دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد (مهندسی برق- قدرت)

حذف بار هوشمند با استفاده از اطلاعات PMU، برای جلوگیری از ناپایداری فرکانس و ولتاژ شبکه

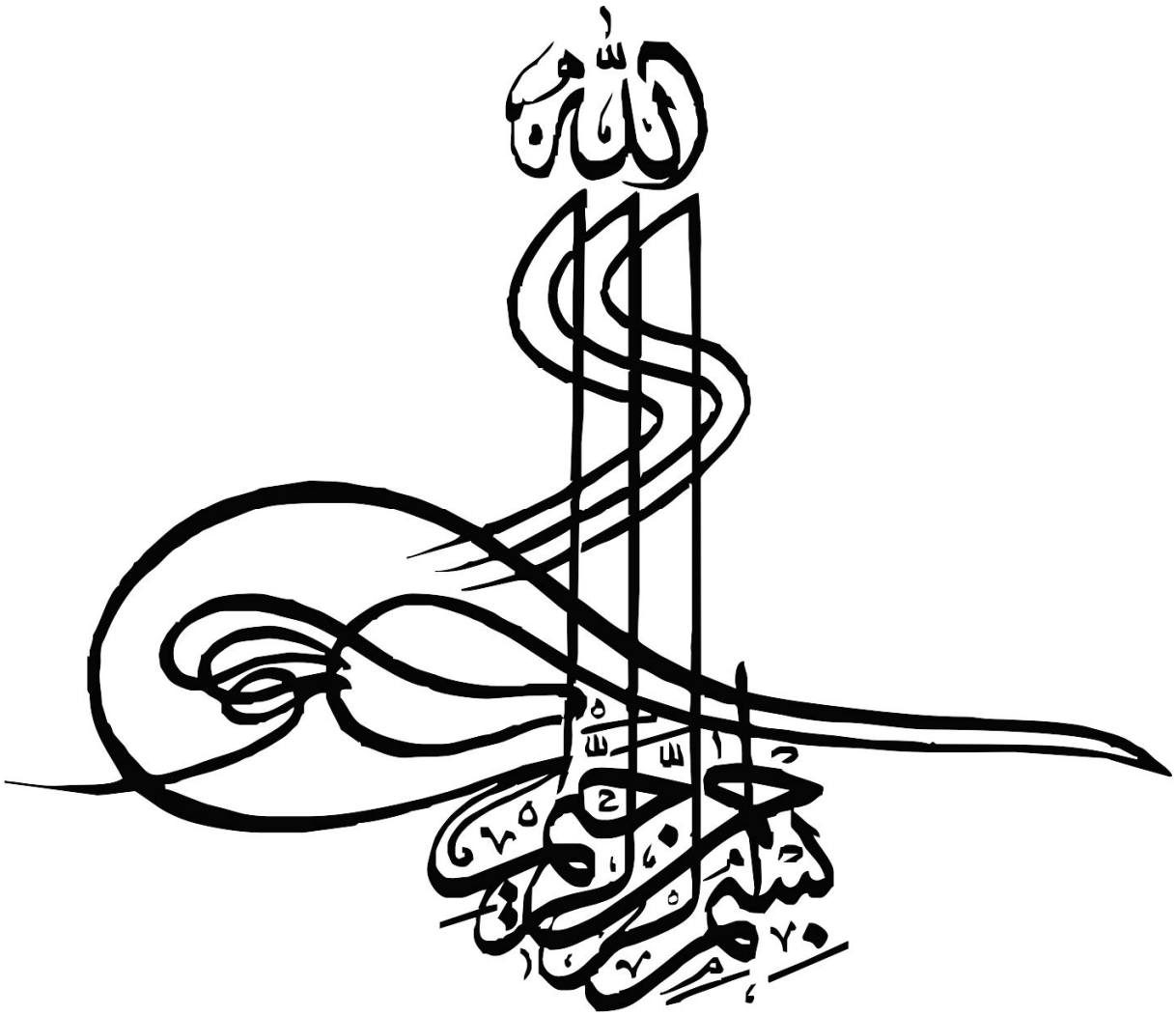
تحقیق و تدوین:

سید احسان قاسمی

استاد راهنما:

دکتر محمد تقی عاملی

اسفند ۱۳۹۰


الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق- قدرت آقای سید احسان قاسمی

تحت عنوان

حذف بار هوشمند با استفاده از اطلاعات PMU، برای جلوگیری از ناپایداری فرکانس و ولتاژ شبکه

در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۰۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر محمد تقی عاملی .....

۲- استاد داور داخلی دکتر مجتبی خدرزاده .....

۳- استاد داور خارجی دکتر سید حسین حسینیان .....

٤- نماینده تحصیلات تکمیلی دکتر محمد آقا شفیعی .....

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم از زحمات استاد ارجمند، جناب آقای [redacted] که با مطالعه و دقت فراوان در انجام این پایان‌نامه همراه و همگام بنده بوده و نقش ارزنده‌ای در پیشبرد و انجام کار داشته‌اند تشکر و قدردانی نمایم.

و از دوستان عزیزم آقایان حامد [redacted]، مهدی میرزا حسینی، کاوه شهدی، حمید [redacted] پیراغی، رضا محمدی و همه عزیزانی که به نحوی در انجام این امر یاری کرده‌اند، کمال تشکر را دارم.

تعهد نامه اصالت اثر:

اینجانب سید احسان قاسمی تائید می کنم که مطالب مندرج در این پایان نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب می باشد و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است.

این پایان‌نامه قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح، پایین‌تر و بالاتر ارائه نشده است. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) می‌باشد.

سید احسان قاسمی

به پاس ایثار و از خودگذشتگیش که بی‌کران است و محبت‌های بی‌دریغش که هرگز فروکش نمی‌کند،

تقدیم به **مادر**

به پاس قلب بزرگ و گرمای امیدبخش وجودش که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است،

تقدیم به **پدر**

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه و ضرورت انجام پروژه ۲

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- هدف از پروژه مورد نظر و ضرورت انجام آن ۳

۱-۳- نگاه اجمالی به فعالیت های پایان نامه ۴

فصل **دوم : بررسی اصول و مفاهیم مرتبط با پایداری ولتاژ و فرکانس شبکه ۵**

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- اهمیت پایداری شبکه و معرفی برخی از اصطلاحات آن ۷

۲-۲-۱- اهمیت پایداری ولتاژ ۷

۲-۲-۲- دلایل لزوم تثبیت فرکانس ۸

۲-۲-۳- تعاریف در حوزه پایداری سیستم قدرت ۸

۲-۳- کنترل بار-فرکانس ۱۰

۲-۳-۱- کنترل اولیه فرکانس ۱۰

۲-۳-۲- کنترل ثانویه فرکانس ۱۱

۲-۳-۳- کنترل ذخیره ثالثیه ۱۲

۲-۳-۴- بارزدایی ۱۲

۲-۴- دسته بندی پایداری ولتاژ ۱۳

۲-۵- کنترل پایداری ولتاژ ۱۵

۲-۵-۱- مشخصه های ناپایداری ولتاژ ۱۵

۲-۵-۲- روش های مقابله با ناپایداری ولتاژ مرتبط با مراحل مختلف طراحی ۱۷

۲-۵-۳- انواع طرح های کنترل پایداری ولتاژ ۱۸

فصل ۳: **کلیات برنامه های حذف بار و بررسی شاخص های ارزیابی پایداری ولتاژ و فرکانس ۲۰**

۳-۱- مقدمه ۲۱

۳-۲- اصول اساسی برنامه های حذف بار ۲۲

۳-۲-۱- میزان حذف بار ۲۲

۳-۲-۲- زمان حذف بار ۲۲

۳-۲-۳- مکان حذف بار ۲۳

۳-۲-۴- ویژگی‌های حذف بار هوشمند ۲۳

۳-۳- مرور ادبیات و سوابق برنامه‌های حذف بار ۲۴

۳-۴- مطالعه شاخص های پایداری ولتاژ ۲۸

۳-۴-۱- شاخص های نوع مرز ۲۸

۳-۴-۲- شاخص پایداری ولتاژ، مرتبط با ماتریس جاکوبین سیستم ۳۰

۳-۴-۳- تجزیه و تحلیل مدال، برای ارزیابی پایداری ولتاژ ۳۲
۳-۴-۴- شاخص L ۳۷
۳-۴-۵- شاخص پیش بینی پایداری ولتاژ به هنگام (VSPI) ۳۸
۳-۴-۶- شاخص پایداری ولتاژ سریع (FVSI) ۳۹
۳-۴-۷- شاخص پایداری ولتاژ VCPI ۴۰
۳-۵- مطالعه شاخص‌های پایداری فرکانس ۴۰
۳-۵-۱- تخمین شدت اغتشاش با استفاده از df/dt ۴۰
۳-۵-۲- روش محاسبه شاخص انتگرالی df/dt ۴۱
فصل ۴ : **الگوریتم حذف بار هوشمند برای جلوگیری از ناپایداری شبکه** ۴۲
۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- مولفه ها و مدل شبکه ۴۴
۴-۳- منطق فازی ۵۱
۴-۳-۱- مجموعه‌های فازی ۵۲
۴-۳-۲- عملیات بر روی مجموعه‌های فازی ۵۲
۴-۳-۳- اجزا و اصول تئوری فازی ۵۳
۴-۴- الگوریتم حذف بار هوشمند ۵۴
۴-۴-۱- مدل سازی مساله ۵۵
۴-۴-۲- تشریح روش پیشنهادی ۵۵
فصل ۵ : **پیاده سازی و شبیه سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه استاندارد** ۶۱
۵-۱- مقدمه ۶۲
۵-۲- شبکه ۳۹باس IEEE ۶۲
۵-۳- نتایج شبیه سازی ۶۵
۵-۳-۱- سناریو اول: خروج ژنراتور G۳۸ ..... ۶۵
۵-۳-۲- سناریو دوم: خروج ژنراتور G۳۰ ..... ۷۴
۵-۳-۳- سناریو سوم: خروج ژنراتور G۳۳ ..... ۷۶
فصل ۶: **نتیجه گیری و پیشنهادات** ۸۶
۶-۱- نتیجه گیری ۸۷
۶-۲- پیشنهادات ۸۷
منابع و مراجع ۸۹
پیوست ۹۳

فهرست اشکال

شکل ۲-۱: نواحی کنترلی فرکانس ۱۰
شکل ۲-۲: کنترل سرعت توربین ۱۱
شکل ۲-۳: نحوه هماهنگی مراحل مختلف کنترل فرکانس بر اساس استاندارد UCTE ۱۱
شکل ۲-۴. مفهوم کنترل توان حقیقی برای بهبود پایداری ولتاژ ۱۸
شکل ۲-۵. نزدیک شدن نقطه کار به نقطه ناپایدار در اثر وقوع اختلال ۱۹
شکل ۲-۶. برقراری نقطه کار حالت دائم به وسیله کنترل اضطراری ۲۰
شکل ۳-۱. منحنی‌های V-P و V-Q نمونه ۲۸
شکل ۳- ۳. یک سیستم دو باسه ۳۹
شکل ۳-۴: شماتیک DF/DT انتگرالی ۴۱
شکل ۴-۱: یک ساختار عمومی از کنترلکنندههای ژنراتور سنکرون ۴۴
شکل ۴-۲: گاورنر با حلقه فیدبک دروپ-سرعت ۴۵
شکل ۴-۳: مدل ارائه شده برای سیستم توربین-گاورنر ۴۵
شکل ۴-۶: نمودار بلوکی PMU ۴۹
شکل۴-۷: ساختار سیستم اندازه‌گیری فازوری ۴۹
شکل ۴-۸ : مقایسه توابع عضویت دو مجموعه فازی و کلاسیک ۵۲
شکل ۴-۹: شماتیک شاخص DF/DT انتگرالی ۵۵
شکل ۴-۱۰: فلوچارت الگوریتم هوشمند بارزدایی ۵۸
شکل ۴-۱۱: شماتیک ورودیها و خروجی الگوریتم هوشمند ۵۹
شکل ۴-۱۲: خروجی سیستم فازی به ازای خروج G۳۸ ..... ۶۰
شکل ۵-۱: دیاگرام تک خطی شبکه ۳۹ باس نمونه IEEE ۶۳
شکل ۵-۲: دامنه ولتاژ شبکه ۳۹ باس در حالت بار پایه ۶۵
شکل ۵-۳: فرکانس در مرکز اینرسی (خروج G۳۸ در سطح بار ۶۰۹۷MW) ۶۷
شکل ۵-۴: میزان شاخص DF/DT انتگرالی در فرکانس ۵۹/۷HZ (خروج G۳۸ در سطح بار ۶۰۹۷MW) ۶۷
شکل ۵-۵: دامنه ولتاژ باسبارها (خروج G۳۸ در سطح بار ۶۰۹۷MW) ۶۸
شکل ۵-۶: پروفیل ولتاژ پس از خروج G۳۸ (بدون اعمال بارزدایی) ۶۸

شکل ۵-۷: پروفیل ولتاژ، پس از خروج G۳۸ (با اعمال برنامه بارزدایی در لحظه T=۶/۳۷S) ۶۹
شکل ۵-۸: میزان شاخص VCPI در باس‌های ۴ (الف)، ۲۱ (ب) و ۲۹ (ج) ۷۰
شکل ۵-۹: فرکانس در مرکز اینرسی (خروج G۳۸ در سطح بار ۶۵۲۴MW) ۷۱
شکل ۵-۱۰: میزان شاخص DF/DT انتگرالی در فرکانس ۵۹/۷HZ (خروج G۳۸ در سطح بار ۶۵۲۴MW) ۷۱
شکل ۵-۱۱: دامنه ولتاژ باسبارها (خروج G۳۸ در سطح بار ۶۵۲۴MW) ۷۲
شکل ۵-۱۲: پروفیل ولتاژ پس از خروج G۳۸ (بدون اعمال بارزدایی) ۷۲
شکل ۵-۱۳: پروفیل ولتاژ پس از خروج G۳۸ (اعمال بارزدایی در لحظه T=۶/۲۲S) ۷۳
شکل ۵-۱۴: میزان شاخص VCPI در باس‌های ۴ (الف)، ۲۱ (ب) و ۲۹ (ج) ۷۴
شکل ۵-۱۵: فرکانس مرکز اینرسی (پس از خروج ژنراتور G۳۰ در سطح بار ۶۷۰۶MW) ۷۴
شکل ۵-۱۶: میزان شاخص DF/DT انتگرالی در فرکانس ۵۹/۷HZ (خروج G۳۰ در سطح بار ۶۷۰۶MW) ۷۵
شکل ۵-۱۷: پروفیل ولتاژ پس از خروج G۳۰ ..... ۷۵
شکل ۵-۱۸: میزان شاخص VCPI در باس‌های ۸ (الف) و ۲۱ (ب) ۷۶
شکل ۵-۱۹: فرکانس مرکز اینرسی (پس از خروج ژنراتور G۳۳ در سطح بار ۵۴۸۷MW) ۷۷
شکل ۵-۲۰: میزان شاخص DF/DT انتگرالی در فرکانس ۵۹/۷HZ (خروج G۳۳ در سطح بار ۵۴۸۷MW) ۷۸
شکل ۵-۲۱: دامنه ولتاژ باسبارها (خروج G۳۳ در سطح بار ۵۴۸۷MW) ۷۸
شکل ۵-۲۲: پروفیل ولتاژ پس از خروج G۳۳ (بدون اعمال بارزدایی) ۷۹
شکل ۵-۲۳: پروفیل ولتاژ پس از خروج G۳۳ (اعمال بارزدایی در لحظه T=۷/۱S) ۷۹
شکل ۵-۲۴: میزان شاخص VCPI در باس‌های ۴ (الف)، ۲۱ (ب) و ۲۷ (ج) ۸۰
شکل ۵-۲۵: فرکانس مرکز اینرسی (پس از خروج ژنراتور G۳۳ در سطح بار ۶۷۰۶MW) ۸۲
شکل ۵-۲۶: میزان شاخص DF/DT انتگرالی در فرکانس ۵۹/۷HZ (خروج G۳۳ در سطح بار ۶۷۰۶MW) ۸۲
شکل ۵-۲۷: دامنه ولتاژ باسبارها (خروج G۳۳ در سطح بار ۶۷۰۶MW) ۸۳
شکل ۵-۲۸: پروفیل ولتاژ پس از خروج G۳۳ (بدون اعمال بارزدایی) ۸۳
شکل ۵-۲۹: پروفیل ولتاژ پس از خروج G۳۳ (اعمال بارزدایی در لحظه T=۶/۵۵S) ۸۴
شکل ۵-۳۰: میزان شاخص VCPI در باس‌های ۴ (الف)، ۲۱ (ب) و ۲۷ (ج) ۸۵

فهرست جداول

جدول ۲-۱: حذف بار فرکانسی پنج پلهای بر اساس استاندارد UCTE ۱۳

جدول ۲-۲: بارزدایی فرکانسی در شبکه تحت نظر WSCC ۱۳

جدول ۴-۱: مقادیر SF در سناریوهای مختلف..... ۵۹

جدول ۵-۱: میزان تولید و بار شبکه ۳۹BUS IEEE در حالت پایه ۶۳

جدول ۵-۲: میزان بارزدایی از باس های مختلف بر اساس الگوریتم هوشمند فازی ۶۶

جدول ۵-۳: میزان بارزدایی از باس های مختلف بر اساس الگوریتم هوشمند فازی ۷۰

جدول ۵-۴: میزان بارزدایی از باس های مختلف بر اساس الگوریتم هوشمند فازی ۷۶

جدول ۵-۵: میزان بارزدایی از باس های مختلف بر اساس الگوریتم هوشمند فازی ۸۱

جدول (پیوست-۱): پارامترهای ماشین سنکرون ۹۳

جدول (پیوست-۲): پارامترهای خط و ترانس ۹۴

چکیده

در چند دهه اخیر، به‌دلیل وقوع خاموشی‌های سراسری در نقاط مختلف دنیا، موضوع پایداری ولتاژ و فرکانس به یکی از عمده‌ترین نگرانی‌های بهره‌برداران سیستم قدرت تبدیل شده است. از یک طرف به‌دلیل مسائل اقتصادی، باید بیشترین استفاده از ظرفیت خطوط به‌عمل آید و از طرف دیگر به‌دلیل خطر ناپایداری، بهره‌بردار باید تلاش کند که همواره سیستم قدرت را در یک فاصله مطمئن از ناپایداری نگه دارد. عملیات کنترلی برای تامین پایداری به دو صورت پیشگیرانه و اضطراری انجام می‌شود. بارزدایی به عنوان یکی از مهمترین ابزارهای کنترلی و آخرین راه‌حل در جلوگیری از ناپایداری شبکه به‌شمار می‌آید.

در این پایان‌نامه با استفاده از مسائل اساسی و پایه و با تکیه بر روش‌های تحلیلی و همچنین الگوریتم هوشمند، راهکاری به منظور ارزیابی میزان پایداری و نیز مقابله با وقوع ناپایداری با امکان وقوع تهیه و تنظیم گردد. بدین منظور با استفاده از شاخص‌های ارزیابی پایداری فرکانس و ولتاژ و شبکه فازی به عنوان یک الگوریتم هوشمند در برنامه حذف بار فرکانسی و با در نظر گرفتن پایداری ولتاژ شبکه استفاده گردیده است. الگوریتم پیشنهادی، بر روی شبکه استاندارد نمونه (شبکه ۳۹ باسه IEEE) و با استفاده از اطلاعات همزمان فازور ولتاژ باس‌ها و فرکانس باس‌های ژنراتوری بدست آمده از واحدهای اندازه‌گیری فازور (PMU) مورد تحلیل قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از این الگوریتم نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن میزان رزرو چرخان نیروگاه‌ها و با تخمین شدت اغتشاش با استفاده از شاخص df/dt انتگرالی و در نظر گرفتن همزمان پایداری ولتاژ می‌توان با حذف بار کمتر پایداری شبکه را تضمین نمود.

کلمات کلیدی: پایداری فرکانس، پایداری ولتاژ، حذف بار هوشمند، واحد اندازه‌گیری فازور

فصل اول

مقدمه و ضرورت انجام پروژه

۱-۱- مقدمه

از زمان پیدایش سیستم‌های قدرت، مسئله پایداری از مسائل اصلی و اساسی مورد توجه طراحان و بهره‌برداران سیستم‌ها بوده است. چرا که سیستم قدرت وظیفه تولید و انتقال انرژی الکتریکی برای مصرف‌کنندگان را بر عهده دارد و از اولین انتظارات هر مصرف‌کننده‌ای، کیفیت مناسب انرژی، تداوم باردهی و قابلیت اطمینان می‌باشد، لذا ضرورت دارد، طراحان و بهره‌برداران سیستم قدرت این ویژگی‌ها را همواره مد نظر داشته باشند و در راستای تامینشان گام بردارند. از سوی دیگر می‌توان مسأله پایداری و قابلیت اطمینان سیستم را از نقطه نظر زیان‌های اقتصادی و اجتماعی بزرگی که عدم قابلیت اطمینان سیستم یا از دست رفتن سیستم به هر دلیلی می‌تواند به بار آورد نیز مورد توجه قرار داد.

همچنین در چند دهه اخیر، به‌دلیل وقوع خاموشی‌های سراسری در نقاط مختلف دنیا، موضوع پایداری ولتاژ و فرکانس به یکی از عمده‌ترین نگرانی‌های بهره‌برداران سیستم قدرت تبدیل شده است. از یک طرف به‌دلیل مسائل اقتصادی، باید بیشترین استفاده از ظرفیت خطوط به‌عمل آید و از طرف دیگر به‌دلیل خطر ناپایداری، بهره‌بردار باید تلاش کند که همواره سیستم قدرت را در یک فاصله مطمئن از ناپایداری نگه دارد. عملیات کنترلی برای تامین پایداری به دو صورت پیشگیرانه و اضطراری انجام می‌شود. بارزدایی به عنوان یکی از مهمترین ابزارهای کنترلی و آخرین راه‌حل در جلوگیری از ناپایداری ولتاژ و فرکانس به‌شمار می‌آید. سه موضوع اصلی در این زمینه به صورت زیر می‌باشند.

۱- میزان باری که باید حذف شود.
۲- زمانی که بار باید حذف شود.

۳- مکانی که بار باید از آنجا حذف شود.

حذف بار باید تا میزانی انجام پذیرد که یک حداقل حاشیه پایداری چه از جهت فرکانس و چه از جهت ولتاژ، برای سیستم به‌دست آید. بدین منظور ناپایداری سیستم، به کمک یک سری شاخص‌ها تشخیص داده شده، سپس عملیات کنترلی برای نجات سیستم شروع می‌شود. حذف بار به عنوان آخرین ابزار کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. زیرا به دلیل عملکرد سایر عملیات کنترلی و رسیدن این کنترل‌ها به حد مجازشان و یا به دلیل شدت اغتشاش، فقط با حذف بار می‌توان سیستم را نجات داد. بکارگیری الگوریتم‌های هوشمند در برنامه‌های حذف بار، در جهت بهبود پاسخ زمانی، لازم و ضروری می‌باشد. این الگوریتم باید قابلیت‌های زیر را داشته باشد:

- توانایی نگاشت سیستم قدرت پیچیده و غیرخطی با تعداد محدودی اطلاعات؛
- تشخیص الگوهای مختلف سیستم، به منظور پیش‌بینی پاسخ سیستم به اغتشاشات مختلف؛
- سرعت، دقت و تصمیم‌های قابل اعتماد در اولویت حذف بار بر اساس وضعیت واقعی بار؛
- حذف حداقل میزان بار برای حفظ سیستم به صورت پایدار؛ و
- حذف متناسب از ترکیب بار در باس‌های مختلف با شناخت کامل از نیاز وابستگی‌های سیستم.

۱-۲- هدف از پروژه مورد نظر و ضرورت انجام آن

در جهان امروز با توجه به پیشرفت‌های علمی و صنعتی و وابستگی شدید این علوم و صنایع به انرژی الکتریکی و نقش حیاتی این صورت از انرژی در زندگی بشر، به نظر نمی‌رسد که نیازی به بحث در مورد ضرورت بالا بردن پایداری سیستم‌های تولید و انتقال انرژی الکتریکی باشد و خود زندگی بشر و وابستگی آن به این انرژی گویای اهمیت این بحث می‌باشد.

هدف اصلی استفاده از برنامه حذف بار،کمک کردن به سیستم در شرایط ناپایدار می‌باشد. روش‌های بسیاری برای تعیین میزان حذف بار در شرایط ولتاژ کم و یا فرکانس کم ارائه شده است. این مقدار باید بر طبق اصولی معین انجام پذیرد. زیرا در شرایط ناپایداری ولتاژ اگر میزان حذف بار، کمتر از مقدار مورد نیاز باشد آنگاه، این عمل هیچ تاثیری در محدود کردن فروپاشی ولتاژ ندارد و اگر بیشتر از مقدار مورد نیاز باشد آنگاه ممکن است که سیستم از یک شرایط ولتاژ کم به شرایط فرکانس زیاد انتقال یابد. همچنین در شرایطی که نامتعادلی تولید و مصرف ناشی از خروج ژنراتور ایجاد می‌گردد، نیاز است تا درصد زیادی از بارهای محلی قطع گردند، تا فرکانس به محدوده مجاز برگردد. اما رله‌های فرکانس نصب شده در سایر نقاط شبکه نیز عمل می‌کنند که در چنین شرایطی عدم تعادلی در توان راکتیو شبکه بوجود می‌آید که احتمال بروز ناپایداری ولتاژ را افزایش می‌دهد. بدین منظور هدف از انجام این پایان‌نامه ارائه یک برنامه حذف بار جهت جلوگیری از ناپایداری فرکانس و با در نظر گرفتن پایداری ولتاژ شبکه می‌باشد.

۱-۳- نگاه اجمالی به فعالیت‌های پایان‌نامه

در این پایان‌نامه سعی شده است که با استفاده از مسائل اساسی و پایه و با تکیه بر روش‌های تحلیلی و همچنین شبکه‌های هوشمند، حتی‌الامکان راهکاری به منظور ارزیابی میزان پایداری و نیز مقابله با وقوع ناپایداری محتمل-الوقوع تهیه و تنظیم گردد. بدین منظور، از شبکه فازی به عنوان یک الگوریتم هوشمند در برنامه حذف بار فرکانسی و با در نظر گرفتن پایداری ولتاژ شبکه استفاده گردیده است. الگوریتم پیشنهادی، بر روی شبکه استاندارد نمونه (شبکه ۳۹ باسه IEEE) و با استفاده از اطلاعات همزمان فازور ولتاژ باس‌ها و فرکانس باس‌های ژنراتوری بدست آمده از واحدهای اندازه‌گیری فازور (PMU) مورد تحلیل قرار گرفته است.

این پایان‌نامه در شش فصل و با عناوین ذیل ارائه گردیده است:

۱- مقدمه و ضرورت انجام پروژه

۲- بررسی اصول و مفاهیم مرتبط با پایداری ولتاژ و فرکانس شبکه

۳- آشنایی با کلیات برنامه‌های حذف بار و بررسی شاخص‌های ارزیابی پایداری ولتاژ و فرکانس

۴- ارائه الگوریتم حذف بار هوشمند جهت جلوگیری از ناپایداری شبکه

۵- پیاده‌سازی و شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه استاندارد (شبکه ۳۹ باسه IEEE)

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

فصل دوم

بررسی اصول و مفاهیم مرتبط با پایداری ولتاژ و فرکانس شبکه

۲-۱- مقدمه

سیستم‌های قدرت، از جمله سیستم‌های دینامیکی غیرخطی می‌باشند. بنابراین، یکی از مهمترین ویژگی‌های هر سیستم قدرت پایداری آن است. با توسعه و تکامل سیستم‌های قدرت بهم پیوسته، مطالعات پایداری سیستم اهمیت بیشتری یافته است. از طرفی، ویژگی‌های سیستم‌های قدرت فعلی باعث پیچیده شدن مسائل پایداری و ایجاد مودهای ناپایداری جدید شده و از طرف دیگر پیشرفت تئوری سیستم‌های دینامیکی و کنترل، توسعه ابزارها و روش‌های محاسباتی قوی و نیز پیشرفت سیستم‌های کنترلی و طرح‌های حفاظتی، امکان شناخت دقیق جوانب مختلف مسأله پایداری و تحلیل و تقویت آن را فراهم نموده است.

مسأله پایداری ولتاژ، زیر مجموعه‌ای از مسائل پایداری سیستم‌های قدرت و مربوط به رفتار دینامیکی آن‌ها در پی وقوع اختلال‌ها است. دینامیک‌هایی که به ناپایداری ولتاژ منجر می‌شوند، در دامنه زمانی کسری از ثانیه تا چند ده دقیقه گسترش می‌یابند. بسیاری از اجزا و کنترل‌های سیستم قدرت، در پایداری ولتاژ نقش دارند. با این حال، فقط برخی در یک واقعه خاص، دخالتی با اهمیت دارند. مشخصه فروپاشی ولتاژ، نزول آهسته و مداوم ولتاژ باس‌های سیستم قدرت و در نهایت کاهش سریع آن‌هاست. به طور ساده، ناپایداری ولتاژ، نتیجه‌ای از سعی برای کار در بیش از سطح توان حداکثر است، که می‌تواند به علت افزایش تقاضا یا کاهش سطح توان حداکثر قابل تحویل، یا هر دو باشد. دور نگه داشتن سیستم قدرت از نقطه ناپایداری ولتاژ و حفظ امنیت ولتاژ، از اهداف مهم طراحی و بهره‌برداری سیستم است.

اما یکی دیگر از مسائل مهم در یک شبکه بهم پیوسته، از دست رفتن کامل سیستم به دلیل افت فرکانس می‌باشد. بدین ترتیب که چنانچه پس از رویت افت فرکانس، اقدامی در جهت کنترل و بازگشت مجدد آن صورت نگیرد به دلایل متعددی من جمله عملکرد احتمالی رله‌های فرکانسی حفاظت ژنراتورها در اثر کاهش دور بیش از حد مجاز و به‌دنبال آن خروج واحدهای جدید، گسترش اختلال ادامه می‌یابد تا جایی که ممکن است سیستم قدرت را به سمت خاموشی کامل ببرد.

۲-۲- اهمیت پایداری شبکه و معرفی برخی از اصطلاحات آن

در دوران نزدیک به بحران انرژی و کمبود منابع، عملکرد مطمئن و بهینه سیستم‌های قدرت از اهمیت زیادی برخوردار است. پدیده‌های دینامیکی سیستم قدرت دارای جایگاه ویژه‌ای برای حفظ همبستگی آن پس از رخداد اختلالات عمده است. پایداری سیستم مشخصه مهمی است که بر امنیت دینامیکی آن تاثیر گذاشته و حاشیه عملکرد آن را مشخص می‌نماید.

۲-۲-۱. اهمیت پایداری ولتاژ [۱]

پایداری ولتاژ یک مشکل بزرگ برای بسیاری از سیستم‌های قدرت در آینده است و به واسطه افزایش بارگذاری سیستم انتقال، به‌طور روز افزون اهمیت آن افزایش می‌یابد، زیرا در سیستم‌های قدرت بسیار توسعه یافته:

۱- به واسطه مشکلات نصب منابع تولید جدید در نواحی بار و همچنین مشکلات محیطی و اقتصادی که مانع احداث خطوط انتقال جدید از منابع تولید دور به نواحی مصرف هستند، از مولدها و سیستم‌های انتقال موجود به‌شدت بهره‌برداری می‌گردد.

۲- بکارگیری بانک‌های خازن شنت برای جبران توان راکتیو، در حال افزایش است. استفاده فراوان از خازن‌های شنت، در حالی که حدود انتقال را افزایش می‌دهد، یک شبکه شکننده در معرض فروپاشی را نتیجه می‌دهد، زیرا خروجی توان راکتیو خازن‌ها با کاهش ولتاژ، به‌شدت کاهش می‌یابد.

بنابراین عوامل زیر باعث می‌شوند که یک سیستم قدرت بسیار توسعه یافته، آمادگی ناپایداری ولتاژ را داشته باشد:

۱- انتقال مقادیر زیاد توان روی مسافت‌های طولانی، به علت مشکل روزافزون احداث محل نیروگاه در نزدیکی مصرف‌کننده.

۲- افزایش فاصله الکتریکی بین وسایل تنظیم ولتاژ و بارها.

۳- بهم پیوسته شدن سیستم‌های قدرت، که در نتیجه ایجاد یک سیستم پیچیده بزرگ که به خاطر هدف‌های اقتصادی و محیطی، باید نزدیک به حد پایداری کار کنند.

۴- شرایط بار سنگین روی سیستم قدرت به علت تمرکز روز افزون تقاضا در نواحی شهری بزرگ.

۵- کافی نبودن منابع توان راکتیو محلی.

۲-۲-۲. دلایل لزوم تثبیت فرکانس

در یک سیستم قدرت، فرکانس به عنوان یکی از شاخص‌های اصلی در کیفیت انرژی تحویلی به مصرف‌کننده و امنیت سیستم مطرح می‌باشد. این دیدگاه دلایلی دارد؛ از جمله اینکه در یک سیستم بهم پیوسته، فرکانس به‌عنوان کمیتی سراسری شناخته شده و در همه نقاط سیستم مقدار یکسانی را دارا می‌باشد. دلیل بعدی بواسطه ترازوی فرکانسی توجیه می‌شود؛ همانطور که از این ترازو برمی‌آید تنها در زمانی که تولید و مصرف سیستم برابر باشند فرکانس مقدار ثابتی را خواهد داشت و با برهم خوردن تعادل از سوی هر یک از کفه‌ها، فرکانس تغییر خواهد کرد. به‌عبارتی دیگر، ثبوت فرکانس نشان از تعادل بین تولید و مصرف و یا ثبات سیستم دارد.

ضرورت و دلائل عمده ثابت نگه داشتن فرکانس در یک سیستم بهم پیوسته تولید و انتقال به شرح زیر می‌باشند:

۱- هر توربین دارای یک محدوده نوسانات فرکانس می‌باشد، اگر تغییرات سرعت توربین از این محدده خارج شود باعث اختلال و وارد آمدن صدمه به تیغه‌های توربین می‌گردد، پس سرعت حرکت توربین همواره باید در یک محدوده مجاز و تحت کنترل باشد.

۲- وابستگی بارهای صنعتی به تغییرات فرکانس، که این وابستگی در مواقع افت فرکانس باعث کاهش گشتاور و نهایتاً کاهش راندمان می‌شود.

۳- وابستگی عملکرد تجهیزات و مصرف‌کنندگان الکتریکی به فرکانس نامی خود که عدول از این فرکانس سبب ضعف کارایی و یا آسیب‌پذیری آن‌ها خواهد شد. گاه ضعف کارایی بعضی از این مصرف‌کنندگان مانند سیستم خنک‌کنندگی ژنراتورهای بزرگ، تاثیر منفی در تولید انرژی الکتریکی خواهد داشت.

۴- وجود ساعت‌های الکتریکی در شبکه که با موتورهای سنکرون کار می‌کنند، و دقت عملکرد آن‌ها وابسته به توانایی شبکه برق تغذیه، در حفظ ثبات فرکانس است.

۵- و در آخر باید به قسمت‌های گردانی همچون روتور مولدها اشاره کرد که دارای فرکانس‌های طبیعی می‌باشند، لذا باید از فرکانس‌های الکتریکی که فرکانس‌های مکانیکی سیستم را تشدید کرده و ایجاد لرزش می‌کنند دوری کرد.

۲-۲-۳. تعاریف در حوزه پایداری سیستم قدرت

در ذیل، به تعریف برخی از اصطلاحات پایداری می‌پردازیم [۲].

عملکرد سنکرون یک ماشین: یک ماشین، با یک شبکه که به آن متصل است در شرایط کار سنکرون است؛ در صورتی که سرعت الکتریکی متوسط آن با فرکانس زاویه‌ای ولتاژ شبکه برابر باشد.