بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه شاهد

دانشکده فنی و مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق– قدرت

الگوریتم حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده سیستم قدرت مبتنی بر واحد اندازه‌گیری فازوری (PMU)

استاد راهنما:

دکتر مهدی اخباری

نام دانشجو

سید ستار میرحسینی

بهمن ماه ۱۳۹۲

صفحه صورتجلسه

	اظهار نامه دانشجو	شماره: تاریخ:

اینجانب سید ستار میرحسینی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش قدرت دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه شاهد، گواهی می دهم که پایان نامه تدوین شده حاضر با عنوان؛ " الگوریتم حفاظت پشتیبان ناحیه گسترده سیستم قدرت مبتنی بر واحد اندازه‌گیری فازوری (PMU) " به راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکترمهدی اخباری، توسط شخص اینجانب انجام و صحت و اصالت مطالب تدوین شده در آن، مورد تأیید است و چنانچه هر زمان، دانشگاه کسب اطلاع کند که گزارش پایان نامه/ رساله حاضر صحت و اصالت لازم را نداشته، دانشگاه حق دارد، مدرک تحصیلی اینجانب را مسترد و ابطال نماید هم چنین اعلام می دارد در صورت بهره گیری از منابع مختلف شامل؛ گزارش های تحقیقاتی، رساله، پایان نامه، کتاب، مقالات تخصصی و غیره، به منبع مورد استفاده و پدید آورنده آن به طور دقیق ارجاع داده شده و نیز مطالب مندرج در پایان نامه/ رساله حاضر تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب و یا سایر افراد به هیچ کجا ارایه نشده است. در تدوین متن پایان نامه/ رساله حاضر، چارچوب (فرمت) مصوب تدوین گزارش های پژوهشی تحصیلات تکمیلی دانشگاه شاهد به طور کامل مراعات شده و نهایتاً این که، کلیه حقوق مادی ناشی از گزارش پایان نامه/ رساله حاضر، متعلق به دانشگاه شاهد می باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو(دست نویس) :

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تقدیم به

ساحت مقدس و ملکوتی خورشید عالم تاب ایران زمین حضرت علی ابن موسی الرضا المرتضی (ع)

به آن امید که مقبول افتد.

تشکر و قدرداني

از تمام عزیزانی که در رشد، تربیت و افزایش فهم و دانش اینجانب نقش داشته‌اند، به ویژه خانواده عزیز و فداکارم، قدردانی می‌کنم. همچنین از کلیه اساتید خصوصا استاد بزرگوار جناب آقای دکتر مهدی اخباری که این اثر با راهنمایی ایشان به وجود آمده است، سپاسگزاری می‌نمایم.

سیدستار میرحسینی
زمستان ۱۳۹۲

چکیده

این تحقیق به منظور رفع برخی کاستی‌های سیستم حفاظت پشتیبان سنتی، که از اطلاعات محلی استفاده می‌کند، یک الگوریتم حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده مبتنی بر داده‌های فازوری فراهم شده توسط سیستم اندازه‌گیری ناحیه‌گسترده ارایه می‌کند. با مقایسه دامنه ولتاژ مؤلفه‌های توالی به عنوان معیار تشخیص ناحیه خطا، مجموعه‌ای از خطوط و باس‌ها به عنوان ناحیه تحت خطا درنظرگرفته می‌شود. سپس با استفاده از ولتاژها و جریان‌های فراهم شده توسط واحداندازه‌گیری فازوری، ولتاژ و جریان مؤلفه خطا و سپس توان مختلط مؤلفه خطا تزریق شده به دو سر هر خط محاسبه می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از اندازه نسبت مجموع توان‌های مختلط مؤلفه خطا تزریقی به دو سر خط به تفاضل آنها به عنوان معیار تعیین خط تحت خطا، خط تحت خطا مشخص می‌شود. از ویژگی‌های این الگوریتم می‌توان به عدم وابستگی به پارامترهای سیستم قدرت و امپدانس خطا، عملکرد مطلوب در شرایطی مانند انتقال توان، عملکرد دو فاز خط انتقال، خطای تکامل یافته، سادگی و سرعت نسبتا بالای آن اشاره کرد. کارآیی الگوریتم پیشنهادی با شبیه‌سازی سیستم ۱۰ ژنراتور ۳۹ باس IEEE در نرم افزار DigSilent PowerFactory و پیاده‌سازی الگوریتم بر روی سیستم مذکور در نرم‌افزار Matlab اثبات می‌گردد.

کلید واژه: واحد اندازه‌گیری فازوری (PMU)، سیستم اندازه‌گیری ناحیه‌گسترده (WAMS)، حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده (WABPA)، توان مختلط مؤلفه خطا.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... أ

فهرست شکل‌ها ..... د

فهرست جدول‌ها ..... ز

فصل ۱- مقدمه‌ای بر حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده سیستم قدرت ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- کاربردهای PMU در سیستم قدرت ۱

۱-۳- حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده سیستم قدرت ۲

۱-۳-۱- عملکرد ناخواسته ناحیه ۳ رله دیستانس ۳

۱-۳-۲- خطاهای پنهان ۴

فصل ۲- ساختار و عملکرد واحد اندازه گیری فازوری (PMU) ۷

۲-۱- تاریخچه ۷

۲-۲- نمایش فازوری سینوسی‌ها ۱۰

۲-۳- تبدیل فوریه گسسته و نمایش فازوری ۱۱

۲-۴- فازور سیگنال‌های فرکانس نامی ۱۲

۲-۵- فرمول فازورهای بروز شده ۱۳

۲-۵-۱- بروز رسانی غیر بازگشتی ۱۳

۲-۵-۲- بروز رسانی بازگشتی ۱۴

۲-۶- سیستم موقعیت یاب جهانی ۱۶

۲-۷- یک PMU نمونه ۱۸

۲-۸- سلسله‌مراتب سیستمهای اندازه‌گیری ناحیه‌گسترده ۱۹

۲-۹- گزینه‌های ارتباطی برای سیستم اندازه‌گیری ناحیه گسترده ۲۱

۲-۱۰- ملزومات عملکرد PMU و PDC ۲۵

۲-۱۰-۱- تکامل استاندارد فازور سنکرون ۲۵

۲-۱۰-۲- استانداردهای ساختار فایل فازور سنکرون ۲۶

۲-۱۰-۳- فایلهای PDC ۲۷
فصل ۳- الگوریتم‌های حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده سیستم قدرت ۲۸
۳-۱- مقدمه ۲۸
۳-۲- روش مبتنی بر افت ولتاژ توالی مثبت و اختلاف زاویه جریان ۲۸
۳-۲-۱- تعیین خط تحت خطا و نزدیکترین باس به محل خطا ۲۸
۳-۲-۲- حدود آستانه ۲۹
۳-۲-۳- مطالعه موردی ۳۰
۳-۲-۴- مزایا و معایب روش ارایه شده ۳۶
۳-۳- روش مبتنی بر توزیع ولتاژ مؤلفه خطا ۳۶
۳-۳-۱- تشخیص عنصر تحت خطا ۳۷
۳-۳-۲- آشکارسازی ناحیه تحت خطا ۴۲
۳-۳-۳- طرح WABP ۴۴
۳-۳-۴- مطالعات شبیه‌سازی ۴۷
۳-۳-۵- مزایا و معایب روش ارایه شده ۵۳
۳-۴- روش مبتنی بر مؤلفه حالت دایمی خطا ۵۳
۳-۴-۱- مکان‌یابی PMU و تشکیل PCR ۵۴
۳-۴-۲- الگوریتم مکان‌یابی شاخه خطا ۵۶
۳-۴-۳- آزمایش و تحلیل نتایج ۶۰
۳-۵- مزایا و معایب روش ارایه شده ۶۵
فصل ۴- الگوریتم حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده مبتنی بر توان مختلط مؤلفه خطا ۶۶
۴-۱- مقدمه ۶۶
۴-۲- تعیین ناحیه تحت خطا ۶۶
۴-۳- تعیین خط تحت خطا ۶۸
۴-۳-۱- تئوری اصلی ۶۸
۴-۳-۲- تعریف معیارها ۷۱
۴-۳-۳- تحلیل معیارهای تعیین خط تحت خطا ۷۲

۴-۴- مطالعات شبیه‌سازی ۷۵
۴-۴-۱ بررسی عملکرد FAI و FLI ۷۶
۴-۴-۲- اثر امپدانس خطای زمین ۷۹
۴-۴-۳- اثر انتقال بار ۷۹
۴-۴-۴- اثر عملکرد دو فاز خط انتقال ۸۱
۴-۴-۵- اثر خطای تکامل یافته ۸۲
۴-۵- مزایا و معایب روش ارایه شده ۸۳
فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۵
۵-۱- نتیجه گیری و مقایسه ۸۵
۵-۲- پیشنهادات ۸۷
پیوست ا – اطلاعات IEEE-۱۰ Generator ۳۹ Bus System ۸۸
فهرست مراجع ۹۴
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ۱۰۳
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۱۰۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ حدود بارپذیری اعمال شده توسط تنظیمات ناحیه ۳ رله دیستانس ۴

شکل ۱-۲ سیستم حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده ۶

شکل ۲-۱ اوّلین واحدهای اندازه‌گیری فازوری ۸

شکل ۲-۲ موج سینوسی و نمایش فازوری آن. ۱۰

شکل ۲-۳ بروزرسانی تخمین فازور در پنجره‌هایی با N نمونه. ۱۳

شکل ۲-۴ تخمین فازور غیربازگشتی. ۱۴

شکل ۲-۵ تخمین فازور بازگشتی. ۱۵

شکل ۲-۶ نمایش موقعیت ماهواره‌های GPS ۱۷

شکل ۲-۷ عناصر اصلی یک PMU مدرن. ۱۸

شکل ۲-۸ سلسله‌مراتب سیستم‌های اندازه‌گیری ناحیه‌گسترده ۲۰

شکل ۲-۹ ساختار کابل فیبر نوری مورد استفاده در صنعت برق ۲۲

شکل ۲-۱۰ آرایش‌های متداول مجموعه فیبر نوری در سیستم قدرت ۲۳

شکل ۲-۱۱ ملزومات عملکرد PMU برای ورودی‌هایی با فرکانس‌های غیراسمی ۲۵

شکل ۲-۱۲ فرمت فایلهای ارسال و دریافت داده توسط PMU ۲۶

شکل ۳-۱ منطق اجرای روش پیشنهادی ۲۹

شکل ۳-۲ بخشی از شبکه ۵۰۰/۲۲۰ KV کشور مصر ۳۰

شکل ۳-۳ دیاگرام تک خطی شبکه مورد مطالعه ۳۱

شکل ۳-۴ ساختار سیستم حفاظت پیشنهادی ۳۱

شکل ۳-۵ ولتاژهای سه‌فاز نواحی مختلف حین وقوع خطا روی خط ۱ ..... ۳۲

شکل ۳-۶ جریان‌های سه فاز خطوط ۱، ۲ و ۳ حین وقوع خطا روی خط ۱ ..... ۳۳

شکل ۳-۷ دامنه ولتاژ توالی مثبت باس‌های سیستم ۳۳

شکل ۳-۸ اختلاف زاویه ولتاژ و جریان توالی مثبت در خطوط ۱، ۲ و ۳ ..... ۳۴

شکل ۳-۹ دامنه ولتاژ توالی مثبت باس‌های سیستم ۳۴

شکل ۳-۱۰ اختلاف زاویه ولتاژ و جریان توالی مثبت در خطوط ۱، ۲ و ۳ ..... ۳۵
شکل ۳-۱۱ دامنه ولتاژ توالی مثبت باس‌های سیستم ۳۵
شکل ۳-۱۲ اختلاف زاویه ولتاژ و جریان توالی مثبت در خطوط ۱، ۲ و ۳ ..... ۳۶
شکل ۳-۱۳ شبکه مؤلفه خطای یک سیستم دو ترمینال با خطاهای داخلی و خارجی ۳۷
شکل ۳-۱۴ توزیع ولتاژهای مؤلفه خطای اندازه‌گیری شده و تخمینی ۳۸
شکل ۳-۱۵ منطق قطع مؤلفه خطای توالی مثبت ۴۰
شکل ۳-۱۶ توزیع ضریب نسبت ولتاژ خطا در طول خط ۴۱
شکل ۳-۱۷ مشخصه عملکرد معیار تعیین عنصر خطا ۴۲
شکل ۳-۱۸ ساختار سیستم WABP ۴۵
شکل ۳-۱۹ نمودار تشخیص خطای زمین توسط پست اصلی ناحیه ۴۵
شکل ۳-۲۰ نمودار روند عملکرد پست m با فرض مجاورت آن با پست n ۴۶
شکل ۳-۲۱ شبکه ۱۰ ژنراتور ۳۹ باس IEEE ۴۷
شکل ۳-۲۲ اثر عملکرد دو فاز خط روی FEI ۵۰
شکل ۳-۲۳ اثر خطاهای تکامل یافته روی FEI ۵۱
شکل ۳-۲۴ دامنه جریان توالی مثبت خط $L_{۲۵}$ در حالت انتقال بار ۵۲
شکل ۳-۲۵ اثر انتقال بار روی FEI ۵۳
شکل ۳-۲۶ شبکه خطای حالت دایم یک PCR تعمیم‌یافته ۵۷
شکل ۳-۲۷ شبکه توسعه‌یافته خطای حالت دایم یک PCR تعمیم‌یافته ۵۷
شکل ۳-۲۸ شبکه ۱۰ ژنراتور ۳۹ باس IEEE ۶۱
شکل ۳-۲۹ جریان‌های تفاضلی حالت دایمی خطا در PCRهای مختلف در یک خطای تکفاز ۶۳
شکل ۳-۳۰ جریان‌های تفاضلی حالت دایمی خطا در PCRهای مختلف در یک خطای سه فاز ۶۴
شکل ۴-۱ توزیع ولتاژهای توالی در حالت وقوع خطا در یک سیستم دو ترمینال ۶۷
شکل ۴-۲ مدار معادل مؤلفه خطای یک سیستم قدرت دو ترمینال الف- خطای خارجی ب- خطای داخلی ۶۹
شکل ۴-۳ اثر محل وقوع خطا بر معیار FLI ۷۳

شکل ۴-۴ اثر امپدانس‌های معادل سیستم و امپدانس خط بر معیار k الف- $\boldsymbol{a = 0/2}$ ب- $\boldsymbol{a = 0/5}$ ج- $\boldsymbol{a = 0/8}$ ۷۵
شکل ۴-۵ سیستم ۱۰ ژنراتور ۳۹ باس IEEE ۷۶
شکل ۴-۶ معیارهای FLI خطوط مشکوک به خطا در خطای تکفاز روی خط (۴-۱۴)L ۷۷
شکل ۴-۷ دامنه جریان‌های توالی مثبت در حین انتقال بار ۸۰
شکل ۴-۸ معیار k۱ مربط به خط (۲۳-۲۴)L در شرایط انتقال بار ۸۱
شکل ۴-۹ معیارهای FLI در شرایط عملکرد دو فاز خط (۲۳-۲۴)L ۸۲
شکل ۴-۱۰ تغیرات k۱ در شرایط خطای تکامل یافته ۸۳

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱ تخمین فازورهای داده نمونه‌برداری شده ۱۶

جدول ۲-۲ تاخیرانتقال داده در انواع لینک‌های مخابراتی ۲۴

جدول ۳-۱ مشخصات پنج باس مورد مطالعه ۳۰

جدول ۳-۲ مشخصات خطوط انتقال ۳۱

جدول ۳-۳ تعداد پست‌های عمل‌کننده در آشکارسازی ناحیه خطا ۴۸

جدول ۳-۴ نتایج تشخیص FIB ۴۸

جدول ۳-۵ نتایج تشخیص SFL ۴۹

جدول ۳-۶ نتایج تشخیص FEI ۴۹

جدول ۳-۷ اثر مقاومت خطا روی FEI ۵۰

جدول ۳-۸ اثر عملکرد دو فاز خط روی FEI ۵۱

جدول ۳-۹ اثر خطاهای تکامل یافته روی FEI ۵۲

جدول ۳-۱۰ نتایج مکان‌یابی PMUها ۶۱

جدول ۳-۱۱ تحلیل توپولوژی PCRهای ویژه ۶۱

جدول ۳-۱۲ تحلیل توپولوژی PCRهای تعمیم یافته ۶۳

جدول ۳-۱۳ مقادیر FCF محاسبه شده برای شاخه‌های (۱)، (۲) و (۳) ۶۴

جدول ۴-۱ نتایج FAI و FLI در خطا روی خط L(۴-۱۴) ۷۷

جدول ۴-۲ نتایج FAI و FLI در خطا روی خط L(۱۷-۱۸) ۷۸

جدول ۴-۳ نتایج FAI و FLI در خطا روی خط L(۸-۹) ۷۸

جدول ۴-۴ اثر مقاومت خطا بر FLI در خطار تکفاز روی خط L(۴-۱۴) ۷۹

جدول ۴-۵ معیارهای FLI خط L(۲۳-۲۴) در شرایط عملکرد دو فاز ۸۲

فصل ۱ ـ مقدمه‌ای بر حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده سیستم قدرت

۱ ـ ۱ ـ مقدمه

شرکت‌های تأمین‌کننده توان الکتریکی برای رویارویی با اغتشاشات گسترده که اغلب منجر به خاموشی‌های وسیع در سیستم قدرت می‌شوند به ابزارهایی نیاز دارند. وقتی یک اغتشاش بزرگ رخ می‌دهد سیستم‌های کنترل و حفاظت نقش مهمی در جلوگیری از بدتر شدن شرایط سیستم قدرت، بازگردانی سیستم به شرایط عادی و کاهش اثرات اغتشاش به عهده می‌گیرند. پیشرفت تکنولوژی اطلاعات و ارتباطات و پیدایش سنسورها و اصول اندازه‌گیری جدید، کاربرد واحد اندازه‌گیری فازوری[۱] (PMU) را رواج داده است. استفاده از تکنولوژی PMU، سیستم اندازه‌گیری ناحیه‌گسترده[۲] (WAMS) را بمنظور کنترل و حفاظت پیشرفته و در نتیجه مدیریت بهتر امنیت سیستم قدرت، توانمند ساخته است.

۱ ـ ۲ ـ کاربردهای PMU در سیستم قدرت

تکنولوژی PMU نسبتاً جدید بوده و گروه‌های تحقیقاتی متعددی در سراسر دنیا فعالانه در حال توسعه کاربردهای آن می‌باشند. PMU راه حل‌های مبتکرانه‌ای برای مشکلات سیستم‌های قدرت سنتی فراهم می‌کند. تخمین دقیق حالت سیستم قدرت در بازه‌های زمانی مکرر و پیاپی توسط PMUها امکان مشاهده و بررسی پدیده‌های دینامیکی از یک محل مرکزی و انجام اقدامات حفاظتی و کنترلی مناسب را فراهم می‌سازد. به نظر می‌رسد این کاربردها را می‌توان به صورت زیر دسته بندی کرد[۱]:

- مانیتورینگ بلادرنگ[۳] سیستم
- حفاظت پیشرفته سیستم
- طرح‌های کنترل پیشرفته سیستم

برخی از موارد کاربرد PMU در زیر بیان شده است:

- با استفاده از PMU می‌توان از کیفیت توان تحویلی به مشتری اطمینان حاصل نمود.

- با داشتن تصویر لحظه‌ای دقیق از حالت سیستم قدرت تحلیل‌های پس از وقوع اغتشاش بهبود قابل ملاحظه‌ای پیدا خواهند کرد.

---

[۱] Phasor Measurment Unit

[۲] Wide Area Measurement System

[۳] Real Time

- با استفاده از PMU می‌توان حساسیت سیستم قدرت به پیشامدهای مختلف (برآورد امنیت[1] سیستم قدرت) را مورد بررسی و تحلیل قرار داد.

- حفاظت پیشرفته مبتنی بر اندازه‌گیری فازوری سنکرون، با امکان بهبود پاسخ کل سیستم به رخدادهای فاجعه بار، قابل پیاده سازی خواهد بود.

- امکان کنترل پیشرفته با استفاده از فیدبک راه دور و در پی آن بهبود عملکرد کنترل کننده‌ها میسر خواهد شد.

ویژگی‌های کلی PMUها در زیر آورده شده است :

PMUها شکل موج‌های AC با فرکانس ۵۰/۶۰ Hz را با نرخ‌های مختلف نمونه‌برداری می‌کنند. سپس با استفاده از الگوریتم‌های شبه DFT و برچسب زمانی فازور شکل موج نمونه‌برداری شده را در یک چارچوب زمانی سراسری در کل سیستم قدرت محاسبه می‌کنند. اطلاعات حاصل از دو مرحله قبل به یک دریافت کننده محلی یا دوردست ارسال می‌شود. استراتژی اصلی جایابی PMU با توجه به مشخصه-های ذاتی سیستم قدرت تعیین می‌شود.

به منظور مانیتورینگ بلادرنگ عملکرد دینامیکی سیستم قدرت، سیستم اندازه‌گیری ناحیه‌گسترده باید قابلیت مانیتورینگ عناصر زیر را داشته باشند :

- لینک‌ها و خطوط مهمی که مشخصه‌های اصلی سیستم را منعکس می‌کنند.

- پست‌های مهم سیستم

- نیروگاه‌ها و منابع تولید با اهمیت

- ادوات مهم سیستم همچون TCSC, SVC, HVDC و دیگر ادوات FACTS

اندازه‌گیری‌های انجام شده باید امکان مشاهده بلادرنگ عملکرد سیستم و ثبت و تحلیل اغتشاشات آن را فراهم کند.

با توجه به اینکه موضوع این تحقیق حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده سیستم قدرت می‌باشد، در بخش بعد این موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱ ۳ - حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده سیستم قدرت

سیستم‌های حفاظت پشتیبان سنتی عموماً به اطلاعات اندازه‌گیری‌های ناحیه‌گسترده وابسته نبوده و تنها از اندازه‌گیری‌های محلی استفاده می‌کنند. این سیستم‌های حفاظتی ممکن است در شرایط عملکرد سیستم قدرت تحت استرس شدید دچار عملکرد اشتباه شوند. عملکرد نادرست یا عدم عملکرد سیستم حفاظت منجر به افزایش شدت و گسترش اغتشاشات بزرگ در سیستم قدرت می‌شود. از طرفی در فضای

[1] Security Assessment

رقابتی امروز، شبکه‌های انتقال کاملاً به هم پیوسته شده‌اند و به منظور افزایش توان انتقالی و افزایش بهره‌وری اقتصادی خطوط انتقال را در نزدیکی مرزهای عملکرد آن‌ها مورد بهره برداری قرار می‌دهند[۲]. به همین جهت بازنگری سیستم حفاظت پشتیبان سنتی و بررسی تغییرات آن برای رویارویی با چالش-های رقابتی امروز ضروری به نظر می‌رسد.

با پیشرفت‌های اخیر در مخابرات، فناوری اطلاعات و ارتباطات و شبکه‌های کامپیوتری و نیز توسعه چشمگیر واحد اندازه‌گیری فازوری و در پی آن پیدایش سیستم‌های اندازه‌گیری ناحیه‌گسترده، این امکان وجود دارد که الگوریتم‌های حفاظتی پیچیده تر با یک دید گسترده‌تر نسبت به سیستم تحت حفاظت، که استانداردهای امنیت و قابلیت اعتماد سیستم‌های حفاظتی مدرن را برآورده می‌کنند، به کار گرفته شود[۳].

رله‌های حفاظتی بخش مهمی از حفاظت شبکه قدرت را تأمین می‌کنند. عملکرد سیستم‌های حفاظت پشتیبان سنتی بر پایه اطلاعات الکتریکی محلی صورت می‌گیرد و این سیستم‌ها غالبا در شرایط عملکرد غیرعادی سیستم قدرت عملکرد مطلوب را نخواهند داشت. عملکرد نادرست یا عدم عملکرد حفاظت به عنوان یکی از عوامل و سرچشمه‌های افزایش شدت و گسترش اغتشاشات بزرگ در سیستم قدرت شناخته شده است[۴]. دو مساله مهم در این زمینه عبارتند از :

- عملکرد ناخواسته[۱] ناحیه ۳ رله‌های دیستانس در شرایطی مانند اضافه بار و انتقال توان
- بروز خطاهای پنهان[۲] در عملکرد رله‌های سیستم حفاظت

۱ ٤ ۱ - عملکرد ناخواسته ناحیه ۳ رله دیستانس

توصیه عملی شرکت شبکه ملی[۳] این است که حفاظت خط انتقال با استفاده از دو حفاظت اولیه شامل حفاظت دیفرانسیل خطاهای فاز و زمین و حفاظت دیستانس خطاهای فاز و زمین به همراه یک حفاظت پشتیبان با تاخیر زمانی صورت گیرد. حفاظت پشتیبان شامل حفاظت دیستانس ناحیه ۲ و ناحیه ۳ به همراه حفاظت اضافه جریان خطای زمین می‌باشد. اگر خطا توسط حفاظت اولیه باس برطرف نشده باشد، عناصر حفاظت ناحیه ۲ باید خطاهای فاز و زمین روی باس واقع در انتهای فیدر را با تاخیر زمانی در حدود ۱۵ تا ۳۰ سیکل تشخیص داده و برطرف کنند. اگر خطا توسط حفاظت اولیه باس و یا حفاظت ناحیه ۲ برطرف نشده باشد عناصر ناحیه ۳ باید خطاهای فاز و زمین روی هر خط متصل به انتهای خط اصلی را در زمانی در حدود ۹۰ سیکل تشخیص داده و برطرف کنند. عناصر حفاظت اضافه جریان زمین نیز می‌بایست خطاهای زمین مقاومتی با زمان‌هایی در حدود ۱تا ۳ ثانیه را برطرف کنند[۵] و [۶].

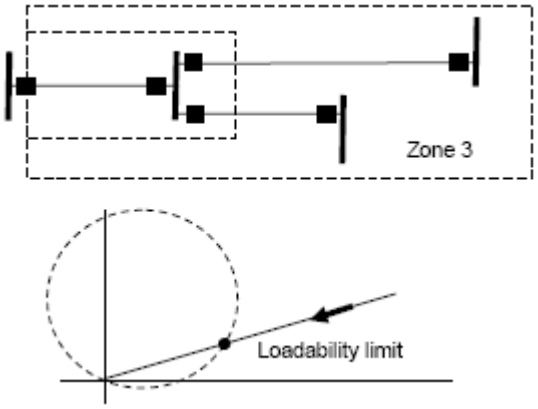
---

[۱] Unwanted Trip

[۲] Hidden Failures

[۳] National Grid Company

اما مساله شناخته شده این است که ناحیه ۳ رله‌های دیستانس در اثر افزایش و یا انتقال[۱] بار طی اغتشاشات سیستم قدرت مستعد تریپ هستند. به عنوان نمونه می‌توان به خاموشی ۱۴ آگوست سال ۲۰۰۴ در آمریکای شمالی اشاره کرد. طبق گزارش شورای ملی قابلیت اعتماد الکتریکی (NERC)[۲]، تریپ‌های متوالی ناشی از عملکرد ناخواسته ناحیه سوم رله‌های دیستانس از جمله عوامل مهم گسترش اغتشاش و ایجاد خاموشی بوده است[۷]. در شکل (۱-۱) مشخصه مهوی رله دیستانس نمایش داده شده است. افزایش بار منجر به حرکت در جهت نشان داده شده و ورود به ناحیه قطع رله و عملکرد نابجای آن می‌شود. اما از آنجا که وجود حفاظت پشتیبان امری ضروری و مؤثر است، برای رفع این مشکل باید اقداماتی اتخاذ گردد. برای رفع این مشکل راه‌حل‌های گوناگونی از طرح‌های بلوکه سازی ناحیه سوم حفاظت دیستانس [۸] و حفاظت تطبیقی[۳] سیستم انتقال [۹] گرفته تا حذف کامل ناحیه سوم حفاظت دیستانس و جایگزینی آن با حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده [۱۰]، [۱۱] و [۱۲] ارایه شده است.



شکل ۱-۱ حدود بارپذیری اعمال شده توسط تنظیمات ناحیه ۳ رله دیستانس

۱ ۳ ۲ - خطاهای پنهان

در بررسی داده‌های فراهم شده توسط شورای قابلیت اعتماد الکتریکی امریکای شمالی [۱۳] میزان تاثیر رله‌ها در وقوع اغتشاشات بزرگ آشکار گردید. در سیستم حفاظت مکانیسمی تحت عنوان خطاهای پنهان وجود دارد. در این مکانیسم رله‌ها اغتشاشات بزرگ را به وجود نمی‌آورند اما در انتشار پدیده‌هایی که ممکن است منجر به یک پیشامد محلی گردد، نقش دارند. طبق داده‌های NERC که از ضبط دامنه و مدّت زمان ۱۰ اغتشاش بزرگ در یک سال حاصل شده است، در یک دوره قابل توجّه رله‌ها در وقوع حدود دو سوم از این رخدادها نقش داشته اند. در هر رخداد بزرگ هزاران رله وجود دارد که به درستی عمل می‌کنند اما اگر معایبی در یک رله وجود داشته باشد شرایط سیستم تحت استرس در اغتشاشات

[۱] Flow Transfer

[۲] National Electrical Reliability Council

[۳] Adaptive Protection

بزرگ می‌تواند موجب عملکرد نادرست رله شود. این حقیقت که عیب موجود در رله تا زمان بروز شرایط آشکار نیست دلیل استفاده از کلمه پنهان در عبارت "خطای پنهان" می‌باشد. تعمیر و نگهداری[1] می‌تواند منشأ این خطاهای پنهان باشد. سیستم‌های پیچیده بزرگ برای کار در حالتی که تمام عناصر سالم هستند طراحی می‌شوند اما در شرایط استرس خاص تمام عناصر معیوب دست به دست هم داده و اغتشاش در یک وسعت غیرعادی منتشر می‌شود[۱۴]. برخی از عیوب در رله‌ها موجب عملکرد آنی نادرست در همان لحظه وقوع عیب شده و در مقوله خطاهای پنهان قرار نمی‌گیرد. مکانیسم دقیق خطاهای پنهان در شماری از طرح‌های حفاظتی رایج در مراجع [۱۵] و [۱۶] بیان شده است.

علاوه بر دو مساله مذکور، پیچیدگی و گسترش سیستم‌های قدرت هماهنگی زمان عملکرد و محدوده دسترسی رله‌ها را دشوار ساخته است و دشواری در هماهنگ‌سازی حفاظت‌های پشتیبان سنتی به دلیل اصول پیچیده عملکرد آنها نیز یکی از معایب اینگونه سیستم‌های حفاظتی می‌باشد. از مباحث بیان شده می‌توان نتیجه گرفت که از دیدگاه امنیت کلی سیستم قدرت حفاظت‌های پشتیبانی سنتی بهترین گزینه برای این منظور نیستند. بنابراین برای غلبه بر مشکلات بیان شده اصول طراحی حفاظت نیاز به نوآوری دارد.

با توسعه WAMS تکنیک‌های جدید حفاظت سیستم مبتنی بر اطلاعات ناحیه‌گسترده (WAI)[2] توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است. مقالات موجود در این زمینه را می‌توان به دو مقوله تقسیم کرد : مقالاتی که به بهبود کنترل پایداری سیستم پرداخته‌اند [۱۷] و مقالاتی که به بهبود عملکرد حفاظت سنتی پرداخته‌اند [۱۸]. حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده (WABP)[3] مبتنی بر تشخیص عنصر خطا، موضوع داغ تحقیقات امروز، به مقوله دوم تعلق دارد.

شکل (۲-۱) تصویری کلی از سیستم حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده را نشان می‌دهد. PMUها کمیت‌های الکتریکی اصلی شامل دامنه و فاز فازورهای ولتاژها و جریان‌های سیستم، فرکانس و نرخ تغییر آن را اندازه‌گیری می‌کنند. داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط PMUها از طریق یک شبکه ارتباطی به یک مرکز جمع آوری داده ارسال می‌شوند. نحوه عملکرد WABP به این ترتیب است که ابتدا با استفاده از اطلاعات ناحیه‌گسترده، عنصر خطای موجود در ناحیه حفاظتی مشخص می‌شود، سپس در مواردی که حفاظت اصلی و یا بریکر دچار خطا شده‌اند با استفاده از هماهنگی توالی ساده بین بریکرهای مرتبط، خطا رفع می‌گردد. این روش می‌تواند بر معایب و کاستی‌های حفاظت پشتیبان سنتی غلبه کرده و از تریپ‌های متوالی جلوگیری کند. سیستم حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده می‌تواند بدون صرف زمان طولانی برای اطمینان از صحت اقدام انتخابی، اطلاعات بیشتری را جمع آوری کند [۱۹]. به عبارت دیگرحفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده مسأله انتخاب را با صرف هزینه افزایش زمان اقدام، تضمین

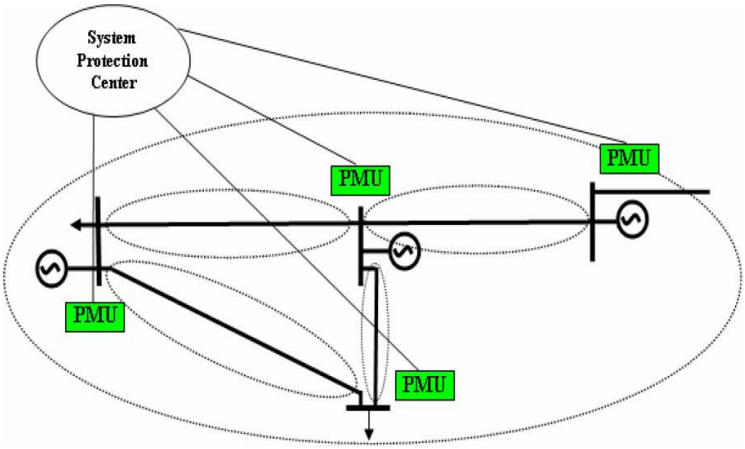
---

[1] Maintenance

[2] Wide Area Information

[3] Wide Area Backup Protection

نخواهد کرد و در مقایسه با حفاظت پشتیبان سنتی بر مشکل زمان غلبه می‌کند. با توجه به اینکه تصمیم گیری براساس داده‌های جمع آوری شده از کل سیستم قدرت و نه به صورت مستقل، صورت می‌گیرد. این روش براساس نظارت مستقیم و آشکار عمل می‌کند، تمام نواحی سیستم قدرت را دیده و حفاظت واحد را برای خطوط انتقال میسر می‌سازد و درجه بالایی از قابلیت اعتماد و پایداری را فراهم می‌کند.



شکل ۱-۲ سیستم حفاظت پشتیبان ناحیه‌گسترده

با توجه به اینکه سیستم اندازه‌گیری ناحیه‌گسترده بستر اصلی پیدایش سیستم حفاظت ناحیه‌گسترده را تشکیل می‌دهد در فصل بعد واحد اندازه‌گیری فازوری و سیستم اندازه‌گیری ناحیه‌گسترده مورد بررسی قرار می‌گیرد.