روشی جدید برای حفاظت شبکه‌های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده با قابلیت عملکرد جزیره‌ای

سید علی محمد جوادیان[۱و۲] مجید شهابی[۱] محمود رضا حقی‌فام[۱]

۱- آزمایشگاه پژوهشی سیستم‌های انتقال و توزیع قدرت، بخش مهندسی برق دانشگاه تربیت مدرس
۲- شرکت مهندسین مشاور قدس نیرو

واژه‌های کلیدی: تولید پراکنده، حفاظت، عملکرد جزیره‌ای، شبکهٔ توزیع، بازبست

چکیده:

شبکه‌های توزیع سنتی ماهیتی شعاعی دارند که به واسطهٔ یک منبع تغذیه از شبکهٔ سراسری تغذیه می‌شوند. سیستم حفاظت این گونه شبکه‌ها بسیار ساده است و معمولا" به وسیلهٔ فیوز، بازبست و رلهٔ اضافه جریان پیاده‌سازی می‌شود. در سال‌های اخیر توجه زیادی به استفاده از واحدهای تولید پراکنده در سطح شبکه‌های توزیع شده است. حضور این گونه منابع تولیدی باعث می‌شود که شبکه‌های توزیع ماهیت شعاعی خود را از دست بدهند و به واسطهٔ آن هماهنگی تجهیزات حفاظتی از بین برود. بنابراین ارائهٔ الگوریتمی جهت حفاظت شبکه‌های توزیع که قدرت تشخیص محل خطا و جداسازی آن را داشته باشد امری ضروری است. در این مقاله الگوریتمی برای حفاظت شبکه‌های توزیع با وجود منابع تولید پراکنده، با تقسیم‌بندی شبکهٔ توزیع به نواحی جداگانه‌ای که در صورت نیاز قادر به بهره‌برداری به صورت جزیره‌ای باشند ارائه شده است. سپس الگوریتم ارائه شده برای یک شبکهٔ توزیع نمونه پیاده سازی شده است. برای مدلسازی شبکهٔ نمونه از نرم‌افزار DIgSILENT و برای اجرای الگوریتم پیشنهادی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است.

۱- مقدمه

یکی از پدیده های قابل توجهی که در سالهای اخیر در صنعت برق رخ داده است حضور منابع تولید پراکنده (DG) در شبکه‌های قدرت است. با وارد شدن واحدهای DG به شبکه‌های توزیع، رفتار سیستم به کلی تغییر می‌کند و این واحدها اثرات مختلفی بر سیستم به جای می‌گذارند که هر کدام از آنها به‌طور جداگانه جای بررسی و تحقیق دارند. یکی از مهمترین اثرات این واحدها بر روی حفاظت شبکه‌های توزیع می‌باشد. با وارد شدن واحدهای DG رفتار ادوات حفاظتی شبکه‌های توزیع به کلی دگرگون می‌شود، چراکه تعداد واحدهای DG قابل تغییر و همچنین گستردگی توزیع این واحدها زیاد است[۱-۱۰].

سیستم‌های توزیع سنتی به طور معمول فیدرهای شعاعی هستند که از طریق یک منبع تغذیه می‌شوند. سیستم حفاظتی نیز در گذشته بر مبنای شعاعی بودن شبکه توزیع طراحی می‌شد. بعد از اتصال DG قسمتی از شبکه ممکن است دیگر شعاعی نباشد، و این بدان معنی است که هماهنگی موجود دیگر کارا نخواهد بود[۱-۱۱].

تولیدات پراکنده منابع تولید انرژی الکتریکی هستند که به شبکه توزیع متصل می‌گردند. این منابع در مقایسه با ژنراتورهای بزرگ و نیروگاه‌ها، حجم و ظرفیت تولید کمتری داشته و با هزینه پایین‌تری راه‌اندازی می‌شوند. همچنین اتصال این منابع به شبکه‌های توزیع منافع زیادی به دنبال دارد. از جمله مواردی که استفاده از واحدهای تولید پراکنده

را مورد توجه قرار می‌دهد می‌توان به مسائلی نظیر مسائل اقتصادی در توسعه نیروگاهها، کاهش آلودگی محیط زیست، بالا بودن بازدهی این منابع در تولید برق، بالا بردن کیفیت برق رسانی به مشتریان، کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع، بهبود پروفیل ولتاژ، آزاد سازی ظرفیت شبکه و بسیاری از موارد دیگر اشاره نمود. نیروگاه‌های آبی، بادی، پیلهای سوختی، سلول‌های خورشیدی، میکروتوربین‌ها، باتری‌ها، سیستم‌های زمین گرمایی و تلمبه ذخیره‌ای از مهمترین انواع منابع تولید پراکنده هستند[۲-۳].

بعد از اتصال واحدهای تولید پراکنده، سیستم دیگر شعاعی باقی نخواهد ماند و این به معنی از دست رفتن هماهنگی بین تجهیزات حفاظتی است. میزان اثرگذاری DG بر هماهنگی به اندازه، نوع و محل نصب DG بستگی دارد. در هر حال بسته به اندازه و محل DG، محدوده‌هایی وجود دارد که هماهنگی حفظ می‌شود و در برخی حالات هیچ محدوده‌ای برای هماهنگی باقی نخواهد ماند[۴-۷و ۱۱].

Kumpulainen و Kauhaneiemi اثر تولیدات پراکنده را بر عملیات بازبست بررسی کردند. آنها نشان دادند که حضور منابع تولید پراکنده باعث عدم کارایی عملیات بازبست در شبکه توزیع و از بین نرفتن خطاهای گذرا می‌شود. آنها همچنین نشان دادند که عملکرد جزیره‌ای باعث از دست رفتن سنکرونیزم در شبکه شده و در صورتی که عملیات بازبست با سنکرونیزم همراه نباشد خسارات سنگینی را به تجهیزات شبکه‌های توزیع وارد می‌کند[۸].

با وجود DG ماهیت سیستم به صورت یک شبکه با چند منبع تولیدی و نامتعادل تغییر می‌کند. بنابراین لازم است که رله‌ها در سیستم جهت‌دار باشند. فیوزها و بازبست‌های قدیمی ماهیت جهت‌دار ندارند در حالیکه رله‌ها می‌توانند به آسانی با واحد جهت‌یاب تجهیز شوند. از نظر اقتصادی جایگزینی همه فیوزها و بازبست‌ها با وسایل حفاظتی جهت‌دار (همانند رله‌ها) عملاً مقرون به صرفه نیست. بنابراین لازم است که مشکل هماهنگی حفاظتی با وجود تزریق DG بدون توجه به اندازه، تعداد و محل قرار گرفتن DG در سیستم توزیع حل شود. Hadj Said با یک مثال ساده نشان داد که جریانهای خطا در تجهیزات حفاظتی با اتصال DG تغییر می‌کند. او پیشنهاد کرد که هماهنگی با وجود اتصال هر DG جدید چک شود. اما این راه‌حل فقط وقتی که تزریق DG کم باشد جواب می‌دهد[۷].

Brahma و Grigis مشکل هماهنگی فیوزها را مطالعه کردند. آنها پیشنهاد کردند که همه DG ها در هنگام خطا خارج شوند، ولی این امر باعث می‌شود که به ازای خطاهای گذرا هم همه DG ها، خارج شوند. آنها همچنین هماهنگی فیوز- بازبست را با وجود DG مورد مطالعه قرار دادند. آنها عنوان کردند که هماهنگی با استفاده از بازبست‌های میکروپروسسوری موجود در بازار بدست خواهد آمد. اما در این حالت همه DG های پایین دست بازبست، باید قبل از وقوع اولین بازبست برای جلوگیری از اتصال بدون سنکرونیزم خارج شوند. این راه‌حل در صورت عمومیت پیدا کردن DG ها عملی نخواهد بود[۹].

Brahma و Grigis همچنین روشی بر اساس شناسایی محل خطا و جدا نمودن قسمت آسیب دیده، در شبکه‌هایی که دارای درصد نفوذ بالایی از تولیدات پراکنده باشند، بصورت Online و به صورت زیر پیشنهاد نمودند. از نقطه خطا هر منبع می‌تواند به عنوان یک منبع ولتاژ با امپدانس تونن معادل شود. اگر محل خطا از یک باس به باس دیگر تغییر کند برای نوع خطای گفته شده امپدانس تونن می‌تواند کاهش یا افزایش یابد. بنابراین اگر محل خطا در قسمت (i-j) از باس (i) به باس دیگر (j) تغییر کند برای نوع خطای داده شده، سهم جریان خطا از هر منبع می‌تواند بطور پیوسته از I_{FMIN} به I_{FMAX} افزایش یابد یا از I'_{FMAX} به I'_{FMIN} کاهش یابد. بنابراین سهم منبع k برای خطای اتفاق افتاده در هر نقطه بین باس i و باس j، همیشه بین سهم منبع k به همان نوع خطا در باس i و باس j قرار دارد. این بدان معنی است که برای هر نوع خطای داده شده در هر قسمت، سهم هر منبع از جریان خطا بین سهم‌های آن منبع برای همان نوع خطا روی باس‌های متصل به این قسمت قرار دارد[۱].

۲- طرح پیشنهادی

هدف اصلی طرح حفاظتی شبکهٔ توزیع این است که قسمت خطا دیده را تشخیص داده و آن قسمت را از بقیه شبکه جدا کند. در شبکه‌های توزیع سنتی، وقتی در قسمتی از شبکه خطا اتفاق بیافتد تمام قسمت‌های پائین دست آن یا بی‌برق می‌شوند و یا به واسطهٔ نقاط مانور از فیدرهای دیگر تغذیه می‌شوند. با فرض اینکه امکان تغذیه از فیدرهای دیگر شبکه وجود نداشته باشد و در قسمت پائین دست بخش خطا دیده DG وجود داشته باشد، طبق منطق سنتی حفاظت پس از بروز خطا امکان بهره‌برداری از آن DG وجود نخواهد داشت. این امر باعث می‌شود که از منابع تولید پراکنده استفاده بهینه

نشده و میزان ENS در شبکه افزایش یابد. بنابراین به نظر می‌رسد که قطع شدن DG ها در هنگام بروز خطا قابلیت اطیمنان شبکه را کاهش دهد. لذا در طرح پیشنهادی این مقاله سعی شده است که تا حد امکان در حین بروز خطا از منابع تولید پراکنده استفاده کرده و از آنها به صورت جزیره‌ای بهره‌برداری شود.

راه حل پیشنهادی بدین صورت است که شبکهٔ توزیع به چند ناحیه تقسیم شود، بدین صورت که در هر ناحیه یا DG حضور نداشته باشد یا اگر DG حضور داشت تبادل بار و مصرف در آن ناحیه بدون استفاده از شبکهٔ سراسری و فقط با در نظر گرفتن تولید DG ها برقرار باشد. به عبارت دیگر شبکهٔ توزیع به دو دسته ناحیه تقسیم می‌شود که این دو دسته خصوصیات زیر را دارا می‌باشند :

۱- دسته اول نواحی هستند که در آنها هیچ منبع تولیدی وجود ندارد و تأمین بارهای موجود در آن نواحی کاملا" وابسته به شبکهٔ سراسری است.

۲- دستهٔ دوم نواحی هستند که در آنها منبع تولید پراکنده وجود دارد. بدیهی است که حداقل یکی از منابع تولیدی واقع در هر کدام از این نواحی باید مجهز به سیستم کنترل فرکانس باشد تا بتواند در مواقعی که لازم است آن ناحیه به صورت جزیره‌ای بهره‌برداری شود، فرکانس ناحیه را کنترل نماید.

نحوهٔ انتخاب نواحی بدین صورت است که از ابتدای فیدر، به ازای هر DG یک ناحیه در نظر گرفته می‌شود، هر ناحیه تا زمانی که DG واقع در آن قدرت تغذیه بار ناحیه را داشته باشد به سمت انتهای فیدر امتداد می‌یابد. به محض اینکه میزان بار پیک پست‌های واقع در ناحیه از میزان تولید آن منبع تولید پراکنده بیشتر شد ناحیه در نظر گرفته شده به پایان می‌رسد و در نقاط ابتدا و انتهای ناحیه دو بریکر قرار داده می‌شود. البته اگر در حین حرکت به سمت انتهای فیدر قبل از رسیدن بار ناحیه به حداکثر تولید منبع واقع در آن ناحیه DG دیگری قرار داشت، DG دوم نیز جزء همان ناحیه لحاظ شده و ناحیه تا نقطه‌ای امتداد می‌یابد که بار پیک آن از مجموع تولید دو DG بیشتر نشود.

علت در نظر گرفتن نواحی به سمت انتهای فیدر این است که تا حد امکان به بارهای بیشتری اجازه تغذیه شدن از شبکه بالادستی داده شود. این عمل باعث بالا رفتن قابلیت اطمینان شبکه و کاهش ENS خواهد شد. البته در مواقعی که میزان تولید DG از بار پست‌های پایین دستی‌اش بیشتر باشد باید امتداد ناحیه به سمت بالا در نظر گرفته شود.

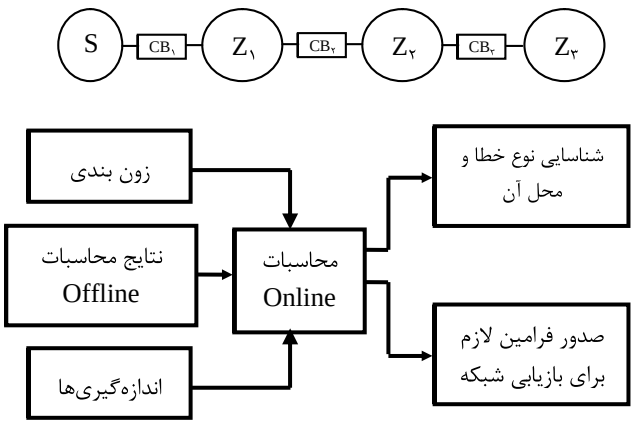
لازم به ذکر است که کلیدهای نصب شده برای جداسازی نواحی از یکدیگر باید مجهز به رلهٔ سنکرو - چک باشند تا در هنگام وصل مجدد نواحی به شبکهٔ سراسری بتوانند دو شبکه را با هم سنکرون کنند. همچنین این کلیدها باید توانایی گرفتن سیگنال فرمان از راه دور را نیز دارا باشند.

برای پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی باید یک رلهٔ کامپیوتری که قابلیت انجام محاسبات و ذخیرهٔ اطلاعات را داشته باشد در پست فوق توزیع قرارداده شود تا بتواند ورودی‌های لازم (که از طریق اندازه‌گیری برخی پارامترهای شبکه تهیه می‌شوند) را دریافت کند، بر روی آنها پردازش انجام دهد و در نهایت با تشخیص محل و نوع خطا فرامین لازم را به ادوات حفاظتی صادر نماید.

شکل (۱) شمای کلی الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

برای پیاده سازی روش پیشنهادی لازم است که اندازه‌گیری‌های زیر در شبکه انجام شده و نتایج آن به طور پیوسته در اختیار رله اصلی قرار گیرد:

- بردارهای جریان سه فاز از تمام DG های واقع در شبکه و از منبع اصلی به صورت همزمان؛
- بردارهای جریان سه فاز از تمام شاخه‌های فرعی به صورت همزمان، به غیر از شاخه‌هایی که در آنها DG حضور دارد؛
- یک سیگنال نماینگر جهت جریان در بریکرهای تشکیل دهندهٔ زون‌ها؛



شکل (۱) :
شمای کلی الگوریتم پیشنهادی

۲-۱- روند انجام محاسبات Offline

در محاسبات Offline باید مطالعات پخش‌بار و اتصال‌کوتاه برای تمام انواع خطا و در تمام نقاط شبکه انجام شده و به ازای تمام خطاها جریان تمام DG ها، منبع اصلی و فیدرهای فرعی مشخص شود. مشخصهٔ آستانه ذوب(MM) و قطع کامل(TC) تمام فیوزهای واقع در شبکه نیز باید ذخیره شود. با استفاده از مشخصات فوق و ذخیره آنها در رله می‌توان به ازای تمام خطاها عملیات بازبست را با فیوزهای شبکه به طور نرم‌افزاری هماهنگ کرد که این مطلب در بخش ۲-۳ شرح داده شده است. همچنین از مشخصه MM و نتایج مطالعات اتصال‌کوتاه، زمان قبل از آسیب رسیدن به فیوزها در سیستم در هنگام خطا محاسبه می‌شود. البته لازم است که تمام محاسبات فوق به ازای هر گونه تغییر درشبکه به‌روز شود. به عنوان مثال در هنگام تغییر در آرایش شبکه (مثلا" قطع یک خط) لازم است که ماتریس ادمیتانس شبکه به روز شده و مطالعات پخش بار و اتصال کوتاه مجددا" اجرا شود.

با در دسترس بودن جریان DG ها، شاخه‌های فرعی و منبع تغذیه اصلی به ازای تمام انواع خطا و بر روی تمام باس‌های شبکه، می‌توان جدولی تهیه کرد که با مقایسهٔ مقادیر فوق به ازای بروز خطا با مقادیر آن جدول، محل دقیق وقوع خطا و نوع آن را تشخیص داد.

پس از شناسایی محل خطا و در نتیجه ناحیهٔ خطا دیده، رله فرمان قطع را به بریکرهای لازم برای جدا کردن آن از دیگر نواحی شبکه ارسال می‌کند و در نتیجه قسمت آسیب دیده از شبکه جدا می‌گردد.

به طور خلاصه مراحل مربوط به محاسبات Offline به شرح زیر است:

۱) دریافت اطلاعات شبکه؛
۲) اجرای برنامه پخش بار؛
۳) اجرای برنامه اتصال‌کوتاه برای انواع خطا و در همه باس‌ها؛
۴) استخراج تمام جریان‌های لازم به ازای هر نوع خطا در هر باس از بانک اطلاعاتی؛
۵) استخراج زمان لازم برای نسوختن فیوزهای شبکه از MM فیوزها؛

۲-۲- نحوهٔ تشخیص محل خطا به صورت Online

همانگونه که اشاره شد، بردارهای جریان سه فاز همزمان از تمام DG های شبکه و منبع اصلی به طور پیوسته در دسترس است. حاصل‌جمع مقادیر فوق همواره برابر با بار شبکه است. اگر در شبکه خطا رخ دهد حاصل‌جمع مقادیر فوق به طور ناگهانی و به شدت بزرگتر از مجموع بار شبکه خواهد شد. لذا در این شرایط رلهٔ اصلی که در داخل پست فوق توزیع واقع شده است تشخیص می‌دهد که در شبکه خطا رخ داده است. در شرایطی که مجموع جریان‌های فوق برابر با صفر شد نشانگر این مطلب است که خطای رخ داده شده در شبکه، در محدودهٔ حفاظتی یکی از DG ها(بین DG و محل اندازه‌گیری جریان آن) صورت گرفته است. در این شرایط رله فرمانی را صادر نخواهد کرد تا سیستم حفاظت مربوط به DG عمل کرده و DG مربوطه را از مدار خارج کند. برای تشخیص محل خطا، از مقایسهٔ مقادیر جریان DG ها، شبکهٔ اصلی و شاخه‌های فرعی با مقادیر جدول تهیه شده در محاسبات Offline استفاده می‌شود. این ایده اولین بار در [۱] مطرح شد. اما در [۱] فقط از جریان DG ها و منبع اصلی استفاده شده است و نمی‌تواند محل خطا را دقیقا" مشخص نماید و در برخی موارد در تشخیص محل خطا دچار اشتباه می‌شود. البته با اضافه شدن تعداد DG ها خطای روش پیشنهادی کاهش می‌یابد ولی در این مقاله برای اطمینان از تشخیص صحیح محل خطا جریان تمام شاخه‌های فرعی فاقد DG هم بررسی می‌شود. این بررسی باعث می‌شود که اولاً مقادیر عددی بیشتری برای مقایسه در اختیار رلهٔ اصلی قرار گیرد و در نتیجه خطای تشخیص آن به شدت کاهش یابد، ثانیا" به دلیل اینکه اندازه‌گیری در شاخه‌های فرعی فاقد DG انجام می‌شود، به ازای خطاهایی که بر روی آن شاخه قرار نداشته باشند جریان اندازه‌گیری شده توسط آنها برابر با جریان بار همان شاخه است که این امر مشخص می‌کند که خطا بر روی آن قرار ندارد. لذا با اضافه کردن این قابلیت به روش پیشنهادی در [۱] می‌توان دقت آن را به شدت افزایش داد.

۲-۳- جداسازی ناحیه خطا و بازیابی شبکه

پس از آنکه رله محل خطا را تشخیص داد و ناحیه خطا دیده مشخص شد، نوبت به جداسازی ناحیه خطا دیده و بازیابی شبکه می‌رسد. اطلاعات در مورد اینکه کدام بریکرها باید تریپ داده شوند در بانک اطلاعاتی موجود است. فلسفه کلی به این صورت است که پس از تشخیص ناحیه‌ای که در آن خطا اتفاق افتاده، رله فرمان قطع را به تمام بریکرهای جداکننده آن ناحیه و نواحی پایین دستی‌اش و همچنین تمام DG های واقع در آن صادر می‌کند. در این شرایط تمام نواحی بالادست ناحیه خطا دیده از طریق شبکه سراسری تغذیه می شوند،

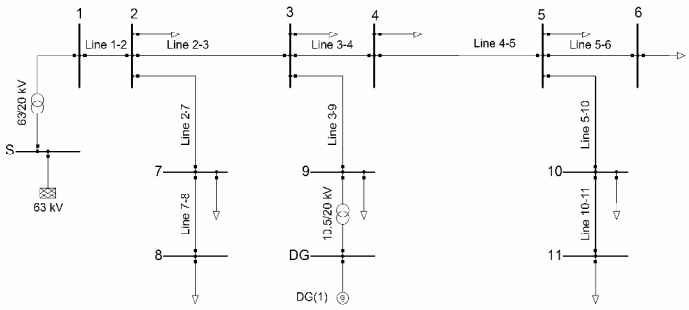
ناحیه خطا دیده بی‌برق می‌شود و نواحی پایین دست آن در صورتی که دارای DG باشند از طریق آن تغذیه شده و در غیر این صورت بی‌برق می‌شوند.

با توجه به اینکه بیش از ۸۰ درصد خطاهای شبکه‌های توزیع ماهیتی گذرا دارند، باید امکانی فراهم شود که به خطاهای گذرا فرصت از بین رفتن داده شود. این کار در شبکه‌های توزیع سنتی به وسیله بازبست‌ها انجام می‌شود. در طرح پیشنهادی این مقاله عملیات بازبست توسط کلیدهای جداکننده نواحی و با کنترل رله اصلی صورت می‌گیرد. نحوه عملکرد به این صورت است که پس از قطع ناحیه خطا دیده، عملیات بازبست توسط بریکر ارتباط دهنده آن ناحیه با شبکه بالادستی و با فرمان رله اصلی صورت می‌گیرد. پس از هر بازبست رله شرایط شبکه را بررسی می‌کند. در صورتی که خطا دائمی بود و همچنان وجود داشت، رله مجدداً فرمان قطع را صادر می‌کند و در صورتی که خطا گذرا بود و طی عملیات بازبست از بین رفت، رله فرمان وصل مجدد بریکرها به همراه عملیات سنکرونیزم و بازیابی شبکه را صادر می‌کند. البته برای موفقیت‌آمیز بودن این فرآیند لازم است که عملیات بازبست قبل از آسیب رسیدن به فیوزهای واقع در شبکه انجام گیرد. با توجه به اینکه منحنی MM تمام فیوزها در بانک اطلاعاتی رله موجود بوده و در محاسبات Offline زمان لازم برای اینکه به هیچ فیوزی آسیب نرسد استخراج شده است لذا رله به راحتی می‌تواند در زمان مناسب عملیات بازبست را انجام دهد.

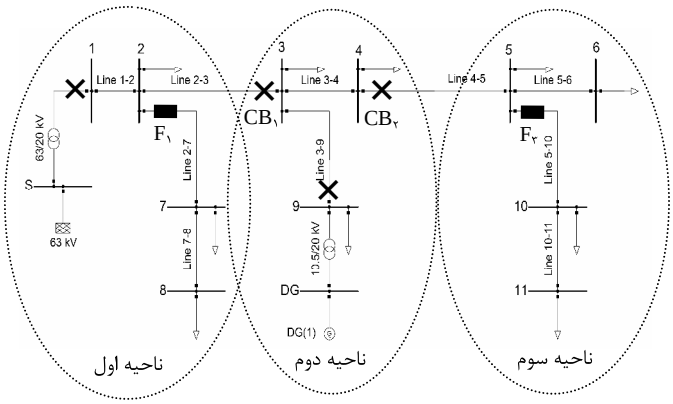
به عنوان مثال اگر در شکل (۱) خطایی گذرا در Z_2 اتفاق بیافتد، رله ابتدا فرمان قطع را به CB_2 ، CB_3 و DG های واقع در Z_2 صادر می‌کند، سپس فرمان وصل مجدد را به CB_2 ارسال می‌کند تا خطای گذرا را تشخیص دهد. در پایان نیز پس از رفع خطا رله فرمان وصل مجدد همراه با عملیات سنکرونیزم را به CB_3 و DG های واقع در Z_2 ارسال می‌کند تا شبکه به طور کامل بازیابی شود.

۳- شبیه‌سازی شبکهٔ نمونه

شبکهٔ مورد مطالعه در این مقاله مطابق شکل (۲) می‌باشد. اطلاعات دقیق مربوط به شبکهٔ فوق در ضمیمهٔ (۱) ارائه شده است. مطابق شکل (۲) شبکهٔ مورد نظر یک شبکهٔ شعاعی از یک سو تغذیه می‌باشد که در آن یک دیزل ژنراتور MVA ۴/۹ با سطح ولتاژ خروجی ۱۰/۵ کیلوولت به شبکهٔ ۲۰ کیلوولت متصل شده است. روش پیشنهادی برای ناحیه‌بندی شبکهٔ فوق بر روی آن اجرا شده و شبکه را به ۳ ناحیه تقسیم‌بندی کرده است. این سه ناحیه توسط دو بریکر CB_1 و CB_2 از یکدیگر مجزا شده‌اند. این دو بریکر به همراه بریکر مربوط به DG و بریکر ابتدای فیدر قدرت دریافت سیگنال از رله اصلی داخل پست ۶۳ کیلوولت را دارا می‌باشند. همچنین CB_1 و CB_2 و بریکر DG مجهز به رلهٔ سنکرو - چک بوده و دارای قابلیت قطع و وصل سریع و پشت هم نیز می‌باشند. شکل (۳) محل CB_1 و CB_2 و نحوه ناحیه‌بندی شبکه را نشان می‌دهد.



شکل (۲): شبکه توزیع مورد مطالعه



شکل (۳) : ناحیه بندی شبکه توزیع مورد مطالعه

الگوریتم پیشنهادی برای تشخیص صحیح محل خطا به ازای خطای سه‌فاز متقارن روی خط ۳-۹، خطای تکفاز به زمین روی خط ۷-۸ و خطای دو فاز روی خط ۱۰-۱۱ اجرا شده و در هر سه مورد تشخیص صحیح محل خطا توسط رلهٔ اصلی انجام گرفته است. نتایج محاسبات Offline و مقادیر اتصال کوتاه حاصل از خطاهای شبیه‌سازی شده در ضمیمهٔ (۲) قابل ملاحظه می‌باشد.

پس از تشخیص خطا نوبت به جداسازی قسمت آسیب دیده و بازیابی آن می‌رسد. نحوهٔ عملکرد رلهٔ اصلی در شبکهٔ شبیه‌سازی شده به ازای خطاهای فوق به ترتیب زیر است:

الف) خطای سه فاز متقارن روی خط ۹-۳

در این حالت رله پس از تشخیص محل خطا و تشخیص اینکه

خطا در ناحیهٔ دوم قرار گرفته است، بلافاصله فرمان قطع را به CB_1 ، CB_2 و کلید DG صادر می‌کند تا ناحیهٔ دوم به طور کامل ایزوله شود. در این حالت ناحیهٔ اول از طریق شبکهٔ سراسری تغذیه شده و نواحی دوم و سوم بی‌برق می‌شوند. پس از آن، برای تشخیص خطای گذرا و انجام عملیات بازبست رله فرمان وصل مجدد را به CB_1 ارسال می‌نماید. پس از وصل مجدد CB_1 ، رله مجدداً شرایط را بررسی می‌کند، در صورت مشاهدهٔ مجدد خطا فرمان قطع به CB_1 صادر می‌شود. این عمل می‌تواند تا چند بار تکرار شود. بدیهی است به دلیل بی‌برق بودن ناحیهٔ دوم در هنگام وصل مجدد به سنکرونیزم نیازی نیست. در صورتی‌که خطا دائمی بود و پس از عملیات بازبست از بین نرفت تمام کلیدهای CB_1 ، CB_2 و کلید DG باز می‌مانند و غیر از ناحیهٔ اول که توسط شبکهٔ بالادستی تغذیه می‌شود بقیهٔ نواحی بی‌برق می‌شوند. اما در صورتی‌که خطا ماهیتی گذرا داشت و در طول عملیات بازبست از بین رفت باید شبکه بازیابی شود. برای این کار ابتدا فرمان وصل به CB_1 و CB_2 ارسال می‌شود و سپس فرمان وصل به همراه عملیات سنکرونیزم به کلید DG صادر می‌شود.

ب)خطای تکفاز روی خط ۸-۷

در این حالت رله پس از تشخیص خطا و محل آن و تشخیص اینکه خطا درناحیهٔ اول قرار گرفته است، بلافاصله فرمان قطع را به CB_1 و CB_2 و کلید ابتدای فیدر صادر می‌کند. در این حالت نواحی اول و سوم بی‌برق شده و ناحیهٔ دوم به صورت جزیره‌ای به کار خود ادامه می‌دهد.

پس از آن برای تشخیص خطای گذرا و انجام عملیات بازبست رله فرمان وصل مجدد را به کلید ابتدای فیدر ارسال می‌کند و شرایط را مجددا" بررسی می‌نماید. در این حالت نیز دقیقا" همان مراحل بیان شده در قسمت (الف) تکرار می‌شوند با این تفاوت که عملیات بازبست توسط کلید ابتدای فیدر انجام می‌گیرد. نکتهٔ دیگری که از اهمیت بالایی برخوردار است هماهنگی فیوز F_1 و عملیات بازبست است. برای برقراری هماهنگی فوق عملیات بازبست به طور نرم‌افزاری با مشخصه‌های MM و TC فیوز شاخهٔ فرعی هماهنگ شده است. در واقع همان فلسفهٔ حاکم بر هماهنگی بازبست- فیوز که در شبکه‌های توزیع سنتی حکمفرماست در اینجا نیز پیاده‌سازی می‌شود. دلیل این امر هم این است که پس از قطع CB_1 ساختار شبکهٔ توزیع واقع در ناحیه اول دقیقا" مشابه ساختار سنتی یک شبکهٔ توزیع است.

در این شرایط، اگر خطا دائمی باشد فیوز ابتدای شاخهٔ فرعی می‌سوزد و خطا را قطع می‌کند و پس از آن طی عملکرد کند عملیات بازبست کلید ابتدای فیدر وصل می‌شود و وقتی که رله هیچ خطایی را مشاهده نکرد فرمان وصل را به CB_2 (همراه با سنکرونیزم) و CB_1 ارسال می‌کند و شبکه به طور کامل بازیابی می‌شود.

ج) خطای دو فاز روی خط ۱۱-۱۰

در این حالت رله پس از تشخیص خطا و محل آن و تشخیص اینکه خطا در ناحیهٔ سوم قرار گرفته است، بلافاصله فرمان قطع را به CB_2 ارسال می‌کند. در این حالت فقط ناحیهٔ سوم بی‌برق می‌شود و نواحی اولی و دوم همچنان از طریق منبع اصلی و DG تغذیه می‌شوند.

پس از آن، برای تشخیص خطای گذرا همانند قسمت‌های (الف) و (ب) عملیات بازبست صورت می‌گیرد، با این تفاوت که در این حالت رله این وظیفه را بر عهده کلید CB_2 قرار می‌دهد. برای هماهنگی بین F_3 و عملیات بازبست نیز CB_2 با فیوز مذکور به صورت نرم‌افزاری هماهنگ می‌شود.

در صورتی‌که خطا گذرا بود و رفع شد، رله فرمان وصل مجدد را به CB_2 ارسال می‌کند تا ناحیهٔ سوم ازطریق شبکهٔ بالادستی تغذیه شود. در صورتیکه خطا ماندگار بود و از بین نرفت فیوز شاخهٔ فرعی ناحیهٔ سوم می‌سوزد و طی عملکرد کند عملیات بازبست کلید CB_2 بسته شده و مابقی ناحیهٔ سوم از طریق شبکهٔ بالادستی تغذیه می‌شوند. لازم به ذکر است که در این حالت نیز به دلیل بی‌برق بودن ناحیهٔ سوم عملیات بازبست نیازی به سنکرونیزم نخواهد داشت.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، الگوریتمی برای حفاظت شبکه‌های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده، با تقسیم‌بندی شبکهٔ مورد نظر به نواحی جداگانه‌ای که در صورت نیاز قدرت بهره‌برداری به صورت جزیره‌ای را دارا باشند، ارائه شد. در الگوریتم ارائه شده، پس از تقسیم‌بندی شبکه توزیع به نواحی جداگانه، رله کامپیوتری داخل پست فوق توزیع از مقایسهٔ مقادیر اندازه‌گیری شده جریان‌های مورد نیاز درشبکه با نتایج محاسبات Offline، محل دقیق خطا را تشخیص می‌دهد و دستورات لازم برای جداسازی قسمت خطا دیده از بقیه قسمت‌های شبکه را صادر می‌نماید.

همچنین الگوریتم ارائه شده قدرت انجام عملیات بازبست و هماهنگی این عملیات با فیوزهای موجود در شبکه را به صورت نرم‌افزاری دارا می‌باشد. در نهایت نیز پس از رفع خطا

بازیابی شبکه مورد نظر با ارسال فرمان وصل مجدد به کلیدها و انجام عملیات سنکرونیزم انجام می‌گیرد.

البته ایدهٔ مطرح شده در این مقاله نقاط ضعفی هم دارد. به عنوان مثال، الگوریتم تشخیص خطا قدرت تشخیص خطاهای امپدانس بالا را نداشته و مقاومت خطا را صفر در نظر می‌گیرد. همچنین در تقسیم‌بندی نواحی برای اطمینان از عملکرد صحیح سیستم حفاظت بار پیک هر ناحیه مورد توجه قرار گرفته است، در حالی که این امر باعث می‌شود که در هنگام عملکرد ناحیه به صورت جزیره‌ای، اگر بارها در پیک خود قرار نداشته باشند مقدار ENS افزایش یابد. همچنین ممکن است که با افزایش تعداد DG ها تقسیم‌بندی شبکه به نواحی جداگانه احتیاج به کلیدهای فراوانی داشته باشد که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد. بنابراین به نظر می‌رسد که اضافه کردن الگوریتم‌هایی برای تشخیص خطاهای امپدانس بالا، ناحیه‌بندی بهینه شبکه با در نظر گرفتن تعداد کلیدهای مشخص و در نهایت بهره‌برداری بهینه از نواحی برای عملکرد جزیره‌ای، به الگوریتم ارائه شده امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر باشد.

۵- پیوست

۵-۱- ضمیمه (۱): مشخصات فنی تجهیزات

جدول(۱): مشخصات ترانسفورماتورها

نام ترانسفورماتور	سطح ولتاژ	قدرت نامی	سطح اتصال کوتاه
	kV	MVA	Uk (%)
T_{DG}	۱۰,۵/۲۰	۵	۳
T_S	۶۳/۲۰	۲۰	۵

جدول (۲): مشخصات DG

Machine Type	IEC ۹۰۹	Salient Pole Series ۱	
Voltage (kV)	۱۰,۵	X'd (pu)	۰,۲۵۶
Pn (MW)	۴,۸۵۵	X"d (pu)	۰,۱۶۸
PFn	۰,۸	X۰ (pu)	۰,۱
Connection	YN	X۲ (pu)	۰,۲
Xd (pu)	۱,۵	R۰=R۲ (pu)	۰
Xq (pu)	۰,۷۵	Rstr (pu)	۰,۵۰۴

جدول(۳): مشخصات هادی

نام هادی	نوع	سطح مقطع
HYENA	ACSR	۱۲۶ mm^2

مشخصات الکتریکی	R (Ω/km)	۰,۳۰۳
	X (Ω/km)	۰,۳۳۸۳
	R_0 (Ω/km)	۰,۴۵۰۹
	X_0 (Ω/km)	۱,۵۸۶۶
	I_n (A)	۲۵۰

تمام خطوط استفاده شده در شبکه نمونه از نوع HYENA ، به طول یک کیلومتر و با مشخصات مشروح در جدول (۳) می‌باشند. همچنین بار پیک تمام پست‌های توزیع ۱ مگاوات و با ضریب توان ۰/۹۵ پس‌فاز در نظر گرفته شده است.

۵-۲- ضمیمه (۲): نتایج محاسبات

نتایج محاسبات Offline و Online برای شبکه نمونه در جداول زیر قابل ملاحظه می‌باشند.

	اتصال کوتاه سه فاز متقارن (Offline)			
	جریان خطا (A)			
باس	شبکه	شاخه فرعی ۱	شاخه فرعی ۳	DG
۱	۱۱۰۶۴	۰	۰	۷۶۸
۲	۸۱۵۷	۰	۰	۷۸۷
۳	۶۳۳۲	۰	۰	۸۰۸
۴	۵۰۱۷	۰	۰	۶۵۶
۵	۴۱۴۲	۰	۰	۵۵۵
۶	۳۵۲۵	۰	۰	۴۸۴
۷	۶۱۹۲	۶۷۵۳	۰	۶۱۹
۸	۴۹۶۲	۵۳۹۰	۰	۵۱۲
۹	۵۱۴۹	۰	۰	۸۳۰
۱۰	۳۵۲۴	۰	۳۹۳۴	۴۸۴
۱۱	۳۰۶۸	۰	۳۴۱۰	۴۳۱

	اتصال کوتاه تکفاز (Offline)			
	جریان فاز خطا دیده (A)			
باس	شبکه	شاخه فرعی ۱	شاخه فرعی ۳	DG
۱	۱۲۷۲۹	۰	۰	۷۶۴
۲	۶۸۵۹	۰	۰	۸۵۳
۳	۴۷۷۴	۰	۰	۹۴۴
۴	۳۴۰۹	۰	۰	۶۹۲
۵	۲۶۵۳	۰	۰	۵۵۲
۶	۲۱۸۰	۰	۰	۴۶۵
۷	۴۴۶۱	۴۹۶۱	۰	۵۸۱
۸	۳۳۱۱	۳۶۶۳	۰	۴۵۰

۹	۳۷۶۳	۰	۰	۱۰۵۵
۱۰	۲۱۸۷	۰	۵۲۴۴	۴۶۵
۱۱	۱۸۵۳	۰	۲۱۵۰	۴۰۴

اتصال کوتاه دوفاز (Offline)				
جریان فازهای خطا دیده (A)				
باس	شبکه	شاخه فرعی ۱	شاخه فرعی ۳	DG
۱	۹۶۳۸	۰	۰	۶۸۹
۲	۷۱۱۸	۰	۰	۷۰۴
۳	۵۵۳۵	۰	۰	۷۲۱
۴	۴۴۱۰	۰	۰	۵۸۹
۵	۳۶۵۷	۰	۰	۵۰۱
۶	۳۱۲۴	۰	۰	۴۳۸
۷	۵۴۳۲	۵۸۵۶	۰	۵۵۶
۸	۴۳۷۱	۴۶۸۲	۰	۴۶۲
۹	۴۵۰۹	۰	۰	۷۵۱
۱۰	۳۱۲۴	۰	۳۴۱۶	۴۳۸
۱۱	۲۷۲۹	۰	۲۹۶۵	۳۹۱

اتصال کوتاه دوفاز به زمین (Offline)				
جریان فازهای خطا دیده (A)				
باس	شبکه	شاخه فرعی ۱	شاخه فرعی ۳	DG
۱	۱۲۱۶۹	۰	۰	۷۶۵
۲	۷۶۱۶	۰	۰	۷۹۵
۳	۵۶۴۶	۰	۰	۸۳۵
۴	۴۳۵۸	۰	۰	۶۳۴
۵	۳۵۸۹	۰	۰	۵۱۹
۶	۳۰۴۳	۰	۰	۴۴۵
۷	۵۵۱۹	۵۹۶۸	۰	۵۷۸
۸	۴۳۴۲	۴۶۶۰	۰	۴۶۵
۹	۴۴۹۸	۰	۰	۸۸۹
۱۰	۳۰۴۲	۰	۳۳۲۲	۴۴۵
۱۱	۲۶۴۴	۰	۲۸۶۷	۳۹۲

جریان (A)	خطای تکفاز روی خط ۷-۸ (Online)		
	a	b	c
شبکه	۳۸۰۰	۰	۰
شاخه فرعی ۱	۴۲۱۴	۰	۰
شاخه فرعی ۳	۰	۰	۰
DG	۵۰۵	۰	۰

جریان (A)	خطای سه فاز روی خط ۳-۹ (Online)		
	a	b	c

شبکه	۵۶۸۱	۵۶۸۱	۵۶۸۱
شاخه فرعی ۱	۰	۰	۰
شاخه فرعی ۳	۰	۰	۰
DG	۸۱۹	۸۱۹	۸۱۹

جریان (A)	خطای دو فاز روی خط ۱۰-۱۱ (Online)		
	a	b	c
شبکه	۲۹۱۳	۲۹۱۳	۰
شاخه فرعی ۱	۰	۰	۰
شاخه فرعی ۳	۳۱۷۵	۳۱۷۵	۰
DG	۴۱۳	۴۱۳	۰

۶- مراجع

[۱] S. Brahma, A. Girgis, "Development of Adaptive Protection Scheme for Distribution Systems with High Penetration of Distributed Generation," IEEE Trans. Power Delivery, VOL. ۱۹, NO. ۱, JANUARY ۲۰۰۴, ۵۶-۶۳.

[۲] P. P. Barker, R. W. de Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems: part۱-radial distribution systems," IEEE Trans. Power Delivery, vol. ۱۵, pp. ۴۸۶–۴۹۳, Apr. ۲۰۰۰.

[۳] R. C. Dugan, T. E. McDermott, "Operating conflicts for Distributed Generation interconnected with Utility Distribution Systems," IEEE Industry Applications Magazines, ۱۹-۲۵, Mar/Apr. ۲۰۰۲.

[۴] Burke, J. James, "Power Distribution Engineering: Fundamentals and Applications," ۱۹۹۴.

[۵] A. Girgis, S. Brahma, "Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System," Power Engineering, LESCOPE'۰۱. ۲۰۰۱ Large Engineering Systems Conference, ۱۱-۱۳ July ۲۰۰۱, pp. ۱۱۵ – ۱۱۹.

[۶] M. T. Doyle, "Reviewing the Impacts of Distributed Generation on Distribution System Protection," Power Engineering Society Summer Meeting, ۲۰۰۲ IEEE Vol.۱, pp.۱۰۳-۱۰۵.

[۷] N. Hadjsaid, J. Canard, F. Dumas, "Dispersed generation impact on distribution networks," IEEE Comput. Appl. Power, vol. ۱۲, pp. ۲۲–۲۸, Apr. ۱۹۹۹.

[۸] L. K. Kumpulainen, K. T. Kauhaniemi,

"Analysis of the impact of distributed generation on automatic reclosing," Power Systems Conference and Exposition, IEEE PES ۱۰-۱۳ Oct. ۲۰۰۴, Vol.۱ pp. ۶۰۳ - ۶۰۸.

[۹] S. Brahma, A. Girgis, "Microprocessor-Based Reclosing to Coordinate Fuse and Recloser in a System with High Penetration of Distributed Generation," IEEE PES Winter Meeting, ۲۰۰۲, Vol.۱, pp. ۴۵۳ – ۴۵۸.

[۱۰] K. Kauhaniemi, L. Kumpulainen, "Impact of distributed generation on the protection of distribution networks," Developments in Power System Protection, Eighth IEE International Conference , ۵-۸ April ۲۰۰۴, Vol.۱, pp. ۳۱۵ - ۳۱۸.

[۱۱] نازخانم رضایی، محمودرضا حقی فام، "حفاظت شبکه‌های توزیع با استفاده از شبکه‌های عصبی با در نظر گرفتن اثر تولیدات پراکنده،" بیستمین کنفرانس بین المللی برق، آبان۱۳۸۴، تهران.

This document was created with Win2PDF available at http://www.daneprairie.com.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.