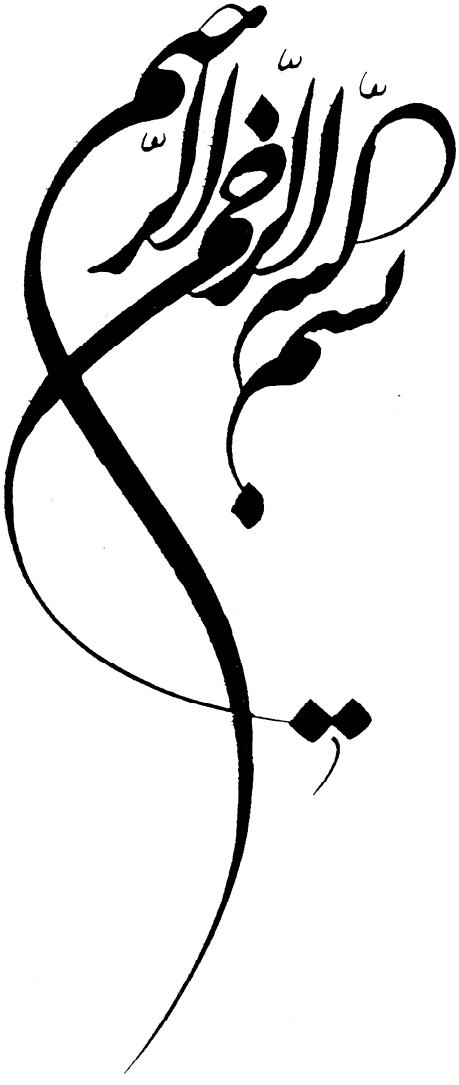
بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

مطالعه قابلیت اطمینان پست‌های فشارقوی و شبکه‌های توزیع مجهز شده به محدودکننده‌های جریان خطا

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- قدرت

سمیه مهری بروجنی

استاد راهنما

دکتر اکبر ابراهیمی

تابستان ۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی برق- قدرت خانم سمیه مهری بروجنی

تحت عنوان

مطالعه قابلیت اطمینان پست‌های فشارقوی و شبکه‌های توزیع مجهز شده به محدودکننده‌های جریان خطا

درتاریخ ۹۲/۶/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرارگرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه — دکتر اکبر ابراهیمی

۲- استاد داور — دکتر رضا یوسفی

۳- استاد داور — دکتر محمد امین لطیفی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشگاه — دکتر مسعود عمومی

تشکر و قدردانی

با سپاس از خداوند بی‌همتا که پروردگار جهانیان و معبود عالمیان است، و قدردانی از پدر و مادر مهربانم و خواهران خوبم که همواره یار و یاور من بوده‌اند.

مراتب سپاسگزاری خود را نسبت به استاد گرانقدر جناب آقای دکتر اکبر ابراهیمی‌که در طول مدت انجام این پروژه بنده را از راهنمایی‌هایشان بهره‌مند ساختند، ابراز می‌دارم. هم‌چنین از کلیه اساتید دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان مخصوصا گروه قدرت سپاسگزاری می‌کنم.

در انتها از مسئولان شرکت برق منطقه‌ای اصفهان به دلیل حمایت از این پایان‌نامه تشکر می‌نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان‌نامه متعلق به دانشگاه صنعتی

اصفهان است.

تقدیم به

پدر فداکار

و

مادر مهربانم

فهرست مطالب

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه ۲

فصل دوم: محدودسازی جریان اتصال‌کوتاه ۷

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- لزوم محدودسازی ۷

۲-۳- محدودکننده جریان اتصال‌کوتاه ۸

۲-۴- روش‌های محدوسازی جریان اتصال‌کوتاه در پست‌ها ۹

۲-۴-۱- تقسیم باس‌بار ۱۰

۲-۴-۲- نصب راکتور ۱۱

۲-۴-۳- سویچینگ ترتیبی ۱۳

۲-۴-۴- محدودکننده جریان خطا ۱۳

۲-۵- انواع **FCL** ۱۵

۲-۵-۱- Is-limiterها ۱۵

۲-۵-۲- محدودکننده جریان خطای حالت جامد ۱۶

۲-۵-۳- محدودکننده جریان خطا ابررسانایی ۱۹

۲-۵-۴- محدودکننده غیرفوق‌هادی نوع راکتور DC ۲۸

۲-۶- اثرات محدودکننده‌های جریان خطا: ۲۹

۲-۶-۱- اثرات کاهش جریان اتصال‌کوتاه بر تجهیزات پست‌های فشارقوی ۳۰

۲-۶-۲- اثرات به‌کارگیری FCL بر شبکه ۳۱

۲-۶-۳- اثر FCL بر روی بهبود کیفیت توان و تثبیت ولتاژ ۳۴

۲-۶-۴- اثر FCL بر روی کاهش تلفات ۳۴

۲-۶-۵- اثر FCL در اصلاح دینامیک سیستم‌های تولیدپراکنده ۳۴

۲-۶-۶- اثر FCL برروی ولتاژ بازگشتی گذرا برای خطا در مجاورت ترمینال کلید ۳۵

۲-۷- محاسبات اقتصادی ۳۶

۲-۸- سابقه استفاده از محدودساز جریان خطا ۴۰

فصل سوم: روش‌های محاسبه پارامترهای قابلیت اطمینان و بررسی حالت‌های خطا ٤١

۳-۱- مقدمه ۴۱

۳-۲- روش‌های تقریبی ۴۲

۳-۲-۱- سیستمهای با شبکه متوالی ۴۲
۳-۲-۲- سیستمهای با شبکه موازی ۴۴
۳-۳- پست‌ها و ایستگاههای کلیدزنی ۴۸
۳-۳-۱- اثراتصال‌کوتاهها و عملکرد کلیدها ۴۸
۳-۳-۲- حالت‌های خطا و عملکرد تجهیزات سیستم ۵۰
۳-۳-۳- خطاهای اتصال‌کوتاه و مدارباز ۵۱
۳-۴- خطاهای فعال و پسیو ۵۲
۳-۴-۱- مفاهیم اساسی ۵۲
۳-۴-۲- تأثیر حالت‌های خطا ۵۴
فصل چهام: بررسی تأثیر محل نصب محدودکننده‌های جریان‌خطا در قابلیت اطمینان پست‌های فشارقوی با شینه‌بندی‌های مختلف ٥٦
۴-۱- مقدمه ۵۶
۴-۲- چگونگی محدودشدن جریان اتصال‌کوتاه توسط FCL ۵۶
۴-۳-کاربرد محدودکننده جریان خطا در مناطق مختلف سیستم ۵۷
۴-۴- باس‌بار ساده با بریکر ۵۸
۴-۴-۱- معرفی حالت‌های خطای بار L_1 بدون حضور FCL ۵۹
۴-۴-۲- معرفی حالت‌های خطای بار L_4 بدون حضور FCL ۶۰
۴-۴-۳- معرفی حالت‌های خطای بار L_1 با حضور FCL در باس‌کوپلر ۶۰
۴-۴-۴- معرفی حالت‌های خطای بار L_1 با حضور FCL در فیدرهای ورودی ۶۱
۴-۴-۵- معرفی حالت‌های خطای بار L_1 با حضور FCL در فیدرهای خروجی ۶۲
۴-۴-۶- معرفی حالت‌های خطای بار L_4 با حضور FCL در باس‌کوپلر، فیدرهای ورودی و فیدرهای خروجی ۶۳
۴-۵- باس‌بار دوبل با یک بریکر ۶۴
۴-۶- باس‌بار حلقوی ۶۶
۴-۷- شینه‌بندی یک ونیم بریکری ۶۸
۴-۸- باس‌بار دوبل با دو بریکر ۷۱
۴-۹- روش محاسبه ۷۴
۴-۱۰- بخش مطالعات عددی ۷۵
فصل پنجم: بررسی تأثیر محدودکننده‌های جریان خطا در شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه‌های توزیع ۷۹

۵-۱- مقدمه ۷۹
۵-۲- شاخص‌های اصلی محاسبه قابلیت اطمینان سیستم توزیع ۸۰
۵-۳- شاخص‌های مصرف‌کننده ۸۱
۵-۳-۱- شاخص متوسط قطع برق سیستم ۸۱
۵-۳-۲- شاخص دوره زمانی متوسط قطع برق سیستم ۸۱
۵-۳-۳- شاخص متوسط دسترسی به انرژی برق ۸۱
۵-۳-۴- شاخص کل انرژی تامین نشده ۸۱
۵-۴- ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع ۸۲
۵-۵- ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم قدرت ۸۴
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۷
۶-۱- نتیجه‌گیری ۸۷
۶-۲- پیشنهادات ۸۹
پیوست الف ۹۰
مشخصات شبکه انتخاب شده جهت محاسبات اقتصادی ۹۰
مراجع ۹۳

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱: مقایسه هزینه چهار روش مقابله با افزایش سطح اتصال‌کوتاه ۳۹

جدول ۲-۲: سابقه استفاده از محدودکننده جریان در کشورهای مختلف ۴۰

جدول ۴-۱: حالت‌های خطای بار L_1 باس‌بار ساده با بریکر و بدون FCL ۵۹

جدول ۴-۲: نمایش گسترده ردیف ۶ جدول شماره ۴-۱ ..... ۶۰

جدول ۴-۳: حالت‌های خطای بار L_4 باس‌بار ساده با بریکر و بدون FCL ۶۰

جدول ۴-۴: حالت‌های خطا بار L_1 باس‌بار ساده با بریکر و با FCL در باس‌کوپلر ۶۱

جدول ۴-۵: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_1 و FCL در فیدرهای ورودی ۶۲

جدول ۴-۶: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_1 و FCL در فیدرهای خروجی ۶۳

جدول ۴-۷: حالت‌های خطا بار L_4 باس‌بار ساده با بریکر و با FCL در باس‌کوپلر ۶۳

جدول ۴-۸: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_4 و FCL در فیدرهای ورودی ۶۳

جدول ۴-۹: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_4 و FCL در فیدرهای خروجی ۶۳

جدول ۴-۱۰: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_1 باس‌بار دوبل با بریکر و بدون FCL ۶۴

جدول ۴-۱۱: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_1 باسبار دوبل با بریکر و FCL در باسبار ۶۵

جدول ۴-۱۲: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_1 باس‌بار دوبل با بریکر و FCL در فیدرهای ورودی ۶۶

جدول ۴-۱۳: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_1 باس‌بار دوبل با بریکر و FCL در فیدرهای خروجی ۶۶

جدول ۴-۱۴: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_4 باس‌بار حلقوی و بدون FCL ۶۷

جدول ۴-۱۵: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_4 باس‌بار حلقوی و با FCL در فواصل باس‌بارهای ۱ و ۶ و باس‌بارهای ۳ و ۴ ..... ۶۸

جدول ۴-۱۶: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_4 باس‌بار حلقوی و با FCL در فواصل باس‌بارهای ۱و۲ و باس‌بارهای ۳و ۲،
باس‌بارهای ۴و۵ و باس‌بارهای ۵ و ۶ ..... ۶۸

جدول ۴-۱۷: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_4 شینه‌بندی یک ونیم بریکری و بدون FCL ۷۰

جدول ۴-۱۸: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_4 شینه‌بندی یک ونیم بریکری و با FCL در باس‌بارها ۷۱

جدول ۴-۱۹: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_4 شینه‌بندی یک ونیم بریکری با FCL در بی‌های میانی ۷۱

جدول ۴-۲۰: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_4 شینه‌بندی یک ونیم بریکری با FCL در فیدرهای ورودی ۷۱

جدول ۴-۲۱: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_1 شینه‌بندی باس‌بار دوبل با دو بریکر بدون FCL ۷۲

جدول ۴-۲۲: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_1 شینه‌بندی باس‌بار دوبل با دو بریکر با FCL در باس‌بارها ۷۳

جدول ۴-۲۳: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_1 شینه‌بندی باس‌بار دوبل با دو بریکر و FCL در فیدرهای ورودی ۷۴

جدول ۴-۲۴: حالت‌های خطا مرتبط با بار L_1 شینه‌بندی باس‌بار دوبل با دو بریکر و FCL در فیدرهای خروجی ۷۴

جدول ۴-۲۵: اطلاعات قابلیت اطمینان تجهیزات ۷۶

جدول ۴-۲۶: شاخص نرخ خرابی شینه‌بندی‌های مختلف ۷۶
جدول ۴-۲۷: شاخص قطعی سالیانه شینه‌بندی‌های مختلف ۷۷
جدول ۵-۱: اطلاعات مشتریان شبکه تست ۸۳
جدول ۵-۲: اطلاعات قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه تست ۸۳
جدول ۵-۳: اطلاعات خطوط شبکه تست ۸۴
جدول ۵-۴: شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه توزیع ۸۴
جدول ۵-۵: شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه تست با لحاظ تأثیر پست بالادست ۸۵

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱: شبکه نمونه جهت نمایش روش شکافتن شبکه و تغییر آرایش آن ۱۰
شکل ۲-۲: برخی اتصالات متداول CLR ۱۲
شکل ۲-۳: محدودشدن جریان خطا توسط FCL ۱۴
شکل ۲-۴: شکل سمت چپ مسیر جریان در وضعیت کار عادی شبکه- شکل سمت راست جریان خطا به فیوز منتقل شده ۱۵
شکل ۲-۵: ساختاریک Is-limiter نمونه ۱۶
شکل ۲-۶: ساختار معمول برای یک محدودکننده جریان خطای حالت جامد ۱۷
شکل ۲-۷: ساختار متفاوت برای یک محدودکننده جریان خطای حالت جامد ۱۷
شکل ۲-۸: ساختار یک محدودکننده جریان خطای حالت جامد با شاخه میانی ۱۸
شکل ۲-۹: مدار معادل محدودکننده رزونانسی سری- موازی در زمان اتصال‌کوتاه ۱۸
شکل ۲-۱۰: مدل یک سیم ابررسانا در دماها و جریان‌های مختلف ۲۰
شکل ۲-۱۱: تغییرات مقاومت ابررسانا با تغییرات دما ۲۰
شکل ۲-۱۲: تغییرات مقاومت ابررسانا با تغییرات چگالی جریان ۲۱
شکل ۲-۱۳: مدل مداری یک محدودکننده ابررسانایی نوع شیلد اندوکتانسی ۲۱
شکل ۲-۱۴: تغییرات امپدانس محدودکننده با تغییرات چگالی جریان ۲۲
شکل ۲-۱۵: مدل مداری یک محدودکننده ابررسانایی نوع اندوکتانسی اشباع شونده ۲۲
شکل ۲-۱۶: منحنی هیسترزیس محدودکننده اشباع و نقاط کار آن در کار عادی و اتصال‌کوتاه ۲۳
شکل ۲-۱۷: جریان اتصال‌کوتاه و اندوکتانس معادل محدودکننده در زمان اتصال‌کوتاه ۲۳
شکل ۲-۱۸: ساختارهای مختلف محدودکننده نوع راکتور DC در حالت تک‌فاز ۲۴
شکل ۲-۱۹: ساختارهای مختلف محدودکننده نوع راکتور DC در حالت سه‌فاز ۲۵
شکل ۲-۲۰: نحوه اتصال نوع سه‌فاز این محدودکننده به شبکه ۲۶
شکل ۲-۲۱: ساختار محدودکننده نوع راکتور DC اشباع شونده در حالت تک‌فاز ۲۶
شکل ۲-۲۲: منحنی هیسترزیس محدودکننده و نقاط کار آن در حالت عادی و اتصال‌کوتاه ۲۷
شکل ۲-۲۳ : جریان خط در زمان اتصال‌کوتاه با استفاده از محدودکننده ابررسانایی نوع راکتور DC اشباع شونده ۲۷
شکل ۲-۲۴: مدار تک‌فاز محدودکننده غیرفوق‌هادی ۲۸
شکل ۲-۲۵: مدار سه‌فاز محدودکننده غیرفوق‌هادی ۲۹
شکل ۲-۲۶: نحوه تامین ولتاژ DC و نحوه قرار گرفتن محدودکننده در شبکه در حالت تک‌فاز ۲۹
شکل ۲- ۲۷: شکل گرافیکی رله مهو با جایگذاری FCL در پشت سر آن ۳۳
شکل ۲-۲۸: نمایش گرافیکی رله مهو با FCL تشدید سری در داخل ناحیه حفاظتی ۳۳
شکل ۲-۲۹: نمایش TRV با روش چهار پارامتری ۳۵
شکل ۲-۳۰ : شبکه تست ۱) شبکه با راکتور ۲) شبکه با FCL ۳)شبکه ارتقایافته ۴) شبکه با روش تقسیم باس ۳۹
شکل ۳-۱: نمودار فضای حالت سیستم دو عضوی ۴۲
شکل ۳-۲: نمایش سیستم دو عضوی با شبکه متوالی ۴۳

شکل ۳-۳: نمایش سیستم دو عضوی با شبکه موازی ۴۵
شکل ۳-۴ :دو پست ساده ۴۹
شکل ۳-۵: مدل سه حالته تجهیزات ۵۲
شکل ۳-۶: مدل دو حالته تجهیزات ۵۳
شکل ۳-۷: نمودار فضای حالت برای خطاهای فعال و پسیو ۵۳
شکل ۳-۸: تأثیر حالت‌های خطا ۵۴
شکل ۴-۱: کنترل خطا با محدودکننده جریان خطا ۵۷
شکل ۴-۲: استفاده از FCL برای حفاظت از کل باس‌بار ۵۷
شکل ۴-۳: استفاده از FCL برای حفاظت از یک شاخه از فیدر ۵۷
شکل ۴-۴: استفاده از FCL بین دو باس‌بار متصل به هم ۵۸
شکل ۴-۵: تک‌خطی باس‌بار ساده با بریکر ۵۸
شکل ۴-۶: تک‌خطی باس‌بار ساده با بریکر با FCL در باس‌کوپلر ۶۱
شکل ۴-۷: تک‌خطی باس‌بار ساده با بریکر با FCL در فیدرهای ورودی ۶۲
شکل۴ -۸: تک‌خطی باس‌بار ساده با بریکر با FCL در فیدرهای خروجی ۶۲
شکل ۴-۹: باس‌بار دوبل با بریکر ۶۵
شکل ۴-۱۰: باس‌بار دوبل با بریکر و FCL در فیدرهای ورودی ۶۵
شکل ۴-۱۱: باس‌بار دوبل با بریکر و FCL در فیدرهای خروجی ۶۶
شکل ۴-۱۲: باس‌بار حلقوی با FCL ۶۷
شکل ۴-۱۳: باس‌بار حلقوی با FCL ۶۸
شکل ۴-۱۴: شینه‌بندی یک‌ونیم بریکری و با FCL در باس‌بار ۶۹
شکل ۴-۱۵: شینه‌بندی یک‌ونیم بریکری و با FCL در فیدرهای ورودی ۶۹
شکل ۴-۱۶: شینه‌بندی یک‌ونیم بریکری و با FCL در بی‌های میانی ۷۰
شکل ۴-۱۷: باس‌بار دوبل با دو بریکر و FCL در باس‌بار ۷۲
شکل ۴-۱۸: باس‌بار دوبل با دو بریکر و FCL در فیدرهای ورودی ۷۳
شکل ۴-۱۹: باس‌بار دوبل با دو بریکر و FCL در فیدرهای خروجی ۷۳
شکل ۵-۱: شبکه تست بدون FCL ۸۲
شکل ۵-۲: شبکه تست با DG ۸۳
شکل ۵-۳: شبکه تست با DG و FCL ۸۳
شکل ۵-۴: شبکه انتقال و توزیع درنظرگرفته‌شده با FCL در فیدر ورودی پست فوق توزیع و فیدر خروجی شبکه توزیع ۸۵

چکیده

رشد دائمی مصرف انرژی الکتریکی به خصوص در کشورهای در حال توسعه و هم‌چنین پیدایش مصرف‌کننده‌های استراتژیک مانند تاسیسات هسته‌ای که قطع برق در آنان موجب بروز خسارات جبران ناپذیری می‌گردد، لزوم توجه به مسئله قابلیت اطمینان در سیستمهای تولید، انتقال و توزیع انرژی الکتریکی را به نحو چشمگیری نمایان می‌سازد. برای تأمین انرژی مورد نیاز و جبران رشد فزاینده مصرف، ضمن حفظ قابلیت اطمینان سیستم قدرت در حد مطلوب، افزایش مداوم تعداد و قدرت تولیدی نیروگاهها و توسعه شبکه های انتقال و توزیع و نیز انتقال انرژی از شبکه‌های مجاور اجتناب ناپذیر است.

اما چالش اصلی که توسعه و افزایش ابعاد سیستم قدرت در برابر بهره‌برداران و مصرف‌کنندگان قرار می‌دهد آنست که به دلیل توسعه نیروگاهها، سیستم انتقال و شبکه توزیع و در نتیجه افت امپدانس تونن معادل شبکه، سطح جریان اتصال‌کوتاه در شبکه افزایش قابل ملاحظه‌ای خواهد یافت. یک نتیجه مستقیم این امر آنست که تجهیزات شبکه در مواقع رخداد خطا در معرض جریان‌های خطای بزرگتر و اعمال نیروهای مکانیکی قوی‌تر و حرارت بیشتری قرار خواهند گرفت. در میان روش‌های مختلف محدودکردن سطح جریان اتصال‌کوتاه استفاده از تکنولوژی محدودکننده جریان خطا (FCL) اقتصادی‌تر و عملی‌تر است. نصب محدودکننده جریان خطا به صورت سریع امکان پذیر است و در هنگام نصب، خاموشی طولانی مدتی را به سیستم قدرت تحمیل نمی‌کند.

نصب محدودکننده جریان خطا در یک پست حالت‌های خطای جدیدی را به وجود می‌آورد و از این رو شاخص‌های قابلیت اطمینان پست تغییر می‌کند. در این پایان‌نامه، جهت ارائه درک کمی از تغییر سطح قابلیت اطمینان، همه حالت های خطا مرتبط با طرح های مختلف پست‌های فشارقوی شامل باس‌بار ساده با بریکر، باس‌بار دوبل با بریکر، باس‌بار حلقوی، طرح یک‌ونیم بریکری و باس‌بار دوبل با دو بریکر با حضور محدودکننده جریان خطا در نقاط مختلف و بدون حضور آن مشخص و شاخص نرخ خرابی و قطعی سالیانه محاسبه می‌گردند. از این دو شاخص به عنوان ملاکی برای ارزیابی اثر محدود کننده جریان خطا بر قابلیت اطمینان کل پست استفاده می‌گردد. هم‌چنین تأثیر نصب FCL درنقاط مختلف شبکه توزیع بر شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه مورد بررسی و تحلیل قرارمی‌گیرد. شاخص‌های درنظرگرفته‌شده برای شبکه توزیع شامل شاخص میزان متوسط قطع برق سیستم، شاخص دوره زمانی متوسط قطع برق سیستم، شاخص متوسط دسترسی به انرژی برق و شاخص کل انرژی تامین نشده است. روش کلی که برای انجام این مطالعات و ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده می‌شود، بررسی مجموعه‌های انقطاع جهت تحلیل خطا و اثرات آن است.

کلمات کلیدی: محدودکننده جریان خطا؛ قابلیت اطمینان؛ نرخ خرابی؛ قطعی سالیانه؛ مجموعه‌های انقطاع

فصل اول

مقدمه

هرگونه عملکرد غیر عادی در سیستم قدرت که در واقع ناشی از وقوع حادثه ای در شبکه است، خطا نامیده می شود. مهمترین و خطرناک‌ترین خطا در سیستم‌های قدرت، وقوع اتصال‌کوتاه است. جریان ناشی از وقوع اتصال‌کوتاه یکی از عوامل بسیار مؤثر در طراحی و انتخاب آرایش، ظرفیت الکتریکی و مشخصات مکانیکی تجهیزات به‌کارگرفته شده در شبکه های الکتریکی است. افزایش بی رویه سطح جریان اتصال‌کوتاه از دیرباز تا کنون یکی از معضلات عمده سیستم‌های قدرت بوده و همواره شبکه‌های الکتریکی و تجهیزات سیستم قدرت را با مشکلات عدیده‌ای مواجه ساخته است.

از عوامل مؤثر در افزایش جریان اتصال‌کوتاه سیستم‌های قدرت می‌توان به موارد عمده زیر اشاره نمود:

- افزایش تولید و گسترش شبکه‌های انتقال و توزیع به جهت پاسخگویی به رشد سریع تقاضا
- اتصال داخلی شبکه‌ها به یکدیگر
- احداث خطوط موازی برای افزایش ظرفیت انتقال
- نصب خازن‌های سری برای جبران‌سازی خطوط جهت افزایش توانایی در انتقال انرژی

موارد فوق که در جهت پاسخگویی به نیازهای سیستم قدرت از قبیل پایداری، قابلیت اطمینان و رشد تقاضا اجرا می‌شوند، باعث ازدیاد سطح اتصال‌کوتاه گردیده و مشکلات ناشی از آن، اثرات مخرب و هزینه‌های هنگفتی را به سیستم تحمیل می‌کند. با ایجاد شبکه‌های سراسری و تاسیس نیروگاه‌های پرقدرت به‌هم پیوسته امکان به وجود آمدن اتصالی‌ها در شبکه بیشتر و صرف هزینه متعارف غیر قابل اجتناب گردیده است.

افزایش جریان اتصال‌کوتاه باعث اثرات مخرب زیر در سیستم‌های قدرت می‌گردد:

۱- ازدیاد نیروهای مکانیکی حاصل از افزایش جریان اتصال‌کوتاه فشار زیادی بر تجهیزات شبکه از قبیل ترانسفورماتورها، کلیدهای قدرت و ژنراتورها وارد می‌سازد. با ازدیاد جریان اتصال‌کوتاه تجهیزات قبلی توانایی تحمل چنین جریانی را نداشته و از این رو هزینه تعویض تجهیزات بر سیستم تحمیل می‌گردد[۱].
یکی از هزینه‌های عمده تجهیزات شبکه مسئله عایق‌بندی می‌باشد. افزایش ولتاژهای بازیافت و گذرا ناشی از ازدیاد جریان اتصال‌کوتاه، عایق‌بندی تجهیزات سیستم را تهدید می‌کند وآنها را با مسئله ازدیاد انرژی حرارتی مواجه می‌سازد.

۲- یکی از عوامل مؤثر در ناپایداری سیستم‌های قدرت وقوع اتصال‌کوتاه است. افزایش سطح جریان اتصال کوتاه باعث کاهش حاشیه پایداری سیستم می‌شود، زیرا هرچه میزان و مدت زمان برقراری این جریان بیشتر باشد، پایداری سیستم با مشکل جدی‌تری مواجه می‌گردد.

۳- ازدیاد جریان اتصال‌کوتاه مسئله تعویض کلیدهای قدرت با کلیدهای با قدرت قطع بالاتر و هزینه‌های ناشی از آن را به دنبال دارد.

۴- با ازدیاد جریان اتصال‌کوتاه خطای نسبت تبدیل ترانسفورماتورهای جریان ناشی از اشباع این عناصر بیشتر و باعث اختلال در عملکرد آنها می‌گردد.

جهت مقابله با اثرات مخرب ذکر شده، راه‌حل‌های مختلفی برای محدودسازی جریان اتصال‌کوتاه ارائه گردیده است، که از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره نمود[۲]:

۱) تقسیم باس‌بارها

۲) سوئیچینگ ترتیبی بریکرها

۳) نصب راکتور ساده محدودکننده جریان

۴) نصب محدودکننده جریان خطا (FCL[1])

بررسی و مقایسه عملکرد این روش‌ها از نظر فنی و اقتصادی [۲] محدودکننده جریان‌خطا (FCL) را به عنوان یک راه‌حل امید بخش قلمداد می‌کند. محدودکننده‌های جریان‌خطا از اصول مشابهی با گروه ۳ بهره‌برداری می‌کنند که شامل افزایش امپدانس دیده شده به وسیله قسمت خطا دیده می‌باشد. نصب FCL به صورت اقتصادی و سریع امکان‌پذیر است، و در هنگام نصب، خاموشی طولانی مدتی را به سیستم قدرت تحمیل نمی‌کند. همچنین، نظر به

[1] Fault Current Limiter

اینکه FCL وظیفه اصلی خود را فقط در زمان وقوع اتصال‌کوتاه انجام می‌دهد، در زمانی که سیستم قدرت در شرایط عادی است بر عملکرد سیستم تأثیری ندارد. لذا همانند راکتورها افت ولتاژ و تلفات توان ایجاد نمی‌کند.
مطالعات زیادی در رابطه با انواع مختلف FCL انجام شده است [۳]. طراحی ساختار FCLها در [۴و۵]، تأثیر آنها در رفتارهای استاتیکی و دینامیکی سیستم خطا دیده در [۶] بررسی گردیده است. در مرجع [۷] تاثیر محدودکننده جریان خطا در سیستم های توزیعی که در آنها از واحدهای تولید پراکنده (DG) استفاده گردیده است بررسی می‌شود. به طورکلی حضور DG در شبکه سطح جریان اتصال‌کوتاه را افزایش می‌دهد و باعث افت لحظه‌ای ولتاژ در لحظات وقوع خطا می‌گردد. در این مرجع برای حل مشکل مذکور یک محدودکننده جریان خطای ابررسانایی در سسیستم توزیع مجهز شده به DG[۲] به‌کاررفته‌است. حضور FCL در این شبکه ضمن کاهش جریان اتصال کوتاه باعث کاهش افت لحظه‌ای ولتاژ می‌گردد. مرجع [۸] ساختار یک محدودکننده جریان خطای ابررسانایی را ارائه می‌دهد، که باعث بهبود پایداری سیستم قدرت می‌گردد. در این ساختار یک محدودکننده ابررسانایی اندوکتانسی به همراه یک مقاومت و یک تجهیز ZNO به صورت موازی استفاده شده است. در این مرجع به‌منظور بررسی اثر محدودکننده جریان پیشنهادی بر پایداری سیستم، با درنظرگرفتن یک سیستم انتقال مشخص می‌گردد که محدودکننده پیشنهادی تاثیر قابل قبولی در بهبود میزان پایداری سیستم قدرت دارد. قابلیت اطمینان FCL به عنوان یک تجهیز جداگانه در مرجع [۹] بررسی شده است. این مرجع ساختار یک محدودکننده ابررسانایی هایبریدی را شرح می‌دهد که از چهار قسمت اصلی شامل ۱- وسیله‌ای جهت کنترل و حفظ درجه حرارت در درجات خیلی پایین ۲- یک کلید سریع(FS[۳]) ۳- یک فیوز قدرت و۴- محدودکننده جریان متعارف مانند راکتور و یا مقاومت جهت محدودسازی جریان تشکیل شده است. در این مرجع به بررسی افزایش قابلیت اطمینان FS به کمک کلیدهای الکترونیک قدرت مانند IGCT می‌پردازد. پس از آن و در مرجع [۱۰] تأثیر به‌کار بردن FCL در قابلیت اطمینان پست با آرایش باس‌بار دوبل بررسی شده است. در این مرجع در ابتدا حالتهای خطای پست مذکور بدون حضور FCL در نظرگرفته شده، به بررسی قابلیت اطمینان آن می پردازیم و سپس با در نظر گرفتن تاثیر حضور FCL در شبکه مورد نظر موارد مذکور مجددا محاسبه و بررسی می‌گردد. (شایان ذکر است در این مبحث از نرخ خرابی FCL و همچنین خطاهای اتصال‌کوتاه واقع شده بر روی کلیدهای متصل شده به باسبار صرفنظر

[2] Distribution Generation
[3] Fast Switch

شده است.) با بررسی نتایج مشخص می‌شود قابلیت اطمینان شبکه با حضور FCL افزایش یافته است. مرجع [۱۱] قابلیت اطمینان یک پست با شینه‌بندی باس‌بار ساده را بررسی می‌نماید. این طرح شینه‌بندی در این مرجع برای پست انتقال ۴۰۰ کیلوولت درنظرگرفته شده است، ولی با توجه به قابلیت اطمینان پایین این شینه‌بندی نسبت به سایر طرح‌ها، استفاده از آن در پست‌های انتقال متداول نیست. هم‌چنین در این مرجع کلیه حالت‌های خطا جهت ارزیابی قابلیت اطمینان پست درنظرگرفته نشده و حالت‌های مختصری لحاظ می‌گردد. لذا اطلاعات صحیحی از شاخص‌های قابلیت اطمینان به دست نمی‌آید. ضمن اینکه مقایسه‌ای برای حالت‌های حضور FCL و تاثیر آن‌ها در قابلیت اطمینان انجام نمی‌شود و تنها سه نوع مختلف FCL را از نظر قابلیت اطمینان و نرخ خطای فعال، پسیو و خطای مکانیکی بدون حضور در شبکه و بدون درنظرگرفتن تاثیر آن‌ها در پست با یکدیگر مقایسه می‌نماید. مرجع [۱۲] اثر قابلیت اطمینان نصب FCL در سیستم‌های توزیع را با صرفنظرکردن از اثر سیستم انتقال بررسی می‌کند. در این مرجع نیز از نرخ خرابی FCL صرفنظر شده و فرض شده است که با حضور FCL، نرخ خرابی سایر تجهیزات ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. لذا در این مرجع نیز قابلیت اطمینان سیستم توزیع با حضور FCL و با در نظر گرفتن فرض‌های مذکور افزایش یافته است. در مرجع [۱۳] تاثیر نصب FCL در باس‌کوپلر شینه‌بندی‌های مختلف و تاثیر آن در میزان قابلیت اطمینان پست ها مورد بررسی قرارگرفته است.

در این پایان‌نامه، کلیه حالت‌های خطا در شینه‌بندی‌های مختلف پست‌ها به صورت جامع ارائه می‌گردد. شینه‌بندی‌های مختلف شامل باس‌بار ساده با بریکر، باس‌بار دوبل با بریکر، باس‌بار حلقوی، طرح یک‌ونیم بریکری و باس‌بار دوبل با دو بریکر است. سپس با تجزیه و تحلیل حالت‌های خطای ارائه شده و بررسی آثار آنها ، قابلیت اطمینان شینه‌بندی‌های مختلف مقایسه می‌گردد. هم‌چنین حالت‌های خطا در مورد شینه‌بندی‌های مختلف با قراردادن FCL در سه مکان فیدرهای ورودی، فیدرهای خروجی و باس‌بارها بررسی می‌گردد، و مطالعه جامعی بر تأثیر تغییر محل نصب FCL بر قابلیت اطمینان شینه‌بندی‌های مختلف پست‌ها ارائه می‌شود. سپس تأثیر نصب FCL در نقاط مختلف شبکه توزیع بر شاخص‌های قابلیت اطمینان شبکه مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد. روش کلی که برای ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده می‌شود، بررسی مجموعه‌های انقطاع جهت تحلیل خطا و اثرات آن است.

ساختار مطالب ارائه شده در این پایان‌نامه به شرح زیر است :

درفصل دوم روش های محدودسازی جریان اتصال‌کوتاه شرح داده می‌شود، مزایای محدودکننده جریان اتصال کوتاه و سابقه استفاده از آن‌ها در این فصل بررسی می‌گردد، معرفی انواع FCLها، اثرات نصب FCL وکاهش جریان اتصال‌کوتاه بر روی تجهیزات پست‌های فشارقوی و سیستم قدرت نیز در این فصل ارائه می‌گردد.

درفصل سوم روش‌های تفصیلی و تقریبی محاسبه پارامترهای قابلیت اطمینان پست‌های فشارقوی و ایستگاههای کلیدزنی، حالت های خطا و عملکرد تجهیزات سیستم، خطاهای اتصال‌کوتاه و مدارباز بریکرها و خطاهای پسیو و فعال تجهیزات و هم‌چنین تأثیر حالت‌های خطا بر عملکرد تجهیزات پست‌ها بررسی می‌گردد.

در فصل چهارم حالت‌های خطای شینه‌بندی‌های مختلف پست‌ها در چهار حالت بدون FCL و با حضور FCL در سه مکان باس‌بار، فیدرهای ورودی و فیدرهای خروجی استخراج و معرفی می‌گردد. و سپس به روش تجزیه و تحلیل خطا و اثرات آن و با انجام شبیه‌سازی‌های مختلف پارامترهای قابلیت اطمینان برای چهار حالت مذکور محاسبه و بررسی می‌گردد. و سرانجام درفصل پنجم شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم‌های توزیع بدون حضور و با حضور FCL در نقاط مختلف شبکه توزیع مورد مطالعه و محاسبه قرار می‌گیرد. نتیجه‌گیری و پیشنهادات در فصل ششم ارائه گردیده است.