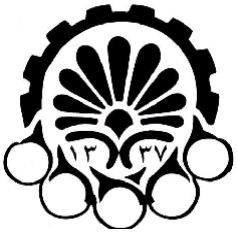

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده:**مهندسی برق**

پایان نامه کارشناسی ارشد

رشته تحصیلی: **برق**

عنوان

ارائه روشی جهت تقسیم کردن سیستم قدرت بمنظور افزایش ایمنی شبکه

استاد راهنما

گو.رگ قره‌پتیان

دانشجو

امید علیزاده موسوی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)

بسمه تعالی

فرم اطلاعات پایان‌نامه
کارشناسی- ارشد و دکترا

تاریخ:
شماره:

معاونت پژوهشی
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: امید علیزاده موسوی دانشجوی آزاد ● بورسیه ○ معادل ○

شماره دانشجوئی: ۸۵۱۲۳۱۴۸ دانشکده: مهندسی برق رشته تحصیلی: برق گروه: قدرت

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: گو.رگ قره‌پتیان درجه و رتبه: استاد

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

نام و نام خانوادگی: درجه و رتبه:

عنوان پایان‌نامه به فارسی: ارائه روشی جهت تقسیم کردن سیستم قدرت بمنظور افزایش ایمنی شبکه

عنوان پایان‌نامه به انگلیسی: **Segmentation of power system for increasing power system security**

نوع پروژه: کارشناسی ○ کاربردی ○ ارشد ● بنیادی ● دکترا ○ توسعه‌ای ○ سال تحصیلی:۸۷ نظری ○

تاریخ شروع :۸۶ تاریخ خاتمه :۸۷ تعداد واحد :۶ سازمان تأمین کننده اعتبار :

واژه‌های کلیدی به فارسی: منفصل کردن سیستم قدرت، انتقال ولتاژ بالای DC ، قدرت اتصال کوتاه، امنیت سیستم قدرت، قابلیت اطمیان سیستم قدرت

واژه‌های کلیدی به انگلیسی : Segmentation of power system, High Voltage Direct Current(HVDC), short circuit capacity, power system security, power system reliability

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات ۱۸۸	تصویر ●	جدول ●	نمودار ○	نقشه ○	واژه‌نامه ○	تعداد مراجع ۹۴	تعداد صفحات ضمائم ۳۲	
زبان متن	فارسی ●		انگلیسی ○		چکیده		فارسی ●		انگلیسی ●
یادداشت									

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

۱ : ارائه به معاونت پژوهشی به همراه یک نسخه الکترونیکی از پایان‌نامه و فرم اطلاعات پایان‌نامه بصورت **PDF** همراه چاپ چکیده (فارسی انگلیسی) و فرم اطلاعات پایان‌نامه

به نام خدا

دانشکده مهندسی برق
دانشگاه صنعتی امیر کبیر

شماره: ۹۰۷/ت/۵۸
تاریخ: ۱۳۸۷/ ۱۱/ ۱۴

برگ ارزیابی پایان‌نامه کارشناسی ارشد (اپکا۲)
گرایش قدرت

نام و نام خانوادگی *آقای امید علیزادموسوی* شماره دانشجویی : ۸۵۱۲۳۱۴۸

عنوان : ارائه روشی جهت تقسیم (segmentation) سیستم قدرت بمنظور افزایش ایمنی شبکه

تاریخ دفاع: ۸۷/۱۱/۱۲

هیات داوران	نام و نام خانوادگی	کد انفورماتیک	رتبه علمی	امتیاز	امضاء
استاد راهنمای اول	دکتر قره پتیان	۱۰۰۶۳	استاد	۸۵	
استاد راهنمای دوم	----	----	----		
استاد مشاوراول	----	---	---		
استاد مشاوردوم	----	----	----		
داور داخلی و نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر عابدی	۱۰۱۳۹	استاد	۸۵	
داور داخلی دوم	----	----	----		
داور خارجی	دکترپرنیانی	مدعو	استاد	۸۵	
میانگین نمرات هیئت داوران (بر مبنای۹۵)				۸۵	

این قسمت توسط تحصیلات تکمیلی دانشکده تنظیم خواهد شد.

	شرح	نمره به عدد	نمره به حروف
A	میانگین نمرات هیئت داوران (بر مبنای ۱۹)	۱۷/-	هفده
B1	تشویق بابت ارائه مقاله پذیرفته شده : ۱- هرمقاله کنفرانس داخل یا خارج حداکثر۱نمره با نظر هیئت ژوری ۲- هر مقاله ژورنال علمی پژوهشی یاISI داخل یا خارج حداکثر۲ نمره با نظرهیئت ژوری ۳- تشویق پروژه ساخت حداکثر ۱ نمره با نظر هیئت ژوری ۴- حداکثرتشویق ۲نمره	۱ + ۲	
C	نمره نهایی C=A+B1	۱۹/-	

مدیر تحصیلات تکمیلی دانشکده:
امضاء و مهر دانشکده:

مدیر کل تحصیلات تکمیلی:
امضا ومهر

تأئید کارشناس:

تبصره : از ورودی ۸۵ ارسال (submit) مقاله نمره ندارد تشویقهای بند B1به نظر داوران بستگی دارد و داوران می توانند از تشویق خودداری نمایند.

چکیده

با اتصال سیستم‌های قدرت برای استفاده از مزیت‌های آن، پیچیدگی سیستم افزایش یافته است. از این رو کنترل سیستم دشوار شده و اغتشاشات ایجاد شده در یک ناحیه از سیستم به سایر نواحی منتقل می‌شود. تجدید ساختار و مشکلات ناشی از آن، از جمله کاهش قابلیت اطمینان و امنیت، مسائل پایداری زاویه‌ای و پایداری گذرا و پایداری ولتاژ، افزایش سطح اتصال کوتاه و افزایش تقاضای انرژی الکتریکی و در عین حال کمبود ظرفیت انتقال که سبب افزایش فشار بر شبکه الکتریکی موجود می‌شود، از مشکلات کنونی سیستم قدرت می‌باشد. برای رفع هر یک از این مشکلات نیاز به سرمایه‌گذاری‌های فراوانی است و در صورت عدم توجه به این موارد هر یک از آنها می‌تواند زمینه‌ساز ایجاد خاموشی‌های سراسری باشد.

از این رو جهت افزایش امنیت سیستم قدرت راه‌حل‌های متعددی پیشنهاد شده است که از مهمترین آنها می‌توان به استفاده از پایدار کننده‌های سیستم قدرت، ادوات FACTS، اتصالات DC و یا ترکیبی از آنها اشاره کرد. هر یک از این روش‌ها مزایا و معایبی دارد. از این میان اتصالات DC مزیت‌های فراوانی در اختیار قرار می‌دهند. از مهمترین مزایای اتصالات DC می‌توان به کنترل توان عبوری از خط، عدم انتقال اغتشاشات از یک ناحیه به ناحیه دیگر و کنترل جریان در هنگام اتصال کوتاه اشاره کرد. از این رو برای رفع قسمتی از مشکلات ذکر شده در سیستم، استفاده از این اتصالات پیشنهاد شده است.

در این پایان‌نامه مفهوم تقسیم کردن سیستم قدرت با استفاده از اتصالات DC معرفی شده است. بمنظور ارزیابی ریسک سیستم قدرت در حضور اتصالات DC، سیستم HVDC در پخش‌بار DC مدلسازی شده است. همچنین از معیار ریسک خاموشی در شبکه، بعنوان ابزاری در جهت تعیین وضعیت ایمنی سیستم قدرت استفاده شده است. در این راستا با استفاده از اتصالات DC سیستم قدرت را به بخش‌های AC کوچکتر قسمت می‌کنیم، تا اغتشاشات ایجاد شده در هر ناحیه فقط درون همان ناحیه باقی بماند و در سایر ناحیه‌ها مشکلی ایجاد نشود. تعیین محل مناسب اتصالات DC در جلوگیری از وقوع خاموشی‌های سراسری در شبکه نقش بسزایی خواهد داشت.

فهرست مطالب

عنوان | شماره صفحه

فصل ۱ مقدمه ۱

۱-۱- آشنایی با مفاهیم مطرح شده ۲

۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده ۹

۱-۲-۱- تعریف تقسیم کردن سیستم قدرت ۱۰

۱-۲-۱-۱- همکاری DCI-EPRI ۱۱

۱-۲-۱-۲- محدودیت‌های شبکه‌های بزرگ چند ناحیه‌ای ۱۲

۱-۲-۱-۲-۱- بهره‌برداری از بازار با پیچیدگی بیشتر ۱۳

۱-۲-۱-۲-۲- نیاز به افزایش ظرفیت انتقال ۱۳

۱-۲-۱-۲-۳- آسیب‌پذیری در مقابل خروج‌های پی در پی ۱٤

۱-۲-۱-۳- فرضیه تقسیم کردن با اتصالات DC ۱۵

۱-۲-۱-۳-۱- حذف خروج‌های پی در پی ۱٦

۱-۲-۱-۳-۲- شارش توان تحت کنترل‌های DC ۱۷

۱-۲-۱-۳-۳- نشان دادن دینامیک کنترل سیستم تقسیم شده ۱۷

۱-۲-۲- عملکرد HVDC در هنگام بروز اغتشاشات در سیستم ۲۰

۱-۲-۲-۱- عملکرد در هنگام خطاهای سیستم AC ۲۱

۱-۲-۲-۲- چگونگی عملکرد HVDC در هنگام پیشامدها ۲۱

۱-۲-۲-۳- کنترل توان در شرایط عادی ۲۲

۱-۲-۲-٤- کنترل توان در شرایط اضطراری ۲۲

۱-۲-۲-۵- کنترل ولتاژ ۲۲

۱-۲-۲-٦- نمونه‌هایی از کاربردهای HVDC ۲۳

۱-۲-۳- تحقیقات انجام شده در زمینه تقسیم کردن سیستم قدرت ۲٤

۱-۲-۳-۱- اتصالات DC مبتنی بر مبدل‌های منبع ولتاژی ۳۲

۱-۲-۳-۲- اهداف فنی ۳۳

۱-۲-۳-۲-۱- سناریوی از دست دادن واحد تولیدی بزرگ ۳٤

۱-۲-۳-۲-۲- سناریوی خروج‌های پی در پی ۳۸

۱-۲-۳-۳- بهبود ظرفیت انتقال ٤۳

۱-۲-۳-٤- سیستم HVDC درآینده ٤۳

۱-۲-٤- مزایا و معایب تقسیم کردن سیستم قدرت ٤٤

۱-۳- جمع‌بندی مطالب فصل اول ٤٦

فصل ۲ اتصالات HVDC ٤۸

۲-۱- پخش بار در شبکه‌هایی با حضور اتصالات HVDC ٤۹

فهرست مطالب

عنوان | شماره صفحه

۲-۱-۱- پخش‌بار AC-DC ۵۰
۲-۱-۲- پخش‌بار خطی شده ۵۲

فصل ۳ روش‌های ارزیابی ریسک خاموشی **۶۱**

۳-۱- خاموشی‌های جزئی و سراسری در سیستم قدرت ۶۲
۳-۱-۱- تجربیات بدست آمده از خاموشی‌های سراسری در نقاط مختلف دنیا ۶۳
۳-۱-۲- عوامل موثر در ایجاد خاموشی سراسری ۶۵
۳-۱-۲-۱- عوامل قبل از شروع خاموشی سراسری ۶۶
۳-۱-۲-۲- عوامل شروع و حوادث بعد از آن ۶۶
۳-۱-۳- راهکارهای مقابله با خاموشی سراسری ۶۷
۳-۲- مفهوم ریسک در سیستم قدرت ۶۸
۳-۳- روش‌های ارزیابی ریسک ۷۱
۳-۳-۱- روش شمارش حالت‌ها ۷۲
۳-۳-۲- شبیه‌سازی مونت‌کارلو غیر ترتیبی ۷۳
۳-۳-۳- شبیه‌سازی مونت‌کارلو ترتیبی ۷۴
۳-۴- شاخص‌های ارزیابی ریسک ۷۴
۳-۵- کاربردهای ارزیابی ریسک در سیستم قدرت ۷۶
۳-۶- روش پیشنهادی برای ارزیابی ریسک خاموشی در شبکه ۷۹
۳-۶-۱- الگوریتم پیشنهادی ارزیابی ریسک ۷۹
۳-۶-۲- در نظرگرفتن نیروگاه‌ها بصورت مجموعه‌ای از واحدها ۸۱
۳-۶-۳- در نظر گرفتن خطای پنهان سیستم حفاظت ۸۲
۳-۶-۳-۱- در نظر گرفتن اثر خطای پنهان سیستم حفاظت در ارزیابی ریسک شبکه قدرت ۸۴
۳-۶-۳-۲- الگوریتم در نظر گرفته شده برای مدلسازی خروج‌های پی در پی و خطای پنهان در سیستم قدرت ۸۸
۳-۶-۴- بهینه‌سازی مقدار بار قطع شده ۸۹
۳-۶-۴-۱- مدل‌های بهینه‌سازی برای قطع کردن بار ۹۰
۳-۶-۵- تخمین تابع چگالی احتمال مقدار بار قطع شده ۹۳
۳-۷- پیاده‌سازی روش پیشنهادی برای ارزیابی ریسک خاموشی در سیستم نمونه ۹۶
۳-۷-۱- مقایسه روش‌های مونت‌کارلو و شمارش حالات ۹۷
۳-۷-۲- تاثیر در نظرگرفتن نیروگاه‌ها بصورت مجموعه‌ای از واحدهای تشکیل دهنده آنها ۹۹
۳-۷-۳- شناسایی عوامل موثر در ایجاد خاموشی در شبکه ۱۰۰
۳-۷-۴- ارزیابی ریسک خاموشی در شبکه نمونه برق منطقه‌ای خراسان ۱۰۵
۳-۷-۵- تاثیر در نظر گرفتن اثر خروج‌های پی در پی و خطای پنهان سیستم حفاظت در ارزیابی ریسک ۱۱۱

فهرست مطالب

عنوان | شماره صفحه

۳-۸- توسعه روش ارزیابی ریسک خاموشی در سیستم با حضور اتصالات DC ۱۱۳
۳-۹- معیارهای ممکن برای تقسیم کردن سیستم قدرت ۱۱۳

فصل ٤ روش پیشنهادی برای تقسیم کردن سیستم قدرت به زیر سیستم‌ها ۱۱۷

٤-۱- روش پیشنهادی برای تقسیم کردن سیستم قدرت به زیر سیستم‌ها ۱۱۹
٤-۲- پیاده‌سازی در سیستم با ابعاد کوچک ۱۲۱
٤-۲-۱- معرفی سیستم نمونه ۱۲۱
٤-۲-۲- تعیین محل و مقدار بهینه برای اتصالات DC ۱۲٤
٤-۲-۳- مقایسه سیستم تقسیم شده با سیستم اولیه ۱۲۷
٤-۳- پیاده‌سازی در سیستم با ابعاد گسترده ۱۲۸
٤-۳-۱- روش‌های ممکن برای تقسیم کردن سیستم قدرت ۱۲۸
٤-۳-۲- تعیین محل و مقدار بهینه برای اتصالات DC ۱۳۰
٤-۳-۳- مقایسه سیستم تقسیم شده با سیستم اولیه ۱۳۲

فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۱۳۵

۵-۱- نتیجه‌گیری ۱۳٦
۵-۲- پیشنهادات ۱۳۸

پیوست الف سیستم‌های HVDC ۱۳۹

الف-۱- معرفی سیستم HVDC ۱٤۰
الف-۲- نحوه عملکرد انواع اتصالات HVDC ۱٤۵
الف-۲-۱- اتصال HVDC با مبدل‌های CSC-HVDC ۱٤۵
الف-۲-۲- اتصال HVDC با مبدل‌های VSC-HVDC ۱٤٦
الف-۲-۳- اتصال HVDC به روش BTB ۱٤۷
الف-۲-٤- اتصال HVDC با مبدل‌هایی با خازن سری ۱٤۸
الف-۳- ساختارهای سیستم و مدهای کاری ۱٤۸
الف-٤- تجهیزات و نحوه قرار گرفتن آنها در ایستگاه HVDC ۱۵۱
الف-٤-۱- HVDC مرسوم ۱۵۱
الف-٤-۲- HVDC مبتنی بر VSC ۱۵۲
الف-۵- اصول کنترل و بهره‌برداری از HVDC ۱۵٤
الف-۵-۱- HVDC مرسوم ۱۵٤
الف-۵-۲- HVDC مبتنی بر VSC ۱۵٦
الف-٦- ویژگی‌های انتقال DC ۱۵۷

فهرست مطالب

عنوان | شماره صفحه

الف-۷- مطالعات مورد نیاز برای پیاده‌سازی یک طرح HVDC ۱۶۰
الف-۸- کنترل مبدل‌های HVDC ۱۶۲
الف-۸-۱- ابزار اساسی کنترل ۱۶۲
الف-۸-۲- اصول انتخاب کنترل‌ها ۱۶٤
الف-۸-۳- کنترل توان ۱۶۵
الف-۸-٤- کنترل‌های جانبی برای سیستم AC ۱۶۶
الف-۹- هزینه‌های نصب سیستم HVDC در مقایسه با سیستمAC ۱۶۶

پیوست ب روش برنامه‌ریزی خطی بکار رفته در بهینه‌سازی **۱۶۸**

ب-۱- روش سیمپلکس ۱۶۹
ب-۲- ماتریس‌های بکار رفته در برنامه MATLAB در بهینه‌سازی ۱۷۰

مراجع **۱۷۳**

فهرست شکل‌ها

عنوان | شماره صفحه

شکل(۱-۱): در این شبکه تقسیم شده، ناحیه‌های بیضی شکل بخش‌های AC هستند که بصورت آسنکرون کار می‌کنند. مستطیل‌های سبز مبدل‌های پشت به پشت هستند. اتصالات آبی بین بخش‌های مجاور خطوط تبدیل شده هستند. خطوط زرد خطوط HVDC طولانی هستند که جدید ساخته شده و یا تغییر یافته خطوط AC موجود می‌باشند. ۱۲

شکل (۱-۲): پاسخ اتصالات DC به اغتشاشات. فرکانس‌های بخش‌ها می‌توانند بصورت شبه مستقل حرکت کنند و کنترل‌های اتصال DC میزان همکاری قابل قبولی از بخش‌های سالم به بخش‌های صدمه دیده ایجاد می‌شود. فرکانس‌های بخش‌ها می‌توانند به صورت شبه مستقل با کنترل‌های اتصال DC حرکت کنند..... ۱۷

شکل (۱-۳): سیستم قدرت AC کنونی و تکه تکه کردن آن ۱۹

شکل (۱-٤): اتصال تکه‌های AC سیستم قدرت توسط HVDC..... ۲۰

شکل (۱-۵): تمامی شش اتصال HVDC اسکاندیناوی با مقدار نامی ٤۰۰۰ مگاوات با کنترل توان در شرایط اضطراری ۲۳

شکل (۱-٦): اتصال شمال-جنوب Pacific ۲٤

شکل(۱-۷): نحوه اتصالات بخش های مختلف سیستم NERC..... ۲٦

شکل(۱-۸): بخش های جدا شده توسط اتصال HVDC..... ۲۷

شکل(۱-۹): اتصالات HVDC در آمریکای شمالی [۱۵] ۲۷

شکل(۱-۱۰): ساختار پیشنهاد شده برای شبکه چین [۱٦]..... ۲۸

شکل(۱-۱۱): اتصالات HVDC در هند [۱۵] ۲۹

شکل (۱-۱۲): کنترل‌های تقسیم کردن شبکه برای یک اتصال DC پشت به پشت ۳۱

شکل (۱-۱۳): تبدیل خطوط انتقال AC به DC با استفاده از ساختار مبدل دوقطبی یا سه قطبی ۳۲

شکل(۱-۱٤): اتصال DC مبتنی بر VSC..... ۳۳

شکل (۱-۱۵): در (a) EI نشان داده شده شامل چهار بخش است که توسط اتصالات AC به یکدیگر متصل شده‌اند و در هنگام پیشامدها امکان شارش نامحدود توان بین ناحیه‌ای را امکان‌پذیر می‌کند. در (b) همان بخش‌ها توسط اتصالات DC به یکدیگر متصل شده‌اند که شارش توان بین ناحیه‌ای را به سطح امنی محدود می‌کند..... ۳٤

شکل (۱-۱٦): گردش فرکانس در EI با اتصالات AC در محل (a) و با اتصالات DC بین ناحیه‌ها (b). خط قرمز فرکانس در بخش A است. به تریپ‌های خط در(a) در ثانیه ۷ و ۱٤ توجه شود. ۳۵

شکل (۱-۱۷): (a) شارش توان در EI با خطوط AC در محل و (b) و جایگزینی آنها توسط اتصالات DC . در این دو نمونه شارش توان در خطوط از مسیرهای یکسان نمی‌باشد..... ۳۵

شکل (۱-۱۸): ولتاژهای باس انتخاب شده با (a) خطوط AC و (b) اتصالات DC در محل. در این دو نمونه ولتاژها از باس‌های یکسانی نمی‌باشند. ۳٦

شکل (۱-۱۹): قسمت‌های EI با (a) خطوط AC و (b) اتصالات DC . در مثال خروج‌های پی در پی، حلقه نشان داده شده در (a) مشکل‌ساز است. ۳۹

فهرست شکل‌ها

عنوان | شماره صفحه

شکل (۱-۲۰): (a) زوایای الکتریکی و (b) فرکانس‌ها در اطراف حلقه در نمونه‌هایی از اتصالات AC و اتصال DC بطور مجزا ٤٠

شکل (۱-۲۱): گردش ولتاژ در نمونه‌هایی از (a) خط AC و (b) اتصال DC ٤١

شکل(۱-۲۲): شارش توان بین بخش C و metro با اتصالات DC در محل ٤٢

شکل (۱-۲۳): مراحل در نظر گرفته شده برای تعیین محل اتصالات DC در شبکه بمنظور افزایش ایمنی ٤٧

شکل (۲-۱): مبدل DC (زوایا با مرجع سیستم AC نوشته شدهاند) ٥٠

شکل (۲-۲): دیاگرام تک خطی از اتصال HVDC ٥٤

شکل (۲-۳): مدل اتصال HVDC در پخش‌بار DC ٥٤

شکل (۲-٤): سیستم ۹ باس WSCC ٥٦

شکل(۳-۱): تابع توزیع احتمالی انرژی تامین نشده در آمریکا برای خاموشی‌های سراسری از سال ۱۹۸٤ تا ۱۹۹۸ تهیه شده توسط NERC ٧٧

شکل(۳-۲): میانگین اندازه خاموشی سراسری (انرژی مورد نیاز تامین نشده) با افزایش بارگیری. بارگیری بحرانی در محل پیچ خوردگی منحنی در محلی که میانگین خاموشی سراسری به تندی افزایش می‌یابد رخ می‌دهد. ٧٧

شکل(۳-۳): احتمال قرار گرفتن خط در معرض تریپ نادرست بر حسب توان عبوری از خط ٨٥

شکل (۳-٤): تخمین تابع چگالی احتمال مقدار بار قطع شده با روش‌های مختلف ٩٥

شکل (۳-٥): تابع چگالی احتمال بار قطع شده با عدم دسترسی ۰/۱ برای خطوط و عدم دسترسی ۰/۰۲ برای ژنراتورها در سیستم نمونه ۹ باس WSCC ٩٨

شکل(۳-٦): تابع چگالی احتمال بار قطع شده با عدم دسترسی ۰/۰۰۱ برای خطوط و عدم دسترسی ۰/۰۲ برای ژنراتورها در سیستم نمونه ۹ باس WSCC ٩٨

شکل (۳-۷): تابع چگالی احتمال بار قطع شده با در نظرگرفتن نیروگاه بصورت ۱ و N واحدی در سیستم نمونه ۲٤ باس IEEE ١٠٠

شکل(۳-۸): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاء در دسترس نبودن واحدهای تولیدی۰/۰۱ و مقادیر مختلف در دسترس نبودن خطوط در سیستم نمونه ۱۱۸ باس IEEE ١٠١

شکل (۳-۹): اندیس بار قطع شده برای مقادیر مختلف در دسترس نبودن خطوط در سیستم نمونه ۱۱۸ باس IEEE ١٠٢

شکل(۳-۱۰): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاء در دسترس نبودن خطوط ۰/۰۱ و مقادیر مختلف در دسترس نبودن واحدهای تولیدی در سیستم نمونه ۱۱۸ باس IEEE ١٠٢

شکل (۳-۱۱): اندیس بار قطع شده برای مقادیر مختلف در دسترس نبودن ژنراتورها در سیستم نمونه ۱۱۸ باس IEEE ١٠٣

شکل(۳-۱۲): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاء در دسترس نبودن خطوط ۰/۰۱ و در دسترس نبودن واحدهای تولیدی ۰/۰۱ و بازاء مقادیر مختلف ضریب بارگیری از سیستم نمونه ۱۱۸ باس IEEE ١٠٣

شکل (۳-۱۳): اندیس بار قطع شده برای مقادیر مختلف ضریب بارگیری در سیستم نمونه ۱۱۸ باس IEEE ١٠٣

فهرست شکل‌ها

عنوان | شماره صفحه

شکل(۳-۱٤): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاء در دسترس نبودن خطوط ۰/۰۱ و در دسترس نبودن واحدهای تولیدی ۰/۰۱ و بازاء مقادیر مختلف ظرفیت انتقال در سیستم نمونه ۱۱۸ باس IEEE..... ۱۰٤
شکل (۳-۱۵): اندیس بار قطع شده برای مقادیر مختلف ظرفیت انتقال در سیستم نمونه ۱۱۸ باس IEEE..... ۱۰٤
شکل (۳-۱٦): تابع چگالی احتمال بار قطع شده برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان در سه الگوی بارگذاری مختلف ۱۰۵
شکل (۳-۱۷): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاءضرایب بارگذاری مختلف در الگوی بارگذاری بالا برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۰٦
شکل (۳-۱۸): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاءضرایب بارگذاری مختلف در الگوی بارگذاری متوسط برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۰٦
شکل (۳-۱۹): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاءضرایب بارگذاری مختلف در الگوی بارگذاری پایین برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۰٦
شکل (۳-۲۰): اندیس بار قطع شده بازاء بارگذاری‌های مختلف در سه الگوی بارگذاری برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۰۷
شکل(۳-۲۱): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاء ضرایب در دسترس نبودن مختلف در الگوی بارگذاری بالا برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۰۷
شکل(۳-۲۲): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاء ضرایب در دسترس نبودن مختلف در الگوی بارگذاری متوسط برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۰۸
شکل(۳-۲۳): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاء ضرایب در دسترس نبودن مختلف در الگوی بارگذاری کم برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۰۸
شکل(۳-۲٤): اندیس بار قطع شده بازاء ضرایب در دسترس نبودن مختلف در سه الگوی بارگذاری برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۰۹
شکل(۳-۲۵): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاء ضرایب ظرفیت خطوط مختلف در الگوی بارگذاری بالا برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۰۹
شکل(۳-۲٦): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاء ضرایب ظرفیت خطوط مختلف در الگوی بارگذاری متوسط برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۱۰
شکل(۳-۲۷): تابع چگالی احتمال بار قطع شده بازاء ضرایب ظرفیت خطوط مختلف در الگوی بارگذاری کم برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۱۰
شکل(۳-۲۸): اندیس بار قطع شده بازاء ضرایب ظرفیت خطوط مختلف در سه الگوی بارگذاری برای شبکه انتقال و فوق توزیع خراسان ۱۱۱
شکل(۳-۲۹): تابع چگالی احتمال خاموشی در دو حالت با و بدون در نظر گرفتن خروج‌های پی در پی و خرابی پنهان سیستم حفاظت..... ۱۱۲
شکل (٤-۱): الگوریتم انتخاب محل مناسب برای تقسیم کردن سیستم قدرت ۱۲۰

فهرست شکل‌ها

عنوان | شماره صفحه

شکل (٤-٢): سیستم نمونه ١٢ باس ١٢٢
شکل (٤-٣): مقدار اندیس LLI بازاء مقادیر مختلف توان در اتصال HVDC ١٢٤
شکل (٤-٤): مقدار اندیس EENS بازاء مقادیر مختلف توان در اتصال HVDC ١٢٥
شکل (٤-٥):مقادیر کوچک اندیس LLI برای تعیین مقدار بهینه در کنترل توان اتصال HVDC ١٢٥
شکل (٤-٦):مقادیر کوچک اندیس EENS برای تعیین مقدار بهینه در کنترل توان اتصال HVDC ١٢٦
شکل(٤-٧): تابع چگالی احتمال مقدار بار قطع شده بازاء سه مقدار متفاوت از توان خط HVDC ١٢٦
شکل(٤-٨): مقایسه تابع چگالی احتمال مقدار بار قطع شده برای سیستم کاملا AC و با مقدار بهینه برای اتصال HVDC ١٢٧
شکل(٤-٩): شبکه ١١٨ باس IEEE که توسط ٧ اتصال DC به سه ناحیه تقسیم شده است ١٣٠
شکل(٤-١٠): شبکه ١١٨ باس IEEE که توسط ٩ اتصال DC به سه ناحیه تقسیم شده است ١٣١
شکل(٤-١١): تابع چگالی احتمال بار قطع شده برای سیستم کاملاً AC و سیستم تقسیم شده با اتصالات DC ١٣٢
شکل(٤-١٢): تابع چگالی احتمال بار قطع شده برای سیستم کاملاً AC و سیستم تقسیم شده با ٧ و ٩ اتصال DC. ١٣٣
شکل(٤-١٣): مقایسه تابع چگالی احتمال بار قطع شده برای سیستم کاملاً AC و سیستم تقسیم شده با ٧ و ٩ اتصال DC در خاموشی‌هایی با مقادیر بزرگ ١٣٣
شکل (الف-١): مجموع ظرفیت سیستم‌های HVDC نصب شده در سرتاسر دنیا در هر سال ١٤١
شکل (الف-٢): نقش گسترده خطوط HVDC در سیستم انتقال آینده کشور چین ١٤١
شکل(الف-٣): سیستم انتقال هند در سال ٢٠١٢ و نقش اتصالات HVDC و BTB-HVDC در آن ١٤٢
شکل(الف-٤): سیستم‌های HVDC در آمریکای شمالی ١٤٣
شکل(الف-٥): HVDC مرسوم با مبدل‌های منبع جریان ١٤٣
شکل(الف-٦): HVDC با مبدل‌های منبع ولتاژی ١٤٤
شکل(الف-٧): روند پیشرفت مبدل‌های نیمه-هادی ١٤٤
شکل(الف-٨): نحوه قرار گرفتن دریچه‌های تریستوری مبدل ١٢ پالسه با ٣ دریچه چهارتایی (یکی برای هر فاز). ١٤٥
شکل(الف-٩): آرایش مبدل دریچه HVDC IGBT ١٤٧
شکل (الف-١٠): اتصال آسنکرون BTB با مبدل کموتاسیون خازنی در نزدیکی Rapid City ١٤٨
شکل (الف-١١):ساختارهای HVDC و مدهای بهره‌برداری آن ١٤٩
شکل (الف-١٢): ایستگاه مبدل HVDC تک قطبی ١٥٢
شکل (الف-١٣): ایستگاه مبدل VSC HVDC ١٥٣
شکل (الف-١٤):کنترل HVDC مرسوم ١٥٥
شکل (الف-١٥):کنترل انتقال VSC HVDC ١٥٦
شکل (الف-١٦): ترتیب زمانی پدیده‌ها و کنترل‌های سیستم قدرت [٨٦] ١٥٩
شکل (الف-١٧) : لینک انتقال HVDC ١٦٣

فهرست جدول‌ها

عنوان | شماره صفحه

جدول (۲-۱): نتایج پخش‌بار AC و خطی شده سیستم ۹ باس WSCC برای زوایای باس‌ها..... ۵۷
جدول (۲-۲): نتایج پخش‌بار AC و خطی شده سیستم ۹ باس WSCC برای شارش توان اکتیو در خطوط ۵۷
جدول (۲-۳): زاویه ولتاژ باس‌ها سیستم WSCC با اتصال HVDC در مد کنترلی I_{dc}-V_{dc} ثابت ۵۸
جدول (۲-٤): شارش توان اکتیو در سیستم WSCC با اتصال HVDC در مد کنترلی I_{dc}-V_{dc} ثابت ۵۸
جدول (۲-۵): زاویه ولتاژ باس‌ها در سیستم WSCC با اتصال HVDC در مد کنترلی P-V ثابت (30 MW-330 kV) ۵۸
جدول (۲-٦): شارش توان اکتیو در سیستم WSCC با اتصال HVDC در مد کنترلی P-V ثابت (30 MW-330 kV). ۵۹
جدول (۲-۷): زاویه ولتاژ باس‌ها در سیستم WSCC با اتصال HVDC در مد کنترلی γ-I ثابت ($^\circ$ 134-0.15 kA) ۵۹
جدول (۲-۸): شارش توان اکتیو در سیستم WSCC با اتصال HVDC در مد کنترلی γ-I ثابت ($^\circ$ 134-0.15 kA) ۵۹
جدول (۲-۹): خطای زاویه ولتاژ باس‌ها و شارش توان اکتیو در حالت‌های مختلف ٦۰
جدول (۳-۱): احتمال خروج ظرفیت یک نیروگاه با دو واحد ۸۱
جدول(۳-۲): نحوه عملکرد رله‌های جریانی و دیستانس و رله‌های قطع بار بازاء مقادیر مختلفΔP و Loading Line ۸۹
جدول (۳-۳): خطای تخمین تابع چگالی احتمال بار قطع شده در روش‌های مختلف برای مقادیر بار قطع شده بزرگتر از ۰/۲ پریونیت..... ۹٦
جدول (۳-٤): اندیس‌های $EENS$ و LLI برای نیروگاه با ۱ واحد و N واحد..... ۱۰۰
جدول (۳-۵): اندیس بار قطع‌شده برای شرایط مختلف بارگذاری شبکه خراسان ۱۰۵
جدول(٤-۱): اطلاعات خطوط سیستم نمونه ۱۲ باس ۱۲۳
جدول(٤-۲): اطلاعات تولید و مصرف در باس‌های سیستم نمونه ۱۲ باس..... ۱۲۳
جدول (٤-۳): اندیس‌های $EENS$ و LLI برای سیستم کاملاً AC و سیستم با اتصال HVDC ۱۲۸
جدول(الف-۱): مشکلات موجود در شبکه و راه‌حل‌های مرسوم، راه‌حل با HVDC و سایر راه‌حل‌ها ۱۵۸
جدول (الف-۲): مقایسه هزینه HVDC و جایگزین‌های انتقال AC آن [۸۲]..... ۱٦۷

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- آشنایی با مفاهیم مطرح شده

با توجه به روند رو به رشد تقاضای انرژی الکتریکی، توسعه زیر ساخت‌های تولید و انتقال در صنعت برق اهمیت زیادی دارد [۱]. مزایای اقتصادی ایجاد شده به علت اتصال سیستم‌های قدرت به یکدیگر از جمله استفاده از اختلاف زمانی پیک بارها، تولید توسط ژنراتورهایی که هزینه کمتری دارند و امکان مبادله انرژی الکتریکی بین شبکه‌های مختلف موجب گسترش اتصالات سیستم قدرت شده است.

اما گسترش اتصالات و افزایش پیچیدگی آنها موجب دشوار شدن کنترل سیستم و انتقال اغتشاشات ایجاد شده در یک ناحیه از سیستم به سایر نواحی می‌شود. از این رو حتی به علت اغتشاشات نسبتاً کوچک و عملکردهای ناصحیح در سیستم قدرت امکان ایجاد خاموشی‌های سراسری وجود خواهد داشت. بعنوان نمونه در اثر اضافه بار روی یک خط و متعاقباً قطع خط، فشار روی سایر خطوط انتقال سیستم افزایش خواهد یافت. بدنبال قطع خط، خطوط دیگر تحت فشار قرار گرفته و در صورت خروج‌های پی در پی، شاهد خاموشی‌های سراسری[1] در بخش گسترده‌ای از سیستم خواهیم بود. صدمات وارد شده به اقتصاد در اثر خاموشی‌های سراسری بسیار سنگین می‌باشد. خسارت‌های مستقیم و غیر مستقیم خاموشی‌های سراسری بر زیرساخت‌های حیاتی و همچنین تاثیرات آن بر مسائل اجتماعی در سال‌های اخیر برنامه‌ریزان صنعت برق را شدیداً به چالش کشیده است.

[1] Blackout

از طرف دیگر روند تجدید ساختار در بهره‌برداری سیستم قدرت در جهت برآورده کردن شرایط مطلوب اقتصادی است [۱]. این امر بگونه‌ای است که در صورت نبود ظرفیت انتقال کافی در سیستم، ممکن است شاخص‌های قابلیت اطمینان و یا شاخص‌های امنیت در سیستم قدرت کمتر از حد تعیین شده شوند. بعنوان نمونه بر طبق اطلاعات موسسه تحقیقات انرژی الکتریکی[1] در ۱۰ سال آینده در ایالات متحده آمریکا میزان تقاضای انرژی الکتریکی حداقل ۲۵٪ افزایش خواهد یافت در حالیکه با توجه به طرح‌های توسعه شبکه موجود ظرفیت خطوط انتقال تنها ٤٪ افزایش خواهد یافت. کمبود ظرفیت انتقال می‌تواند سبب افزایش فشار بر شبکه الکتریکی موجود شود. به این ترتیب شاهد کاهش کیفیت برق و یا قطعی‌های محلی خواهیم بود. در چنین شرایطی نیز خسارت‌های زیادی به سیستم قدرت و مصرف کنندگان وارد می‌شود.

همچنین در اثر اضافه شدن واحدهای تولیدی و گسترش سیستم انتقال شاهد افزایش قدرت اتصال کوتاه در سیستم هستیم که در نتیجه نیاز به کلیدهایی با قدرت قطع بالاتر و متعاقباً افزایش سرمایه‌گذاری خواهیم داشت.

در شبکه AC موجود علاوه بر موارد ذکر شده در فوق، مشکلاتی از قبیل آسیب‌پذیر بودن سیستم در برابر تهاجمات و خرابکاری‌های ساده و مسائل مربوط به پایداری زاویه‌ای، گذرا و ولتاژ امکان وقوع خاموشی‌های سراسری را افزایش می‌دهد. از این‌رو شناسایی معیارهای ارزیابی ایمنی و روش‌های افزایش امنیت در سیستم قدرت بمنظور آگاهی از وضعیت شبکه قدرت و بهبود وضعیت آن اهمیت بسیاری دارد. امنیت در سیستم قدرت مفهومی گسترده دارد که زمینه‌های استاتیک، دینامیک و ولتاژ را شامل می‌شود.

ارزیابی امنیت استاتیک[2] عبارتست از بررسی شرایط سیستم پس از اختلال که سیستم از محدوده‌های مجاز خود خارج نشده باشد. در ارزیابی امنیت استاتیک از بررسی دینامیکی صرفنظر شده و فرض بر این است که سیستم از حالت سنکرونیزم خارج نشده است. بنابراین تنها از دیدگاه خروج اجزاء سیستم به موضوع نگاه می‌شود یعنی خروج های ساده به دلیل عملکرد سیستم حفاظتی مد نظر قرار می‌گیرد. برای انجام این نوع ارزیابی، در هر خروج با انجام پخش بار، ولتاژ هر باس،

[1] Electric Power Research Institute
[2] SSA: Steady state/Static Security Assessment

جریان عبوری از هر خط، توان تولیدی هر یک از ژنراتورها و ... در حالت دائم مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در ارزیابی امنیت دینامیک[1] نه تنها شرایط پس از اختلال مطالعه می‌شود بلکه لیستی از اغتشاشات و اختلالاتی که ممکن است رخ دهند مطالعه می‌شود. در ارزیابی دینامیکی امنیت امکان رسیدن از شرایط گذار به شرایط بهره‌برداری مورد انتظار مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این تقسیم‌بندی امنیت دینامیک به دو بخش پایداری گذرا و پایداری نوسانی تقسیم می‌گردد.

تأمین ولتاژ مطلوب برای مصرف کننده‌های الکتریکی از اهداف سیستم قدرت می‌باشد. وضعیت ولتاژ نسبت به محدوده مجاز، تأثیر بسیار زیادی در نحوه عملکرد، بازدهی و نیز عمر مفید تجهیزات سیستم قدرت دارد. همچنین پایداری ولتاژ یکی از محدودیت‌های اصلی در انتقال توان به مصرف کننده می‌باشد که باید در طراحی و بهره‌برداری به آن توجه شود. در این تقسیم‌بندی امنیت ولتاژ به دو بخش ولتاژ پایین و ناپایداری ولتاژ تقسیم می‌گردد.

NERC[2] امنیت شبکه قدرت را به این صورت تعریف می‌کند: "توانایی سیستم الکتریکی برای ایستادگی در مقابل اغتشاشات ناگهانی نظیر اتصال کوتاه یا از دست رفتن غیر منتظره هر یک از اجزاء سیستم، امنیت گفته می‌شود." مسلماً وقوع هر حادثه‌ای (خروج یک المان از شبکه) می‌تواند از طریق تغییر وضعیت بارگذاری ادوات، وضعیت ولتاژ و میزان قطع بار بر عملکرد سیستم قدرت تاثیرگذار باشد. از این رو برای تعیین میزان تاثیر حوادث بر سیستم قدرت، شاخص‌هایی جهت ارزیابی امنیت ارائه می‌گردد و با توجه به این شاخص‌ها، رتبه‌بندی شرایط اضطراری صورت می‌پذیرد. وضعیت بارگذاری ادوات به منظور ارزیابی امنیت سیستم، شامل شاخص‌هایی از جمله توان عبوری از خطوط، تعداد ادوات اضافه بار شده و درصد بارگذاری ادوات می‌باشد [۲].

یکی از ملاک‌های دیگر برای تعیین اهمیت پیشامدهای سیستم و متعاقباً تعیین امنیت سیستم میزان قطع بار[3] مورد نیاز جهت حفظ امنیت سیستم است. در واقع گاه لازم می‌شود که برای حفظ بقا و ادامه عملکرد اجزای حیاتی و اصلی یک سیستم مرکب، برخی بخش‌های فرعی از آن جدا شوند تا موجودیت کل سیستم به خطر نیفتد. به هر حال با وجود آنکه در حوادث معمولاً احتمال

[1] DSA: Dynamic Security Assessment
[2] The North American Electric Reliability Council
[3] Load Shedding

قطع بار کنترل نشده است، اما اقدامات اصلاحی در سیستم جهت حفظ امنیت ضروری می‌باشد. از جمله این اقدامات می‌توان به پخش بار بهینه[1] و قطع بار اشاره نمود [۲].

شاخص‌های عمومی که برای قابلیت اطمینان و امنیت پیشنهاد شده است مسائل اضافه بار، مشکلات ولتاژی و مسائل پایداری را در نظر می‌گیرند [۳]. برای هر یک از شاخص‌های ذکر شده در فوق روابط ریاضی موجود می‌باشد که در [٤-۲] برخی از این روابط آورده شده است.

عموماً در ارزیابی امنیت از روش‌های قطعی[2] استفاده می‌شود. سیستم قدرت بگونه‌ای طراحی و بهره‌برداری می‌شود که بتواند در برابر از دست رفتن هر یک از المان‌ها به کار خود ادامه بدهد. این روش بعنوان معیار *N-1* شناخته می‌شود. یکی از محدودیت‌های اصلی این روش در نظر نگرفتن خروج‌های چندتایی است. محدودیت مهم دیگر این روش یکسان در نظر گرفتن احتمال وقوع کلیه حوادث و وقایع است. وقوع خاموشی‌های سراسری در سال‌های اخیر نشان داده است که ترکیبی از حوادث می‌تواند منجر به خروج‌های چندتایی شده و نتیجتاً فشار روی شبکه افزایش می‌یابد و امنیت شبکه کاهش می‌یابد. از این رو در ارزیابی امنیت به معیارهایی نیاز است که خروج‌های چندتایی را نیز در نظر بگیرد. برای در نظر گرفتن امکان خروج‌های چندتایی و وقوع خاموشی‌های سراسری در ارزیابی ریسک، پیشنهاد می‌شود از ارزیابی امنیت بر اساس معیار ریسک[3] استفاده شود [۱ و۵]. در این پایان‌نامه از ریسک خاموشی‌های سراسری و جزئی بعنوان معیاری جامع‌تر برای امنیت شبکه استفاده می‌شود.

با توجه به مشکلات سیستم‌های قدرت گسترده کنونی که به آنها اشاره شد و نیاز به تامین انرژی مصرف کنندگان، مهندسین قدرت درصدد بهبود امنیت سیستم قدرت می‌باشند. از طرفی امروزه تکنولوژی‌های فراوانی موجود هستند که در آینده نزدیک بکار گرفته خواهند شد تا قابلیت اطمینان و کنترل‌پذیری سیستم قدرت را بهبود دهند [۱]. شناسایی این تکنولوژی‌ها و مزایا و معایب آنها بمنظور استفاده مناسب از آنها در شبکه اهمیت بسیاری دارد. جهت افزایش ایمنی سیستم قدرت، تاکنون روش‌های فراوانی شناسایی و معرفی شده است. اما همواره باید بین مقدار ارتقاء یافته امنیت و میزان هزینه سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای آن تعادل برقرار کرد.

[1] Optimal Power Flow (OPF)
[2] Deterministic
[3] Risk-Based Security Assessment

یکی از روش‌های ارتقاء امنیت شبکه استفاده از پایدارکننده‌های سیستم قدرت[1] می‌باشد. پایدارکننده‌های سیستم قدرت، کنترل کننده‌های فیدبکی هستند که از طریق تنظیم و تحریک ژنراتورها سبب افزایش میرایی در مقابل نوسانات الکترومکانیکی می‌شوند. یکی از محدودیت‌های اصلی پایدار کننده‌های سیستم قدرت این است که پارامترهای آن بصورت off-line تنظیم می‌شوند. پایدار کننده‌های نوسان مرسوم برای یک نقطه عملکرد خاص طراحی می‌شوند و برای میرایی موثر در نقاط کار دیگر، پارامترهای آنها نیاز به تغییر دارد.

از طریق بهبود و ارتقاء سیستم حفاظت و بکارگیری سیستم‌های مونیتورینگ و جمع‌آوری اطلاعات از تجهیزات سیستم قدرت می‌توان امکان افزایش قابلیت اطمینان و امنیت شبکه را فراهم کرد [٦].

تشخیص نادرست و عملکرد نابجای سیستم حفاظت از عوامل موثر در خروج‌های پی در پی در خاموشی‌های سراسری در سیستم قدرت است. خطای سیستم حفاظت به علت ناتوانی رله‌های مرسوم با تنظیمات ثابت در تشخیص بین شرایط خطا و شرایط دینامیک سیستم می‌باشد. استفاده از رله‌های تطبیقی[2] که تنظیمات آنها با توجه به حالت‌های سیستم بصورت زمان – واقعی[3] و براساس تغییر شرایط سیستم تنظیم می‌شوند تا حدود زیادی می‌تواند این مشکل را مرتفع سازد. بکارگیری کنترل‌های تطبیقی قابلیت اطمینان سیستم را به میزان زیادی افزایش می‌دهد [٥]. همچنین استفاده از سیستم‌های حفاظت دیجیتال مدرن امکان جلوگیری از تریپ‌های نابجا و عملکرد نادرست سیستم حفاظت را فراهم می‌کند. با توجه به تعداد زیاد و گسترده بودن تجهیزات حفاظتی در سرتاسر شبکه، مهمترین مشکل جایگزین کردن سیستم حفاظت موجود با سیستم‌های حفاظت پیشرفته‌تر، هزینه بسیار بالای تعویض و جایگزین کردن آنها می باشد.

یکی از دلایل اولیه ایجاد خاموشی‌های سراسری کمبود اطلاعات از شرایط سیستم و کمبود آمادگی برای عملکرد در هنگام بروز اغتشاشات می‌باشد. این مسئله با پایش[4] بهتر و استفاده از کنترل هوشمند قابل مرتفع کردن می‌باشد. سیستم‌های پایش اطلاعاتی از جمله زاویه ولتاژ، حد حرارتی خطوط و پایداری مسیرهای انتقال را بصورت زمان – واقعی در اختیار قرار می‌دهند. با استفاده از

[1] Power System Stabilizer
[2] Adaptive Relaying
[3] Real-time
[4] Monitoring