دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش قدرت

عنوان:

مدل‌سازی دینامیکی، شبیه‌سازی عملکرد و کنترل فازی توربین بادی

استاد راهنما:

دکتر ابوالفضل جلیلوند

نگارش:

مجید اجلی

وحید قربانیان

شهریور ۱۳۸۷

فهرست مطالب

مقدمه ۱

فصل اول

۱-۱ تاریخچه استفاده از انرژی باد ۳

۱-۲ بهره برداری از برق بادی ۶

۱-۳ برق بادی در مقیاس‌های کوچک ۷

۱-۴ آثار زیست محیطی ۷

۱-۵ تاثیرات بوم شناختی ۸

۱-۶ استفاده از زمین ۸

۱-۷ آثار بر روی حیات وحش ۹

۱-۸ بزرگترین توربین بادی جهان ۹

۱-۹ انرژی باد ۹

۱-۱۰ توان پتانسیل توربین ۱۰

۱-۱۱ توزیع سرعت باد ۱۰

۱-۱۲ ضریب ضرفیت ۱۱

۱-۱۳ محدودیت‌های ادواری و نفوذی ۱۱

۱-۱۴ پیش‌بینی پذیری ۱۲

۱-۱۵ جاگذاری توربین ۱۲

فصل دوم- توربین بادی

۲-۱ توربین بادی ۱۴
۲-۲ انواع توربین بادی ۱۴
۲-۳ آیرودینامیک توربین بادی ۱۵
۲-۴ مدل دیسک محرک ۱۵
۲-۵ حد بتز ۱۷
۲-۶ مدل المان پره ۱۷
۲-۷ نیرو، گشتاور و توان ۱۸

فصل سوم- مدل‌سازی توربین بادی

۳-۱ مدل‌سازی توربین بادی ۲۲
۳-۲ سیستم تبدیل انرژی باد ۲۲
۳-۳ اجزای مکانیکی ۲۳
۳-۴ قسمت آیرودینامیک ۲۹
۳-۵ قسمت الکتریکی ۲۹
۳-۵-۱ ژنراتور القایی قفس سنجابی اتصال مستقیم به شبکه ۳۰
۳-۵-۲ ژنراتور القایی قفس سنجابی با استاتور کنترل شده ۳۲
۳-۵-۳ ژنراتور القایی تغذیه دوبل با روتور کنترل شده ۳۳

۳-۶ سروو کنترل زاویه گام پره ۳۳

فصل چهارم- مقدمه‌ای بر سیستم‌های فازی

۴-۱ مقدمه ۳۶
۴-۲ منطق فازی ۳۶
۴-۳ متغیرهای زبان شناختی ۳۷
۴-۴ اجزای ابتدایی و اصول اولیه تئوری مجموعه فازی ۳۸
۴-۵ طراحی سیستم‌های فازی ۳۸
۴-۶ نتیجه ۴۱

فصل پنجم- استراتژی کنترل

۵-۱ معرفی ۴۳
۵-۲ سرعت‌های بالاتر از سرعت نامی ۴۳
۵-۳ سرعت‌های پایین‌تر از سرعت نامی ۴۷

فصل ششم- شبیه سازی و نتایج آن

۶-۱ قسمت آیرودینامیک ۵۲
۶-۲ قسمت جعبه دنده ۵۳
۶-۳ قسمت ژنراتور ۵۵
۶-۴ شبیه‌سازی توربین بادی در سرعت‌های بالاتر از سرعت نامی ۵۶

۶-۵ نتایج شبیه‌سازی توربین بادی در سرعت‌های بالاتر از سرعت نامی ۵۷

۶-۶ شبیه‌سازی توربین بادی در سرعت‌های پایین‌تر از سرعت نامی ۶۰

۶-۷ نتایج شبیه‌سازی توربین بادی در سرعت‌های پایین‌تر از سرعت نامی ۶۱

۷- نتیجه‌گیری ۶۴

۸- مراجع ۶۵

مقدمه :

با توجه به نگرانی های مربوط به مسائل زیست محیطی و نیز مسائل اقتصادی مربوط به سوخت های فسیلی ، امروز توجه بسیاری به روش های تولید انرژی برق می شود. و در این میان انرژی باد به عنوان یکی از مهمترین منابع انرژی برای تولید برق به شمار می رود چرا که باد آلودگی ندارد و در تمام نقاط جهان وجود دارد. بررسی های اخیر نشان می دهد که استفاده از تکنولوژی باد نسبت به موارد مشابه در شرایط یکسان منجربه کاهش هزینه ها می گردد. در ضمن تعداد توربین های بادی که وارد شبکه ها می شود سال به سال افزایش می یابد.

انرژی باد نسبت به انرژی های معمول تغییرات زیادی دارد و لذا یک توربین باد همواره با بازدهی کمی کار می کند وباید نسبت به بارهای آیرودینامیکی شدید که کیفیت توان را کاهش می دهند ، مقاوم باشد.

اخیرا ابعاد بزرگ توربین ها و افزایش استفاده از انرژی باد برای تولید برق منجربه استفاده از مبدل‌های الکترونیکی و تجهیزات مکانیکی گشته است. این تجهیزات باعث افزایش درجه آزادی در طراحی شده که خود دری به سوی کنترل اکتیو توان حاصله است. کانورتورهای استاتیکی برای این بکار می روند که علارغم سرعت متغیر باد بتوانند توربین را در سرعت نامی بچرخانند.

در مجموع برای افزایش توان خروجی ، توربین های سرعت متغیر می توانند برای کاهش بارگذاری روی پره ها و برج آنها کنترل شوند تا عمر آنها را افزایش دهند. اخیرا توربین های بادی مدرن شامل تجهیزات مکانیکی خاصی هستند تا زاویه پره ها را نیز کنترل کنند. این کار برای محدود کردن انرژی گرفته شده از باد در سرعت های خیلی تند باد است و پیچیده تر از آن توربین های با سرعت متغیر و زاویه پره متغیر است که توسط انعطاف پذیری سیستم کنترلی اش منجربه کارکرد روان آن، افزایش بازدهی، کیفیت توان بهتر، طولانی تر شدن عمر استفاده و ... می شود. بنابراین کنترل، تاثیر بسزایی در قیمت انرژی باد خواهد داشت. در کل پیچیدگی و قابلیت اعتماد سیستم کنترلی در بهره برداری بهینه از انرژی باد تاثیر زیادی دارد.

سیستم های بادی از دید سیستم کنترلی بسیار مهم هستند. مدل توربین باد یک مدل دینامیک غیرخطی غیر مینیمم فاز است، در ضمن لرزش پره ها و برج پره ها نیز به پیچیدگی آن می افزاید، لذا به دلیل شرایط عملیاتی خاص آوردن مدل ریاضی که رفتار دینامیکی این توربین را بیان کند خیلی سخت است. همچنین سیستم کنترلی در شرایطی که توربین ، سرعت – متغیر و زاویه متغیر باشد خیلی پیچیده تر خواهد شد. بهترین استفاده از این توربین ها هنگامی ممکن است که از کنترل کننده چند سرعتی استفاده کنیم.

هدف ما در این پروژه توضیح جزئیات کنترل توربین های سرعت متغیر است خواه با زاویه پره ثابت و یا با زاویه پره متغیر. این تکنیک های کنترلی برای سیستم های شدیدا غیرخطی تکنین های موفقی هستند .

فصل اول

۱-۱ تاریخچه استفاده از انرژی باد:

انرژی باد لااقل ۳۰۰۰ سال است که مورد استفاده قرار می گیرد. مثلا برای آسیاب کردن و در قایق های بادی انرژی باد به عنوان اصلی ترین منبع توان مورد استفاده قرار می گرفت. در هزاره سوم توربین های محور افقی به عنوان یک منبع اقتصادی جایگزین سوخت های فسیلی گشته است که کاربرد الکتریکی نیز پیدا کرده است.

تاریخچه استفاده از توربین های بادی برای تولید برق به قرن نوزدهم بر می گردد که در آن زمان در آمریکا آقای brush یک ژنراتور 16KWDCرا با اتصال به توربین بادی مورد بهره برداری قرار داد و تحقیقاتی هم توسط آقای LACOUR در دانمارک صورت می گرفت. به هر حال در طول قرن بیستم توجه زیادی به انرژی باد نشد به جز برای باطری های شارژی توان پایین که این سیستم های توان پایین نیز جای خود را به توربین ها دادند. یک مورد قابل توجه توربین بادی ۱۲۵۰ کیلو واتی Smith-Ruthan است که در سال ۱۹۴۱ در آمریکا نصب شده بود. این توربین یک روتور ۵۳m ، کنترل کننده Full-Span و پره های خاصی برای کاهش بار داشت. اگر چه پره های آن در سال ۱۹۴۵ رد شدند ولی این توربین برای مدت ۴۰ سال بزرگترین توربین موجود بود.

Golding در سال ۱۹۵۵ و Shepherd و Divone در سال ۱۹۹۴ روند پیشرفت این توربین ها را کامل کردند. و بعد ژنراتور ۱۰۰kw – ۳۰ متری در سال ۱۹۳۱ ثبت شد و بعد از آن ژنراتور ۱۰۰kw – ۲۴ متری Andrea در سال ۱۹۵۰ در uk ثبت شده است.

سپس در سال ۱۹۵۶ در دانمارک یک توربین ۲۰۰ kw – ۲۴ متری و بعد از آن در فرانسه یک توربین ۱.۱MW – ۳۵ متری مورد بهره برداری قرار گرفت. در این زمان تحقیقاتی در سازمان تحقیقاتی UK صورت می گرفت تا این که در سال ۱۹۷۳قیمت نفت با سرعت افزایش یافت و این افزایش ناگهانی قیمت، توجهات دولتمردان را به سمت استفاده بیشتر از انرژی باد سوق داد.

در این میان در آمریکا یک توربین ۱۰۰kw در سال ۱۹۷۵ و بعد یک توربین ۲.۵MW در سال ۱۹۸۷ به شبکه افزوده شدند. و اتفاقات مشابه با این در UK ، آلمان و سوئد نیز در جریان بود. سپس در کانادا یک توربین ۴MW با محور عمودی به شبکه افزوده شد و به موازات آن در آمریکا و UK نیز توربین های با محور عمودی طراحی شدند تا ژنراتورهای باد و نور نوع H را به چرخش درآورند که توان آن ۵۰۰KW بود. در سال ۱۹۸۱ یک توربین با محور افقی و با توان ۳MW در آمریکا طراحی و ساخته شد و مورد تست قرار گرفت که در آن انتقال توان مکانیکی به صورت هیدرولیکی انجام می گرفت و پره های آن با باد همجهت می شدند. بهترین انتخاب برای مقدار پره ها برای مدت زمان طولانی نامعلوم بود و توربین هایی با ۱، ۲ و یا ۳ پره ساخته می شدند.

به هر حال شایان ذکر است که مسائل عملی مربوط به نصب توربین های بزرگ در نظر گرفته نمی شد و در واقع این مسائل تقریب و یا تخمین زده می شدند و لذا قابلیت اعتماد این نوع ژنراتورها چندان خوب نبود. در همین زمان که ژنراتورهای توان بالا ساخته می شدند، شرکت های خصوصی ژنراتورهای کوچک تجاری را برای فروش می ساختند. در کالیفرنیا نیز تعداد زیادی از این توربین های کوچک با توان های کمتر از ۱۰۰KW با نهایت دقت در تجهیزات مکانیکی نصب شدند که کار بعضی از این توربین ها دچار مشکلات جدی شد ولی کوچک بودن آن ها موجب سادگی تعمیر و نگهداری می شد.

توربین های بادی "Danish" با سه پره ، روتور"stall-regulated" و سرعت ثابت نیز طراحی شدند که ماشین القایی را می چرخاندند.

ماشین های شکل ۱-۱ و ۱-۲ زیر مثال هایی از این نوع طراحی هستند.

شکل ۱- ۱

امروزه ابعاد توربین های بادی تجاری نیز بزرگ شده و جالب است بدانید که این توربین ها ، توربین های سرعت- متغیر با کنترل کننده های زاویه پره هستند که در ساخت آن ها از مواد جدید و مرغوب استفاده می شود.

شکل زیر یک مزرعه بادی با توربین های سرعت متغیر را نشان می دهد.

شکل ۱-۲

در این نوع طراحی ژنراتور سنکرون بصورت مستقیم با روتور آیرودینامیک کوپل می شود لذا به یک جعبه دنده نیاز دارد.

شکل ۱-۳ یک توربین سرعت متغیر را با جهبه دنده آن نشان می دهد و شکل ۱-۴ یک مزرعه بادی کوچک با توربین های بادی که قابلیت تغییر زاویه پره ها را داشته و یک کنترل کننده دارد تا توان خروجی را تنظیم کند را نشان می دهد. دلیل پیشرفت سریع استفاده از انرژی باد، از سال ۱۹۹۳ به بعد بالا رفتن قیمت نفت و نیز نگرانی نسبت به منابع سوخت فسیلی بود.

شکل ۱- ۳

شکل ۱- ۴

در سال ۱۹۹۷ اتحادیه اروپا اذعان کرد که تا سال ۲۰۱۰ باید ۱۲ درصد از انرژی مورد نیاز اروپا از منابع تجدید پذیر تامین شود و انرژی باد در میان منابع تجدید پذیر نقش کلیدی دارد، چرا که باید از میزان توان ۲.۵GW در سال ۱۹۹۵ به ۴۰GW در سال ۲۰۱۰ برسد.

این پیشرفت چندان دور از ذهن نیست چرا که در سال ۲۰۰۱ توربین های ۱۲GW وجود داشت در حالی که در سال ۲۰۰۰ توربین های ۲.۵GW و در سال ۱۹۹۵ توربین ها ۳۰۰MW وجود داشت که این بیانگر پیشرفت بسیار سریع استفاده از انرژی باد است.

۱-۲ بهره‌برداری از برق بادی

در جهان هزاران توربین بادی در حال بهره‌برداری وجود دارد که ظرفیت تولیدی آنها به ۷۳/۹۰۴ گیگاوات می‌رسد و در این میان اتحادیه اروپا ۶۵٪ از کل توان بادی جهان را تولید می‌کند. تولید برق بادی در میان دیگر روش‌های تولید انرژی الکتریکی دارای بیشتری شتاب رشد در قرن ۲۱ بوده است به طوری که تولید توان بادی جهان در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ چهار برابر شده است. در دانمارک و اسپانیا برق بادی حدود ۱۰٪ یا بیشتر ازکل تولید انرژی الکتریکی را تشکیل می‌دهد. گرچه ۸۱٪ از توان بادی تولید شده در جهان به ایالات متحده و اتحادیه اروپا تعلق دارد اما سهم پنج کشور اول تولید کننده برق بادی از ۷۱٪ در سال ۲۰۰۴ به ۵۵٪ در سال ۲۰۰۵ کاهش یافته است.

انجمن جهانی انرژی بادی پیش‌بینی کرده در سال ۲۰۱۰ ضرفیت تولیدی برق بادی به ۱۶۰ گیگاوات برسد. با توجه به میزان تولید کنونی ۷۳/۹ مگاوات این رقم پیش‌بینی یک رشد ۲۱٪ را در هر سال نشان می‌دهد.از جمله کشورهایی که سرمایه گذاری زیادی در این زمینه انجام داده‌اند می‌توان به آلمان، اسپانیا، ایالات متحده،هند و دانمارک اشاره کرد. کشور دانمارک یکی از کشورهای برجسته در تولید تجهیزات و استفاده از توان بادی است. دولت دانمارک در دهه ۱۹۷۰ ملزم شد تا تولید انرژی الکتریکی از انرژی باد را به ۵۰٪ کل تولید برق برساند و تا به امروز برق بادی ۲۰٪ (بیشترین میزان تولید برق بادی از نظر درصد تولید) از کل تولید انرژی الکتریکی در این کشور را تشکیل می‌دهد؛ این کشور هچنین پنجمین تولید کننده بزرگ برق بادی محسوب می‌شود (در حالی که دانمارک از نظر میزان مصرف در جهان رتبه ۵۶ ام را دراست). آلمان و دانمارک دو کشور پیشتاز در زمینه صادرات توربین‌های بزرگ (۰.۶۶ تا ۵ مگاوات) به حساب می‌آیند.

آلمان یکی از کشورهای پیشتاز در زمینه تولید برق بادی بوده است به طوری که در سال ۲۰۰۶ این کشور ۲۸٪ از کل توان بادی تولید شده در جهان (۷.۳٪ در آلمان) را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که آلمان برنامه دارد تا سال ۲۰۱۰ ۱۲.۵٪ از کل توان تولیدی خود را از منابع تجدیدپذیر تامین نماید. کشور آلمان دارای حدود ۱۸۶۰۰ توربین بادی است که بیشتر آنها در شمال آلمان نصب شده‌اند که در این میان سه توربین از بزرگترین توربین‌های جهان نیز وجود دارند.

در سال ۲۰۰۵ دولت اسپانیا قانونی را تصویب کرد که بر طبق آن نصب ۲۰۰۰۰ مگاوات ظرفیت بادی تا سال ۲۰۱۲ در برنامه دولت قرار گرفت. البته در سال ۲۰۰۶ یارانه‌ها و پشتیبانی دولت از ساخت این ظرفیت‌ها به ناگهان قطع شد. قابل ذکر است که در سال ۲۰۰۵ در هر دو کشور آلمان و اسپانیا تولید انرژی الکتریکی از راه استفاده از نیروگاه‌های بادی از تولید انرژی الکتریکی به وسیله نیروگاه‌های برق آبی بیشتر بود.

در سال‌های اخیر ایالات متحده از هر کشور دیگری بیشتر توربین بادی به شبکه برق خود افزوده است و پیش‌بینی می‌شود که ظرفیت تولیدی این کشور در سال ۲۰۰۷ افزایشی ۳ گیگاواتی داشته باشد. تولید برق بادی در ایالات متحده در بازه زمانی بین فوریه ۲۰۰۶ تا فوریه ۲۰۰۷ ۳۱.۸٪ رشد را نشان می‌دهد. ایالت تگزاس با پیشی گرفتن از کالیفرنیا اکنون بیشترین تولید برق بادی را دربین ایالت‌های مختلف این کشور دارد این ایالت پیش‌بینی کرده که در

سال ۲۰۰۷ در مجموع ۲ گیگاوات به توان فعلی خود بیفزاید. پیش‌بینی می‌شود که ایالت‌های ایووا و مینه سوتا هر یک در انتهای سال ۲۰۰۷ ۱ گیگاوات برق بادی تولید کنند.

۱-۳ برق بادی در مقیاس‌های کوچک

تجهیزات تولید برق بادی در مقیاس کوچک (۱۰۰ کیلووات یا کمتر) معمولا برای تغذیه منازل، زمین‌های کشاورزی یا مراکز تجاری کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد. در برخی از مکان‌های دور افتاده که مجبور به استفاده از ژنراتورهای دیزلی هستند مالکان محل ترجیح می‌دهند که از توربین‌های بادی استفاده کنند تا از ضرورت سوزاندن سوخت‌ها جلوگیری شود. در برخی موارد نیز برای کاهش هزینه‌های خرید برق یا برای استفاده برق پاک از این توربین‌ها استفاده می‌شود.

برای تغذیه منازل دورافتاده از توربین‌های بادی با اتصال به باتری استفاده می‌شود. در ایالات متحده استفاده از توربین‌های بادی متصل به شبکه در رنج‌های ۱ تا ۱۰ کیلووات برای تغذیه منازل به طور فزاینده‌ای در حال گسترش است. توربین‌های متصل به شبکه در هنگام کار نیاز به استفاده از برق شبکه را از بین می‌برند. در سیستم‌های جدا از شبکه یا باید از برق به صورت دوره‌ای استفاده کرد و یا از باتری برای ذخیره‌سازی انرژی استفاده کرد.

در مناطق شهری که امکان استفاده از باد در مقیاس‌های زیاد وجود ندارد نیز ممکن است از انرژی بادی در کاربردهای خاصی مانند پارک مترها یا درگاه‌های بی‌سیم اینترنت با استفاده از یک باتری یا یک باتری خورشیدی استفاده شود تا ضرورت اتصال به شبکه از بین برود.

۱-۴ آثار زیست محیطی

انتشار CO_2 و آلودگی

توربین‌ها بادی برای راه‌اندازی و بهره‌برداری نیاز به هیچ گونه سوختی ندارند و بنابراین در قبال انرژی الکتریکی آلودگی مستقیمی تولید نمی‌کنند. بهره‌برداری از این توربین‌ها دی‌اکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، جیوه، ذرات معلق یا هیچ گونه عامل آلوده کننده هوا تولید نمی‌کند. اما توربین‌ها بادی در مراحل ساخت از منابع مختلفی استفاده می‌کنند. در طول ساخت نیروگاه‌های بادی باید از موادی مانند فولاد، بتن،آلمینیوم و ... استفاده کرد که تولید و انتقال آنها نیازمند مصرف انواع سوخت‌هاست. دی‌اکسید کربن تولید شده در این مراحل پس از حدود ۹ ماه کار کردن نیروگاه جبران خواهد شد.

نیروگاه‌های سوخت فسیلی که برای تنظیم برق تولیدی در نیروگاه‌های بادی مورد استفاده قرار می‌گیرند موجب ایجاد آلودگی خواهند شد: بعضی از اوقات به این نکته اشاره می‌شود که نیروگاه‌های بادی نمی‌توانند میزان دی‌اکسید

دانشجویان محترم:

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

۷- نتیجه‌گیری:

- توسط کنترل فازی، توان خروجی و سرعت چرخش ژنراتور نوسان کمی خواهند داشت.
- در صورتی که نیاز به تغییر زاویه گام باشد، این تغییر نباید به صورت آنی رخ دهد زیرا باعث نوسانات شدید توان شده و در بعضی حالات ممکن است توان را تا جای بالا برد که برای سیستم خطرناک باشد.
- درست است که استفاده از روش افزایش ولتاژ برای کنترل توربین در سرعت‌های کمتر از سرعت نامی تا حدی جوابگوست اما جای مانور چندانی ندارد. به این دلیل که به خاطر مسایل اشباع هسته ژنراتور و مسایل عایقی سیم پیچیها قادر به افزایش خیلی زیاد ولتاژ نیستیم.
- بزرگ بودن اینرسی پره‌های روتور نسبت به اینرسی شفت ژنراتور این اجازه را نمیدهد که بتوانیم تغییرات زیادی روی سرعت پره‌ها از طریق گشتاور مخالف ژنراتور ایجاد نماییم.

مراجع

[1]- xinyan Zhang,weiqing Wang,ye Liu and ling Cheng. Fuzzy Control of Variable Speed Wind Turbine. Proceeding of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation,June 21-23, 2006,Dalian,China

[2]- Tomonobu Senjyo, Ryosei Sakamoto, Naomitsu Urasaki, Toshihisa Funabashi, Hideki fujita and Hideomi Sekine. Output Power Leveling of Wind Turbine Generator for All Operating Regions by Pitch Angle Control. IEEE Transaction on Energy Conversion,VOL.21, NO.2, JUNE 2006

[3]- Hassan H.El-Tamaly, Mohamed A.A. Wahab and Ali H.kasem.Simulation of Directly Grid-connected Wind Turbine for Voltage Fluctuation Evaluation.International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Vol.2,No.1(2007)

[4]- Fernando D.Bianchi,Hernan De Battista and Richardo J.Mantz. Wind Turbine Control Systems,Principles,Modeling and Gain Scheduling Design.

[5]- Tony Burton, David Sharp, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi. Wind Energy Handbook

[6]- Sathyajith Mathew. Wind Energy Fundamentals,Resoursce Analysis and Economics.