ۳ -۲ -۲ - توربین‌های بادی از نظر استقرار

توربین‌های بادی از لحاظ نحوه استقرار و ساختمان آنها به دو گروه تقسیم می‌گردند:

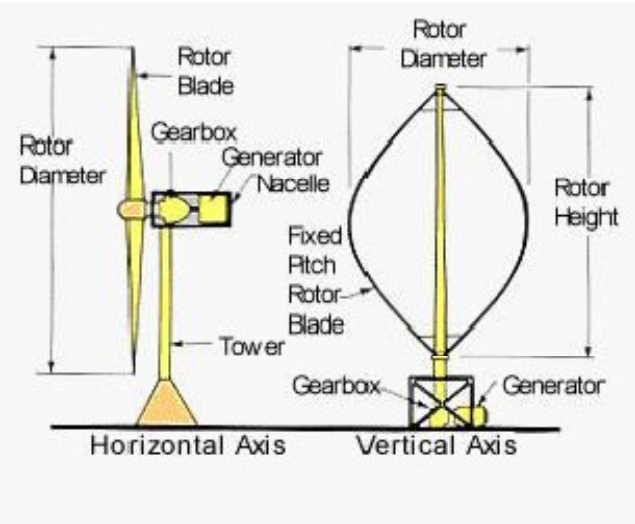
۱- توربین‌های بادی با محور چرخش عمودی

این توربین‌ها از دو بخش اصلی تشکیل شده‌اند: یک میله اصلی که رو به باد قرار می-گیرد و میله‌های عمودی دیگر که عمود بر جهت باد کار گذاشته می‌شوند. ساخت این توربین‌ها بسیار ساده بوده و همچنین بازده پایین نیز دارند. در این نوع توربین‌ها در یک طرف توربین،

باد بیشتر از طرف دیگر جذب می‌شود و باعث می‌گردد که لنگر پیدا کرده و بچرخد. یکی از مزایای این سیستم وابسته نبودن آن به جهت وزش باد می‌باشد.

۲- توربین‌های بادی با محور چرخش افقی

در این توربین‌ها محور توربین موازی با سطح زمین و در راستای وزش باد می‌باشد. این توربین‌ها نسبت به مدل محور عمودی رایج‌تر بوده همچنین از لحاظ تکنولوژی، پیچیده‌تر و گرانتر نیز می‌باشند. ساخت آنها مشکلتر از نوع عمودی بوده ولی راندمان بسیار بالایی دارند. در سرعت‌های پایین نیز توانایی تولید انرژی الکتریکی را داشته و توانایی تنظیم جهت در مسیر وزش باد را نیز دارند. این توربین‌ها با توجه به تعداد پره‌ها به سه نوع عمده دو پره‌ای ، سه پره-ای و چند پره‌ای تقسیم می‌گردند که روی یک برج بلند نصب می‌شوند. این پره‌ها همواره در جهت وزش باد قرار می‌گیرند.



شکل ۱-۱- توربین‌های با محور چرخش افقی و عمودی

توربین‌های افقی معمولا از نظر سرعت به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- کم سرعت
- پر سرعت