به نام خدا

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

تاثیر منابع پراکنده در جریان‌های اتصال کوتاه و عملکرد سیستم‌های حفاظت شبکه‌های توزیع

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق-قدرت

عقیل داوری

استاد راهنما

دکتر محمد اسماعیل همدانی گلشن

۱۳۸۸

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده‌ی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق – قدرت آقای عقیل داوری

تحت عنوان

تاثیر منابع پراکنده در جریان‌های اتصال کوتاه و عملکرد سیستم‌های حفاظت شبکه‌های توزیع

در تاریخ ۸۸/۲/۲۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمد اسماعیل همدانی گلشن
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر حمیدرضا کارشناس
۳- استاد داور	دکتر سید محمد مدنی
۴- استاد داور	دکتر اکبر ابراهیمی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر علی‌محمد دوست‌حسینی

تشکر و قدردانی

خداوند بزرگ را شاکر و سپاسگزارم که مرا یاری کرد تا این دوره تحصیلی را به پایان برسانم. بی‌شک گذراندن این دوره بدون همکاری و همراهی خانواده و دوستان ارجمندم امکان‌پذیر نبود لذا از خداوند متعال موفقیت و بهروزی این عزیزان را خواستارم.

لازم میدانم از زحمات بیدریغ پدر و مادر عزیزم که در دوران تحصیل یار و مشوق بنده بوده‌اند و راه را در این مسیر بر بنده هموار نموده‌اند تشکر و قدردانی کنم.

از استاد ارجمند جناب آقای دکتر محمد اسماعیل همدانی گلشن که با رهنمودهای خود در طول انجام پایان‌نامه همراه بنده بوده‌اند قدردانی مینمایم. همچنین از جناب آقای دکتر حمیدرضا کارشناس که از نعمت مشاوره ایشان بهره برده‌ام و همچنین از آقایان دکتر سید محمد مدنی و دکتر اکبر ابراهیمی که زحمت داوری این پایان‌نامه را پذیرفتند نهایت تشکر را دارم.

در پایان از آقای دکتر علی‌محمد دوست حسینی سرپرست محترم تحصیلات تکمیلی دانشکده و نیز از سرکار خانم نکویی مسوول دفتر تحصیلات تکمیلی دانشکده تشکر و قدردانی مینمایم.

عقیل داوری

اردیبهشت ماه ۱۳۸۸

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

همه دانشجویان برق،

...

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: تاثیر حضور منابع پراکنده بر روی حفاظت‌های معمول سیستم توزیع

۲-۱ حفاظت سیستم‌های توزیع ۶

۲-۱-۱ فیوزها ۷

۲-۱-۲ ریکلوزرها ۸

۲-۱-۳ رله جریان زیاد ۹

۲-۲ نصب منابع پراکنده در سیستم‌های توزیع ۱۰

۲-۳ هماهنگی فیوزها در یک شبکه توزیع شعاعی ۱۳

۲-۳-۱ به هم خوردن هماهنگی فیوزها در حضور منابع پراکنده ۱۴

۲-۳-۲ مثالی از هماهنگی فیوزها در حضور منابع پراکنده ۱۶

۲-۳-۳ روش‌های حفظ هماهنگی فیوز-فیوز در حضور منابع پراکنده ۱۷

۲-۴ هماهنگی رله‌های جریان زیاد در سیستم توزیع ۱۹

۲-۴-۱ به هم خوردن هماهنگی رله‌های جریان زیاد بر اثر حضور منابع پراکنده ۲۰

۲-۴-۲ راه حل مشکلات هماهنگی رله ها در حضور DG ۲۳

۲-۴-۳ خلاصه‌ای از هماهنگی فیوز-فیوز و رله-فیوز در حضور منابع پراکنده ۲۳

۲-۵ هماهنگی فیوز و ریکلوزر در سیستم‌های توزیع ۲۴

۲-۵-۱ تاثیر منابع پراکنده بر روی هماهنگی ریکلوزر-فیوز ۲۵

۲-۵-۲ بررسی یک مثال برای نشان دادن از بین رفتن هماهنگی بین فیوز و ریکلوزر ۲۶

۲-۵-۳ نیازمندیهای لازم برای هماهنگی ریکلوزر در حضور DG ۲۸

۲-۵-۴ نمونه ای از هماهنگی فیوز و ریکلوزر در حضور DG با استفاده از ریکلوزر میکروپروسسوری ۳۱

۲-۵-۵ بحث و بررسی ۳۳

فصل سوم: تاثیر منابع پراکنده مختلف بر روی سیستم حفاظت یک شبکه نوعی

۳-۱ مدل سازی شبکه شبکه توزیع شعاعی ۳۶

۳-۱-۱ مدلسازی سیستم فوق توزیع ۳۶

۳-۱-۲ مدل ترانسفورمر ۳۷

۳-۱-۳ مدل سازی خطوط ۳۷

۳-۱-۴ مدل بار ۳۸

۳-۲ حفاظت گذاری سیستم توزیع مورد مطالعه ۳۹

۳-۲-۱ هماهنگی سیستم حفاظتی ۴۰

۳-۲-۲ انتخاب فیوز ۴۰

۳-۲-۳ انتخاب ریکلوزر ۴۲

۳-۲-۴ بررسی هماهنگی فیوزها و ریکلوزر ۴۵
۳-۳ انواع منابع پراکنده و تاثیر آنها بر روی سیستم حفاظت ۴۹
۳-۳-۱ ژنراتور سنکرون ۵۰
۳-۳-۲ مدل ژنراتور سنکرون ۵۰
۳-۳-۳ کنترل کننده ولتاژ یا کنترل کننده PV ۵۲
۳-۳-۴ حلقه کنترل ولتاژ ۵۳
۳-۳-۵ حلقه کنترل توان اکتیو ۵۴
۳-۳-۶ کنترل کننده ضریب توان ثابت یا کنترل کننده PQ ۵۵
۳-۳-۷ حلقه کنترل توان راکتیو ۵۶
۳-۳-۸ نصب ژنراتور سنکرون همراه با کنترل کننده PV ۵۶
۳-۳-۹ ژنراتور القایی ۶۴
۳-۳-۱۰ مدل کامل ژنراتور القایی ۶۴
۳-۳-۱۱ مدل ساده شده ژنراتور القایی ۶۵
۳-۳-۱۲ نصب ژنراتور القایی در سیستم مورد مطالعه ۶۹
۳-۳-۱۳ منابع پراکنده مبتنی بر اینورتر ۷۹
۳-۳-۱۴ سوییچینگ اینورتر ۸۰
۳-۳-۱۵ کنترل کننده PV در منابع مبتنی بر اینورتر ۸۱
۳-۳-۱۶ کنترل کننده PQ در منابع مبتنی بر اینورتر ۸۸
فصل چهارم: راه‌هایی برای بهبود حفاظت سیستم توزیع در حضور منابع پراکنده
۴-۱ راه حل های مقدماتی برای بهبود سیستم حفاظتی در حضور منابع پراکنده ۹۵
۴-۲ الگوریتم‌های حفاظتی جدید پیشنهاد شده برای سیستم‌های توزیع شامل منابع پراکنده ۹۷
۴-۲-۱ مفهوم جزیره‌ای شدن ۹۸
۴-۳ ارائه یک الگوریتم حفاظت وفقی در سیستم های توزیع با حضور منابع پراکنده ۹۹
۴-۳-۱ طرح کلی الگوریتم وفقی ۱۰۰
۴-۳-۲ وسایل اندازه گیری در حفاظت وفقی ۱۰۱
۴-۳-۳ محاسبات Off-Line و ذخیره اطلاعات ۱۰۱
۴-۳-۴ تشخیص خطا و نوع آن در الگوریتم وفقی ۱۰۲
۴-۳-۵ تشخیص محل خطا بر روی سیستم ۱۰۲
۴-۳-۶ ورود و خروج ناحیه تحت خطا ۱۰۳
۴-۴ حفاظت سیستم‌های توزیع در حضور منابع پراکنده با استفاده از شبکه‌های عصبی ۱۰۶
۴-۴-۱ روند الگوریتم حفاظت با استفاده از شبکه های عصبی ۱۰۶
۴-۴-۲ جمع‌آوری اطلاعات از سیستم برای مدلسازی آن و محاسبات Offline ۱۰۷
۴-۴-۳ محاسبات Online و شناسایی نوع خطا و محل آن ۱۰۷
۴-۴-۴ جدا کردن قسمتی از سیستم که دچار خطا شده است ۱۱۰
۴-۵ استفاده از رله‌های دیستانس در شبکه‌های توزیع با حضور منابع پراکنده ۱۱۰
۴-۵-۱ مزایای استفاده از حفاظت دیستانس ۱۱۱

۴-۵-۲ کاربرد حفاظت دیستانس در شبکه های توزیع شعاعی..... ۱۱۵
۴-۵-۳ کاربرد حفاظت دیستانس در شبکه های توزیع حلقوی..... ۱۱۷
فصل پنجم: شبیه سازی برخی از سیستم‌های حفاظتی جدید
۵-۱ معرفی شبکه تست..... ۱۱۹
۵-۱-۱ معرفی خطوط و ترانسفورمرهای شبکهٔ تست..... ۱۱۹
۵-۱-۲ مدل بار..... ۱۲۲
۵-۱-۳ مدل بار توزیع شده..... ۱۲۲
۵-۱-۴ بانک‌های خازنی..... ۱۲۳
۵-۲ مدل سازی شبکه تست در نرم‌افزار Digsilent..... ۱۲۳
۵-۲-۱ شبیه سازی خطوط انتقال..... ۱۲۴
۵-۳ ناحیه بندی شبکه..... ۱۲۵
۵-۴ عملکرد الگوریتم حفاظت وفقی در سیستم های توزیع با حضور منابع پراکنده..... ۱۲۷
۵-۴-۱ محاسبات Off-Line..... ۱۲۷
۵-۴-۲ محاسبات پخش بار..... ۱۲۷
۵-۴-۳ تحلیل انواع اتصال کوتاه برای تمام باس‌ها در فازهای مختلف..... ۱۲۸
۵-۴-۴ محاسبات On-Line..... ۱۲۹
۵-۴-۵ تشخیص رخ دادن خطا..... ۱۳۰
۵-۴-۶ تعیین محل خطا..... ۱۳۱
۵-۴-۷ ورود و خروج زون تحت خطا..... ۱۳۳
۵-۴-۸ عوامل خطا در الگوریتم حفاظت وفقی شبیه سازی شده..... ۱۳۴
۵-۴-۹ اثر ضریب نفوذ منابع پراکنده بر روی عملکرد حفاظت وفقی شبیه‌سازی شده..... ۱۳۴
۵-۴-۱۰ اثر مقاومت خطا بر روی عملکرد حفاظت وفقی شبیه‌سازی شده..... ۱۳۶
۵-۵ حفاظت شبکه‌های توزیع در حضور منابع پراکنده با استفاده از شبکه‌های عصبی..... ۱۳۷
۵-۵-۱ مقدمه و اصول کلی شبکه عصبی..... ۱۳۷
۵-۵-۲ ساختمان نرو – سیناپتیکی و مدل ریاضی نرون شبکه عصبی مصنوعی..... ۱۳۷
۵-۵-۳ دو کاربرد اصلی شبکه عصبی..... ۱۳۹
۵-۵-۴ اصول یادگیری شبکه عصبی..... ۱۴۰
۵-۵-۵ شبکه پس انتشار و قوانین یادگیری آن..... ۱۴۱
۵-۵-۶ روشهای مختلف بهینه سازی تابع خطا..... ۱۴۲
۵-۵-۷ آماده سازی پایگاه داده برای حفاظت شبکه های توزیع بر مبنای شبکه عصبی..... ۱۴۳
۵-۵-۸ آموزش شبکه عصبی..... ۱۴۵
۵-۵-۹ آزمایش شبکه عصبی آموزش داده شده..... ۱۵۰
فصل ششم: نتیجه‌گیری
۶-۱ نتیجه‌گیری..... ۱۵۲
۶-۲ پیشنهادات..... ۱۵۳
مراجـــــع..... ۱۵۴

چکیده

افزایش روزافزون میزان منابع پراکنده در سیستمهای توزیع، باعث شده است شرکت های برق با مسائل مختلفی روبرو شوند. این‌گونه منابع علاوه بر اینکه مزایایی به دنبال دارند، باعث مشکلاتی نیز می شوند. از جمله این مشکلات می توان به تغییر سطح جریان اتصال کوتاه در سیستم توزیع اشاره کرد که می تواند باعث به هم خوردن هماهنگی سیستم‌های حفاظتی و عملکرد نامناسب وسایل حفاظتی می‌شود. بنابراین با بررسی مجدد سیستم‌های حفاظتی موجود، ممکن است با تغییر تنظیم و یا جایگزینی برخی از وسایل حفاظتی، بتوان مجددا هماهنگی را برقرار نمود. گاهی نیز با توجه به ضریب نفوذ منابع و تعداد آنها ممکن است لازم باشد از طرحهای حفاظت جدید استفاده نمود. به این منظور برخی از طرح‌های جدید حفاظت سیستم توزیع در حضور منابع پراکنده بررسی شده است.

هدف این پروژه بررسی تاثیر حضور منابع پراکنده در سیستم‌های توزیع بر روی طرح های حفاظتی مرسومی است که در این شبکه‌ها بکار می روند. به این منظور و با توجه به اینکه میزان تاثیرگذاری منابع پراکنده روی عملکرد حفاظت‌های سیستم توزیع به نوع، تعداد، ظرفیت و مکان آنها بستگی دارد، ضمن در نظر گرفتن مدلهای مناسب برای انواع منابع پراکنده، تاثیر آنها بر روی جریان‌های اتصال کوتاه بررسی شده و عملکرد سیستم های حفاظت مرسوم از جمله حفاظت فیوز-ریکلوزر در این شرایط مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در ادامه و برای رفع محدودیتهایی که حضور منابع پراکنده بر روی سیستم حفاظت ایجاد می کنند، برخی از طرحهای جایگزین ارائه شده همچون حفاظت وفقی و حفاظت مبتنی بر شبکه های عصبی، مورد بررسی قرار گرفته و عملکرد آنها روی یک سیستم توزیع تست نشان داده می شود.

کلمات کلیدی:

۱- سیستم توزیع ۲- حفاظت ۳- منابع پراکنده ۴- جریان خطا ۵- حفاظت وفقی ۶- شبکه عصبی ۷- فیوز ۸- ریکلوزر

فصل اول
مقدمه

منابع تولید پراکنده به صورت موتورهای احتراق داخلی، توربینهای گازی، میکروتوربینها، سلولهای خورشیدی، سلولهای پیل سوختی و توربینهای بادی مورد استفاده قرار می گیرد. بسیاری از این منابع تولید انرژی از قبیل میکروتوربینها، سلولهای خورشیدی، سلولهای پیل سوختی و موتورهای احتراق داخلی(همراه با ژنراتور مغناطیس دائم) برای اتصال به سیستم توزیع نیاز به یک اینورتر دارند. استفاده از منابع پراکنده، فاصله الکتریکی بین تولید کننده و مصرف کننده را کاهش می دهد و در بهبود پروفایل ولتاژ، توان راکتیو و کاهش مشکلات بین توزیع وانتقال مؤثر می باشد. همچنین باعث کاهش تلفات الکتریکی و در صورت امکان باعث جلوگیری از هدر رفتن انرژی گرمایی تولیدی در ژنراتورها می شود. منابع تولید پراکنده دارای این پتانسیل می باشند که قابلیت اطمینان و کیفیت توان سیستم را افزایش دهند و این به علت تمرکززدایی منابع تولید می باشد.

به هر حال اضافه کردن منابع پراکنده به سیستم توزیع ، باعث می شود که ساختار شبکه دستخوش تغییر گردد و از حالت شعاعی خارج گردد. اگر چه این تغییر باعث بسیاری از مزایا از قبیل افزایش قابلیت اطمینان، کیفیت توان تحویلی، افزایش سطح مدیریت انرژی و افزایش قابلیت انعطاف شبکه می شود؛ اما از این لحاظ که شبکه را دچار تغییر ساختار نموده است، باعث بروز بعضی مشکلات می شود. از جمله این مشکلات می توان از تغییر سطح جریان اتصال کوتاه در سیستم توزیع نام برد. این تغییرات باعث می شود که بسیاری از محاسبات و طراحی‌های قبلی که در سیستم انجام گرفته دچار مشکل شود و نیاز به یک بازبینی مجدد و یا تغییر ساختار داشته باشند. از جمله این سیستمها که نیاز به این تغییر در آنها نیاز می باشد، سیستم حفاظتی شبکه است. با تغییر سطح جریان اتصال کوتاه‌ها در شبکه برخی از تنظیم‌ها و آرایش رله‌ها باید بازبینی و یا بازآرایش شوند. گاها باید الگوریتم‌ها و روشهای جدیدی برای سیستم حفاظت پیاده نمود. هنگام خطا نیز باید کوچکترین بخش از سیستم

جدا گردد که با تغییر اندازه جریان‌های اتصال کوتاه این موضوع نیز تحت تاثیر قرار گرفته و نیاز به تنظیم مجدد رله‌ها و یا اتخاذ بعضی تصمیم‌ها را در بهبود عملکرد سیستم حفاظت اجباری می کند. با این رویکرد و افزایش روزافزون منابع پراکنده در شبکه‌های توزیع و فوق توزیع، مسئله حفاظت به موضوعی قابل تعمق در دهه اخیر شده است.

برجسته ترین مطالعات در این زمینه بعد از سال ۱۹۹۹ انجام شده است. در [۱،۲] تاثیرات منابع پراکنده بر روی هماهنگی حفاظت‌های مرسوم و متداول شبکه های توزیع بررسی شده است. در این مراجع حفاظت های فیوز- فیوز، فیوز- ریکلوزر و رله- رله و تاثیر اندازه و مکان نصب منابع پراکنده بر روی هماهنگی سیستم حفاظت مطالعه شده است. پس از آن حفاظت‌های دیگر مانند ریکلوزر-ریکلوزر مورد توجه قرار گرفتند و تاثیر منابع پراکنده روی آن‌ها مطالعه شده است[۳]. سپس در [۴] مسئله حفاظت شبکه های توزیع حلقوی در نظر گرفته و روشی برای هماهنگی رله‌های جریان زیاد معرفی شد. در آن مسئله قابلیت اطمینان نیز به عنوان یک شاخص برای بهینه سازی عملکرد رله‌ها در نظر گرفته شده است. در این مرجع، تابع هدفی تعریف شده است که در آن شاخصهای قابلیت اصمینان و زمان عملکرد رله ها به عنوان متغیرهای مستقل می باشند و این تابع هدف باید بهینه گردد.

تا سالهای قبل از ۲۰۰۴ محققین بیشتر به مطالعاتی نظیر تاثیر منابع پراکنده بر روی حفاظت سیستم های توزیع پرداختند و راه حلهایی کم و بیش کارآمد ارائه کردند. در [۵] الگوریتمی وفقی ارائه شد که با کمک گرفتن از میکروپرسسورها پیاده سازی آن امکان دارد. این الگوریتم با در نظر گرفتن مکان منابع پراکنده و بارهای شبکه، در هنگام خطا توانایی تصمیم گیری خارج کردن بخشی را که دچار خطا شده است، دارد. در [۶] نیز الگوریتم وفقی نسبتا پیچیده و کارآمدی معرفی شده است که در حضور منابع پراکنده با ضریب نفوذ بالا بسیار کارآمد است. این الگوریتم از یک کامپیوتر مرکزی به عنوان مرکز کنترل بهره می گیرد و با محاسبا ت Off-Line و On-Line توانایی تشخیص محل خطا را دارد. بعد از آن الگوریتمها و روشهای دیگری نیز پیشنهاد شد. در [۷] الگوریتمی بر پایه محاسبات کلاسیک ارائه شده است که بر اساس زمان عملکرد فیوزها و ریکلوزرها، ظرفیت منابع پراکنده برای نصب در شبکه توزیع محاسبه می شوند. مزیت این الگوریتم این است که نیاز به تعویض سیستم حفاظتی نیست. همان مؤلفین در [۸] الگوریتم خود را گسترش داده و شاخصهای قابلیت اطمینان را نیز به آن اضافه کردند. در هر دو مرجع [۷] و [۸] با وجود اضافه کردن منابع پراکنده ، تغییر سیستم های حفاظتی به تاخیر می افتد. در [۹] الگوریتمی بر اساس روش PSO [1] ارائه شد که در این الگوریتم رله های جریان زیاد به گونه ای تنظیم می‌شوند که با حضور منابع پراکنده، در کوتاهترین زمان عمل می کنند.

با توجه به وجود انواع مختلف بارها و حساس بودن بعضی از آن ها به افت ولتاژ در هنگام خطا، در مرجع [۱۰] هماهنگی ادوات حفاظتی این گونه بارها با رله های جریان زیاد در حضور منابع پراکنده بررسی شده است. رفته رفته با مورد اهمیت قرار گرفتن مسئله حفاظت در شبکه های توزیع راهکاری در [۱۱] پیشنهاد شد که به یک

---

[1]. particle swarm optimization

تغییر کلی در طراحی سیستم حفاظتی منجر می شود. در این روش تمام رله های جریان زیاد موجود در سیستم حفاظتی حذف شده و به جای آن‌ها رله های دیستانس قرار می گیرد. این روش بسیار کارآمد است، زیرا که رله های دیستانس از لحاظ عملکرد حفاظتی بسیار عالی هستند. اما مشکل نصب این گونه رله ها، هزینه بالای ترانسفورمرهای جریان و ولتاژ می باشد که برای برطرف کردن این مسئله به جای استفاده از ترانسفورمر ولتاژ از ولتاژ ثانویه ترنسفورمرهای بار استفاده می شود.

در سالهای اخیر استفاده از ادوات الکترونیک قدرت در شبکه های قدرت متداول شده است و از جمله می‌توان از منابع پراکنده مبتنی بر اینورتر نام برد. این منابع به دلیل داشتن کنترل کننده، رفتار پیچیده ای از خود در هنگام خطا نشان می دهند. بنابراین عملکرد سیستم های حفاظتی و هماهنگی آن ها تحت الشعاع قرار می گیرد. در [۱۲] در مورد جریانی که این گونه منابع در هنگام خطا به شبکه تزریق می کنند مطالعه شده است. در [۱۳] روشی ارائه شده است که جریان منابع مبتنی بر اینورتر را در هنگام خطا به سرعت محاسبه می کند و مقادیر حداکثر جریان را در لحظات اولیه اتصال کوتاه بدست می آورد. بوسیله این روش می توان فیوزها و ریکلوزرها را با مقادیر مناسب انتخاب نمود تا جریان هنگام اتصال کوتاه در لحظات اولیه به آن‌ها آسیب نرساند. منابع مبتنی بر اینورتر به خاطر محدودیتهای عبور جریان از آن ها باید در هنگام خطا از شبکه جدا گردند. به همین خاطر در [۱۴] الگوریتمی بر اساس مؤلفه‌های d و q ولتاژ خروجی ترمینال ژنراتور ارائه شده است که هنگامی که خطایی در شبکه رخ می‌دهد، این الگوریتم خطا را تشخیص داده و ژنراتور را ازشبکه خارج می کند. این الگوریتم هم برای خطاهای فاز و هم خطاهای تک‌فاز به خوبی عمل می کند. در [۱۵] نیز الگوریتم‌هایی برای تشخیص خطا پیشنهاد شده است. آنها نیز بر اساس مقادیر V_d و V_q خروجی ژنراتور پایه گذاری شده اند. در این مرجع سه روش متفاوت ارائه شده است.

در سال‌های اخیر با معرفی میکرو گریدها و مفاهیمی نظیر جزیره‌ای شدن شبکه های توزیع، روشهایی برای تشخیص جزیره ای شدن شبکه های توزیع و حفاظت آنها در حضور منابع پراکنده ارائه شده است. در [۱۶] الگوریتمی براساس مؤلفه های توالی مثبت و منفی جریان و ولتاژ در هنگام خطاهای فاز و تک‌فاز پیشنهاد شده است که محل خطا و جزیره ای شدن شبکه توزیع را تشخیص می دهد. در [۱۷] روشی برای تشخیص جزیره ای شدن بر اساس تزریق جریان به شبکه معرفی شده است. در این روش یک ژنراتور مبتنی بر اینورتر که به روش کنترل جریان کار می کند، جریانی با فرکانسی بسیار کمتر از فرکانس اصلی شبکه، بین ۱ تا ۵ هرتز، به شبکه تزریق می کند. این جریان تزریقی باعث ایجاد ولتاژی با فرکانسی متفاوت از فرکانس اصلی در خروجی ژنراتور می شود. با بررسی رفتار این ولتاژ، جزیره ای شدن شبکه توزیع تشخیص داده می شود. در [۱۸] نیز رفتار منابع پراکنده مبتنی بر اینورتر، هنگامی که جزیره ای می شوند، بررسی شده است. در این مطالعه نوع کنترل کننده اینورتر نیز در نظر گرفته شده است. این مرجع با مطالعه‌ای دقیق بر روی رفتار ژنراتورهای با کنترل کننده های PQ ثابت، PV ثابت و جریان ثابت راهکاری برای تشخیص جزیره ای شدن ارائه می کند. در [۱۹] نیز روشی ترکیبی بر اساس عدم تعادل ولتاژ و تغییرات فرکانس خروجی ژنراتور پیشنهاد شده است. در این روش با نمونه برداری از ولتاژ و فرکانس خروجی ژنراتور و انجام پردازشهایی بر روی این سیگنالها جزیره ای شدن سیستم توزیع تشخیص داده می‌شود. در [۲۰] نیز روشی بر مبنای شبکه های عصبی برای تشخیص محل خطا و جزیره ای شدن شبکه های توزیع پیشنهاد

شده است. در این مرجع شبکه ای واقعی همراه با منابع پراکنده در نظر گرفته شده است و ضمن تعیین محل خطا و جدا کردن قسمتی که دچار خطا شده است، می تواند شبکه را به صورت جزیره ای نیز کنترل کرده و در حالت بهره برداری قرار دهد.

موضوع این پایان‌نامه بررسی حفاظت‌های مرسوم سیستم‌های سیستم توزیع در حضور منابع پراکنده و مطالعه برخی از راه‌ها برای اصلاح این حفاظت‌ها می باشد.

بر این اساس در این پایان نامه در فصل دوم مروری کامل و جامع بر روی حفاظتهای مرسوم شبکه های توزیع انجام می شود. این حفاظتها عبارتند از: حفاظت فیوز- فیوز، فیوز- ریکلوزر، رله- رله، فیوز- رله و ریکلوزر- رله. سپس مروری بر روی هماهنگی آنها بدون حضور منابع پراکنده در شبکه های توزیع صورت می‌گیرد. همچنین با ارائه مثالهایی نحوه به هم خوردن هماهنگی انواع سیستم های حفاظتی در حضور منابع پراکنده بررسی می شود. بعلاوه راه حلهایی ساده برای هماهنگی سیستم حفاظتی بررسی می شود و بر روی شبکه های کوچک مورد مطالعه قرار می گیرد. همچنین با معرفی نوعی از ریکلوزرهای میکروپروسسوری راه حلی متفاوت با راه حلهای بیان شده ارائه می گردد.

در فصل سوم با توجه به اهمیت نوع منابع پراکنده و کنترل کننده های مربوطه، شبکه توزیع ۷ باس مطرح شده در [۲۱] مدل سازی شده و با قرار دادن انواع منابع پراکنده از نوع ژنراتور سنکرون، آسنکرون و منابع اینورتری، تاثیر آن‌ها بر روی حفاظت ریکلوزر-فیوز تعبیه شده بر روی این سیستم مورد مطالعه قرار می گیرد. علاوه بر آن مدلهای ساده شده این منابع نیز در نظر گرفته شده و تاثیر آنها بر روی سیستم حفاظت، با مدل های کامل مقایسه می شوند.

در فصل چهارم راهکارهای جامع و کاملی که تا کنون معرفی شده اند بررسی می گردند. این راهکارها بر اساس حفاظتهای وفقی، شبکه های عصبی و حفاظت دیستانس می باشند. در فصل پنجم نیز شبکه توزیع ۱۳ باس IEEE مدل سازی شده و راهکارهای معرفی شده در فصل چهارم بر روی آن ها اعمال می شود و نتایج آن بررسی می گردد. در انتها در فصل ششم نیز نتیجه گیری انجام و برخی پیشنهادات برای ادامه کار مطرح می شود.

فصل دوم
تاثیر حضور منابع پراکنده بر روی حفاظت‌های معمول سیستم توزیع

به طور معمول از فیوز، رله‌های جریان زیاد و ریکلوزر در حفاظت سیستم های توزیع استفاده می شود. این حفاظت ها بر اساس شعاعی بودن سیستم توزیع انتخاب و تنظیم می شوند. نصب منابع پراکنده در سیستم توزیع می تواند باعث بهم خوردن هماهنگی حفاظت‌ها شود. گاهی با روش های ساده می توان این هماهنگی را دوباره برقرار کرد و گاهی با حفاظت‌های موجود این کار عملی نیست. در این فصل ضمن مرور حفاظت‌های معمول سیستم‌های توزیع، چگونگی تاثیر منابع پراکنده بر روی عملکرد آنها بررسی و برخی از راه حلهای ساده بررسی می‌گردند.

۲ ـ ۱ حفاظت سیستم‌های توزیع

از جمله عوامل مؤثر بر قابلیت اطمینان سیستم قدرت، عملکرد سیستم حفاظتی آن است. سیستم حفاظتی با تشخیص وقوع خطا، بخشی از سیستم را که خطا در آن رخ داده است، شناسایی و قبل ازخرابی تجهیزات یا سایر نتایج نامطلوب روی سیستم از بقیه سیستم جدا می کند. برخی از مشخصات یک طرح حفاظتی خوب عبارتند از:

- **خاصیت انتخابگری**

تنها بخش معیوب از سیستم جدا شود.

- **قابلیت اطمینان**

سیستم حفاظتی همه شرایط خطا را تشخیص دهد ولی در شرایط عادی عمل نکند.

- **سرعت**

سیستم حفاظتی باید به محض تشخیص خطا، بخش معیوب را به سرعت از سیستم جدا کند، قبل از اینکه بخشهای دیگر سیستم تحت تاثیر خطا قرار گرفته و دچار آسیب یا عملکرد نامطلوب شوند.

وسایل و طرحهای حفاظتی که برای یک سیستم قدرت، استفاده می شود وابسته به عنصر مورد حفاظت و محل قرار گرفتن آن در سیستم قدرت است. از آنجایی که قابلیت اطمینان سیستم حفاظت یکی از اساسی‌ترین مشخصه های یک طرح حفاظتی خوب می باشد، اغلب خطوط سیستم و عناصر مهم دیگر دارای حفاظت‌های اصلی و پشتیبان می باشند. بنابراین برای رسیدن به ویژگی انتخابگری لازم است حفاظت‌های اصلی و پشتیبان با یکدیگر هماهنگ باشند. هماهنگی این دو حفاظت(اصلی و پشتیبان) به این معنی است که هنگام وقوع خطا ابتدا حفاظت اصلی عمل کند و در صورتی که پس از مدتی کار خود را بخوبی انجام نداد، حفاظت پشتیبان برای حفاظت عنصر معیوب وارد عمل شوددر ادامه به عناصر تشخیص خطا در سیستم های توزیع که بر اساس اندازه گیری و مقایسه جریان عمل می کنند می پردازیم.

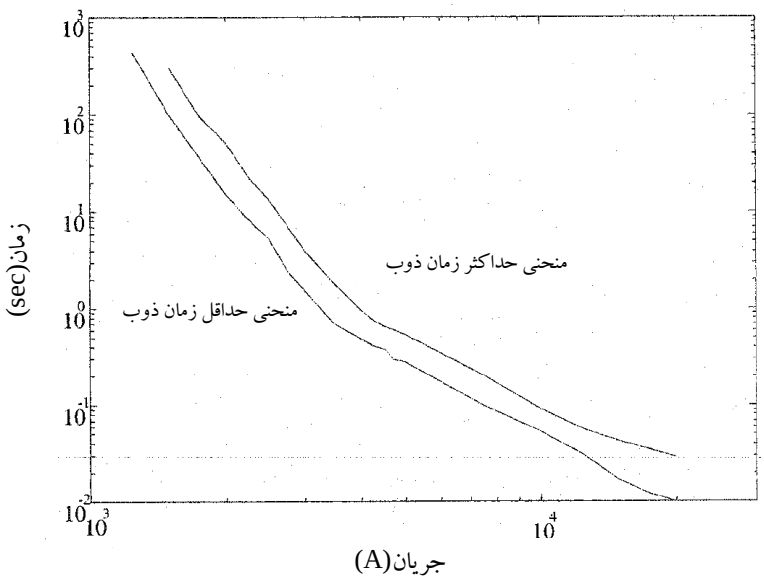
۲ ـ ۱ ـ ۱ فیوزها

فیوزها به طور گسترده برای حفاظت سیستم های توزیع مورد استفاده قرار می گیرند . یک فیوز معمولاًدر ابتدای خطوط توزیع و یا ابتدای خطوطی که از خط اصلی منشعب می شوند، قرار می گیرد. این گونه فیوزها به گونه ای طراحی می شوند که جریان بار را بتوانند به طور پیوسته از خود عبور دهند. زمان عملکرد یک فیوز با جریانی که از آن عبور می کند، نسبت معکوس دارد. بنابراین هر چه جریان عبوری از فیوز بیشتر باشد، زمان عملکرد آن نیز کمتر خواهد شد. مشخصه نوعی یک فیوز در شکل۲-۱ نشان داده شده است. در این شکل دو منحنی وجود دارد. منحنی حداقل زمان ذوب[۲] که نشان دهنده حداقل زمان لازم برای شروع عملکرد فیوز برای یک جریان معلوم می باشد.

منحنی حداکثر زمان ذوب[۳] نیز نشان دهنده حداکثر زمان لازم برای ذوب کامل المنت فیوز می باشد. این دو منحنی به صورت زمان معکوس می باشند. برای هماهنگی فیوزها با یکدیگر و همچنین هماهنگی با دیگر ادوات حفاظتی، باید از این دو منحنی استفاده نمود. برای بهتر نشان دادن این منحنی ها و همچنین بررسی بهتر هماهنگی‌ها، این منحنی ها به صورت Log – Log ترسیم می شوند[۱].

---

[2] . Minimum Melting curve(MM)
[3] .Total Clearing curve(TC)



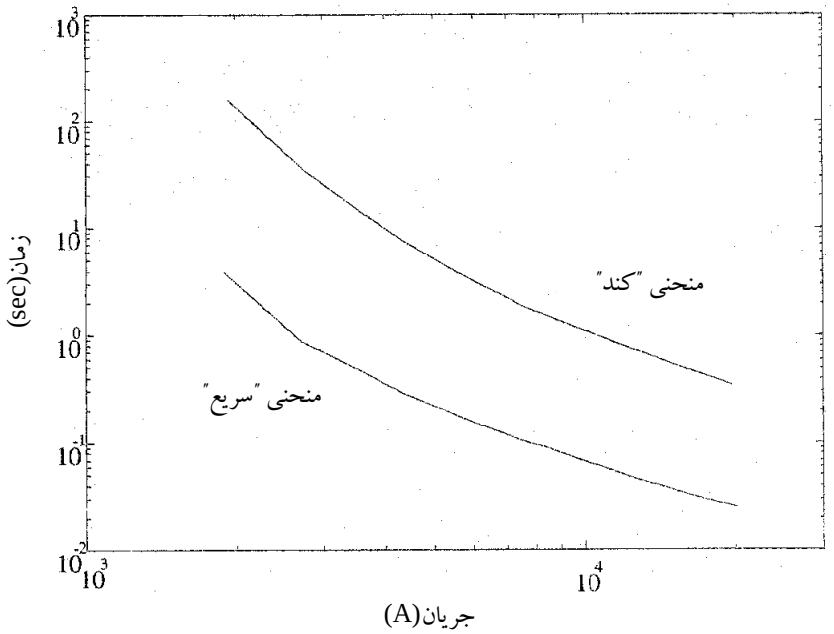
شکل ۲-۱-مشخصه زمان–جریان فیوز[۱]

۲ ـ ۲ ریکلوزرها

تقریباً ۸۰ در صد از خطاهایی که در سیستم توزیع اتفاق می‌افتد، گذرا می باشند، به این معنی که بعد از مدت کوتاهی، خود به خود بر طرف می شوند[۱–۵]. این خطاها ممکن است در اثر برخورد پرندگان، شاخه درختان و عوامل دیگر اتفاق بیفتد. بنابراین مشخص است که جدا شدن دائمی قسمت معیوب در این گونه خطاها نامطلوب می‌باشد و باعث کاهش بی مورد قابلیت اطمینان سیستم می شود[۲]. به این دلیل از ریکلوزرها در سیستم‌های توزیع استفاده می شود. ریکلوزرها باید با فیوزها هماهنگ شوند تا فیوزها فقط برای خطاهای دایمی عمل کنند و بنابراین قابلیت اطمینان سیستم بهبود یابد. شکل۲–۲ منحنی جریان–زمان یک ریکلوز را نشان می دهد. در این شکل، دو منحنی "سریع[۴]" و"کند[۵]" وجود دارد. هر دو این منحنی ها زمان معکوس می باشند. در حالت منحنی "سریع" ریکلوزر برای یک جریان معلوم خیلی سریعتر از منحنی "کند " عمل می کند. در مورد هماهنگی این منحنی‌ها با فیوزها در بخش‌های بعدی مفصل تر بحث خواهد شد .

---

[4] .Fast Curve
[5] .Slow Curve



شکل ۲-۲مشخصه زمان–جریان ریکلوزر[۱]

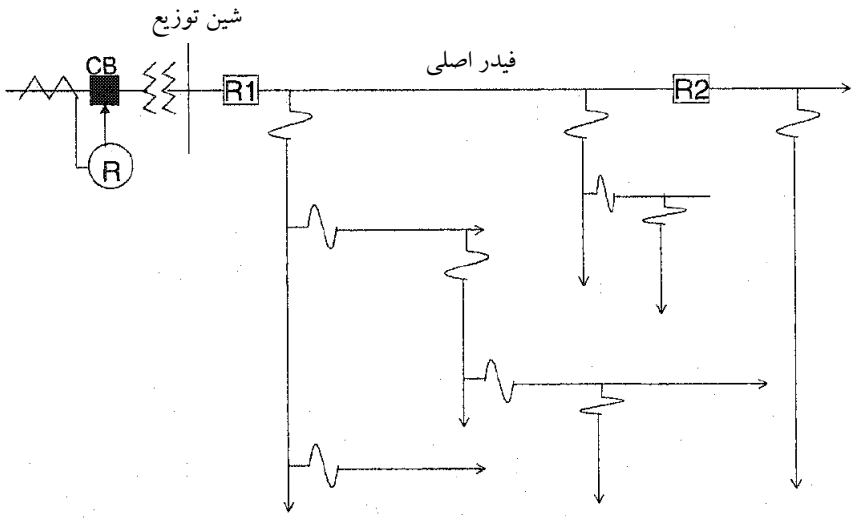
۲ ـ ۳ ـ ۴ رله جریان زیاد

رله جریان زیاد به طور مستقیم به سیستم قدرت متصل نمی‌شود. از یک ترانسفورمر جریان برای کاهش مقدار جریان خط اصلی استفاده شده و جریان کاهش یافته به رله جریان زیاد داده می شود. اصولاً این گونه رله‌ها به صورت زمان معکوس می باشند، اما با تنظیماتی که این گونه رله ها دارند، می توان شیب منحنیها را تغییر داد. با توجه به شیب منحنی می توان رله ها را به صورت معکوس عادی[۶]، خیلی معکوس[۷] و فوق العاده معکوس[۸] طبقه بندی کرد. با توجه به این مشخصه ها می توان گفت که رله های زمان معکوس، قابلیت انعطاف بیشتری نسبت به فیوزها دارند. با تنظیماتی از قبیل تنظیم جریانی[۹] و تنظیم زمانی[۱۰] (TMS یا TDS) می توان زمان عملکرد رله را برای یک جریان مشخص تنظیم نمود. همچنین می توان این امکان را فراهم نمود که این رله ها بتوانند فقط برای یک جهت خاص از جاری شدن جریان عمل کنند. این کار را با اضافه کردن یک تشخیص دهنده جهت جریان می توان عملی کرد. هنگامی که رله عمل می کند، یک سیگنال به کلید قدرت ارسال می شود.کلید قدرت نیز قسمتی معیوب را از سیستم به گونه ای جدا می کند، که جریان خطا از سمت منبع تغذیه قطع شود[۴].

---

[6] .Normal inverse
[7] .Very inverse
[8] .Extremely inverse
[9] .Tap Value(TV)
[10] .Time Multiplier Setting(TMS) , Time Dial Setting(TDS)

۲ ۴ نصب منابع پراکنده در سیستم‌های توزیع



شکل ۲-۳-یک سیستم توزیع به همراه سیستم حفاظت مرسوم آن[۱]

شکل۲-۳ نمودار تک خطی یک سیستم توزیع نمونه را نشان می دهد. این شبکه از یک پست توزیع که از طریق یک ترانسفورمر کاهنده به شبکه انتقال متصل است تغذیه می شود. ترانسفورمرهای توزیع، ولتاژ را تا سطح ولتاژ سیستم توزیع کاهش می دهند.

ولتاژ توزیع معمولاً کمتر از ۳۵kV می باشد (۳۳kV یا ۲۰kV).ترانسفورمر توزیع توسط یک رله جریان زیاد در پست، حفاظت می شود. (R در شکل ۲-۳). این رله توسط یک CT[11] تغذیه می شود و سیگنال فرمان خود خود را به کلید قدرت CB ارسال می کند.

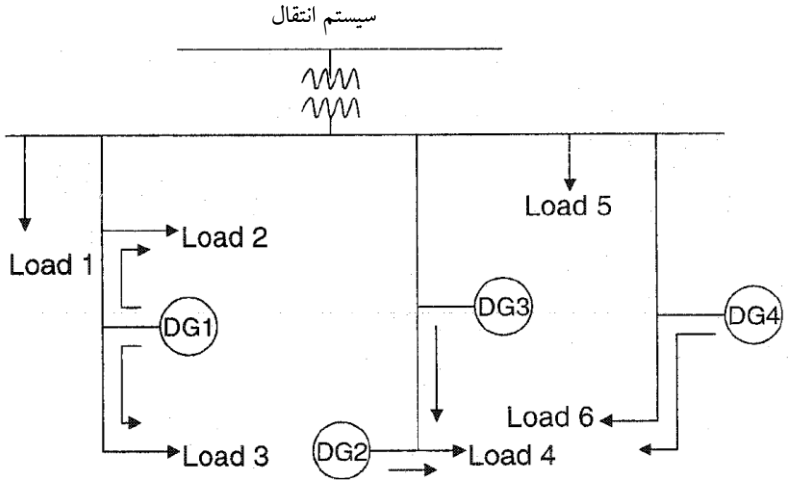
در طول خط اصلی انشعاب‌هایی از آن گرفته می شود. این انشعاب‌ها خود نیز، انشعاب های کوچکتری را تغذیه می کنند. همانطور که در شکل۲-۳ نشان داده شده است، هر انشعاب به وسیله یک فیوز حفاظت می شود. در خط اصلی نیز دو ریکلوز R1 وR2 نصب شده اند. این ریکلوزها علاوه بر این که باید با یکدیگر هماهنگ شوند باید با تمام فیوزهای پایین دست خود نیز هماهنگ شوند، تا از سیستم در برابر خطاهای گذرا و اتفاقی حفاظت کنند. نکته‌ای که در این جا باید مد نظر داشت این است که از دیدگاه وسایل حفاظتی، سیستم توزیع به صورت شعاعی می باشد، به این معنی که یک منبع، خطهای پایین دست را تغذیه می کند. بارها نیز در طول خطها توزیع شده اند. یکی دیگر از مشخصه های یک سیستم توزیع، نامتعادلی آنها هم از لحاظ بارها و هم از لحاظ امپدانس خطوط است.

منابع پراکنده منابعی هستند، با توان نسبتاً محدود (از چند کیلووات تا چند مگاوات) که در پست توزیع یا در طول خط و یا در نزدیک مصرف کننده نصب می شوند. DGها دارای تکنولوژیهای ساخت متفاوتی می‌باشند

[11] .Current Transformer(CT)

که می توان از سلولهای خورشیدی، توربین های بادی سلولهای پیل سوختی، میکرو توربین ها، توربینهای گازی و موتور های احتراق داخلی نام برد[۷].

در گذشته، هزینه تولید انرژی الکتریکی توسط منابع پراکنده خیلی بیشتر از هزینه خرید انرژی از شبکه اصلی بود. دلیل عمده این مسئله این بود که تولید انرژی توسط یک منبع بزرگتر هزینه ی کمتری نسبت به منابع کوچکتر در برداشت. این اختلاف زیاد هزینه باعث می شد که تولید کننده اصلی با وجود هزینه های انتقال و توزیع، انرژی خود را با قیمت کمتری به فروش برسانند. اما در سالهای اخیر هزینه انتقال و توزیع به طور پیوسطه افزایش پیدا کرده است، دلیل این موضوع را می توان در هزینه کارگران، تاثیرات محیطی از قبیل زیبایی شهری و محدودیت های طراحی جستجو نمود. در سالهای اخیر به خاطر پیشرفت های تکنولوژی در منابع پراکنده، هزینه این گونه منابع کاهش یافته است. این تاثیرات در کل باعث شده است که اضافه کردن منابع پراکنده به سیستم توزیع از لحاظ اقتصادی بسیار با صرفه تر از گسترش خطوط انتقال و توزیع باشد. بنابراین پیش بینی می شود که تا سال ۲۰۱۰ تا ۲۰ در صد منابع جدید نصب شده، این گونه منابع باشد؛ این موضوع بیان کننده این است که در آینده ای نزدیک سیستم‌های توزیع شبیه شکل۲-۴ خواهد شد[۶]. منابع پراکنده بارهای اطراف خود را تغذیه می کنند و بر روی پخش بار شبکه تاثیر می گذارند.



شکل ۲-۴-سیستم های توزیع شامل چندین منبع[۶]

به وضوح مشخص است که اکنون، فرض شعاعی بودن سیستم توزیع صادق نمی باشد و با یک سیستم نا متعادل با چند منبع روبرو هستیم. از آن جاییکه سیستم حفاظتی با فرض شعاعی بودن سیستم توزیع طراحی شده است، حضور منابع پراکنده باعث می شود که سیستم حفاظتی نیاز به یک بازبینی مجدد داشته باشد . در مطالعات اتصال کوتاه سیستم‌های توزیع، معمولاً تولید کننده به صورت یک منبع سری با امپدانس معادل مدل می شود و به این ترتیب می توان سهم منابع پراکنده را در تغذیه جریان یک خطا تعیین نمود. اندازه امپدانس معادل مورد نظر، بسته به نوع تولید کننده توان، متفاوت می باشد و نشان دهنده توانایی تزریق جریان منبع در هنگام وقوع خطا می‌باشد. در جدول۲-۱ بعضی از انواع منابع پراکنده در تزریق جریان در محل خطا درج شده است.