بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد مهندسی برق–قدرت

عنوان :

تخصیص محدودکننده جریان خطا برای آرایش های مختلف پست فشار قوی با ملاحظات قابلیت اطمینان

دانشجو :

حسین یوسفی گل افشانی

استاد راهنما:

دکتر محمد میرزایی

استاد مشاور:

دکتر فرخ امینی فر

شهریور ۱۳۹۳

تقدیم به

دست‌های زحمتکش پدرم

و

محبت‌های فراوان مادرم

تشکر و قدردانی

مولف پایان نامه برخود لازم می‌داند از جناب آقای دکتر محمد میرزایی به خاطر راهنمایی‌های فراوان و بی دریغ در تدوین بخش‌های مختلف کمال تشکر و قدردانی را به عمل آورد. همچنین از مشورت های ارزنده جناب آقای دکتر فرخ امینی فر که اینجانب را در تکمیل پایان نامه یاری نموده اند، سپاسگذاری می‌کنم.

چکیده

حفاظت تجهیزات پست‌های فشار قوی به عنوان نقطه‌ای استراتژیک در شبکه قدرت همواره مورد توجه طراحان شبکه بوده است. با رشد مصرف برق، شبکه‌های قدرت توسعه یافته و برای بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان و پایداری، شبکه‌های مجاور به یکدیگر متصل می‌شوند. لیکن، این تغییرات منجر به کاهش امپدانس شبکه در حالت اتصال کوتاه و درنتیجه افزایش سطح جریان خطا خواهد شد و احتمال تخریب تجهیزات را افزایش می‌دهد. لذا، محدود کننده جریان خطا برای حفظ سلامت تجهیزات سیستم قدرت و امکان پاک سازی سریع و مطمئن خطا استفاده می‌شود.

یکی از اهداف این پژوهش، طرح بهره برداری بهینه از محدودکننده جریان خطا در پست‌های فشار قوی بر مبنای سطح جریان خطا و شاخص‌های قابلیت اطمینان، می‌باشد. این دو معیار به منظور مقایسه مکان‌های مختلف برای تخصیص محدودکننده جریان خطا در پست‌های فشار قوی بکار می-رود. همچنین، بررسی اثر محدودکننده‌های جریان خطا بر نرخ خرابی تجهیزات پست هدف دیگری می‌باشد که مورد بررسی قرار خواهد گرفت. محدودکننده جریان خطا با تاثیر مثبت بر شرایط حین خطا، موجب بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان سایر تجهیزات خواهد شد. محدودکننده جریان خطا همانند سایر تجهیزات پست دارای نرخ خرابی و زمان تعمیر می‌باشد. از این رو، نصب محدود کننده جریان خطا در پست‌های فشار قوی، حالت‌های وقفه جدیدی را ایجاد می‌کند که شاخص‌های قابلیت اطمینان نقاط بار را با تغییر مواجه خواهد کرد. این تغییرات برای آرایش‌های مختلف پست فشار قوی متفاوت خواهد بود. لذا، بررسی تاثیر حضور محدودکننده‌های جریان خطا بر شاخص‌های قابلیت اطمینان نقاط بار، برای آرایش‌های پست ساده، حلقوی و یک و نیم کلیدی انجام شده است. نتایج نشان می دهد محدود کننده جریان خطا شاخص های قابلیت اطمینان نقاط بار بعضی آرایش ها را خراب و بعضی دیگر را بهبود خواهد داد.

کلمات کلیدی: پست فشار قوی، جریان خطا، شاخص‌های قابلیت اطمینان، محدودکننده جریان خطا.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ح
فهرست شکل‌ها ..... ک

فصل ۱- ضرورت محدود سازی جریان خطا در شبکه های قدرت ۲
۱-۱- مقدمه ۲
۱-۲- تعریف جریان خطا ۳
۱-۳- عوامل ایجاد جریان اتصال کوتاه ۴
۱-۴- علل افزایش سطح جریان اتصال کوتاه در شبکه های قدرت ۴
۱-۵- روشهای محدود سازی جریان اتصال کوتاه ۵
۱-۶- پژوهشهای علمی انجام شده ۶
۱-۷- ساختار پایان نامه ۷

فصل ۲- مروری بر تکنولوژی ساخت انواع محدود کننده های جریان خطا ۹
۲-۱- مقدمه ۹
۲-۲- محدود کننده های جریان خطای ابررسانا ۱۰
۲-۳- محدود کننده های جریان خطای مغناطیسی ۱۱
۲-۴- محدود کننده های جریان خطای حالت جامد ۱۵
۲-۴-۱- محدود کننده حالت جامد با سوئیچ سری ۱۶
۲-۴-۲- محدود ساز حالت جامد نوع پل ۱۷
۲-۴-۳- محدود کننده حالت جامد رزونانسی ۱۸
۲-۵- مدل سازی الکتریکی محدود کننده جریان خطا برای آنالیز جریان خطا ۱۹
۲-۵-۱- مدل الکتریکی محدود کننده جریان خطای اندوکتیو ۱۹
۲-۵-۲- تعیین زمان فرونشانی ۲۱
۲-۵-۳- تعیین اندوکتانس محدود سازی ۲۲
۲-۶- جمع بندی ۲۵

فصل ۳- مدل سازی تاثیر محدود کننده جریان خطا بر شاخص های قابلیت اطمینان تجهیزات پستهای فشار قوی ۲۷
۳-۱- مقدمه ۲۷
۳-۲- ارزیابی قابلیت اطمینان ۲۸
۳-۲-۱- سیستمهای با شبکه متوالی ۲۸

۳-۲-۲- سیستمهای با شبکه موازی ۲۹
۳-۲-۳- تعیین حالتهای از کار افتادن بر مبنای تعیین حالتهای وقفه و تجزیه و تحلیل اثر آن ۳۱
۳-۲-۴- وضعیت چند گانه نرخ خرابی تجهیزات ۳۲
۳-۳- مدل سازی نرخ خرابی تجهیزات پست فشار قوی ۳۳
۳-۳-۱- مدل سازی نرخ خرابی اکتیو تجهیزات ۳۴
۳-۳-۲- مدل سازی وضعیت استاک در کلیدهای قدرت ۳۸
۳-۴- جمع بندی ۴۰

فصل ۴- مطالعات عددی و تحلیل نتایج ۴۲

۴-۱- مقدمه ۴۲
۴-۲- جایابی محدود کننده جریان خطا در پست های فشار قوی ۴۳
۴-۲-۱- تحلیل جریان خطا ۴۳
۴-۲-۲- تحلیل شاخصهای قابلیت اطمینان ۴۴
۴-۲-۳- تصمیم گیری به روش فازی ۴۴
۴-۲-۴- جایابی محدود کننده جریان خطا در پست فشار قوی یک و نیم کلیدی ۴۷
۴-۲-۴-۱- تحلیل جریان خطا برای تعیین مکان محدود کننده جریان خطا در پست یک و نیم کلیدی ۴۸
۴-۲-۴-۲- تحلیل شاخص های قابلیت اطمینان برای تعیین مکان محدود کننده جریان خطا ۵۰
۴-۲-۴-۳- جایابی به روش تصمیم گیری فازی برای آرایش پست یک ونیم کلیدی ۵۶
۴-۲-۵- جایابی محدود کننده جریان خطا در پست فشار قوی حلقوی ۵۸
۴-۲-۵-۱- تحلیل جریان خطا برای تعیین مکان محدود کننده جریان خطا در پست حلقوی ۵۹
۴-۲-۵-۲- تحلیل شاخص های قابلیت اطمینان برای تعیین مکان محدود کننده جریان خطا در پست حلقوی ۶۰
۴-۲-۵-۳- جایابی به روش تصمیم گیری فازی برای آرایش پست حلقوی ۶۴
۴-۳- تحلیل شاخصهای قابلیت اطمینان آرایشهای مختلف پست فشار قوی با در نظر گرفتن اثر محدود کننده جریان خطا بر نرخ خرابی تجهیزات ۶۶
۴-۳-۱- آنالیز حساسیت تاثیر محدودکننده جریان خطا بر حالت استاک کلیدهای قدرت ۶۸
۴-۳-۲- آنالیز حساسیت تاثیر محدودکننده جریان خطا بر نرخ خرابی اکتیو تجهیزات ۷۰
۴-۳-۳- آنالیز حساسیت همزمان تاثیر محدودکننده جریان خطا بر نرخ خرابی اکتیو تجهیزات و حالت استاک در کلیدهای قدرت ۷۳
۴-۴- جمع بندی ۷۵

فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۸

۵-۱- نتیجه گیری ۷۸
۵-۲- پیشنهادات ۷۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۴-۱): مکان های مورد نظر برای نصب محدودکننده جریان خطا در پست فشار قوی..... ۴۶
جدول (۴-۲): سطح جریان اتصال کوتاه هر یک از فیدرهای ورودی و خروجی برحسب کیلو آمپر... ۴۸
جدول (۴-۳): جریان خطای مجموع پست یک و نیم کلیدی و عبوری از ترانسفورماتورهای قدرت بر حسب کیلوآمپر..... ۴۹
جدول (۴-۴): حالتهای وقفه مربوط به نقطه بار L4 پست یک و نیم کلیدی در شرایط بهره برداری اول..... ۵۱
جدول (۴-۵): حالتهای وقفه مربوط به نقطه بار L4 پست یک ونیم کلیدی در شرایط بهره برداری دوم ۵۲
جدول (۴-۶): حالتهای وقفه جدید مربوط به نقطه بار L4 پست یک و نیم کلیدی در شرایط بهره برداری اول بعد از نصب محدودکننده جریان خطا در شاخه های ورودی..... ۵۳
جدول (۴-۷): حالتهای وقفه جدید مربوط به نقطه بار L4 پست یک و نیم کلیدی در شرایط بهره برداری دوم بعد از نصب محدودکننده جریان خطا در شاخه های ورودی..... ۵۳
جدول (۴-۸): حالتهای وقفه جدید مربوط به هر یک از نقاط بار پست یک و نیم کلیدی در شرایط بهره برداری اول بعد از نصب محدود کننده جریان خطا در شاخه های خروجی..... ۵۳
جدول (۴-۹): حالتهای وقفه جدید مربوط به هر یک از نقاط بار پست یک و نیم کلیدی در شرایط بهره برداری دوم بعد از نصب محدود کننده جریان خطا در شاخه های خروجی..... ۵۴
جدول (۴-۱۰): حالتهای وقفه جدید مربوط به نقطه بار L4 پست یک و نیم کلیدی در شرایط بهره برداری اول بعد از نصب محدود کننده جریان خطا در محل جداسازی مسیر شین ها..... ۵۴
جدول (۴-۱۱): حالتهای وقفه جدید مربوط به نقطه بار L4 پست یک ونیم کلیدی در شرایط بهره برداری دوم بعد از نصب محدود کننده جریان خطا در محل جداسازی مسیر شین ها..... ۵۴
جدول (۴-۱۲): داده‌های مربوط به نرخ خرابی و زمان تعمیر تجهیزات پست [۳۴]..... ۵۵
جدول(۴-۱۳): نرخ خرابی و دسترس ناپذیری سالانه پست یک و نیم کلیدی..... ۵۵
جدول (۴-۱۴): مقادیر معادل فازی تحلیل جریان خطا (FCS) در پست یک و نیم کلیدی..... ۵۶
جدول (۴-۱۵): مقادیر مربوط شاخص های قابلیت اطمینان پست یک و نیم کلیدی..... ۵۷
جدول (۴-۱۶): مکان مناسب برای نصب محدود کننده جریان خطا در حالت های مختلف..... ۵۸
جدول (۴-۱۷): سطح جریان اتصال کوتاه هر یک از فیدرهای ورودی و خروجی پست حلقوی..... ۵۹
جدول (۴-۱۸): جریان خطای مجموع پست حلقوی و عبوری از ترانسفورماتورهای قدرت بر حسب کیلوآمپر..... ۶۰

جدول (۴-۱۹): حالتهای وقفه مربوط به نقطه بار L4 پست حلقوی در شرایط بهره برداری اول قبل از نصب محدود کننده جریان خطا..... ۶۱
جدول (۴-۲۰): حالتهای وقفه مربوط به نقطه بار L4 پست حلقوی در شرایط بهره برداری دوم قبل از نصب محدود کننده جریان خطا..... ۶۱
جدول (۴-۲۱): حالتهای وقفه جدید مربوط به نقطه بار L4 پست حلقوی در شرایط بهره برداری اول بعد از نصب محدود کننده جریان خطا در شاخه های ورودی..... ۶۲
جدول (۴-۲۲): حالتهای وقفه جدید مربوط به نقطه بار L4 پست حلقوی در شرایط بهره برداری دوم بعد از نصب محدود کننده جریان خطا در شاخه های ورودی..... ۶۲
جدول (۴-۲۳): حالتهای وقفه جدید مربوط به نقطه بار L4 پست حلقوی در شرایط بهره برداری اول بعد از نصب محدود کننده جریان خطا در شاخه های خروجی..... ۶۲
جدول (۴-۲۴): حالتهای وقفه جدید مربوط به نقطه بار L4 پست حلقوی در شرایط بهره برداری دوم بعد از نصب محدود کننده جریان خطا در شاخه های خروجی..... ۶۳
جدول (۴-۲۵): حالتهای وقفه جدید مربوط به نقطه بار L4 پست حلقوی در شرایط بهره برداری اول بعد از نصب محدود کننده جریان خطا در محل شکست شین ها..... ۶۳
جدول (۴-۲۶): حالتهای وقفه جدید مربوط به نقطه بار L4 حلقوی در شرایط بهره برداری دوم بعد از نصب محدود کننده جریان خطا در محل شکست شین ها..... ۶۳
جدول (۴-۲۷): نرخ خرابی و دسترس ناپذیری سالانه آرایش پست حلقوی..... ۶۴
جدول (۴-۲۸): مقادیر معادل فازی تحلیل جریان خطا (FCS) در پست حلقوی..... ۶۴
جدول (۴-۲۹): مقادیر مربوط شاخص های قابلیت اطمینان پست حلقوی در محیط فازی..... ۶۵
جدول (۴-۳۰): مکان مناسب برای نصب محدود کننده جریان خطا در حالت های مختلف..... ۶۵
جدول (۴-۳۱): حالتهای وقفه نقطه بار L1 در آرایش پست ساده قبل از نصب محدود کننده جریان خطا..... ۶۷
جدول (۴-۳۲): حالتهای وقفه جدید نقطه بار L1 در آرایش پست ساده بعد از نصب محدود کننده جریان خطا..... ۶۷
جدول (۴-۳۳): مقایسه شاخص های قابلیت اطمینان آرایش های مختلف پست فشار قوی با توجه به تاثیر محدود کننده جریان خطا بر حالت استاک کلیدهای قدرت ($\boldsymbol{\gamma = 0.5}$)..... ۷۰
جدول (۴-۳۴): مقایسه شاخص های قابلیت اطمینان آرایش های مختلف پست فشار قوی با توجه به تاثیر محدود کننده جریان خطا بر نرخ خرابی اکتیو تجهیزات ($\boldsymbol{\eta = 0.5}$)..... ۷۲
جدول (۴-۳۵): مقایسه شاخص های قابلیت اطمینان آرایش های مختلف پست فشار قوی با توجه به تاثیر محدود کننده جریان خطا بر نرخ خرابی اکتیو تجهیزات و حالت استاک در کلیدهای قدرت ($\boldsymbol{\gamma = 0.5، \eta = 0.5}$)..... ۷۵

جدول (۴-۳۶): تاثیر محدود کننده جریان خطا بر بهبود شاخص های قابلیت اطمینان پست یک و نیم کلیدی در طول دوره بهره برداری ($\boldsymbol{\gamma = 0.5، \eta = 0.5}$)..... ۷۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۱): مدار معادل شبکه در حالت وقوع خطا ۳
شکل (۲-۱): مشخصه ابررسانایی ماده ابررسانا ۱۱
شکل (۲-۲): نمودار منحنی B-H مواد مغناطیسی ۱۲
شکل (۲-۳) : نمودار منحنی H-B مواد مغناطیسی و شماتیک محدود کننده مغناطیسی ۱۳
شکل (۲-۴): استفاده از دو هسته برای محدود سازی جریان خطا ۱۳
شکل (۲-۵): محدود کننده مغناطیسی با استفاده از مغناطیس دائم ۱۴
شکل (۲-۶): محدود کننده حالت جامد با سوئیچ سری ۱۶
شکل (۲-۷): محدود کننده حالت جامد نوع پل با یک اندوکتانس ۱۷
شکل (۲-۸): محدود کننده رزونانسی سری ۱۸
شکل (۲-۹): مشخصه عملکردی محدود کننده جریان خطا ۲۰
شکل (۲-۱۰): مدار معادل شبکه در بخش اول ۲۱
شکل (۲-۱۱): مدل مداری شبکه در شرایط محدود سازی ۲۳
شکل (۳-۱): نمایش سیستم با دو عضو متوالی تعمیرپذیر ۲۸
شکل (۳-۲): نمایش سیستم دو عضوی با شبکه موازی ۳۰
شکل (۳-۳): روند محاسبه تابع چگالی احتمال (PDF) نیروی الکترومغناطیسی وارد بر تجهیز مورد نظر ۳۶
شکل (۳-۴): روند محاسبه تابع احتمال استاک کلید قدرت ۳۸
شکل (۴-۱): نمای مدل ریاضی ارائه شده برای تصمیم گیری فازی ۴۴
شکل (۴-۲): الگوی جایابی محدود کننده جریان خطا در پست فشار قوی ۴۶
شکل (۴-۳): آرایش پست فشار قوی یک ونیم کلیدی مورد مطالعه ۴۷
شکل (۴-۴): آرایش پست فشار قوی حلقوی مورد مطالعه ۵۹
شکل (۴-۵): آرایش پست فشار قوی ساده مورد مطالعه ۶۶
شکل (۴-۶): آنالیز حساسیت تاثیر محدود کننده جریان خطا بر حالت استاک کلیدهای قدرت ۶۸
شکل (۴-۷): آنالیز حساسیت تاثیر محدود کننده جریان خطا بر حالت استاک کلیدهای قدرت ۶۹
شکل (۴-۸): آنالیز حساسیت تاثیر محدود کننده جریان خطا بر حالت استاک کلیدهای قدرت در پست فشار قوی یک و نیم کلیدی ۶۹
شکل (۴-۹): آنالیز حساسیت سهم جریان خطا بر نرخ خرابی اکتیو تجهیزات در پست فشار قوی ساده ۷۱

شکل (۴-۱۰): آنالیز حساسیت سهم جریان خطا بر نرخ خرابی اکتیو تجهیزات در پست فشار قوی حلقوی ۷۱
شکل (۴-۱۱): آنالیز حساسیت سهم جریان خطا بر نرخ خرابی اکتیو تجهیزات در پست فشار قوی یک ونیم کلیدی ۷۲
شکل (۴-۱۲): آنالیز حساسیت همزمان تاثیر محدود کننده جریان خطا بر نرخ خرابی اکتیو تجهیزات و حالت استاک در پست فشار قوی ساده ۷۳
شکل (۴-۱۳): آنالیز حساسیت همزمان تاثیر محدود کننده جریان خطا بر نرخ خرابی اکتیو تجهیزات و حالت استاک در پست فشار قوی حلقوی ۷۴
شکل (۴-۱۴): آنالیز حساسیت همزمان تاثیر محدود کننده جریان خطا بر نرخ خرابی اکتیو تجهیزات و حالت استاک در پست فشار قوی یک و نیم کلیدی ۷۴

فصل اول:
ضرورت محدود سازی جریان خطا در شبکه های قدرت

فصل ۱- ضرورت محدود سازی جریان خطا در شبکه های قدرت

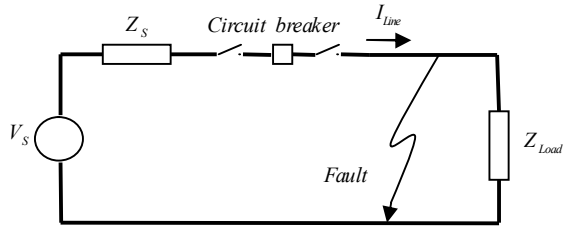
۱-۱- مقدمه

بدلیل افزایش روزافزون تقاضای برق در سطح مشترکین خانگی و صنعتی، نیاز به احداث نیروگاه-های جدید چه در سطح شبکه‌های سراسری و چه در مقیاس کوچک (تولیدات پراکنده) وجود دارد. همچنین احداث خطوط انتقال جدید برای افزایش قابلیت انتقال توان و نصب خازن‌های سری برای جبران سازی راکتانس خطوط انتقال جزو برنامه های عملیاتی برنامه ریزان سیستم های قدرت می-باشد و همگی این عوامل موجب افزایش سطح اتصال کوتاه در شبکه‌های قدرت می‌گردد. جریان‌های اتصال کوتاه افزایش یافته ممکن است به حد مقادیر نامی تجهیزات نزدیک شده و یا حتی فراتر از آن ها باشد که در این صورت تعویض تجهیز امری ضروری خواهد بود. همچنین جریان‌های خطا موجب اعمال تنش‌های حرارتی، الکتریکی و دینامیکی بالایی به تجهیزات سیستم قدرت از قبیل هادی‌های خطوط هوایی و کابل ها، ترانسفورماتورها و کلیدهای قدرت می‌شود و می‌تواند آسیب جدی به آن‌ها وارد نماید. با عنایت به هزینه بر بودن تعویض تجهیزات سیستم قدرت و نیز اعمال خاموشی‌های طولانی برای چنین فعالیت‌هایی، محققین صنعت برق سالهاست تلاش‌های گسترده‌ای را در جهت کاهش سطح اتصال کوتاه و ساخت تجهیزاتی جهت محدود سازی جریان خطا آغاز نموده‌اند.

۱-۲- تعریف جریان خطا

در بین انواع جریان خطاهایی که ممکن است در پست‌های فشار قوی ایجاد گردد، جریان اتصال کوتاه مخرب‌ترین آن‌ها می‌باشد. جریان اتصال کوتاه می‌تواند موجب تخریب عایق‌های موجود در شبکه گردد و خسارات قابل توجهی به تجهیزات وارد کند. بنابراین محافظت از پست های فشار قوی در مقابل جریان اتصال کوتاه امری ضروری می‌باشد [۱].

در شرایطی که امپدانس بین دو نقطه از شبکه به دلیل ارتباط مستقیم و یا مسائلی همچون شکست عایقی، صفر و یا کوچک می‌گردد جریان اتصال کوتاه رخ خواهد داد. معمولا خطاهای نزدیک به خروجی ژنراتور نسبت به خطاهایی که در فواصل دورتر رخ می‌دهند، شدت بیشتری دارند. جریان ناشی از وقوع اتصال کوتاه یکی از عوامل بسیار موثر در تعیین آرایش، ظرفیت الکتریکی و مشخصات مکانیکی تجهیزات به کار گرفته شده در شبکه‌های قدرت می‌باشد. شکل (۱-۱) مدار معادل شبکه در حالت وقوع خطا را نشان می دهد.



شکل (۱-۱): مدار معادل شبکه در حالت وقوع خطا

جریان شبکه در شرایط عادی از رابطه (۱-۱) محاسبه می شود:

$$\mathrm{I_{Line}} = \frac{V_s}{Z_s + Z_{load}} \qquad (۱-۱)$$

جریان شبکه در شرایط خطا از رابطه (۱-۲) محاسبه می شود:

$$\mathrm{I_{Fault}} = \frac{V_s}{Z_s + Z_{fault}} \qquad (۱-۲)$$

با توجه به این که امپدانس خطا نسبت به امپدانس بار به نسبت قابل ملاحظه‌ای کوچک‌تر می‌باشد لذا، جریان خطا در حالت اتصال کوتاه می‌تواند دامنه جریانی حدود ۲۰ برابر دامنه جریان نامی شبکه مورد مطالعه ایجاد کند که برای تجهیزات موجود در شبکه مخرب می‌باشد.

۱-۳- عوامل ایجاد جریان اتصال کوتاه

از جمله عوامل ایجاد جریان اتصال کوتاه در شبکه‌های قدرت می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود [۲]:

- **عوامل مکانیکی**

مانند پاره شدن یک سیم و یا هادی، اتصال هادی‌ها به یکدیگر در اثر وزش باد و طوفان و یا ضربه خوردن کابل در اثر فشار مکانیکی.

- **عوامل ولتاژی**

هر گونه عاملی که باعث افزایش بیش از حد ولتاژ گردد، می‌تواند منجر به شکست عایقی دو نقطه نسبت به هم و در نتیجه وقوع اتصال کوتاه گردد، که از آن جمله می‌توان به صاعقه اشاره نمود.

- **عوامل گرمایی**

چنانچه حرارت موجب تخریب عایق بین دو نقطه گردد می‌تواند منجر به تضعیف قدرت عایقی و وقوع اتصال کوتاه گردد.

۱-۴- علل افزایش سطح جریان اتصال کوتاه در شبکه های قدرت

از جمله عوامل افزایش سطح جریان اتصال کوتاه در شبکه‌های قدرت می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود [۲]:

- افزایش روزافزون تقاضای برق در سطح مشترکین خانگی و صنعتی و در نتیجه احداث نیروگاه‌های جدید چه در سطح شبکه‌های سراسری و چه در مقیاس کوچک (تولیدات پراکنده)
- احداث خطوط انتقال جدید برای افزایش قابلیت انتقال توان
- نصب خازنهای سری برای جبران سازی راکتانس خطوط انتقال
- اتصال شبکه‌های مجاور به یکدیگر جهت بهبود شاخص‌های قابلیت اطمینان

۱-۵- روش‌های محدود سازی جریان اتصال کوتاه

برخی از روش‌هایی که برای کاهش سطح جریان اتصال کوتاه که در شبکه‌های قدرت استفاده می-شود به شرح ذیل می‌باشد [۲] و[۳]:

- **استفاده از ترانسفورماتور با امپدانس بالا:** ترانسفورماتور با امپدانس بالا در حالت عادی مشکل افت ولتاژ را در شبکه ایجاد می‌کند.
- **جداسازی شین‌ها:** این روش مستلزم جداسازی منابعی است که موجب تغذیه جریان اتصال کوتاه می‌شوند. این مهم می‌تواند بوسیله باز کردن محل اتصال شین ها و یا جدا-سازی شین‌ها صورت گیرد. البته این حالت می‌تواند باعث کاهش تعداد منابع تغذیه بار در شرایط عادی و اضطراری شبکه هم باشد. جدا سازی مسیر شین‌ها منجر به کاهش قابلیت اطمینان و انعطاف پذیری سیستم در پخش بار می‌گردد.
- **فیوزها:** استفاده از فیوزها برای حفاظت در برابر اتصال کوتاه دارای سابقه قدیمی و گسترده است. با توجه به تعریف محدودکننده جریان خطا و قابلیت آن در بازیابی خودکار سیستم، شاید نتوان محدودکننده‌های فیوز را در رده روش‌های محدودسازی قرارداد. فیوز علاوه براینکه برای مقادیر زیاد جریان اتصال کوتاه کار برد نداشته، امکان وصل مجدد را به سیستم نمی‌دهد.
- **افزایش ظرفیت قطع کلیدهای قدرت**: کلیدهای قدرت قابلیت قطع خودکار و فعال شدن مجدد را دارا هستند. کلیدهای قدرت ظرفیت قابل قطع معینی را دارا هستند. بنابراین در انتخاب کلیدهای قدرت یکی از مهم ترین عوامل سطح اتصال کوتاه شبکه می باشد. با افزایش سطح اتصال کوتاه و تجاوز آن از ظرفیت قابل قطع کلیدهای قدرت، مجبور به تعویض کلیدهای قدرت می‌باشیم. ولی کلیدهای با ظرفیت بیشتر از لحاظ حجمی بزرگتر و گران‌تر هستند و همچنین هزینه‌های تعمیر و نگهداری را هم نباید نادیده گرفت. از طرف دیگر در شبکه معین که مورد بهره برداری قراردارند معمولاً تعداد قابل توجهی کلید قرار دارد که نمی‌توان همه آن ها را به یکباره تعویض کرد بلکه با برنامه ریزی قبلی و به صورت دوره ای انجام می‌گیرد.
- **راکتورهای محدود ساز جریان**: راکتور سری را می‌توان به عنوان یکی از ساده ترین و قدیمی‌ترین محدودکننده جریان خطا در شبکه قدرت نام برد. راکتور سری دارای اندوکتانس ثابتی است که در حالت نرمال و شرایط خطا امپدانس ثابتی از خود نشان می-دهد. یکی از ویژگی های مهم در طراحی راکتور سری عدم به اشباع رفتن آن در شرایط

وقوع اتصال کوتاه می‌باشد. از آن جا که در شرایط خطا جریانی در حدود چندین برابر مقدار نامی راکتور از آن عبور می کند لذا می بایست سطح مقطع هسته آهنی را به اندازه کافی افزایش داد که این امر می‌تواند منجر به گران شدن این نوع هسته‌ها شود. لذا، جهت کاهش هزینه‌های ساخت معمولا از راکتورهای با هسته هوایی استفاده می‌شود. با توجه به امپدانس این نوع محدودکننده جریان خطا، در حالت نرمال مشکل افت ولتاژ و تلفات مطرح خواهد بود.

در سال‌های اخیر سرمایه‌گذاری مناسبی توسط نهادهای دولتی و خصوصی در کشورهای مختلف در زمینه تکنولوژی‌های محدودکننده جریان خطا صورت گرفته است [۴] و [۵]. مدل‌های مختلفی تاکنون برای محدود کننده‌های جریان خطا ارائه شده است. با رشد صنعت در ساخت تجهیزات الکترونیک قدرت [۸-۶] و تکنولوژی ابررسانا [۱۱-۹] و مغناطیسی [۱۴-۱۲]، استفاده از این تکنولوژی‌ها برای محدودسازی جریان خطا بیشتر از سایر روش‌ها مطرح شده و امید به استفاده گسترده از این تجهیزات در آینده نه چندان دور را بوجود آورده است.

۱-۶- پژوهشهای علمی انجام شده

محدودکننده جریان خطا تجهیزی می‌باشد که به صورت سری در شبکه قرار می‌گیرد و جریان خطا را قبل از رسیدن به حداکثر مقدار خود محدود می‌کند تا این جریان توسط کلیدهای موجود قابل قطع باشد. محدودکننده جریان خطا در شرایط عادی شبکه امپدانس ناچیزی از خود نشان می-دهد و افت ولتاژ و تلفات ندارد. ولی در شرایط خطا امپدانس قابل ملاحظه‌ای از خود نشان می‌دهد و جریان خطا را محدود می‌کند. در [۱۵] و [۱۶] تاثیر محدود کننده جریان خطا بر روی رفتار استاتیکی و دینامیکی شبکه بعد از وقوع خطا مورد مطالعه قرار گرفته است. در [۱۷] و [۱۸] قابلیت اطمینان محدودکننده جریان خطا به عنوان یک تجهیز و با مطالعه ساختار درونی آن مورد بررسی قرار گرفته است. در [۱۹]، انواع نرخ خرابی محدودکننده جریان خطا مورد مطالعه قرار گرفته است. مطالعات قابلیت اطمینان آرایش‌های مختلف پست فشار قوی در حضور محدود کننده جریان خطا در [۲۰] مورد بررسی قرار گرفته است؛ لیکن، اشاره‌ای به اثر مکان محدودکننده بر شاخص‌های قابلیت اطمینان و همچنین تاثیر محدودکننده جریان خطا بر انواع نرخ خرابی تجهیزات اشاره‌ای نشده است. در [۲۱] تاثیر مکان محدود کننده جریان خطا را روی نرخ خرابی ادوات حفاظتی در یک شبکه نمونه مورد مطالعه قرار گرفته است. جایابی محدودکننده جریان خطا در شبکه توزیع با توجه به سطح محدود سازی جریان خطا در [۲۴-۲۲] مورد بررسی قرار گرفته است. در [۲۵] جایابی محدودکننده جریان خطا بر اساس دو هدف کاهش سطح اتصال کوتاه و بهبود قابلیت اطمینان مصرف کننده در دو

شبکه نمونه شعاعی و غربالی و با استفاده از ضرایب وزنی مورد مطالعه قرار گرفته است. حال در این پایان نامه سعی بر آن است تا ضمن جایابی محدود کننده جریان خطا برای آرایش‌های مختلف پست فشار قوی، اثر این عنصر حفاظتی بر روی انواع نرخ خرابی تجهیزات پست و در نهایت تاثیر آن بر شاخص‌های قابلیت اطمینان نقاط بار مورد ارزیابی قرار گیرد.

۱-۷- ساختار پایان نامه

ساختار پایان نامه حاضر به شرح زیر می‌باشد. در فصل دوم، انواع محدود کننده‌های جریان خطا به لحاظ ساختار فیزیکی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین مدل سازی الکتریکی محدودکننده جریان خطا جهت آنالیز جریانی در این فصل مطرح شده است. در فصل سوم، نحوه محاسبات شاخص‌های قابلیت اطمینان در پست‌های فشار قوی و همچنین مدل سازی تاثیر محدودکننده جریان خطا بر نرخ خرابی تجهیزات ارائه شده است. الگوی جایابی محدودکننده جریان خطا بر مبنای سطح جریان خطا و شاخص های قابلیت اطمینان و با استفاده از تصمیم گیری فازی در فصل چهارم ارائه شده است. همچنین مطالعات عددی حاصل از مدل سازی تاثیر محدودکننده جریان خطا بر نرخ خرابی تجهیزات پست فشار قوی در این فصل ارائه شده است. فصل پنجم شامل نتیجه گیری و پیشنهادات پایان نامه می‌باشد.

فصل دوم:

مروری بر تکنولوژی ساخت انواع محدود کننده های جریان خطا