دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق–قدرت

ارائه الگوریتم جدید جهت جلوگیری از وقوع خاموشیهای سراسری در سیستمهای قدرت مبتنی بر تلفیق جهت توان انتقالی خطوط و منطق فازی

تحقیق و تدوین:

علی عاملی

استاد راهنما:

آقای دکتر جوادی

زمستان ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

قدردانی

حال که به لطف ایزد این پایان نامه به اتمام رسیده است، لازم می دانم از تمامی معلمان و اساتیدی که در طول دوران تحصیلی مرا یاری رسانده اند تا پای در این مرحله بگذارم تقدیر و تشکر نمایم.

با سپاس ویژه و تقدیر فراوان از جناب آقای دکتر حمید جوادی به پاس راهنمایی های بی دریغ ایشان برای به ثمر رساندن این پایان نامه.

و با سپاس از تمامی اساتید محترم دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)

تقدیم

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ی ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه ی سرشار و گرمای امید بخش وجودشان

به پاس قلب های بزرگشان

و به پاس محبت های بی دریغشان در تمام مراحل زندگیم که هرگز فروکش نمی کند.

تقدیم به پدر و مادر عزیزتر از جانم

چکیده

امروزه مزایای انرژی الکتریکی و افزایش تمایل به استفاده بیشتر از آن، باعث گسترش شبکه‌های قدرت شده است. همگام با افزایش تقاضا و گسترش شبکه‌های قدرت، فعل و انفعالات پیچیده و پیش‌بینی نشده و حوادث غیر منتظره نیز در سیستم افزایش یافته است. این فعل و انفعالات وحوادث می‌توانند باعث خروج سیستم قدرت از حالت تعادل و بروز خاموشی شوند. پدیده خاموشی‌ها در سیستم‌های قدرت با زنجیره‌ای ازحوادث دنبال می‌شوند و هزینه بالایی برای جامعه داشته و صدمات فراوانی به زیرساخت‌هایی همچون ارتباطات، سیستم‌های تأمین آب، گاز، حمل و نقل و غیره وارد می‌کنند. در فرآیند خاموشی‌ها اگر چه حوادث اولیه آغازگر در طیف وسیعی تغییر می‌کنند، اما حوادث بعدی پس از آن معمولاً به دلایل مشترکی ایجاد و دنبال می‌شوند در بیشتر موارد ضعف و محدودیت‌های عناصر شبکه باعث دنبال شدن زنجیره حوادث می‌باشند. مثلاً با از دست رفتن یک خط و یا ژنراتور از شبکه، خطوط دیگری پربار شده ومتعاقباً آنها نیز از مدار خارج می‌شوند. در هنگام طراحی اولیه منابع و خطوط انتقال انرژی، ملاحظات لازم جهت حفظ امنیت سیستم در نظر گرفته می‌شود. برای مثال ظرفیت توان عبوری مجاز از یک خط انتقال به نحوی در نظر گرفته می‌شود که این خط در شبکه نسبت به یک اختلال تنها، مثلاً خروج یکی از خطوط مقاوم بوده و میزان اضافه بار به وجود آمده در آن موجب خروج خط نشود، اما به علت شرایط مختلف بهره‌برداری، خارج از سرویس بودن برخی از تجهیزات، توسعه‌های احتمالی و هم چنین افزایش سطح بارگذاری شبکه، در یک سیستم قدرت ریسک ایجاد اختلال (مانند اضافه بار شدن خطی دیگر) پس از حادثه اول وجود دارد. خروج ژنراتور، حذف بار و تنظیم خروجی ژنراتور، اقدامات کنترلی معمول جهت کاش اضافه‌بارها توسط کنترل‌های اضطراری و طرح های حفاظت سیستم می‌باشند. یکی از روش های جدید برای حفاظت وکنترل در شرایط اضطراری بر اساس روش ترکیبی متشکل از هر دو عامل بارزدایی و کاهش تولید مبتنی بر تشخیص جهت توان در خط بنا شده که معمولا به هنگام تصمیم گیری از سرعت بالا برخوردار نمی باشد. الگوریتم جدیدی برای اعمال سیستم‌های حفاظت ویژه بکارگرفته شده است که به صورت متناسب و صحیح، با بکارگیری منطق فازی در تشخیص و تعیین سریع میزان حذف بار و کاهش تولید مورد نیاز و متناسب با بار خط انتقال در معرض خروج، عمل می‌کند و به سرعت مانع از خروج خط و همچنین توسعه خاموشی‌های سراسری می‌گردد.

الگوریتم ارائه شده در این پایان‌نامه ابتدا در شبکه قدرت مدل شده به دو ناحیه مستقل و مرتبط با یکدیگر پیاده شده است. چنانچه فلوی توان پس از خطا از ناحیه ۱ به ناحیه ۲ بوده باشد بایستی پس از وقوع خطا از تولید واحد های تولیدی منتخب ناحیه ۱ و بار های منتخب ناحیه ۲ کاسته شود و بالعکس اگر فلوی توان پس از خطا از ناحیه ۲ به ناحیه ۱ بوده بایستی از تولید واحد های تولیدی منتخب ناحیه ۲ و بار های منتخب در ناحیه ۱ کاسته شود. البته مجموع تولید و بارهای کاسته شده بایستی برابر اضافه توان ایجاد شده در خطوط سالم باشند. سپس این الگوریتم در شبکه‌های ۹ و ۳۹ باسه IEEE (شبکه‌های مذکور دارای کریدور بوده و قابل تفکیک به دو ناحیه مستقل با دو و بیش از دو خط ارتباطی می باشند) اجرا و کارآئی الگوریتم مورد ارزیابی کامل قرار گرفته است.

کلید واژه: خاموشی سراسری، حفاظت سیستم، جهت توان، منطق فازی.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ۴

فهرست شکل‌ها ۵

فصل ۱- مقدمه ۸

۱-۱- پیشگفتار ۸

۱-۲- نگاهی بر فصول ۱۲

فصل ۲- نحوه شکل‌گیری خاموشی سراسری و چگونگی جلوگیری از آن ۱۴

۲-۱- مقدمه ۱۴

۲-۲- پدیده فروپاشی ولتاژ ۱۵

۲-۳- پدیده فروپاشی فرکانس ۱۶

۲-۴- نحوه ایجاد حوادث پی در پی و خاموشی سراسری در سیستم های قدرت ۱۷

۲-۴-۱- عناصر تضعیف کننده سیستم قبل از آغاز حوادث ۲۱

۲-۵- بهبود پایداری فرکانسی ۲۳

۲-۵-۱- جزیره‌ای شدن کنترل شده ۲۳

۲-۵-۲- حذف بار فرکانس پایین ۲۴

۲-۵-۳- حذف تولید ۲۵

۲-۵-۴- حذف بار سریع ۲۶

۲-۶- ارزیابی امنیت سیستم بر اساس ریسک ۲۶

۲-۷- کنترل‌های اضطراری هماهنگ ۲۶

۲-۸- ارزیابی امنیت دینامیکی بصورت بهنگام ۲۷

۲-۹- مانیتورینگ و کنترل بهنگام سیستم ۲۷

فصل ۳- طرح‌های حفاظت سیستم و کاربرد آنها در جلوگیری از خاموشی‌سراسری ۳۰

۳-۱- مقدمه ۳۰

۳-۲- طرح‌های حفاظت سیستم ۳۲

۳-۳- روشهای مورد استفاده در طرح‌های حفاظت سیستم ۳۷

۳-۳-۱- طرح حذف تولید ۳۸

۳-۳-۲- طرح حذف بار ۳۸
۳-۳-۳- پایدارسازها ۳۹
۳-۳-۴- حذف بار فرکانسی و حذف بار ولتاژی ۳۹
۳-۴- دلایل استفاده از طرح‌های حفاظت سیستم ۳۹
۳-۵- انواع طرح‌های حفاظت سیستم ۴۱
۳-۶- واحدهای اندازه‌گیری فازور (PMU) ۴۴
۳-۷- کاربردهای واحدهای PMU ۴۵
۳-۷-۱- تخمین حالت ۴۵
۳-۷-۲- به دست آوردن مدل اجزاء سیستم ۴۶
۳-۷-۳- عملیات کنترلی ۴۶
۳-۷-۴- عملیات حفاظتی ۴۶
۳-۸- استفاده از PMU در طرح‌های حفاظت سیستم ۴۷
۳-۸-۱- شبکه برق سوئیس ۴۷
۳-۸-۲- شبکه برق تایوان ۴۹

فصل ۴- معرفی الگوریتم پیشنهادی و مروری بر منطق فازی ۵۲

۴-۱- مقدمه ۵۲
۴-۲- معرفی الگوریتم پیشنهادی ۵۳
۴-۲-۱- توصیف فلوچارت در حالت offline ۵۶
۴-۲-۲- توصیف فلوچارت در حالت online ۵۷
۴-۳- مقدمه ای بر نظریه فازی ۵۹
۴-۴- مجموعه های فازی ۶۰
۴-۵- متغیر زبانی ۶۰

فصل ۵- بررسی و تحلیل نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی شبکه‌های نمونه ۶۳

۵-۱- مقدمه ۶۳
۵-۲- شبکه ۹ باسه IEEE ۶۳
۵-۲-۱- نتایج بدست آمده در فصول مختلف سال ۶۴
۵-۲-۲- ساختار منطق فازی مورد استفاده ۶۷
۵-۲-۳- نتایج بدست آمده از سناریوی شبیه‌سازی شده ۷۱
۵-۳- معرفی شبکه ۳۹ باسه IEEE ۷۲
۵-۳-۱- نتایج بدست آمده در فصول مختلف سال ۷۳

۵-۳-۲- ساختار منطق فازی مورد استفاده..... ۸۷
۵-۳-۳- سناریوهای مختلف شبیه‌سازی در حالت online..... ۹۳

فصل ۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۱۰۱

۶-۱- نتیجه‌گیری..... ۱۰۱
۶-۲- پیشنهادات..... ۱۰۲

ضمیمه أ -اطلاعات خطوط و باسهای شبکه‌های نمونه IEEE..... ۱۰۴

ضمیمه ب -توان عبوری خطوط در سه حالت شبیه‌سازی ۱، ۲و۳ (بخش ۵-۳-۳)..... ۱۰۷

فهرست مراجع..... ۱۱۰

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱: آمار طرح‌های حفاظت سیستم استفاده شده در نقاط مختلف جهان ۳۶

جدول ۵-۲: نتایج بدست آمده از مطالعات بهره‌برداری شبکه ۹ باسه در حالت offline ۶۴

جدول ۵-۲: نتایج بدست آمده از مطالعات حالت offline شبکه ۳۹ باسه (فصل بهار) ۷۴

جدول ۵-۳: نتایج بدست آمده از مطالعات حالت offline شبکه ۳۹ باسه (فصل تابستان) ۷۸

جدول ۵-۴: نتایج بدست آمده از مطالعات حالت offline شبکه ۳۹ باسه (فصل پاییز) ۸۱

جدول ۵-۵: نتایج بدست آمده از مطالعات حالت offline شبکه ۳۹ باسه (فصل زمستان) ۸۴

جدول ۵-۶: نتایج بدست آمده از مطالعات بهره‌برداری از شبکه ۳۹ باسه در حالت offline ۸۶

جدول ب-۱: توان عبوری خطوط شبکه نمونه ۱ ..... ۱۰۷

جدول ب-۲: توان عبوری خطوط شبکه نمونه ۲ ..... ۱۰۸

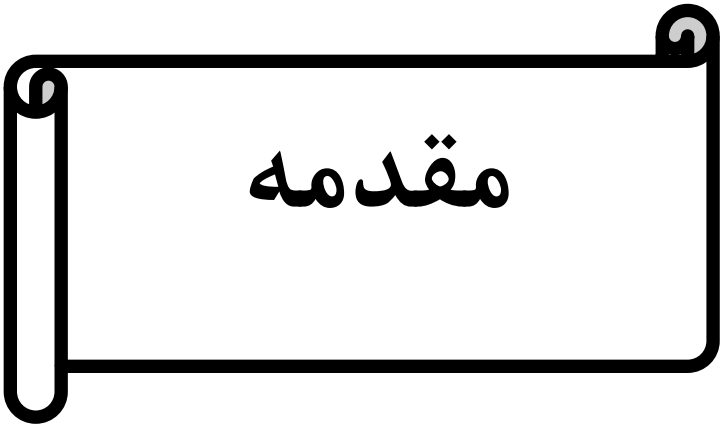
جدول ب-۳: توان عبوری خطوط شبکه نمونه ۳ ..... ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱: نحوه کلی بروز خاموشی‌های ناشی از حوادث بی‌درپی ..... ۱۷.
شکل ۲-۲: روند فروپاشی یک سیستم قدرت. ۲۱
شکل ۲-۳: میزان خاموشی رخ داده در شبکه ۳۹ باسه حاصله از شبیه‌سازی خطاها در سطوح بار مختلف ۲۲
شکل ۳-۱: نمودار کلی طرح‌های حفاظت سیستم ۳۳
شکل ۳-۲: نصب PMU در شبکه برق سوئیس ۴۸
شکل ۳-۳: استفاده از PMU در شبکه قدرت تایوان ۵۰
شکل ۴-۱: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی در حالت بهره‌برداری offline شبکه جهت حصول قوانین منطق فازی. ۵۵
شکل ۴-۲: فلوچارت الگوریتم پیشنهادی در حالت بهره‌برداری online شبکه ۵۸
شکل ۴-۳: ساختار اصلی سیستم فازی. ۵۹
شکل ۴-۴: ساختار اصلی سیستم های فازی با فازی ساز و غیر فازی ساز ۶۰
شکل ۵-۱: دیاگرام تک خطی شبکه نمونه ۹ باسهIEEE ۶۳
شکل ۵-۲: توان خطوط در فصل بهار (شبکه ۹ باسه) ۶۵
شکل ۵-۳: توان خطوط در فصل تابستان (شبکه ۹ باسه) ۶۶
شکل ۵-۴: توان خطوط در فصل پاییز (شبکه ۹ باسه) ۶۶
شکل ۵-۵: توان خطوط در فصل زمستان (شبکه ۹ باسه) ۶۷
شکل ۵-۶: شمای کلی اجزای منطق فازی (شبکه ۹ باسه) ۶۸
شکل ۵-۷: ورودی ۱ منطق فازی (مجموع بار ناحیه گیرنده شبکه ۹ باسه) ۶۸
شکل ۵-۸: ورودی ۲ منطق فازی (توان ازدست‌رفته شبکه ۹ باسه) ۶۹
شکل ۵-۹: خروجی منطق فازی (میزان درصد حذف بار شبکه ۹ باسه) ۶۹
شکل ۵-۱۰: قوانین منطق فازی (در شبکه ۹ باسه) ۷۰
شکل ۵-۱۱: توان خطوط در سناریوی تعریف شده در شبکه ۹ باسه ۷۲
شکل ۵-۱۲: دیاگرام تک‌خطی شبکه ۳۹ باسهIEEE ۷۳
شکل ۵-۱۳: میزان تفاوت توان نامی از توان خطوط پس از خطا در فصل بهار ۷۵
شکل ۵-۱۴: میزان تفاوت توان خطوط پس از انجام اقدامات اصلاحی از توان نامی در فصل بهار ۷۶
شکل ۵-۱۵: اندیس گاما در فصل بهار ۷۷
شکل ۵-۱۶: میزان تفاوت توان نامی از توان خطوط پس از خطا در فصل تابستان ۷۹
شکل ۵-۱۷: میزان تفاوت توان خطوط پس از انجام اقدامات اصلاحی از توان نامی در فصل تابستان ۷۹
شکل ۵-۱۸: اندیس گاما در فصل تابستان ۸۰

شکل ۵-۱۹: میزان تفاوت توان نامی از توان خطوط پس از خطا در فصل پاییز ۸۲
شکل ۵-۲۰: میزان تفاوت توان خطوط پس از انجام اقدامات اصلاحی از توان نامی در فصل پاییز ۸۲
شکل ۵-۲۱: اندیس گاما در فصل پاییز ۸۳
شکل ۵-۲۲: میزان تفاوت توان نامی از توان خطوط پس از خطا در فصل زمستان ۸۵
شکل ۵-۲۳: میزان تفاوت توان خطوط پس از انجام اقدامات اصلاحی از توان نامی در فصل زمستان ۸۵
شکل ۵-۲۴: اندیس گاما در فصل زمستان ۸۶
شکل ۵-۲۵: شمای کلی اجزای منطق فازی(شبکه ۳۹ باسه) ۸۷
شکل ۵-۲۶: ورودی ۱ منطق فازی (مجموع بار ناحیه گیرنده شبکه ۳۹ باسه) ۸۸
شکل ۵-۲۷: ورودی ۲ منطق فازی (توان ازدست‌رفته شبکه ۳۹ باسه) ۸۸
شکل ۵-۲۸: خروجی ۱ منطق فازی (میزان درصد حذف بار شبکه ۳۹ باسه) ۸۹
شکل ۵-۲۹: خروجی ۲ منطق فازی (میزان درصد کاهش تولید واحد G_9) ۸۹
شکل ۵-۳۰: خروجی ۳ منطق فازی (میزان درصد کاهش تولید واحد G_8) ۹۰
شکل ۵-۳۱: خروجی ۴ منطق فازی (میزان درصد کاهش تولید واحد G_{10}) ۹۰
شکل ۵-۳۲: قوانین منطق فازی (در شبکه ۳۹ باسه) ۹۲
شکل ۵-۳۳: مدل سیمولینک عناصر منطق فازی (در شبکه ۳۹ باسه) ۹۲
شکل ۵-۳۴: میزان تفاوت توان نامی از توان خطوط پس از خطا در شبکه نمونه۱ ..... ۹۳
شکل ۵-۳۵: میزان تفاوت توان خطوط پس از انجام اقدامات اصلاحی از توان نامی در شبکه نمونه ۱ ..... ۹۴
شکل ۵-۳۶: اندیس گاما در شبکه نمونه ۱ ..... ۹۴
شکل ۵-۳۷: میزان تفاوت توان نامی از توان خطوط پس از خطا در شبکه نمونه۲ ..... ۹۵
شکل ۵-۳۸: میزان تفاوت توان خطوط پس از انجام اقدامات اصلاحی از توان نامی در شبکه نمونه ۲ ..... ۹۶
شکل ۵-۳۹: اندیس گاما در شبکه نمونه ۲ ..... ۹۶
شکل ۵-۴۰: میزان تفاوت توان نامی از توان خطوط پس از خطا در شبکه نمونه۳ ..... ۹۷
شکل ۵-۴۱: میزان تفاوت توان خطوط پس از انجام اقدامات اصلاحی از توان نامی در شبکه نمونه ۳ ..... ۹۸
شکل ۵-۴۲: اندیس گاما در شبکه نمونه ۳ ..... ۹۸



فصل ۱

فصل ۱– مقدمه

۱–۱– پیشگفتار

خاموشی های سراسری به ندرت اتفاق می‌افتند. آنها معمولاً توسط یک سلسله حوادث دور از انتظار و یا با احتمال کم، که عموماً توسط طراحان سیستم قدرت برنامه ریزی نشده و نیز توسط اپراتورهای سیستم قابل پیش بینی نیستند، اتفاق می افتند و سیستم را مستعد بروز و در معرض خاموشی‌های سراسری قرار می‌دهند.

این نوع حوادث معمولاً به دنبال خروج پی‌درپی تجهیزات در یک سیستم قدرت تحت تنش که فقط به طور حاشیه‌ای معیارهای برنامه‌ریزی را برآورده می‌سازد، اتفاق می‌افتند. زنجیره حوادث معمولاً با خروج تجهیزی از یک سیستم که قبلاً تحت تنش بوده و یا هنگامی که خطائی رخ می‌دهد، آغاز می‌شود. حاشیه اطمینان سیستم در این حالت برای تحمل اینگونه رخدادها در حد بسیار جزیی است. به عنوان مثال، بعضی از ژنراتورها یا خطوط ممکن است برای انجام تعمیرات از مدار خارج بوده و در این هنگام یک خط بر اثر خطا از مدار خارج شود، هم چنین ممکن است خط دیگری بنا بر هر علتی و به طور اتفاقی از مدار خارج شود، در این صورت خطوط دیگر دچار اضافه بار می‌شوند و می‌توانند تا اندازه ای بخشی از این اضافه بار را تحمل کنند و اگر شرایط بدین صورت ادامه یابد، شبکه در برابر تجهیزات با بار زیاد در معرض ناپایداری ولتاژی، ناپایداری گذرا، نوسانات فرکانسی و یا ناپایداری های دیگر قرار می‌گیرد. بسته به شرایط شبکه از نظر میزان ذخیره گردان و دسترس پذیری تجهیزات جایگزین، شدت اختلال می تواند بخشهایی از شبکه را به صورت جزیره درآورده و یا شبکه را به طور کامل از سنکرون خارج نموده و یک خاموشی سراسری را پیش آورد. اگر عملیات مقابله ای به سرعت و متناسباً انجام نشود (به عنوان مثال حذف

بار یا تولید، اصلاح میزان پشتیبانی توان راکتیو، جداسازی بخشهای مختلف سیستم)، شبکه به جزایر غیر برنامه ریزی شده و یا فروپاشی به صورت مرحله‌ای وارد خواهد شد.

حفظ یکپارچگی و انسجام شبکه‌های انتقال نیرو برای بهره برداری مؤثر و کارآمد از شبکه‌های قدرت به هم پیوسته خیلی ضروری است. امروزه سیستم های قدرت به گونه‌ای توسعه یافته‌اند که شبکه به‌هم‌پیوسته به عنوان یک ارتباط بی بدیل محکم و اساسی بین مصرف‌کننده و نیروگاه‌های برق در آمده است. در نتیجه شبکه موجود بین تولید و مصرف به عنوان نقطه استحکام و مقاومت بوده و در عین حال به عنوان نقطه ضعف و سستی سیستم نیز می‌باشد.

تحت شرایط نرمال و با پشتوانه‌های خودکار کافی، اپراتورها قادرند که به قدر کفایت سیستم‌های قدرت را کنترل نمایند. اما در شرایط اضطراری، سرعت و پیچیدگی پدیده‌های بعد از خطا، اپراتورهای اتاق کنترل را بیشتر از هر موقع دیگر به عکس العمل سریع و فوری سیستمهای خودکار در مواجهه با اثر اختلالات شدید وابسته می سازد. در واقع وابستگی اپراتور به پاسخ سریع سیستمهای خودکار در شرایط ویژه به عنوان ضعف اساسی سیستم تلقی می گردد.

کارکرد مطمئن سیستمهای قدرت در محیط رقابتی جدید، چالش های جدیدی را پدید آورده است. به ویژه لازم است که روش‌های پیشرفته‌ای برای مقابله و تخفیف اثر پیشامدهای شدید[1] یعنی پیشامدهایی که شدیدتر از پیشامدهای عادی دیده شده در طراحی هستند، به کار گرفته شوند. برنامه ریزی و گسترش سیستمهای قدرت به هم پیوسته، در بر دارنده مطالعات سیستماتیک مرسوم برای محدوده وسیعی از اغتشاشت شدید می‌باشد. مخصوصاً اقدامات خودکار مناسب با محدودیتهای بهره‌برداری برای واکنش در برابر اغتشاشاتی که خطرناک به نظر می‌رسد، منظور می شوند. با این وجود، این مطالعات سیستماتیک فقط می توانند بخشی از بیشمار ترکیبات

[1] Extreme Contingency

اغتشاشات احتمالی که می‌توانند ضربه به شبکه وارد نمایند را بررسی کنند. هیچ واکنش خودکاری برای این بینهایت اختلالات شدید غیر ارزیابی شده وجود ندارد. در هنگام بروز اینگونه اختلالات شدید، اپراتورها آخرین خط دفاعی بوده و اغلب ناکارآمد عمل می‌کنند. اپراتورها خیلی به ندرت با اینگونه حوادث به طور مؤثر مقابله کرده‌اند در اغلب موارد از این دست، پاسخ کند اپراتورها به رخدادهای سریع پس از خطا منجر به جداشدن بخشهای مختلف شبکه و در نهایت فروپاشی آن می‌گردد.

مشکل اصلی همه سیستمهای قدرت به هم پیوسته این است که چگونه می‌توانند با اثرات ناشی از پیشامدهای چندگانه غیرقابل پیش بینی به طور مؤثربرخورد کنند. برای مقابله با این چالش، راه جدیدی پیشنهاد شده و آن استفاده از تغییرات شدید متعاقب بروز اختلال می‌باشد [۱].

زمانی که این اختلال شدید موجب بروز مشکلات در سیستم انتقال قدرت به هم پیوسته می شود، اثرات پس از بروز این اختلال باعث بروز شکست[۱]های متعددی در سیستم قدرت می‌گردند. در بسیاری از موارد فروپاشی رخ داده به دلیل ناپایداری گذرا، ناپایداری زاویه‌ای، ناپایداری ولتاژی، کاهش فرکانس و یا تریپ پی‌درپی خطوط می‌باشد [۲].

گزارشات حوادث فروپاشی در نقاط مختلف دنیا حاکی از آن است که یک دوره اولیه پس از خطا وجود داشته که در آن مدت شبکه انتقال نیرو دست نخورده و بدون مشکل بوده است. این موضوع بلافاصله این سؤال در ذهن مطرح می‌سازد : که چگونه سیستم انتقال نیرو از هم پاشیده می‌شود. راه رسیدن به یک راه حل جدید در یافتن پاسخ این سؤال نهفته است.

شبکه انتقال نیرو دارای قابلیت بازیافت کافی برای تحمل یک خطای مستقیم بر روی خطوط فوق فشارقوی در هنگامی که سیستم حفاظت به درستی خطا را برطرف می‌کند، خواهد بود. ولی اگر

[۱] breakdown

حفاظت سریع عمل نکند، خطر فروپاشی سیستم بروز می‌نماید. در تحقیق در باب سؤال فوق، آشکار می‌گردد که اگر به اختلال به فوریت پاسخ داده نشود، آثار کنترل نشده پس از اختلال در شبکه انتقال نیرو گسترش یافته و سبب فعال شدن تجهیزات پشتیبان[1] خواهد گردید.

برای به حداقل رساندن پتانسیل خاموشی های سراسری، طراحی سیستم‌های حفاظتی ویژه به عنوان بخشی از طرح‌های دفاعی ناحیه گسترده که به خوبی هماهنگ شده اند توسعه یافته و پیاده‌سازی شده اند.

امروزه فن‌آوری‌های جدید مانند سیستم‌های اندازه‌گیری سنکرون (به عنوان مثال PMU ها) با استفاده از سیگنال‌های GPS همراه با سیستم های ارتباطی مطمئن در سیستمهای قدرت وارد شده اند که قادرند طرح‌های دفاعی موجود را بهبود بخشند و یا توسعه آنها را تسهیل نمایند. بنابراین یک ساختار کنترلی برای شبکه به صورت هرمی در حال ظهور در جوار طرح‌های دفاعی است که می تواند به عنوان جزئی اصلی از توسعه سیستم قدرت باشد.

هدف اصلی در حفاظت در برابر پیشامدهای شدید آن است که یک نقص در یک ناحیه شبکه نباید باعث خاموشی‌سراسری در نواحی دیگر شده، و چنین شرایطی را باید با طراحی، نگهداری، بهره برداری و هماهنگی خوب شبکه قدرت به حداقل رسانید.

در این پایان‌نامه با بکارگیری سیستم حفاظتی ویژه مناسب در شبکه قدرت مدل شده به دو ناحیه مستقل که توسط دو یا سه خط با یکدیگر مرتبط هستند، با خروج یکی از خطوط ارتباطی مقدار توانی که توسط سایر خطوط قابل تحمل نیست و می‌تواند باعث اضافه بار آنها شود را با در نظر گرفتن اقدامات مقابله‌ای که در یک روش پیشنهادی شامل حذف بار و کاهش تولید بطور همزمان

[1] Backup devices

و با استفاده از منطق فازی می‌باشد، برطرف نموده و از بروز ناپایداری و در نهایت خاموشی‌سراسری پیشگیری می گردد.

۱-۲- نگاهی بر فصول

فصل اول به مقدمه ای در ضرورت انجام این تحقیق می‌پردازد. پس از آن، و در فصل دوم، به بررسی نحوه شکل‌گیری خاموشی سراسری و معرفی بعضی از روشهای پیشگیری از وقوع آنها پرداخته شده است. در فصل سوم به تعریف طرح‌های حفاظت سیستم یا همان حفاظت ویژه و انواع آنها، ضرورت بکارگیریشان در شبکه‌های قدرت پرداخته و در نهایت سیستمهای اندازه‌گیری فازور(PMU ها)که در سرعت عملکرد طرح حفاظت سیستم پیشنهادی در این پایان‌نامه نقش حافظ اهمیتی دارند، توصیف می گردند. در فصل چهارم الگوریتم روش ارائه شده جهت حفاظت شبکه و جلوگیری از وقوع خاموشی در آنها معرفی گردیده و طریقه عملکرد آن مورد بررسی قرار می گیرد. از آنجا که الگوریتم یادشده از منطق فازی به عنوان ابزار تصمیم‌گیری بهره می گیرد، در پایان به شرح خلاصه‌ا ی از آن پرداخته شده است.در فصل پنجم نتایج شبیه سازی ها و عملکرد الگوریتم بر روی دو شبکه نمونه مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌است. در فصل پایانی نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه شده‌اند.

فصل ۲

نحوه شکل‌گیری خاموشی‌سراسری و چگونگی جلوگیری از آن

فصل ۲– نحوه شکل‌گیری خاموشی سراسری و چگونگی جلوگیری از آن

۲–۱– مقدمه

در این فصل ابتدا مقدمه‌ای درباره خاموشی ارائه می‌کنیم. سپس قبل از توصیف مکانیزم فرآیند بروز خاموشی، مفاهیم فروپاشی ولتاژ و فروپاشی فرکانس را که در طی فرآیند خاموشی ممکن است رخ دهند، معرفی می‌کنیم. در بخش بعدی به توصیف روند شکل‌گیری پدیده خاموشی خواهیم پرداخت.

با افزایش تقاضای انرژی الکتریکی، تمایل بهره‌برداران در بخش تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی به استفاده حداکثر از منابع و ظرفیت‌های موجود افزایش یافته است. این موضوع باعث کاهش حاشیه امنیت سیستم‌های قدرت و در نتیجه افزایش تعداد و دامنه خاموشی‌ها شده است. وقوع خاموشی‌های بزرگ اخیر در سراسر دنیا نشان داده اند که احتمال بروز این خاموشی‌ها به شدت در حال افزایش است. این خاموشی‌ها با دامنه وسیع، اقتصاد و اجتماع را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

خاموشی با یک اختلال اولیه شروع می‌شود و سپس به دنبال آن به دلیل ساختار شبکه، سطح بارگذاری، عملکرد بهره‌بردار و تجهیزات حفاظتی، حوادث پی‌درپی در شبکه به راه می‌افتند. هر یک از حوادث پی-درپی، ممکن است ناشی از ناپایداری زاویه‌ای، ناپایداری حرارتی، مسائل ولتاژی و فرکانسی باشند. هر حادثه سیستم را ضعیف‌تر کرده و احتمال حوادث دیگر را افزایش می‌دهد. اتصال کوتاه خطوط و مسایل آب و هوایی، بارگذاری سنگین شب و فروپاشی ولتاژ، می‌توانند نمونه‌هایی از حوادث اولیه در بروز خاموشی سراسری باشند. روند حوادث پی‌درپی، در نهایت ممکن است با فروپاشی ولتاژ، فروپاشی فرکانسی و یا جزیره‌ای شدن، به خاموشی کلی یا جزئی ختم شود. فعل و انفعالاتی که منجر به گسترش حوادث و بروز خاموشی می‌شوند، نادر، غیرمعمول و غیرقابل پیش‌بینی هستند. زیرا موارد قابل پیش‌بینی و محتمل، در محاسبات طراحی، برنامه‌ریزی، و بهره‌برداری لحاظ می‌شوند. پیچیدگی این فعل و انفعالات چنان زیاد است که پس از هر خاموشی سراسری چندین ماه زمان لازم است تا اطلاعات و سوابق، بازبینی و تحلیل شده و

حوادث رخ داده مشخص شده و بوسیله کامپیوتر شبیه‌سازی شوند و همچنین دلیل حوادث پشت سر هم معلوم گردد [۳ و ۴].

فروپاشی ولتاژ و فروپاشی فرکانس، مفاهیمی هستند که در ادامه مورد استفاده قرار خواهند گرفت، بنابراین لازم است تا قبل از اینکه مکانیزم فرآیند خاموشی را شرح دهیم، به توصیف این مفاهیم بپردازیم.

۲-۲- پدیده فروپاشی ولتاژ

در سال‌های اخیر ناپایداری ولتاژ یکی از پدیده‌های تأثیر گذار در بروز خاموشی‌های سراسری بوده است.

بطور خلاصه دو مکانیزم برای رسیدن به فروپاشی ولتاژ وجود دارد:

۱- رشد پیوسته بار که سیستم را به نقطه بحرانی می‌کشاند [۵] . در این حالت سیستم به شدت بارگذاری شده است و با تغییر آرام نقطه کار به علت افزایش بارگذاری شبکه، دامنه ولتاژ به تدریج کاهش می‌یابد، تا جایی که بطور ناگهانی دچار افت شدید می‌شود. نکته قابل توجه اینکه قبل از افت ناگهانی ولتاژ، زاویه شینها و فرکانس تقریباً ثابت می‌ماند. در طی یک فروپاشی اگر دامنه ولتاژ قبل از افت ناگهانی در محدوده مجاز باقی مانده باشد و پس از آن رله‌های افت ولتاژ[۱] به سرعت عمل کرده و خاموشی داده باشند، ممکن است تجهیزات کنترل ولتاژ وارد عمل نشوند. در چنین شرایطی بهره‌برداران مرکز کنترل نیز هیچ یک از علائم اعلام خطر کلاسیک مانند زاویه شینها، فرکانس و دامنه ولتاژ را دریافت نمی‌کنند، زیرا تا قبل از افت ناگهانی ولتاژ، این پارامترها در محدوده مجاز باقی می‌مانند. خاموشی ۱۹۷۸ فرانسه در اثر بارگذاری سنگین شبکه، کاهش پروفیل ولتاژ، فرسودگی منابع تولید توان راکتیو و در نهایت با گذشتن از نقطه زانویی، افت ناگهانی ولتاژ به وقوع پیوست.

[۱] Under Voltage Relays