



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران جنوب

دانشکده تحصیلات تکمیلی

پایان­نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد "M.Sc."

مهندسی برق-کنترل

**عنوان:**

**طراحي و شبيه­سازي کنترل‌کننده‌های هوشمند بهینه براي کنترل**

 **بار فرکانس توربین‌های بادی**

استاد راهنما:

استاد مشاور:

دانشجو:

مهندسی برق-کنترل

فهرست مطالب

چکیده 1

|  |  |
| --- | --- |
| **فصل1: مقدمه** | 2 |
|  ۱-۱ طرح مسئله  | 2 |
|  ۲-۱ اهداف تحقیق | ۳ |
|  ۳-۱ معرفی فصل های مورد بررسی در این تحقیق | ۴ |
| **فصل2: انرژی باد و انواع توربین های بادی** | ۵ |
|  ۱-۲ انرژی باد  | ۶ |
|  ۱-۱-۲ منشا باد | ۶ |
|  ۲-۱-۲ پیشینه استفاده از باد | ۷ |
|  ۳-۱-۲ مزاياي انرژي بادي | ۸ |
|  ۴-۱-۲ ناکارآمديهاي انرژي بادي | ۹ |
|  ۵-۱-۲ وضعيت استفاده از انرژي باد در سطح جهان  | ۱۰ |
|  ۲-۲ فناوری توربین های بادی  | ۱۱ |
|  ۱-۲-۲ توربينهاي بادي با محور چرخش افقی | ۱۲ |
|  ۲-۲-۲ توربينهاي بادي با محور چرخش عمودی | ۱۲ |
|  ۳-۲-۲ اجزای اصلی توربین بادی | ۱۴ |
|  ۴-۲-۲ چگونگی تولید توان در سیستم های بادی | ۱۵ |
|  ۱-۴-۲-۲ منحنی پیش بینی توان توربین باد | ۱۵ |
|  ۳-۲ تقسیم بندی سیستم های تبدیل کننده انرژی باد (WECS) بر اساس نحوه عملکرد | ۲۰ |
|  ۱-۳-۲ سیستم های تبدیل کننده انرژی باد (WECS) سرعت ثابت | ۲۰ |
|  ۲-۳-۲ سیستم های تبدیل کننده انرژی باد (WECS) سرعت متغير | ۲۲ |
|  ۳-۳-۲ سیستم های تبدیل کننده انرژی باد بر مبنای ژنراتور القايي با تغذيه دوگانه (DFIG) | ۲۴ |
|  ۴-۳-۲ سیستم های تبدیل کننده انرژی باد مجهز به توربین های سرعت متغير با مبدل فرکانسي با ظرفيت کامل | ۲۶ |
| **فصل۳: تاریخچه کنترل فرکانس سیستم های قدرت در حضور واحدهای بادی، معرفی مدل ریاضی و الگوریتم ازدحام ذرات** | ۲۷ |
|  ۱-۳ مرورری بر کارهای انجام شده | ۲۹ |
|  ۲-۳ کنترل DFIG | ۳۳ |
|  ۳-۳ مدل دینامیکی سیستم تنظیم فرکانس توربین بادی با ژنراتور القايي تغذيه دوگانه  | ۳۶ |
|  ۴-۳ مدل دینامیکی ساختار تنظیم فرکانس سیستم تک ناحیه ای در حضور توربین بادی با ژنراتور القايي تغذيه دوگانه (DFIG)  | ۴۰ |
|  ۵-۳ الگوریتم حرکت گروهی پرندگان یا ازدحام ذرات PSO | ۴۴ |
|  ۶-۳ نتیجه گیری | ۴۷ |
| **فصل۴: طراحی کنترل کننده PI بهینه سازی شده توسط الگوریتم ازدحام ذرات** | ۴۸ |
|  ۱-۴ بهینه سازی طراحی کنترل‌کننده PI با استفاده از روش بهینه سازی هوشمند ازدحام ذرات (PSO)  | ۴۹ |
|  ۱-۱-۴ نتایج شبیه سازی کنترل کننده PI بهینه سازی شده با الگوریتم PSO | ۵۳ |
| ۴-۲ نتیجه گیری | ۵۹ |
| **فصل پنجم: طراحی کنترل کننده فازی** | ۶۱ |
|  ۱-۵ منطق فازی | ۶۲ |
|  ۱-۱-۵ تعریف مجموعه فازی | ۶۲ |
|  ۲-۱-۵ مزایای استفاده از منطق فازی | ۶۳ |
| ۵-۲ طراحی کنترل کننده فازی | ۶۴ |
|  ۱-۲-۵ ساختار يك كنترل كننده فازي | ۶۴ |
|  ۱-۱-۲-۵ فازی کننده | ۶۵ |
|  ۲-۱-۲-۵ پايگاه قواعد | ۶۶ |
|  ۳-۱-۲-۵ موتور استنتاج | ۶۶ |
|  ۴-۱-۲-۵ غیر فازی ساز | ۶۷ |
|  ۳-۵ طراحی کنترل‌کننده فازی بهینه شده با الگوریتم PSO | ۶۸ |
|  5-3-1 نتایج شبیه سازی  | ۷۲ |
| **فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات** | 78 |
|  ۱-۶ نتیجه گیری | ۷۹ |
|  ۲-۶ پیشنهادات | ۸۱ |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

فهرست جدول­ها

|  |  |
| --- | --- |
| جدول ۱-۲: انواع توربین های عرضه شده در بازار | ۱۱ |
| جدول ۴-۱: اطلاعات شبیه سازی | ۵۱ |
| جدول ۲-۴: پارامترهای انتخابی الگوریتم PSO | ۵۳ |
| جدول ۳-۴: اطلاعات شبیه سازی | ۵۳ |
| جدول ۱-۵: پارامترهای انتخابی الگوریتم PSO | ۷۳ |
| جدول ۲-۵: پارامترهای بهینه شده کتترل کننده فازی با الگوریتم PSO | ۷۳ |

فهرست شکل­ها

|  |  |
| --- | --- |
| شکل ۱-۲ : تولید باد | ۶ |
| شکل ۲-۲: وسیله ای بر اساس طرح ایرانیان به منظور استفاده از انرژی باد [۱۰‍] | ۷ |
| شکل ۳-۲: ساختمان توربين بادي محور افقي [۱۱‍‍] | ۱۳ |
| شکل ۴-۲: توربين بادي نوع داريوس (محور عمودي) [۱۱] | ۱۳ |
| شکل ۵-۲: نمایی از یک سیستم تبدیل انرژی بادی در توربین بادی با محور افقی [۱‍] | ۱۴ |
| شکل ۶-۲: دیاگرام سیستم بادی [۲] | ۱۵ |
| شکل ۷-۲: منحنی توان-سرعت باد یک توربین بادی زاویه گام قابل تنظیم ۱۵۰۰ کیلوواتی با سرعت قطع خروجی ۲۵ متربرثانیه [۲‍] | ۱۶ |
| شکل ۸-۲ : نمودار تغییرات  بر حسب تغییرات زاویه گام و نسبت سرعت نوک برای توربین بادی زاویه گام متغیر [۱] | ۱۸ |
| شکل ۹-۲: نمودار تغییرات  بر حسب تغییرات زاویه گام و نسبت سرعت نوک برای توربین بادی زاویه گام متغیر [۱] | ۱۹ |
| شکل ۱۰-۲: نمودار تغییرات  و  بر حسب تغییرات زاویه گام و نسبت سرعت نوک برای توربین بادی زاویه گام ثابت ‌[۱] | ۲۰ |
| شکل ۱۱-۲: توربين بادي سرعت ثابت | ۲۱ |
| شکل ۱۲-۲: آرایشی از توربين بادي با سرعت متغير محدود با مقاومت متغير رتور | ۲۳ |
| شکل ۱۳-۲: ساختمان توربين بادي نوع DFIG  | ۲۵ |
| شکل ۱-۳: نمایی از عملکرد سیستم تبدیل انرژی باد | ۳۴ |
| شکل ۲-۳: ساختار کنترل کننده توربین بادی DFIG [۳۰] | ۳۵ |
| شکل ۳-۳: مدل دینامیکی سیستم قدرت تک ناحیه ای در حضور واحدهای تولید غیر سنتی (بادی)[۳۰] | ۳۶ |
| شکل ۴-۳: مدل دینامیکی توربین بادی دارای ژنراتور DFIG به منظور تنظیم فرکانس[۳۰] | ۳۷ |
| شکل ۵-۳: بلوک دیاگرام سیستم تنظیم فرکانس سیستم قدرت تک ناحیه ای در حضور توربین بادی DFIG [۳۰] | ۴۱ |
| شکل ۶-۳: شماتیک برداری روابط الگوریتم PSO | ۴۵ |
| شکل ۷-۳: فلوچارت الگوریتم PSO | ۴۶ |
| شکل ۱-۴: سیستم حلقه بسته | ۵۰ |
| شکل ۲-۴: نمودار تغییرات سرعت توربین بادی- زمان برای کنترل‌کننده PI کلاسیک به ازای تغییر بار ، و  | ۵۱ |
| شکل ۳-۴: سیستم حلقه بسته با اضافه کردن انتگرال مربع خطا | ۵۲ |
| شکل ۴-۴: نمودار تغییرات سرعت توربین بادی- زمان برای کنترل‌کننده PI بهینه به ازای تغییر بار ، و  | ۵۴ |
| شکل ۵-۴: مقایسه نمودار تغییرات سرعت توربین بادی- زمان برای کنترل‌کننده PI بهینه و کلاسیک به ازای تغییر بار   | ۵۵ |
| شکل 6-۴: نمودار فرکانس با در نظر گرفتن کنترل کننده PI کلاسیک برای کنترل سرعت توربین بادی به ازای تغییر بار  | ۵۶ |
| شکل7-۴: نمودار فرکانس با در نظر گرفتن کنترل کننده PI بهینه برای کنترل سرعت توربین بادی به ازای تغییر بار  | ۵۶ |
| شکل 8-۴: نمودار فرکانس با در نظر گرفتن کنترل کننده PI کلاسیک برای کنترل سرعت توربین بادی به ازای تغییر بار  | ۵۷ |
| شکل 9-۴: نمودار فرکانس با در نظر گرفتن کنترل کننده PI بهینه برای کنترل سرعت توربین بادی به ازای تغییر بار  | ۵۷ |
| شکل ۱0-۴: تغییرات توان تولید شده توسط واحدهای بادی با در نظر گرفتن کنترل کننده PI کلاسیک برای کنترل سرعت توربین بادی | ۵۸ |
| شکل ۱1-۴: تغییرات توان تولید شده توسط واحدهای بادی با در نظر گرفتن کنترل کننده PI بهینه برای کنترل سرعت توربین بادی | ۵۹ |
| شکل ۱-۵: نمايي از يك كنترل كننده فازي | ۶۵ |
| شکل ۲-۵: مثال هایی از توابع عضویت: (a) تابع z ، (b) گوسين، (c) تابع s، (d-f) حالتهاي مختلف مثلثي، (g-i) حالتهاي مختلف ذوزنقه ای، (j) گوسين تخت،(k) مستطيلی، (l) تك مقداري | ۶۵ |
| شکل ۳-۵: تابع عضویت خطا | ۶۹ |
| شکل ۴-۵: تابع عضویت مشتق خطا | ۶۹ |
| شکل ۵-۵: نمودار تغییرات سرعت توربین بادی برای کنترل کننده PI بهینه به ازای تغییر بار  | ۷۲ |
| شکل ۶-۵: نمودار تغییرات سرعت توربین بادی با کنترل کننده فازی بهینه شده با الگوریتم PSO به ازای ورودی اغتشاش  | ۷۴ |
| شکل ۷-۵: نمودار تغییرات سرعت توربین بادی با کنترل کننده فازی بهینه شده با الگوریتم PSO به ازای ورودی اغتشاش  | ۷۴ |
| شکل ۸-۵: نمودار تغییرات سرعت توربین بادی با کنترل کننده فازی بهینه شده با الگوریتم PSO به ازای ورودی اغتشاش  | ۷۵ |
| شکل ۹-۵: نمودار تغییرات سرعت توربین بادی با کنترل کننده فازی بهینه شده با الگوریتم PSO به ازای ورودی اغتشاش  | ۷۵ |
| شکل ۱۰-۵: نمودار فرکانس با در نظر گرفتن کنترل کننده فازی بهینه برای کنترل سرعت توربین بادی به ازای تغییر بار  | ۷۶ |
| شکل ۱۱-۵: نمودار فرکانس با در نظر گرفتن کنترل کننده فازی بهینه برای کنترل سرعت توربین بادی به ازای تغییر بار  | ۷۶ |
| شکل ۱۲-۵: نمودار فرکانس با در نظر گرفتن کنترل کننده فازی بهینه برای کنترل سرعت توربین بادی به ازای تغییر بار  | ۷۷ |
| شکل ۱۳-۵: نمودار فرکانس با در نظر گرفتن کنترل کننده فازی بهینه برای کنترل سرعت توربین بادی به ازای تغییر بار  | ۷۷ |

**چکیده**

امروزه با توجه به نیاز روزافزون بشر به انرژی از یک سو و کاهش منابع سنتی انرژی از سویی دیگر، نیاز به یافتن منابع جدید انرژی به روشنی احساس می گردد. جایگزینی منابع فسیلی با انرژی های نو و تجدیدپذیر راهکاری است که مدت هاست مورد توجه کشورهای پیشرفته جهان قرار گرفته است. در بین منابع انرژی های نو، انرژی باد به دلیل پاک و پایان ناپذیر بودن، داشتن قابلیت تبدیل به انرژی الکتریکی و رایگان بودن گزینه مناسبی برای این منظور می باشد. مشکل عمده در بهره برداری از آن این است که تغییرات لحظه ای سرعت باد باعث ایجاد نوسانات در توان خروجی توربین بادی می شود که این نوسانات به شکل تغییر فرکانس در سرتاسر سیستم منعکس می شود و عملکرد سیستم را تحت تاثیر قرار می دهد. به صورت سنتی وظیفه کنترل فرکانس به عهده واحد های تولید کننده انرژی سنتی می باشد اما با افزایش مشارکت واحدهای تولید بادی در تولید انرژی برای بهبود عملکرد سیستم، آنها نیز باید در کنترل فرکانس شرکت کنند.

این پایانامه به بررسی نقش مشارکت واحدهای تولید بادی درکنترل فرکانس پرداخته است و برای کنترل فرکانس، کنترل هر چه بهتر تغییرات سرعت توربین های بادی پیشنهاد شده است. ابتدا سیستم قدرت مورد نظر با استفاده از کنترل کننده PI کلاسیک برای کنترل کردن سرعت ژنراتور توربین بادی شبیه سازی شده و در ادامه به منظور بهبود عملکرد سیستم، بهینه سازی تنظیم پارامترهای کنترل کننده PI با الگوریتم بهینه سازی هوشمند ازدحام ذرات پیشنهاد شده است. در پایان به علت اینکه سیستم های قدرت در حضور واحدهای بادی در معرض تغییر پارامترها و عدم قطعیت های زیادی قرار می گیرند جایگزینی کنترل کننده PI با کنترل کننده فازی پیشنهاد شده است که غیر خطی می باشد و عملکرد مقاومتری نسبت به تغییر پارامترهای سیستم از خود نشان می دهد. بدیهی است با بهینه سازی کنترل کننده فازی مورد نظر با الگوریتم بهینه سازی هوشمند ازدحام ذرات نتایج مطلوب تری بدست می آید.

کلید واژه: کنترل فرکانس سیستم قدرت- سیستم های تبدیل کننده انرژی باد- کنترل کننده PI – کنترل کننده فازی- الگوریتم ازدحام ذرات