

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش سیستم‌های قدرت

کنترل فرکانس ریز شبکه‌های جزیره‌ای از طریق حلقه کنترل ولتاژ با در نظر گرفتن بارهای وابسته به ولتاژ و فرکانس

نگارنده

امیدرضا نجفی

استاد راهنما

دکتر مجید علومی بایگی

شهریور ۹۸



بسمه تعالی

برگه ارزشیابی پایان نامه کارشناسی ارشد

نسخه ۳: پایان نامه



شماره دانشجویی: ۹۵۲۳۰۵۸۰۱۸

نام و نام خانوادگی دانشجو: امیدرضا نجفی

تاریخ دفاع: ۱۳۹۸/۰۶/۳۱

استاد راهنما: دکتر مجید علمی

رشته مهندسی برق گرایش: سیستمهای

بایگی

قدرت

عنوان پایان نامه: کنترل فرکانس ریزش شبکه های جزیره ای از طریق حلقه کنترل ولتاژ با در نظر گرفتن بارهای وابسته به ولتاژ و فرکانس

ملاحظات	نمره کسب شده	حداکثر نمره	معیارهای ارزشیابی
	۲	۳	کیفیت نگارش انسجام در تنظیم و تدوین مطالب، حسن نگارش و رعایت دستورالعمل کیفیت تصاویر، اشکال و منحنی های استفاده شده
	۱۱/۵	۱۲	کیفیت علمی بررسی تاریخچه موضوع و بیان سابقه پژوهش در موضوع ابتکار و نوآوری- ارزش علمی و یا کاربردی استفاده از منابع و مؤاخذ به لحاظ کمی و کیفی (به روز بودن) کیفیت نظرات و پیشنهادات برای ادامه تحقیق
	۳	۳	کیفیت ارائه تسلط به موضوع و توانایی در پاسخگویی به سئوالات در جلسه دفاع نحوه ارائه (رعایت زمان، تنظیم موضوع، کیفیت پاورپوینت و
	۷/۵	۱	مقاله مقاله مستخرج از پایان نامه که براساس دستورالعمل تهیه و به تأیید استاد راهنما رسیده و به همراه پایان نامه تحویل گردیده است
	۱	۱	گزارش ها تحویل به موقع گزارش ها
	۱۸/۲۵	۲۰	نمره پایان نامه

جلسه دفاع با حضور هیئت داوران تشکیل و پایان نامه با اخذ نمره به عدد ۱۸/۲۵ حروف به درجه
☐ بدون اصلاحات پذیرفته شد. ☒ با اصلاحات پذیرفته شد. ☐ مردود شناخته شد.
 (دانشجو موظف است تا تاریخ ۹۸/۴/۳۰ پایان نامه اصلاح شده خود را که به تأیید رسیده است به گروه آموزشی تحویل دهد)

اعضای هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	نام دانشگاه	امضاء
استاد راهنما	دکتر مجید علمی بایگی	دانشیار	فردوسی مشهد	
استاد راهنمای دوم/استاد مشاور				
عضو دفاع ۱	دکتر رضا قاضی	استاد	فردوسی مشهد	
عضو دفاع ۲	دکتر جواد ساده	استاد	فردوسی مشهد	
گزارش نماینده تحصیلات تکمیلی:				

مدیر گروه مهندسی برق
دکتر جعفر عبادی
امضاء

نماینده تحصیلات تکمیلی
دکتر جعفر عبادی
امضاء

توجه: این فرم بدون مهر گروه مهندسی برق فاقد اعتبار است

اینجانب امیدرضا نجفی به شماره دانشجویی ۹۵۲۳۰۵۸۰۱۸ دانشجوی مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق-سیستم‌های قدرت دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد نویسنده پایان‌نامه "کنترل فرکانس ریز شبکه‌های جزیره‌ای از طریق حلقه کنترل ولتاژ با در نظر گرفتن بارهای وابسته به ولتاژ و فرکانس" تحت راهنمایی آقای دکتر مجید علومی بایگی متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد کرده‌ام.
- مطالب مندرج در رساله تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نگردیده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد است. مقالات مستخرج با نام «دانشگاه فردوسی مشهد» و یا «Ferdowsi University of Mashhad» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله تاثیرگذار بوده‌اند را در مقالات مستخرج از رساله رعایت کنم و در تمامی آن‌ها نام استاد راهنما به عنوان نویسنده مسئول و نشانی الکترونیکی دانشگاهی آنان را قید نمایم.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی داشته یا از آن‌ها استفاده کرده‌ام، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق پژوهشی را رعایت نموده‌ام.

تاریخ: ۱۳۹۸/۶/۳۱

امیدرضا نجفی

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه-ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد است. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوط ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در رساله/پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

تقدیم به

مقدس‌ترین واژه‌ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگیم را
مدیون مهر و عطوفت آن می دانم.

پدرم، مهربانی مشفق، بردبار و حامی.

همسرم که نشانه لطف الهی در زندگی من است.

تشکر و قدردانی:

سپاس و ستایش مر خدای را جل و جلاله که آثار قدرت او بر چهره روز روشن، تابان است و انوار حکمت او در دل شب تار، درفشان. آفریدگاری که خویشتن را به ما شناساند و درهای علم را بر ما گشود و عمری و فرصتی عطا فرمود تا بدان، بنده ضعیف خویش را در طریق علم و معرفت بیازماید. منت خدای را عزوجل، که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت. هر نفسی که فرو می‌رود ممد حیات است چون بر می‌آید مفرح ذات. پس در هر نفسی نعمتی و بر هر نعمتی شکری واجب .

از دست و زبان که برآید کز عهده شکرش به در آید

(سعدی)

سپاس از خانواده عزیزم که همواره در تمامی مراحل زندگی‌ام همراه و همگام من بوده اند. سپاس از استاد گرانقدر و با اخلاقم، جناب آقای دکتر مجید علومی که رهنمودهای ارزشمند ایشان، همواره راهگشای زندگی و مسیر تحقیقات علمی‌ام بوده است. در پایان از خداوند متّان برای این عزیزان آرزوی سلامتی و تندرستی مسئلت می‌نمایم.



مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان رساله/پایان نامه: کنترل فرکانس ریز شبکه‌های جزیره‌ای از طریق حلقه کنترل ولتاژ با در نظر گرفتن بارهای وابسته به ولتاژ و فرکانس

نام نویسنده: امیدرضا نجفی

نام استاد(ان) راهنما: دکتر مجید علومی بایگی

نام استاد(ان) مشاور:

دانشکده: مهندسی	گروه: مهندسی برق	رشته تحصیلی: سیستم‌های قدرت
تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲	تاریخ دفاع: ۱۳۹۸/۶/۳۱	
مقطع تحصیلی:	کارشناسی ارشد ● دکتری ○	تعداد صفحات: ۹۱

چکیده رساله/پایان نامه:

در سال‌های اخیر ریز شبکه‌ها به عنوان سیستم‌های کوچک قدرت که شامل منابع انرژی تجدیدپذیر بوده، توجه بسیاری را بخاطر کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و همچنین بهبود قابلیت اطمینان جذب کرده‌اند. یکی از مهمترین ویژگی‌های ریز شبکه قابلیت منفصل شدن از شبکه یا کار بصورت جزیره‌ای می‌باشد. توانایی جزیره‌ای شدن باعث بهبود قابلیت اطمینان آن می‌شود. علیرغم این مزایا کارکرد ریز شبکه در حالت جزیره‌ای بدلیل بالا بودن عدم قطعیت‌ها در تولید، وجود تغییرات زیاد در بار، متکی بودن به منابع خودی و کمبود اینرسی باعث ایجاد تغییرات زیاد در فرکانس می‌شود. همچنین پایین بودن میزان اینرسی موجب کاهش جذب واحدهای تجدیدپذیر می‌شود. بنابر این یکی از چالش‌های اصلی ریز شبکه‌ها در حالت جزیره‌ای قراردادن فرکانس در محدوده مجاز خود می‌باشد.

بر اساس مطالعات بسیاری که در زمینه کنترل فرکانس ریز شبکه جزیره‌ای انجام شده است، در این پایان‌نامه یک روش بر پایه حلقه کنترل ولتاژ برای کنترل فرکانس ریز شبکه ارائه شده است. در این روش ابتدا یک مدل مرجع مناسب بر پایه مدل یک ماشین به باس غیر بینهایت ارائه می‌شود. مدل مرجع همان مدل یک ماشین به باس غیر بینهایت است که اینرسی کافی دارد. سپس یک کنترل کننده بگونه‌ای طراحی می‌شود که تابع انتقال ماشین مورد مطالعه به همراه کنترل کننده برابر تابع انتقال مدل مرجع گردد. ایده اصلی ایجاد اینرسی مجازی توسط کنترل کننده می‌باشد. کنترل کننده پیشنهادی به یک ریز شبکه اعمال می‌گردد. ریز شبکه مورد مطالعه شبکه CIGRE BENCHMARK می‌باشد که شامل دیزل ژنراتور و منابع تجدیدپذیر می‌باشد و در حالت جزیره‌ای کار می‌کند. عملکرد کنترل کننده پیشنهادی هنگام تغییرات بار تحلیل و با عملکرد کنترل کننده PID مقایسه گردیده است. شبیه سازی‌ها توسط نرم‌افزارهای PSCAD/EMTDC و MATLAB SIMULINK انجام شده است.

کلید واژه:

۱. کنترل فرکانس
۲. ریز شبکه جزیره‌ای
۳. کنترل مدل مرجع
۴. اینرسی مجازی

امضای استاد راهنما:

۹۸۷۷۲۱

تاریخ:

چکیده

در سال‌های اخیر ریزشبه‌ها به عنوان سیستم‌های کوچک قدرت که شامل منابع انرژی تجدیدپذیر بوده، توجه بسیاری را بخاطر کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و همچنین بهبود قابلیت اطمینان جذب کرده‌اند. یکی از مهمترین ویژگی‌های ریزشبه قابلیت منفصل شدن از شبکه یا کار بصورت جزیره‌ای می‌باشد. توانایی جزیره‌ای شدن باعث بهبود قابلیت اطمینان آن می‌شود.

علیرغم این مزایا کارکرد ریزشبه در حالت جزیره‌ای بدلیل بالا بودن عدم قطعیت‌ها در تولید، وجود تغییرات زیاد در بار، متکی بودن به منابع خودی و کمبود اینرسی باعث ایجاد تغییرات زیاد در فرکانس می‌شود. همچنین پایین بودن میزان اینرسی موجب کاهش جذب واحدهای تجدیدپذیر می‌شود. بنابر این یکی از چالش‌های اصلی ریزشبه‌ها در حالت جزیره‌ای قراردادن فرکانس در محدوده مجاز خود می‌باشد. بر اساس مطالعات بسیاری که در زمینه کنترل فرکانس ریزشبه جزیره‌ای انجام شده است، در این پایان‌نامه یک روش بر پایه حلقه کنترل ولتاژ برای کنترل فرکانس ریزشبه ارائه شده است. در این روش ابتدا یک مدل مرجع مناسب بر پایه مدل یک ماشین به باس غیر بینهایت ارائه می‌شود. مدل مرجع همان مدل یک ماشین به باس غیر بینهایت است که اینرسی کافی دارد. سپس یک کنترل کننده بگونه‌ای طراحی می‌شود که تابع انتقال ماشین مورد مطالعه به همراه کنترل کننده برابر تابع انتقال مدل مرجع گردد. ایده اصلی ایجاد اینرسی مجازی توسط کنترل کننده می‌باشد. کنترل کننده پیشنهادی به یک ریزشبه اعمال می‌گردد. ریزشبه مورد مطالعه شبکه CIGRE BENCHMARK می‌باشد که شامل دیزل ژنراتور و منابع تجدیدپذیر می‌باشد و در حالت جزیره‌ای کار می‌کند. عملکرد کنترل کننده پیشنهادی هنگام تغییرات بار تحلیل و با عملکرد کنترل کننده PID مقایسه گردیده است. شبیه سازی‌ها توسط نرم‌افزارهای PSCAD/EMTDC و MATLAB SIMULINK انجام شده است.

واژه‌های کلیدی:

کنترل فرکانس - ریزشبه جزیره‌ای - کنترل مدل مرجع - اینرسی مجازی

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- انگیزه تحقیق
۳	۳-۱- تعریف مساله
۴	۴-۱- نوآوری‌های تحقیق
۴	۵-۱- مروری بر پایان‌نامه
۶	فصل ۲: مروری بر مفاهیم و ادبیات موضوع
۷	۱-۲- مقدمه
۷	۲-۲- ریزشبکه
۹	۱-۲-۲- بررسی عناصر قابل کنترل در ریزشبکه
۱۱	۲-۲-۲- مزایا، معایب و چالش‌های ریزشبکه
۱۴	۳-۲-۲- کنترل ریزشبکه
۲۱	۳-۲- کنترل ولتاژ و فرکانس در ژنراتور سنکرون
۲۲	۱-۳-۲- مدل بار
۲۲	۲-۳-۲- مدل توربین
۲۳	۳-۳-۲- مدل گاورنر
۲۵	۴-۳-۲- مدل تقویت کننده
۲۵	۵-۳-۲- مدل تحریک
۲۵	۶-۳-۲- مدل ژنراتور
۲۵	۷-۳-۲- مدل حسگر
۲۶	۴-۲- مروری بر مقالات
۲۹	فصل ۳: کنترل فرکانس ریزشبکه جزیره‌ای بر پایه ولتاژ
۳۰	۱-۳- مقدمه
۳۰	۲-۳- وابستگی بار به ولتاژ و فرکانس
۳۱	۳-۳- کنترل فرکانس بر پایه ولتاژ (VBFC)
۳۲	۴-۳- مدل خطی ژنراتور متصل به باس غیر بینهایت
۳۶	۵-۳- کنترل تطبیقی مدل مرجع
۳۷	۱-۵-۳- انتخاب مدل مرجع
۴۰	۲-۵-۳- انتخاب کنترل کننده

فصل ۴: شبیه سازی و تحلیل نتایج ۵۷

۵۸	۱-۴- مقدمه
۵۸	۲-۴- ریز شبکه پیشنهادی
۶۲	۳-۴- نتایج شبیه سازی VBFC
۷۰	۴-۴- نتایج شبیه سازی مدل خطی ریز شبکه
۷۴	۵-۴- نتایج شبیه سازی مدل کنترل کننده مرجع
۷۹	۱-۵-۴- تاثیر استفاده از کنترل کننده بر روی دو ژنراتور
۸۱	۲-۵-۴- تاثیر حضور ژنراتور در باس دیگر
۸۳	۳-۵-۴- تاثیر خروج یک واحد تولیدی

فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادها ۸۵

۸۶	۱-۵- مقدمه
۸۶	۲-۵- نتیجه گیری
۸۷	۳-۵- پیشنهادات

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) ریزشبه به عنوان یک شبکه ولتاژ پایین..... ۹
- شکل (۲-۲) دینفعان ریزشبه..... ۱۰
- شکل (۳-۲) عملکرد کلی سیستم..... ۱۵
- شکل (۴-۲) سطوح کنترل سلسله مراتبی..... ۱۶
- شکل (۵-۲) سطوح کنترل ریزشبه..... ۲۰
- شکل (۶-۲) نمایش بلوکی ژنراتور سنکرون..... ۲۲
- شکل (۷-۲) نمایش بلوکی مدل بار..... ۲۲
- شکل (۸-۲) نمایش بلوکی برای یک توربین بخار ساده..... ۲۳
- شکل (۹-۲) نمایش بلوکی گاورنر..... ۲۴
- شکل (۱۰-۲) نمایش بلوکی سیستم کنترل فرکانس..... ۲۴
- شکل (۱۱-۲) بلوک دیاگرام AVR..... ۲۶
- شکل (۱-۳) کنترل کننده پیشنهادی..... ۳۱
- شکل (۲-۳) اضافه شدن کنترل کننده به اکسایتر ژنراتور سنکرون..... ۳۲
- شکل (۳-۳) دیاگرام تک خطی ریزشبه جزیره‌ای..... ۳۳
- شکل (۴-۳) دیاگرام فازوری ژنراتور..... ۳۳
- شکل (۵-۳) بلوک دیاگرام مدل خطی ژنراتور متصل به باس غیر بینهایت..... ۳۵
- شکل (۶-۳) بلوک دیاگرام ساختار معمول کنترل کننده تطبیقی..... ۳۸
- شکل (۷-۳) بلوک دیاگرام مدل مرجع..... ۳۹
- شکل (۸-۳) کنترل کننده پیشنهادی..... ۴۱
- شکل (۹-۳) دیاگرام حالت مدل مرجع..... ۴۴

- شکل (۱۰-۳) بلوک دیاگرام مدل خطی یک ماشین متصل به باس غیر بینهایت به همراه کنترل کننده..... ۴۸
- شکل (۱۱-۳) دیاگرام حالت مدل خطی یک ماشین متصل به باس غیر بینهایت به همراه کنترل کننده..... ۵۰
- شکل (۱-۴) ریز شبکه مورد مطالعه..... ۵۹
- شکل (۲-۴) ساختار کنترل کننده PID..... ۶۲
- شکل (۳-۴) فرکانس و ولتاژ در مورد ۱..... ۶۴
- شکل (۴-۴) فرکانس و ولتاژ در مورد ۲..... ۶۶
- شکل (۵-۴) فرکانس و ولتاژ در مورد ۳..... ۶۷
- شکل (۶-۴) فرکانس و ولتاژ در مورد ۴..... ۶۹
- شکل (۷-۴) فرکانس و ولتاژ در مورد ۵..... ۷۰
- شکل (۸-۴) بلوک دیاگرام شبیه سازی شده..... ۷۱
- شکل (۹-۴) تغییرات فرکانس مورد ۱ در حالت وجود و عدم وجود کنترل کننده VBFC..... ۷۲
- شکل (۱۰-۴) تغییرات فرکانس مورد ۲ در حالت وجود و عدم وجود کنترل کننده VBFC..... ۷۲
- شکل (۱۱-۴) تغییرات فرکانس مورد ۳ در حالت وجود و عدم وجود کنترل کننده VBFC..... ۷۳
- شکل (۱۲-۴) تغییرات فرکانس مورد ۴ در حالت وجود و عدم وجود کنترل کننده VBFC..... ۷۳
- شکل (۱۳-۴) تغییرات فرکانس مورد ۱..... ۷۵
- شکل (۱۴-۴) تغییرات فرکانس مورد ۲..... ۷۵
- شکل (۱۵-۴) تغییرات فرکانس مورد ۳..... ۷۶
- شکل (۱۶-۴) تغییرات فرکانس مورد ۴..... ۷۶
- شکل (۱۷-۴) تغییرات فرکانس مورد ۲ در صورت استفاده از کنترل کننده مدل مرجع..... ۷۷
- شکل (۱۸-۴) تغییرات فرکانس مورد ۴ در صورت استفاده از کنترل کننده مدل مرجع..... ۷۸
- شکل (۱۹-۴) تغییرات فرکانس مورد ۵ در صورت استفاده از کنترل کننده مدل مرجع..... ۷۸

- شکل (۴-۲۰) تغییرات ولتاژ و فرکانس در صورت عدم استفاده از کنترل کننده مدل مرجع ۸۰
- شکل (۴-۲۱) تغییرات ولتاژ و فرکانس در صورت استفاده از کنترل کننده مدل مرجع بر روی یک ژنراتور ۸۰
- شکل (۴-۲۲) تغییرات ولتاژ و فرکانس در صورت استفاده از کنترل کننده مدل مرجع بر روی دو ژنراتور ۸۱
- شکل (۴-۲۳) تغییرات ولتاژ و فرکانس در صورت عدم استفاده از کنترل کننده مدل مرجع ۸۲
- شکل (۴-۲۴) تغییرات ولتاژ و فرکانس در صورت استفاده از کنترل کننده مدل مرجع ۸۲
- شکل (۴-۲۵) تغییرات ولتاژ و فرکانس در صورت عدم استفاده از کنترل کننده مدل مرجع ۸۳
- شکل (۴-۲۶) تغییرات ولتاژ و فرکانس در صورت استفاده از کنترل کننده مدل مرجع ۸۴

فهرست جداول

جدول (۱-۲) مقایسه بین سیستم متمرکز و غیر متمرکز.....	۱۹
جدول (۱-۴) پارامترهای سیستم گاورنر.....	۵۹
جدول (۲-۴) پارامترهای ژنراتور سنکرون و حلقه کنترل ولتاژ.....	۶۰
جدول (۳-۴) میزان بار.....	۶۰
جدول (۴-۴) پارامترهای خطوط ریزشکه.....	۶۱
جدول (۵-۴) پارامترهای مدل بار.....	۶۳
جدول (۶-۴) تغییرات اندازه و ولتاژ باس دارای ژنراتور.....	۷۱
جدول (۷-۴) حالت‌های مختلف آزمایش مورد ۵.....	۷۹
جدول (۸-۴) ولتاژ و فرکانس در حالات مختلف در سناریو ۱.....	۸۱
جدول (۹-۴) ولتاژ و فرکانس در حالات مختلف در سناریو ۲.....	۸۳

فهرست علائم

شاخص‌ها	
W_s	سرعت زاویه الکتریکی (rad/s)
P_m	توان مکانیکی (Pu)
P_e	توان الکتریکی (Pu)
H	ثابت اینرسی (s)
D	میرایی (Pu)
T_T	ثابت زمانی توربین بخار (s)
T_A	ثابت زمانی تقویت کننده (s)
K_A	بهره تقویت کننده
T_E	ثابت زمانی ثابت زمانی تحریک (s)
K_E	بهره تحریک
T_G	ثابت زمانی ژنراتور (s)
K_G	بهره ژنراتور
T_R	ثابت زمانی حسگر (s)
K_R	بهره حسگر
P_L	توان اکتیو بار (Pu)
P_{Lo}	توان اکتیو نامی بار (Pu)
V_{Lo}	ولتاژ نامی (Pu)
N_P	نمایه توان اکتیو
K_{PF}	نمایه فرکانس برای توان اکتیو
Q_L	توان راکتیو بار (Pu)
Q_{Lo}	توان راکتیو نامی بار (Pu)
N_Q	نمایه توان راکتیو

نمایه فرکانس برای توان راکتیو	K_{QF}
ولتاژ داخلی ژنراتور حالت پایدار (Pu)	E_i
ولتاژ داخلی ژنراتور حالت گذرا (Pu)	E'_i
راکتانس حالت دائم محور d (Pu)	X_{di}
راکتانس حالت گذرا محور d (Pu)	X'_{di}
راکتانس حالت دائم محور q (Pu)	X_{qi}
راکتانس حالت گذرا محور q (Pu)	X'_{qi}
زاویه روتور	b
ولتاژ باس i ام (Pu)	V_i
حداکثر موقعیت سروو (گاورنر) (Pu)	C_{max}
حداقل موقعیت سروو (گاورنر) (Pu)	C_{min}
تغییرات فرکانس سیستم (Pu)	Δf
تغییرات بار سیستم (Pu)	ΔP_L
توان نامی ماشین سنکرون (Pu)	P_{ref}
تغییرات دریچه توربین (Pu)	ΔP_V
توان الکتریکی خروجی ماشین سنکرون (Pu)	P_e
توان مکانیکی محرک ماشین سنکرون (Pu)	P_m
ضریب ثابت توان بار (Pu)	P_p
حداکثر نرخ بازشدن (گاورنر) (Pu)	P_{up}
حداکثر نرخ بسته شدن (گاورنر) (Pu)	P_{down}
مقاومت استاتور (Pu)	R_a
ولتاژ میدان ماشین سنکرون (Pu)	V_F
ولتاژ کار بار (Pu)	V_L
ولتاژ ورودی تحریک (Pu)	V_R
ولتاژ اندازه گرفته شده توسط سنسور (Pu)	V_S

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- مقدمه

جوامع مدرن به صورت بحرانی وابسته به تامین امن (پیوسته) انرژی هستند. افزایش نگرانی‌های مربوط به دسترسی اولیه به انرژی، افزایش سن زیرساخت‌های شبکه انتقال و توزیع برق فعلی به طور فزاینده‌ای امنیت، قابلیت اطمینان و کیفیت منابع انرژی را به چالش کشیده است. برای توسعه و ارتقاء این زیرساخت‌ها، مقدار قابل توجهی سرمایه‌گذاری لازم خواهد بود، در حالی که کارآمدترین راه پاسخگویی به نیازهای اجتماعی، استفاده از راه حل های نوآورانه، فن آوری‌ها و معماری شبکه است. به گفته آژانس بین المللی انرژی^۱، سرمایه گذاری‌های جهانی مورد نیاز در بخش انرژی در طول سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۳۰ ۱۶ تریلیون دلار تخمین زده می‌شود [۱].

تحقق شبکه‌های توزیع فعال، نیازمند پیاده‌سازی مفاهیم سیستمی کاملاً جدیدی است. ریزشکته‌ها^۲، که همچنین به عنوان "بلوک‌های ساخت شبکه‌های هوشمند" شناخته می‌شوند، شاید نوید دهنده‌ترین ساختار جدید شبکه باشند. سازماندهی ریزشکته‌ها بر اساس توانایی کنترل عملکرد شبکه ارائه می‌شود که از طریق افزایش نفوذ ژنراتورهای تولیدپراکنده از جمله ریزژنراتورها نظیر میکروتوربین‌ها، سلول‌های سوختی و آرایه‌های فتوولتائیک^۳، همراه با دستگاه‌های ذخیره‌سازی مانند چرخ‌های طیار^۴، خازن‌های انرژی^۵، باتری و بارهای کنترل پذیر (انعطاف پذیر) (به عنوان مثال وسایل نقلیه الکتریکی^۶)، در سطح توزیع امکان پذیر می‌باشد. این قابلیت های کنترل به شبکه‌های توزیع که اغلب به شبکه‌های توزیع بالادست متصل شده‌اند اجازه می‌دهد، در صورت خطا و یا سایر اختلالات و یا حوادث خارجی از شبکه اصلی جدا شوند، به این ترتیب کیفیت عرضه توان را افزایش می‌دهند. به طور کلی فرایند کنترل یکی از چالش‌های ریزشکته‌ها و شبکه‌های توزیع با تولیدات تجدیدپذیر است [۲].

در ریزشکته‌های متداول، انتظار می‌رود سیستم کنترل و مدیریت، مزایای بالقوه‌ای را در تمام سطوح ولتاژ شبکه توزیع ایجاد کند. برای دستیابی به این هدف، استراتژی‌های کنترل سلسله مراتبی^۷ مختلف باید در سطوح مختلف شبکه اتخاذ شود.

با توجه به افزایش روز افزون ریزشکته‌ها و همچنین استفاده بیشتر از منابع تجدیدپذیر در ریزشکته‌ها که

1 International Energy Agency

2 Microgrid

3 Photovoltaic (PV)

4 flywheels

5 energy capacitors

6 Electric vehicles (EV)

7 Hierarchical Control

باعث کاهش اینرسی شبکه و در نتیجه نوسانات بیشتر فرکانس در هنگام تغییرات بار شده لازم است راهکاری ارائه شود که میزان استفاده از منابع تجدیدپذیر در ریزشبه را افزایش داده و باعث کاهش اثرات سو آن‌ها بر شبکه شود. با توجه به اهمیت منابع تجدیدپذیر و کاربرد های اساسی ریزشبه ارائه یک روش کنترلی مناسب برای بهبود وضعیت فرکانس ریزشبه در حالت جزیره‌ای بسیاری حائز اهمیت است.

۱-۲- انگیزه تحقیق

یکی از مهم‌ترین ویژگی ریزشبه‌ها قابلیت انفصال از شبکه و ادامه سرویس دهی به صورت جزیره‌ای است. در هنگامی که ریزشبه از شبکه اصلی جدا می‌شود ریزشبه ممکن است دچار تغییرات شدید فرکانس شده و در صورت عدم تثبیت فرکانس، ریزشبه ناپایدار و در نهایت به خاموشی منتهی خواهد شد. با توجه به پرهزینه بودن خاموشی بخصوص اگر ریزشبه نظامی، صنعتی یا بیمارستانی باشد خاموشی ریزشبه می‌تواند هزینه‌های زیادی ایجاد نماید.

دقت شود که به علت کمبود واحدهای چرخان در ریزشبه‌ها این سیستم‌ها از اینرسی بسیار کمی برخوردار بوده و تغییرات فرکانس به صورت محسوس‌تری اتفاق می‌افتد. این سیستم‌ها به علت کمبود اینرسی و نبود گاورنر در آن‌ها، توانایی کنترل فرکانس به صورت متداول را ندارد. در نتیجه بررسی روش‌های کنترل فرکانس ریزشبه با توجه به اهمیت ریزشبه و رشد آن در صنایع و کاربری‌های مختلف، کاملاً حیاتی و ضروری می‌باشد.

انگیزه اصلی از انجام این تحقیق بررسی روش‌های مختلف کنترل فرکانس ریزشبه جزیره‌ای و استفاده از حلقه کنترل ولتاژ برای کنترل و بهبود فرکانس و در نتیجه پاسخ بهتر ریزشبه به بار های مختلف می‌باشد.

۱-۳- تعریف مساله

در این تحقیق یک ریزشبه بر پایه دیزل ژنراتور و یک منبع انرژی تجدیدپذیر که از طریق اینورتر به ریزشبه متصل شده، در نظر گرفته می‌شود. این ریزشبه متصل به شبکه نبوده و فرکانس آن دارای تغییرات قابل توجه است. همچنین ریزشبه دارای بارهای وابسته به ولتاژ و فرکانس می‌باشد. می‌خواهیم با طراحی کنترل‌کننده مناسب و اعمال آن به حلقه کنترل ولتاژ، فرکانس ریزشبه را تنظیم کنیم.

فرضیات:

- ریزشبه‌های مورد مطالعه دارای یک یا چند دیزل ژنراتور و یک یا چند مولد انرژی تجدید پذیر است.
- ریزشبه‌های مورد مطالعه به صورت جزیره‌ای است.
- شبکه دارای بارهای وابسته به ولتاژ و فرکانس است.
- از حلقه کنترل ولتاژ برای تنظیم فرکانس استفاده می‌شود.

۴-۱- نوآوری‌های تحقیق

- این تحقیق به دنبال روشی مناسب برای کنترل فرکانس ریزشبه‌های جزیره‌ای در حالات و شرایط مختلف ریزشبه‌های می‌باشد. روش پیشنهادی به وسیله حلقه کنترل ولتاژ، کنترل فرکانس را انجام می‌دهد. بارها در این روش به صورت وابسته به ولتاژ و فرکانس در نظر گرفته می‌شوند.
- نوآوری این تحقیق ارائه یک مدل مرجع مناسب برای رفتار ایده آل ریزشبه‌های و ارائه یک روش برای طراحی کنترل‌کننده بر اساس مدل مرجع می‌باشد.
- این تحقیق اهداف زیر را دنبال می‌کند:
- ✓ در نظر گرفتن بارهای متغیر با ولتاژ و فرکانس در کنترل فرکانس ریزشبه‌های
 - ✓ کنترل فرکانس با استفاده از حلقه کنترل ولتاژ
 - ✓ افزایش استفاده از منابع تجدیدپذیر در ریزشبه‌های با حل مشکل کنترل فرکانس شبکه‌های کم اینرسی
 - ✓ بررسی تاثیرات کنترل‌کننده مدل مرجع و کنترل‌کننده PID و مقایسه آن‌ها با یکدیگر
 - ✓ تحلیل شبکه‌های مورد مطالعه با سیستم‌های کنترلی ارائه شده

۵-۱- مروری بر پایان نامه

در فصل دوم این پایان‌نامه به تعریف مفاهیم پایه و مدل‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها و همچنین مروری مختصر بر مقالات پیشین پرداخته می‌شود. در این فصل ابتدا با مفاهیم و تعاریف ریزشبه‌های و اجزا آن و سطوح کنترلی مختلف آن آشنا شده سپس به بررسی قسمت‌های مختلف ژنراتور سنکرون و حلقه‌های کنترلی آن پرداخته و در آخر هم با بررسی مقالات ارائه شده در حوزه کنترل فرکانس ریزشبه‌های به طور خلاصه مزایا و معایب آن‌ها بیان می‌شود. در فصل سوم ابتدا وابستگی بار به ولتاژ و فرکانس بررسی می‌شود و یک کنترل‌کننده PID برای کنترل فرکانس ریزشبه‌های طراحی می‌شود سپس