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 **علی حاجی زاده رحمتی** پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان **مدیریت کیفیت توان در شبکه های توزیع در حضور نیرگاههای بادی کوچك به کمك** D-FACTS در تاریخ ۱۳۹۰/۹/۲۲ ارائه کردند.

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

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمودرضا حقی فام	استاد	
استاد مشاور	دکتر مصطفی محمدیان	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر محمدکاظم شیخ الاسلامی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر علی عارفی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر محمدکاظم شیخ الاسلامی	استادیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی

دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری 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 هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجوی مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

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

ماده ۳- انتشار کتاب و یا نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام شود.

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

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب **علی حاجی‌زاده** دانشجوی رشته **برق- قدرت** ورودی سال تحصیلی **۱۳۸۷** مقطع **کارشناسی ارشد** دانشکده **برق و کامپیوتر** متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آیین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آیین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هرگونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله براساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هرگونه اعتراض را از خود سلب نمودم ».

امضا علی حاجی زاده

تاریخ ۹۰/۱۲/۱

آیین نامهٔ چاپ پایان نامه (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 می شوند:

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

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

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته **برق- قدرت** است که در سال **۱۳۹۰** در دانشکده **برق و کامپیوتر** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی **آقای دکتر محمودرضا حقی‌فام** و مشاورهٔ **آقای دکتر مصطفی محمدیان** از آن دفاع شده است».

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تادیهٔ کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت 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 مادهٔ ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

ماده ۶: اینجانب **علی حاجی‌زاده** دانشجوی رشته **برق-قدرت** مقطع **کارشناسی ارشد** تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی:

تاریخ و امضاء: ۹۰/۱۲/۱۰

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق- قدرت

مدیریت کیفیت توان درشبکه‌های توزیع در حضور مولدهای بادی کوچک به کمک ادوات D-FACTS

علی حاجی زاده رحمتی

استاد راهنما:

دکتر محمود رضا حقی فام

استاد مشاور:

دکتر مصطفی محمدیان

آذرماه ۱۳۹۰

تقدیم به:

روح آسمانی پدرم،که همه وجودم مدیون اوست

و

مادر دلسوز و فداکارم،فروزان ترین شعله محبت و ایثار،او که قلب پاکش سرمنشأ دعاهای خیر در زندگیم است

و

تقدیم به :

همسر مهربانم و فرزندم (حنانه)،

که از راحتی و زندگی خود کاستند تا سایبان آرامش برایم فراهم کنند. و با دستهای مهربانشان،نگاه پرمهرشان و کلام امیدبخش شان ستون های خانه مقصود را بنا ساختند

تشکر و قدردانی:

خدایا !

اعتراف می‌کنم که نه زبان شکر تو را دارم و و نه توان تشکر از بندگان تو را، اما بر حسب وظیفه،

از کلیه اساتید ارجمندم در طول سالهای به یاد ماندنی شاگردیشان تشکر می‌نمایم. از اساتید ارجمند آقایان دکتر حقی فام که راهنمای علم و زندگیم بوده و هستند و دکتر محمدیان که علاوه بر مشاوره و هدایت این پایان‌نامه با صبر وتحمل بیکران خویش همواره تکیه گاهم بودند وهمچنین از سایر اساتید گروه برق به ویژه آقایان دکتر پارسا مقدم ، دکتر یزدیان، دکترشریفی ودکترشیخ الاسلامی که در دوران تحصیل و در این تحقیق مشوق اینجانب بوده و همواره از ایده‌های خوب آنان بهره‌مند گردیده‌ام، خاضعانه وصمیمانه سپاسگزارم

و این نیست جز جلوه‌ای از لطف و رحمت پرودگاری که از ادای شکر حتی یک نعمت او ناتوانم.

چکیده:

استفاده از انرژی باد به عنوان یکی از انرژی‌های تجدیدپذیر در سالیان اخیر رشد قابل توجهی داشته و به عنوان یک گزینه مناسب برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی مطرح شده است. این منبع انرژی غیر قابل کنترل و پیش‌بینی بوده و به همین دلیل، اتصال توربین‌های بادی به شبکه‌های قدرت، علی الخصوص سیستم‌های قدرت ضعیف با سطح اتصال کوتاه پایین با مشکلاتی همراه است. علارغم رشد روز افزون، قیمت مناسب و مزایای دیگر توربین بادی، این تجهیز پس از نصب در شبکه باعث بروز اختلالاتی از قبیل نوسانات ولتاژ و یا هارمونیکها می‌گردد. در این پایان نامه، اثر توربین‌های بادی کوچک بر سیستم‌های توزیع از دیدگاه کیفیت توان با تمرکز بر نوسانات ولتاژ از نوع چشمک زدن ولتاژ (فلیکر) بررسی شده است. سپس راهکاری مبتنی بر استفاده از تجهیزات Custom Power برای کاهش این اثر نامطلوب ارائه شده است. به همین منظور، شبکه توزیع استاندارد ۱۳ باسه IEEE برای مطالعات انتخاب شده است. سپس یک توربین بادی کوچک در توانهای مختلف و با توجه به معیارهای تلفات توان، پروفیل ولتاژ و فلیکر در این سیستم توزیع نمونه جایابی و تعیین ظرفیت شده است. سپس یک سیستم D-STATCOM در محل اتصال توربین بادی به شبکه طراحی و متصل شده، به نحوی که علاوه بر بهبود تلفات و پروفیل ولتاژ شبکه، فلیکر ناشی از توربین بادی را نیز کاهش میدهد.در نهایت توربین بادی روی یک باس ثابت نگه داشته شده و D-STATCOM برای بهینه کردن تابع هدف جایابی شده است. نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌های انجام شده در محیط نرم افزار PSCAD/EMTDC و تحلیل نتایج آن با نرم افزار MATLAB نشان دهنده بهبود مسائل کیفیت توان ناشی از نصب D-STATCOM درنقطه بهینه از شبکه مورد مطالعه می‌باشد.

کلیدواژگان: توربین بادی، کیفیت توان، فلیکر ولتاژ، Custom Power، D-STATCOM

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه: ۱

فصل اول: مروری بر مطالعات گذشته ۳

۱-۱- مقدمه ۴

۱-۲- اغتشاشات کیفیت توان ۴

۱-۳- عوامل موثر در انتشار فلیکر توربین‌های بادی ۸

۱-۴- کیفیت توان در حضور مولدهای بادی ۹

۱-۴-۱- مشخصه‌های کیفیت توان توربین‌های بادی: ۱۰

۱-۴-۱-۱- حداکثر توان مجاز ۱۱

۱-۴-۱-۲- حداکثر توان اندازه‌گیری شده ۱۱

۱-۴-۱-۳- توان رأکتیو ۱۱

۱-۴-۱-۴- ضریب فلیکر ۱۲

۱-۴-۱-۵- حداکثر تعداد دفعات کلیدزنی توربین بادی: ۱۳

۱-۴-۱-۶- ضریب گام فلیکر: ۱۳

۱-۴-۱-۷- ضریب تغییر ولتاژ ۱۴

۱-۴-۱-۸- جریان‌های هارمونیکی ۱۴

۱-۵- خلاصه مشخصه‌های کیفیت توان برای انواع مختلف توربین بادی ۱۵

۱-۶- روش‌های اندازه‌گیری فلیکر ۱۹

۱-۷- مروری بر تحقیقات انجام شده ۲۳

۱-۷-۱- مدلسازی توربین‌های بادی ۲۳

۱-۷-۲- مطالعات فلیکر ۲۴

۱-۷-۲-۱- بررسی و تخمین فلیکر ۲۴

۱-۷-۲-۲- حذف و یا کاهش فلیکر..... ۲۵
۱-۷-۳- تأثیر D-STATCOM بر مؤلفه‌های کیفیت توان..... ۲۷
۱-۷-۴- جایابی توربین و مزرعه‌های بادی..... ۲۸

فصل دوم: بررسی ساختار و سیستم کنترلی D_STATCOM..... ۳۰

۲-۱- مقدمه..... ۳۱
۲-۲- مقدمه‌ای بر ادوات CUSTOM POWER..... ۳۱
۲-۳- انواع ادوات Custom Power..... ۳۳
۲-۳-۱- DVR..... ۳۳
۲-۳-۲- UPQC..... ۳۴
۲-۳-۳- D_STATCOM..... ۳۵
۲-۳-۳-۱- ساختمان و اصول عملکردی D-STATCOM:..... ۳۶
۲-۳-۳-۲- بخش اینورتر در سیستم D-STATCOM:..... ۴۰
۲-۳-۳-۳- توانایی‌های D-STATCOM..... ۴۱
۲-۳-۳-۴- اجزای اصلی D-STATCOM..... ۴۱
۲-۳-۳-۴-۱- مبدل PWM..... ۴۲
۲-۳-۳-۴-۲- منابع تامین انرژی DC در D-STATCOM..... ۴۲
۲-۳-۳-۴-۳- سیستم کنترلی D-STATCOM..... ۴۳
۲-۳-۳-۴-۴- سیستم کنترل ولتاژDC..... ۴۴
۲-۴-۱- تنظیم مجموع ولتاژ خازنها..... ۴۴
۲-۴-۲- محاسبه ظرفیت خازن مناسب برایD-STATCOM..... ۴۵
۲-۵- روش‌های تولید سیگنالهای کنترلی سویچ‌های قدرت در سیستم‌های D-STATCOM:..... ۴۶
۲-۶- مقایسه ادوات کنترل پذیر پیوسته..... ۴۶

فصل سوم: مدل اجزای سیستم ۴۸

۳-۱- مقدمه ۴۹

۳-۲- نرم افزار PSCAD/EMTDC ۴۹

۳-۳- اطلاعات شبکه قدرت مورد مطالعه ۵۰

۳-۴- اطلاعات بارها ۵۱

۳-۵- خازن‌های موازی ۵۲

۳-۶- خطوط هوایی ۵۲

۳-۷- خطوط زمینی ۵۴

۳-۸- تنظیم کننده ولتاژ ۵۵

۳-۹- ترانسفورماتور ۵۶

۳-۱۰- مدل توربین بادی ۵۶

۳-۱۰-۱- گاورنر ۵۸

۳-۱۰-۲- توربین بادی ۵۹

۳-۱۰-۳- منبع باد ۶۰

۳-۱۱- مدل D-STATCOM ۶۱

فصل چهارم: شبیه‌سازی ۶۷

۴-۱- مقدمه ۶۸

۴-۲- شبیه‌سازی و محاسبه فلیکر با حضور توربین بادی ۶۸

۴-۳- جایابی توربین بادی ۷۲

۴-۴- شبیه‌سازی و محاسبه فلیکر با حضور توربین بادی و D-STATCOM ۷۸

۴-۵- جایابی بهینه توربین بادی و D-STATCOM بصورت همزمان ۸۲

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۸

۵-۱- خلاصه کارهای انجام شده ۸۹

۵-۲- نتیجه‌گیری ۸۹

۵-۳- پیشنهادات برای ادامه کار ۹۰

فهرست منابع و مآخذ ۹۲

چکیده انگلیسی ۹۸

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۱) دسته‌بندی‌ها و مشخصات نوعی پدیده‌های الکترومغناطیسی در سیستم قدرت ۶

جدول (۱-۲) دسته‌بندی توربین‌های بادی ۱۵

جدول (۱-۳) مقادیر مشخصه‌های کیفیت توان برای انواع مختلف توربین‌های بادی ۱۸

جدول (۱-۴) مقادیر پارامترهای تابع تبدیل فیلتر وزنی برای دو نوع لامپ مختلف ۲۱

جدول (۲-۱) مقایسه ادوات کنترل پذیر پیوسته ۴۷

جدول (۳-۱) کد مدل‌های بار ۵۱

جدول (۳-۲) مشخصات بارهای نقطه‌ای شبکه ۵۱

جدول (۳-۳) مشخصات بارهای توزیع شده شبکه ۵۲

جدول (۳-۴) مشخصات خازن‌های موازی شبکه ۵۲

جدول (۳-۵) کد فاصله‌های خطوط هوایی ۵۲

جدول (۳-۶) مشخصات هادی‌ها ۵۳

جدول (۳-۷) اطلاعات خطوط ۵۳

جدول (۳-۸) مشخصات خطوط هوایی شبکه ۱۳ باسه ۵۴

جدول (۳-۹) کد فاصله‌های خطوط زمینی ۵۴

جدول (۳-۱۰) کابلهای هم محور 15 kV ۵۴

جدول (۳-۱۱) مشخصات خطوط زمینی شبکه ۱۳ باسه ۵۵

جدول (۳-۱۲) مشخصات تنظیم کننده‌های ولتاژ ۵۵

جدول (۳-۱۳) مشخصات ترانسفورماتور شبکه ۱۳ باسه ۵۶

جدول (۴-۱) میانگین پارامترهای تابع هدف در شرایط مختلف بهره‌برداری ۷۴

جدول (۴-۲) نتایج شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف ۷۶

جدول (۴-۳) نتایج حاصل از شبیه سازی پس از نصب D-STATCOM در شبکه ۸۰

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱) مقدار فلیکر مجاز بر حسب تعداد نوسانات..... ۷

شکل (۱-۲) پاسخ نرمالیزه شده فلیکرمتر برای نوسانات ولتاژ (پیک تا پیک)..... ۱۲

شکل (۱-۳) انواع توربین بادی..... ۱۷

شکل (۱-۴) بلوک دیاگرام فلیکرمتر استاندارد ارائه شده توسط IEC..... ۱۹

شکل (۱-۵) تابع تبدیل فیلترهای وزنی در فلیکرمتر استاندارد برای لامپ‌های التهابی ۲۳۰ ولت ۶۰ وات (منحنی توپر)، دو منحنی نقطه و خط چین تابع تبدیل‌های دو فاکتور در تابع تبدیل کلی را به نمایش میگذارند..... ۲۱

شکل (۱-۶) تابع تبدیل فیلترهای وزنی در فلیکرمتر استاندارد برای لامپ های التهابی ۲۳۰ ولت (منحنی توپر) و ۱۲۰ ولت (منحنی خط چین) ۶۰ وات..... ۲۲

شکل (۲-۱) محدوده کاری ادوات FACTS و(Custom Power) CUPS ۳۲

شکل (۲-۲) ساختمان کلیDVR و اجزای آن..... ۳۴

شکل (۲-۳) ساختار UPQC..... ۳۵

شکل (۲-۴) توابع اصلی D-STATCOM..... ۳۷

شکل (۲-۵) یک D-STATCOM را بدون خازن / فیلتر ثابت..... ۳۸

شکل (۲-۶) اثر خازن ثابت / فیلتر بر روی ناحیه کار D-STATCOM الف ناحیه کاری بدون خازن ثابت، ب- ناحیه کاری با خازن ثابت..... ۳۸

شکل (۲-۷) توابع اصلی D-STATCOM..... ۳۹

شکل (۲-۸) مدهای مختلف عملکرد سیستم D-STATCOM..... ۳۹

شکل(۲-۹) نمودارهای ولتاژ جریان سیستم D-STATCOM..... ۴۰

شکل(۲-۱۰) اجزای تشکیل دهنده D-STATCOM و اتصالات آن..... ۴۰

شکل (۲-۱۱) ساختار کلی D-STATCOM..... ۴۲

شکل (۲-۱۲) انباره انرژی بزرگ افزایشی در D-STATCOM..... ۴۳

شکل (۳-۱) شمای تک خطی شبکه توزیع ۱۳ باسه IEEE..... ۵۰

شکل (۳-۲) فواصل خطوط هوایی..... ۵۲

شکل (۳-۳) فواصل کابلهای زیر زمینی..... ۵۴
شکل (۳-۴) شمای کلی رگولاتور ولتاژ در محیط PSCAD/EMTDC..... ۵۶
شکل (۳-۵) کنترل کننده‌های ولتاژ در مدل رگولاتور ولتاژ..... ۵۶
شکل (۳-۶) بلوک دیاگرام توربین بادی و ژنراتور آسنکرون..... ۵۷
شکل (۳-۷) بلوک دیاگرام کنترل کننده زاویه پره‌های توربین..... ۵۸
شکل (۳-۸) شمای کلی مدل D-STATCOM..... ۶۲
شکل (۳-۹) حلقه کنترل ولتاژ به عنوان یک زیر سیستم در مدل D-STATCOM..... ۶۳
شکل(۳-۱۰) بخش اول کنترل کننده PWM..... ۶۴
شکل (۳-۱۱) سیگنالهای خروجی بلوک نشان داده شده در شکل(۳-۹) را نشان می‌دهد..... ۶۴
شکل (۳-۱۲) بخش دوم کنترل کننده PWM..... ۶۵
شکل(۳-۱۳) خروجیهای بخش دوم کنترل کننده PWM..... ۶۵
شکل(۳-۱۴) سیگنال اعمالی به گیت‌ها ی سویچها..... ۶۶
شکل (۳-۱۵) سیگنالهای تحریک گیتها..... ۶۶
شکل (۴-۱) نمودار توان الکتریکی، گشتاور و سرعت ژنراتور القایی..... ۶۹
شکل (۴-۲) نمودار گشتاور مکانیکی ژنراتور، گشتاور تولیدی توربین، سرعت باد و زاویه پره..... ۷۰
شکل (۴-۳- الف) پروفیل ولتاژ شبکه قبل از نصب توربین بادی در باس ۶۳۲..... ۷۱
شکل (۴-۳-ب)پروفیل ولتاژ شبکه پس از نصب توربین بادی در باس ۶۳۲..... ۷۱
شکل (۴-۴) نمونه‌ای از ولتاژ باسبار محل اتصال توربین بادی (باس ۶۳۲) و فلیکر ناشی از آن..... ۷۱
شکل (۴-۵) سطح فلیکر کوتاه مدت تمامی فازهای باسبارهای شبکه مورد مطالعه..... ۷۱
شکل (۴-۶) مقدار مجموع Pstها با نصب توربین بادی در باس‌بارها و با توجه به ظرفیت‌های مختلف توربین بادی.... ۷۴
شکل (۴-۷) مقدار انحراف ولتاژ با نصب توربین بادی در باسبارها و با توجه به ظرفیت‌های گوناگون توربین بادی ۷۵
شکل (۴-۸) مقدار تلفات توان با نصب توربین بادی در باسبارها و با توجه به ظرفیت‌های گوناگون توربین بادی..... ۷۵
شکل (۴-۹) مقدار ولتاژ مؤثر باس‌بارهای مختلف با نصب توربین بادی در نقاط تعیین شده..... ۷۷
شکل (۴-۱۰) مقدار P_{st} فازهای باس‌بارهای مختلف با نصب توربین بادی در نقاط تعیین شده..... ۷۸
شکل (۴-۱۱) ولتاژ مؤثر ترمینال، ولتاژ DC و شیفت فاز D-STATCOM..... ۷۹

شکل (۴-۱۲) توان رأکتیو تزریقی (به همراه خازن) و توان اکتیو (مصرفی) D-STATCOM ۷۹
شکل (۴-۱۳) ولتاژ سه فاز ترمینال D-STATCOM ۸۰
شکل (۴-۱۴) مقایسه مقدار P_{st} قبل و بعد از نصب D-STATCOM در باسبار شماره ۶۳۲ ..... ۸۱
شکل (۴-۱۵) مقایسه مقدار P_{st} قبل و بعد از نصب D-STATCOM در باسبار شماره ۶۷۱ ..... ۸۱
شکل (۴-۱۶) مقایسه ولتاژهای مؤثر در باسبار شماره ۶۷۱ با و بدون حضور D-STATCOM ۸۲
شکل (۴-۱۷) مقایسه ولتاژهای مؤثر در باسبار شماره ۶۳۲ با و بدون حضور D-STATCOM ۸۲
شکل (۴-۱۸) شمای تک خطی شبکه توزیع ۱۳ باسه IEEE ۸۳
شکل (۴-۱۹) باسهای موجود در سیستم و جابجایی توربین و D-STATCOM بین آنها درنرم افزار PSCAD/EMTDC ۸۳
شکل (۴-۲۰) مقدار فلیکر در توان625KVA برای جابجایی توربین بادی وسیستم D-STATCOM ۸۴
شکل (۴-۲۱) مقدار فلیکر در توان 200KVA برای جابجایی توربین بادی وسیستم D-STATCOM ۸۴
شکل (۴-۲۲) مقدار انحراف ولتاژ در توان625KVA برای جابجایی توربین بادی وسیستم D-STATCOM ۸۵
شکل (۴-۲۳) مقدار انحراف ولتاژ در توان200KVA برای جابجایی توربین بادی وسیستم D-STATCOM ۸۵
شکل (۴-۲۴) تلفات توان در توان625KVA برای جابجایی توربین بادی وسیستم D-STATCOM ۸۶
شکل (۴-۲۵) تلفات توان در توان200KVA برای جابجایی توربین بادی وسیستم D-STATCOM ۸۶

مقدمه:

بحث انرژی و عرضه و تقاضای آن یکی از مهمترین مسائل و چالش های قرن حاضر می‌باشدو به نظر میرسد که این مسئله همچنان ادامه داشته باشد به طوریکه بیشتر جنگ‌ها و کشمکش‌ها بین کشورها و ملل مختلف بر سرمنابع انرژی اتفاق می‌افتد.

انرژیهای فسیلی مانند نفت، گاز و زغال سنگ سرانجام روزی به پایان خواهد رسید و با پایان گرفتن آنها تمدن بشری که بستگی مستقیم به انرژی دارد. دچار یک چالش جدیدو بزرگ خواهد شد.این امر سبب شده است که کشورهای توسعه یافته صنعتی با جدیت هرچه تمامتر استفاده از سایر انرژی‌های موجود در طبیعت و بخصوص انرژی‌های نو را مورد توجه قرار دهند.

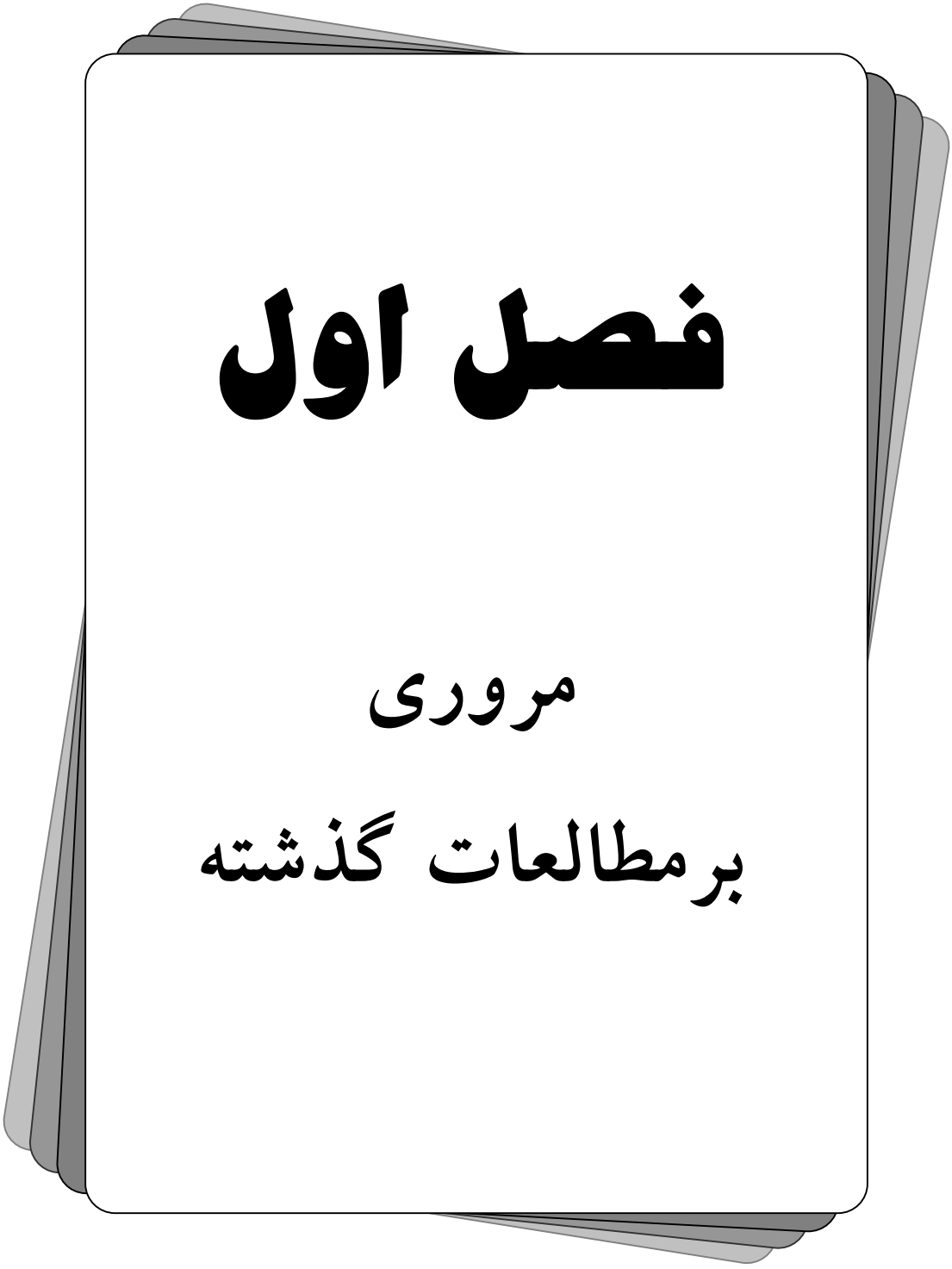
انرژی خورشید، باد، امواج، زمین گرمایی، هیدروژن، زیست توده و.....که به انرژی‌های نو یا انرژی‌های تجدید پذیر موسومند، جزء مهم ترین منابع تجدید پذیر تولید انرژی برق محسوب می‌شوند.در این میان، انرژی باد بعنوان یکی از انواع اصلی انرژی‌های نو به حساب می‌آید. که در شرایط کنونی از نظر اقتصادی در مقایسه با سایر منابع انرژی‌های نو دارای توجیه اقتصادی بیشتری می‌باشد. بنابراین درسالهای اخیر تمایلات برای استفاده از انرژی باد، جهت تولید برق رونق بیشتر گرفته است.

با اینکه در قرن گذشته استفاده از مولدهای کوچک برای تولید برق، بعد از ایجاد نیروگاههای بزرگ رنگ باخته بود. اما با پیشرفت تکنولوژی‌های تولید برق در مقیاس کوچک و کاهش هزینه تمام شده و ایجاد تجدید ساختار در صنعت برق و مسائل زیست محیطی، باعث مطرح شدن مجدد این مولدها در صنعت تولید برق شده است. و مولدهای بادی کوچک بعنوان یکی از ارزان ترین و کاربردی ترین منابع تولید پراکنده بشمار میروند.

ازطرفی با افزایش سطح استاندارد زندگی و پررنگ شدن نقش برق در حیات اجتماعی و اقتصادی جوامع، بحث کیفیت مناسب برق جدی تر از قبل شده است. بطوریکه کیفیت توان بعنوان یک پارامتر مهم در انتخاب وسایل الکتریکی و همچنین خریداری برق از شرکت‌های توزیع (با توجه به حذف یارانه‌های انرژی و ایجاد بازارهای رقابتی برق)می باشد. با افزایش استفاده از انرژی باد در شبکه‌های قدرت و بخصوص شبکه‌های فشار ضعیف، تاثیر توربین‌های بادی بر روی کیفیت توان شبکه، بعنوان یک مشکل جدی مورد توجه قرار گرفته و مانع بزرگی در گسترش آنها بشمار می‌رود.و یکی از مسائل بسیار مهم در زمینه کیفیت توان توربین‌های بادی، بحث فلیکر یا نوسانات ولتاژ می‌باشد.

در این پایان نامه از روش شبیه سازی بکمک نرم افزار PSCAD/EMTDC استفاده شده و نتایج آن بکمک نرم افزار MATLAB مورد تحلیل قرار گرفته و اثر توربین‌های بادی بر سیستم‌های توزیع از دیدگاه کیفیت توان با تمرکز بر نوسانات ولتاژ از نوع چشمک زدن ولتاژ (فلیکر) بررسی شده است. سپس راهکاری مبتنی بر استفاده از تجهیزات CUSTOM POWER برای کاهش این اثر نامطلوب ارائه شده است. به همین منظور، شبکه توزیع استاندارد ۱۳ باسه IEEE برای مطالعات انتخاب شده است. سپس یک توربین بادی کوچک با توان های مختلف و با توجه به معیارهای تلفات توان، پروفیل ولتاژ و فلیکر در این سیستم توزیع نمونه جایابی و تعیین ظرفیت شده است. سپس یک سیستم D-STATCOM، در محل اتصال توربین بادی به شبکه طراحی و بعد از تنظیم پارامترهای کنترلی آن نصب شده است. به نحوی که علاوه بر بهبود تلفات توان و پروفیل ولتاژ شبکه، فلیکر ناشی از توربین بادی را نیز کاهش میدهد.در نهایت توربین بادی روی یک باس ثابت نگه داشته شده و D-STATCOM برای بهینه کردن تابع هدف جایابی شده است.

در فصل اول این پایان نامه مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه تاثیر مولدهای بادی بر کیفیت توان شبکه صورت می‌گیرد و در فصل دوم به بررسی ساختار و نحوه کنترل سیستم D-STATCOM پرداخته شده است. و در فصل سوم مدل اجزای سیستم شبیه سازی شده معرفی می‌شود. در فصل چهارم نتایج شبیه‌سازی به منظور جایابی توربین بادی در توان های مختلف در شبکه نمونه نصب و تنظیم پارامترهای سیستم D-STATCOM ارائه می‌گردد. که نتایج شبیه سازی صحت پیشنهادات را نشان میدهد.و در فصل پنجم به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات بسنده شده است.



فصل اول

مروری

برمطالعات گذشته

۱-۱- مقدمه

در شبکه‌های توزیع امروزی، با کاربرد وسیع بارهای غیر خطی و حساس، از قبیل ادوات الکترونیک قدرت (مانند یکسو کننده‌های دیودی و تایریستوری، سیکلوکانورترها و راه اندازها (درایوهایACوDC) و وسایل الکترونیکی (مانند کامپیوترها و PLCها) مسئله کیفیت توان بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. بارهای غیر خطی با تزریق جریان غیر سینوسی به شبکه باعث تغییر دامنه و شکل ولتاژ سینوسی و در نتیجه کاهش کیفیت توان در شبکه‌های توزیع می‌شود. اکثر بارهای حساس، جهت عملکرد مناسب به منابع ولتاژ سینوسی نیاز دارند، بنابراین تنظیم ولتاژ و کاهش اغتشاشات ولتاژ بسیار مهم است. در نتیجه استفاده از بهسازهای مناسب ضروری به نظر می‌رسد. تحت این شرایط تجهیزات جدیدی که مشابه ادوات FACTS است، برای شبکه‌های توزیع پیشنهاد شده است. این تجهیزات با عنوان CUPS[1] مطرح شده‌اند. ولی کاربرد و نحوه کنترل آنها کاملاً متفاوت از به کارگیری و کنترل ادواتFACTS در سیستم‌های انتقال قدرت می‌باشد.

۱-۲- اغتشاشات کیفیت توان

اغتشاشات معمول کیفیت توان در سیستم‌های قدرت به شرح زیر است:

- کاهش ناگهانی دامنه ولتاژ[2]
- افزایش ناگهانی دامنه ولتاژ
- قطعی‌های زودگذر[3]

1- Custom Power System
2- Voltage swell
3- Momentary Interruptions