

بررسی رفتار دینامیکی منابع تولید پراکنده در هنگام وقوع اتصال کوتاه و تأثیر آن بر هماهنگی تجهیزات حفاظتی شبکه توزیع

ابوالفضل پیرایش نقاب
دانشگاه شهید بهشتی
ایران

سید علی محمد جوادیان
شرکت مهندسی قدس نیرو
ایران

واژه‌های کلیدی: تولید پراکنده، شبکه توزیع، حفاظت، مطالعات دینامیکی

چکیده

در این مقاله نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده برای بررسی تأثیر منابع تولید پراکنده بر روی هماهنگی تجهیزات حفاظتی شبکه‌های توزیع ارائه شده است. برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه توزیع باید تغییراتی در تنظیمات سیستم حفاظت این شبکه‌ها اعمال شود. اعمال تنظیمات جدید در برخی موارد باعث قطع بی‌مورد منابع تولید پراکنده می‌گردد. این پدیده در شبکه‌هایی که دارای ظرفیت بالایی از منابع تولید پراکنده هستند باعث ایجاد مشکلات زیادی می‌گردد. بنابراین لازم است که تغییراتی در الگوریتم‌های موجود برای هماهنگی حفاظتی داده شود. در این مقاله به منظور بررسی طرح‌های حفاظتی گوناگون، مدل دینامیکی شبکه توزیع برای انجام مطالعات در نظر گرفته شده و این مدل با استفاده از نرم‌افزار DIgSILENT Power Factory 13.2 شبیه‌سازی شده است.

نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد که منابع تولید پراکنده می‌توانند در هنگام وقوع خطا در فیدرهای مجاورشان پایداری خود را حفظ نمایند. بنابراین می‌توان با در نظر گرفتن تمهیداتی در سیستم حفاظت این منابع، از قطع آنها به ازای وقوع خطا در فیدرهای مجاور جلوگیری کرد. در این مقاله همچنین یک طرح حفاظتی برای منابع تولید پراکنده پیشنهاد شده است که می‌تواند خطاهای فیدر مجاور را از خطاهای فیدری که DG بر روی آن قرار دارد تمیز دهد. لذا با اعمال این طرح حفاظتی برای منابع تولید پراکنده می‌توان از قطع بی‌مورد آنها به ازای وقوع خطا در فیدرهای مجاور جلوگیری کرد.

۱- مقدمه

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

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

سیستمهای حفاظتی شبکه توزیع بیشتر احساس گردد. ظهور این مشکلات به مشخصات شبکه و منابع تولید پراکنده بستگی دارد و در اکثر مواقع برای جلوگیری از آن باید حفاظت شبکه به کلی تغییر کند. این تغییر طرح حفاظتی ممکن است بسیار پیچیده باشد، چرا که باید کل سیستم، از جمله شبکه و DG مدل شوند، به طوری که تصور بهترین طرح حفاظتی هنوز بسیار دور از دسترس است [۴ و ۵].

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 [۹-۶].

در سال‌های اخیر، منابع تولید پراکنده به طور روزافزون به شبکه‌های توزیع متصل می‌شوند. اتصال DGها بسته به ظرفیت آنها، به سطوح ولتاژی مختلف می‌تواند صورت پذیرد. برای اتصال DG به سطوح ولتاژ مختلف قوانین و محدودیت‌های متفاوتی وجود دارد. یکی از موضوعاتی که در تمام این قوانین دیده می‌شود، طرح‌های حفاظتی است که باید برای DGهایی که قرار است به شبکه LV و MV متصل شوند پیش‌بینی شود. مجموعه‌ای که از این قواعد را می‌توان در استاندارد IEEE-1547 که برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه‌های الکتریکی تدوین شده است یافت. به عنوان مثال در این استاندارد تأکید شده است در صورتی که ولتاژ شبکه به پائین‌تر از مرز مشخصی افت کند تمام DGهای متصل به شبکه باید از مدار خارج شوند. به طور کلی این گونه قوانین بسیار سختگیرانه و محافظه‌کارانه است و آنها باعث قطع شدن DGها در حین وقوع خطاهایی که به ازای آنها DGها قدرت حفظ پایداری دینامیکی خود را دارند می‌شود. همچنین این قوانین می‌توانند در شبکه‌هایی که دارای DGهای زیاد و با ظرفیت بالایی هستند مشکل ساز شوند، چرا که به ازای وقوع یک خطا در یک فیدر تمام DGهای متصل به آن فیدر و

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 [۳-۱].

شبکه‌های توزیع سنتی به صورت شعاعی بهره‌برداری می‌شوند، بنابراین طراحی سیستم حفاظت برای این شبکه‌ها چندان پیچیده نیست. اما با توجه به این که در چند سال گذشته توجه زیادی به نصب واحدهای DG در شبکه‌های توزیع شده است و حضور این منابع ماهیت شعاعی بودن شبکه توزیع را از بین می‌برند، حضور منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع مشکلات زیادی را برای طراحی سیستم حفاظت این شبکه‌ها بوجود آورده است [۷-۴].

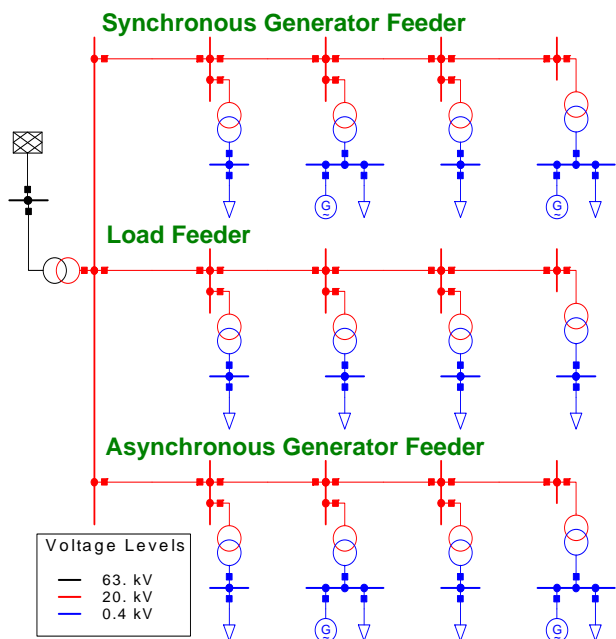
توضیح در مورد بعضی از این مشکلات و برخی از راه‌حلهایی که تا کنون برای غلبه بر آنها ارائه شده است را می‌توان در منابع [۱۱-۱] یافت و در اینجا فقط به ذکر برخی از آنها بسنده می‌شود:

- تریپ اشتباه فیدرها؛
- تریپ اشتباه واحدهای تولیدی؛
- کور شدن حفاظت؛
- افزایش و کاهش سطح اتصال کوتاه؛
- جزیره‌ای شدن ناخواسته؛
- جلوگیری از باز بست اتوماتیک؛
- باز بست غیر سنکرون؛

که همه این عوامل در مجموع سبب می‌شوند تا ضرورت تجزیه و تحلیل تبعات ناشی از ورود DGها بر روی

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

و بتوان رفتار دینامیکی آنها را مطالعه کرد. شبکه سراسری نیز به وسیله یک منبع ولتاژ بینهایت که از طریق یک ترانسفورماتور ۶۳/۲۰ کیلوولت به شبکه توزیع متصل است مدلسازی شده است.



شکل (۱): شبکه توزیع مورد مطالعه

۳- شبیه‌سازی‌های انجام شده

از دیدگاه ژنراتورهای متصل به شبکه می‌توان دو نوع وضعیت خطا در شبکه را در نظر گرفت:

- (۱) وقوع خطا در فیدر مجاور؛
 - (۲) وقوع خطا در همان فیدری که ژنراتور به آن متصل است؛
- خطاهای اتفاق افتاده تنها در صورتی از شبکه ایزوله می‌شوند که فیدر خطا از شبکه قطع شود. در صورتیکه خطا در فیدر مجاور اتفاق افتاده باشد، به شرط حفظ پایداری، DG می‌تواند به شبکه متصل باقی بماند. اما در صورتیکه خطا در فیدری که DG به آن متصل است اتفاق بیافتد، لازم است DG از شبکه قطع شود تا از عملکرد DG به صورت جزیره‌ای ممانعت بعمل آید.

سایر فیدرهای شبکه قطع می‌شوند و این پدیده باعث نوسانات توان و اغتشاشات ولتاژی شدیدی در شبکه می‌گردد. در این مقاله به منظور جلوگیری از قطع غیر ضروری DGها از شبکه، رفتار دینامیکی آنها در حین وقوع خطاهای مختلف و تأثیر آن بر روی سیستم حفاظت آنها مورد بررسی قرار گرفته است و نشان داده شده است که با انتخاب تنظیمات مناسب برای سیستم حفاظت DGها می‌توان از قطع بی‌مورد آنها جلوگیری کرد. برای یافتن تنظیمات مناسب، شبیه‌سازی‌های لازم بر روی یک شبکه توزیع نمونه انجام شده است. در ادامه شبکه مورد استفاده برای انجام شبیه‌سازی‌های لازم، به همراه شبیه‌سازی‌های انجام شده شرح داده می‌شود و مباحثی پیرامون نتایج حاصل ارائه می‌گردد.

۲- شبکه توزیع مورد مطالعه

شبکه توزیع مدلسازی شده در این مقاله یک شبکه توزیع شعاعی است که دیاگرام تک خطی آن در شکل (۱) نشان داده شده است. سطح ولتاژ نامی این شبکه ۲۰ کیلوولت است و از طریق یک پست ۶۳/۲۰ کیلوولت به شبکه سراسری متصل شده است. شبکه دارای ۳ فیدر هوایی ۲۰ کیلوولت است و طول هر یک از فیدرها ۱۲ کیلومتر می‌باشد. هر یک از فیدرهای این شبکه، چهار پست توزیع (۲۰/۰/۴ کیلوولت)، که به فاصله ۳ کیلومتر از یکدیگر قرار دارند را تغذیه می‌کنند. برای خطوط انتقال نیز از هادی HYENA با سطح مقطع mm^2 ۱۲۶ و با جریان نامی ۲۵۰ آمپر استفاده شده است. در ابتدای هر یک از فیدرها یک رله اضافه جریان قرار داده شده است که تنظیمات آن برای اضافه بار 300A/1500ms و برای اتصال کوتاه 2000A/300ms می‌باشد.

بر روی هر یک از پست‌های توزیع یک بار 1000KVA قرار داده شده است. علاوه بر این بر روی ۲ پست از ۴ پست فیدر اول ژنراتورهای سنکرون با ظرفیت 1MW و بر روی ۲ پست از چهار پست فیدر سوم دو ژنراتور القایی با ظرفیت 500KW قرار داده شده است. برای این ژنراتورها هیچ حفاظتی در نظر گرفته نشده است تا در هنگام وقوع خطا از شبکه قطع نشوند

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

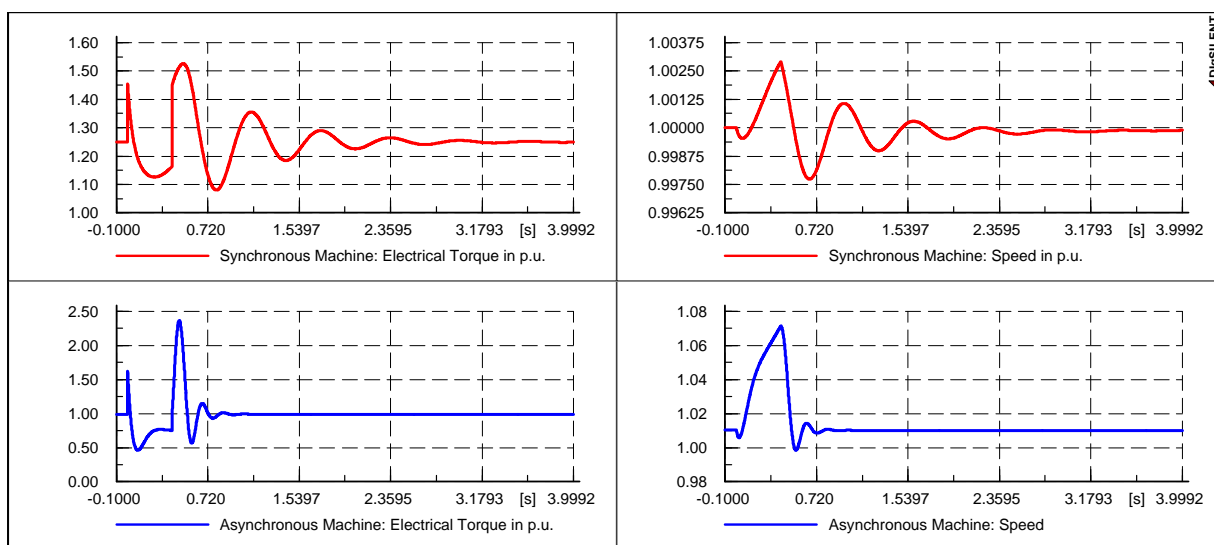
۳-۱- وقوع خطا در فیدر مجاور

مرحله اول شبیه‌سازی‌های انجام شده در این مقاله مربوط است به وقوع خطا در فیدر مجاور ژنراتورهای متصل به شبکه، و هدف اصلی انجام این مطالعه بررسی وضعیت پایداری نیروگاه‌ها در هنگام وقوع خطا در فیدر مجاورشان است. به منظور کاهش تعداد مطالعات دینامیکی، که بسیار هم‌کند و زمان‌بر هستند، فقط بدترین شرایط برای مکان وقوع انواع خطاها در نظر گرفته شده است. به نظر می‌رسد وقتی که بدترین شرایط ممکن برای مکان وقوع خطاها در نظر گرفته می‌شود، تأثیر آن بر روی ژنراتورهای واقع بر شبکه حداکثر باشد. با توجه به مطالعات اتصال کوتاه استاتیک (حالت ماندگار) مشاهده می‌شود که وقتی خطایی در نزدیکترین نقطه به پست تغذیه کننده شبکه (ابتدای هر فیدر) رخ می‌دهد میزان جریان اتصال کوتاه و افت ولتاژ شبکه حداکثر مقادیر خود را اختیار می‌کنند. بنابراین برای انجام مطالعات دینامیکی نیز ابتدای هر فیدر برای مکان وقوع خطا در نظر گرفته شده است تا بدترین شرایط ممکن شبیه‌سازی شود.

شکل (۲) نتایج حاصل از شبیه‌سازی یک خطای سه فاز متقارن در ابتدای فیدر دوم (فیدر بار) را نشان می‌دهد. در این

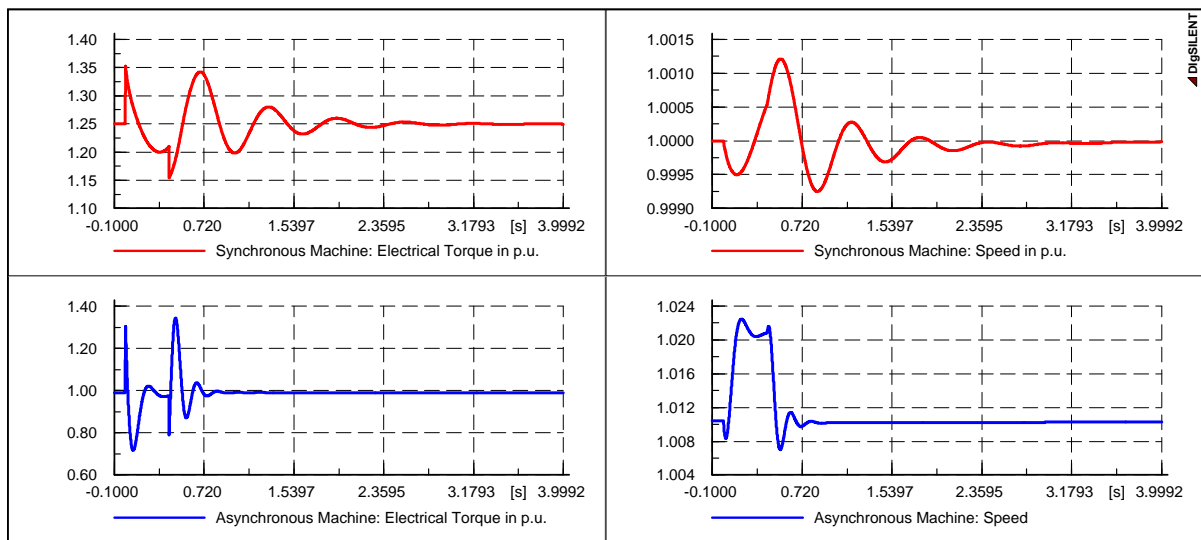
شکل گشتاور الکتریکی و سرعت رتور بر حسب زمان برای ژنراتورهای سنکرون و القایی در طول زمان وقوع خطای مذکور ترسیم شده است. در این شرایط خطا تقریباً پس از گذشت ۴۰۰ میلی‌ثانیه، به واسطه عملکرد رله اضافه جریان ابتدای فیدر سوم از شبکه پاکسازی می‌شود. با توجه به شکل (۲) می‌توان مشاهده نمود که این زمان برای حفظ پایداری DGها مناسب است. به عبارت دیگر زمان پاکسازی خطا کوتاه‌تر از زمان بحرانی برای قطع ژنراتورهاست.

میزان مشارکت منابع تولید پراکنده در جریان خطا باعث عملکرد رله‌های حفاظتی سایر فیدرها نمی‌شود. با وجود اینکه رله‌های ابتدای فیدرهای اول و دوم مجهز به واحد جهت‌یاب نیستند و جریان عبوری از آنها که به دلیل مشارکت DGها در جریان خطا است از ۴۰۰ آمپر که حد تنظیم اضافه بار آنها است فراتر می‌رود، ولی به دلیل اینکه زمان عبور این جریان از رله، کمتر از زمان عملکرد واحد اضافه بار آن است موجب عملکرد رله نمی‌گردد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی خطای دو فاز و تک‌فاز نیز نشان دهنده حفظ پایداری ژنراتورهاست. این نتایج در شکل‌های (۳) و (۴) قابل مشاهده می‌باشند.

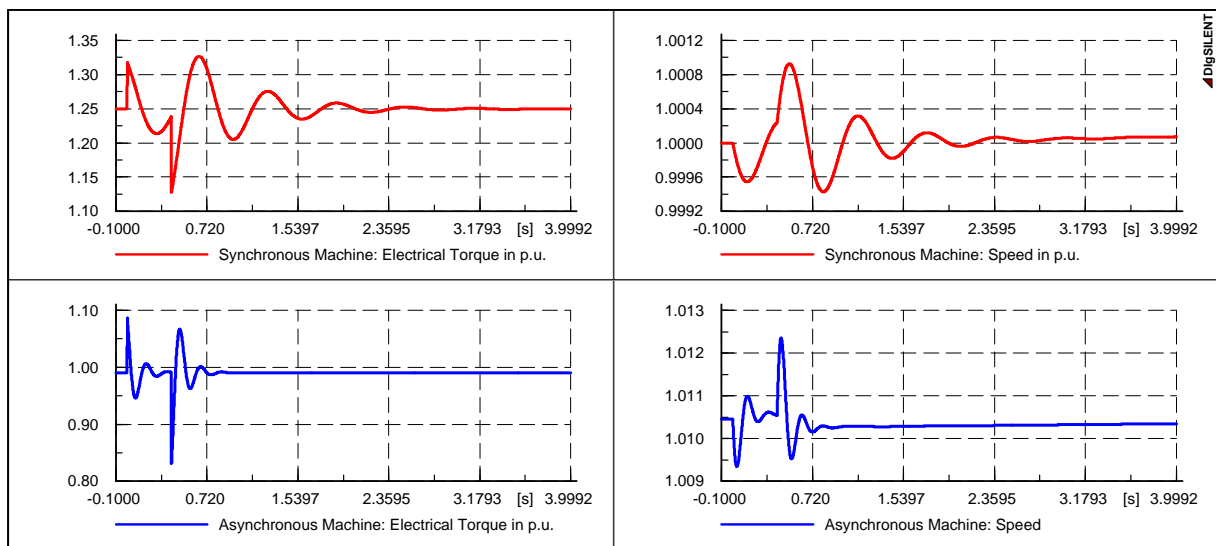


شکل (۲): شبیه‌سازی یک خطای سه فاز متقارن در ابتدای فیدر بار

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (۳): شبیه‌سازی یک خطای دو فاز در ابتدای فیدر بار



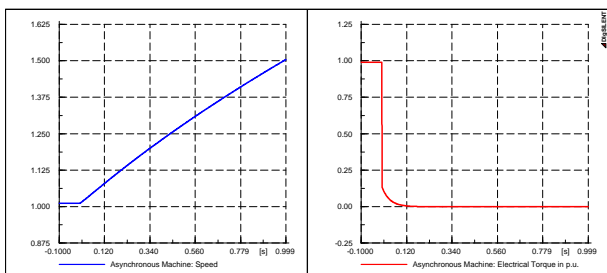
شکل (۴): شبیه‌سازی یک خطای تک‌فاز در ابتدای فیدر بار

شکل (۵) گشتاور الکتریکی و سرعت رتور ژنراتورهای سنکرون را بر حسب زمان و به ازای وقوع خطای سه فاز متقارن در ابتدای فیدر ۱ نشان می‌دهد. همچنین در شکل (۶) گشتاور الکتریکی و سرعت رتور ژنراتورهای القایی بر حسب زمان و به ازای وقوع خطای سه فاز متقارن در ابتدای فیدر ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود ژنراتورهای سنکرون در طول بازه زمانی بین وقوع خطا و قطع فیدر، گشتاور الکتریکی تولید می‌کنند ولی گشتاور الکتریکی ژنراتورهای القایی بلافاصله پس از وقوع خطا صفر

۲-۳- وقوع خطا در فیدر دارای DG

مرحله دوم شبیه‌سازی‌های انجام گرفته در این مقاله مربوط است به وقوع خطا در فیدر دارای DG و هدف آن بررسی رفتار دینامیکی DGها به ازای وقوع خطا بر روی فیدری است که به آن متصل شده‌اند. در این مرحله برای هر دو فیدر دارای DG دو مکان برای وقوع خطا در نظر گرفته شده است. این دو محل عبارتند از ابتدا و انتهای فیدر و علت این مطالعه بررسی این موضوع است که آیا جریان خطای تزریقی از شبکه برای اینکه رله ابتدای فیدر بتواند خطا را تشخیص دهد کافی خواهد بود یا خیر.

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق



شکل (۶): گشتاور الکتریکی و سرعت رتور ژنراتورهای القایی به ازای وقوع خطای سه فاز متقارن در ابتدای فیدر ۳

۴- طرح حفاظت پیشنهادی

در شبیه‌سازی‌های انجام شده در این مقاله پایداری ژنراتورهای متصل به شبکه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین نحوه عملکرد رله‌های اضافه جریان ابتدای هر فیدر به ازای خطاهای مختلف مورد آزمایش واقع شد. علاوه بر فیدرهای توزیع، ژنراتورهای متصل به شبکه نیز باید مورد حفاظت قرار گیرند، اما سیستم حفاظت ژنراتورها باید قدرت تشخیص خطاهایی که روی فیدرهای مجاور رخ می‌دهند و خطاهایی که روی فیدری که DG بر آن واقع است رخ می‌دهند را نیز دارا باشد. در این بخش با استفاده از اطلاعات به دست آمده از شبیه‌سازی‌های مختلفی که در بخش قبل انجام شد، تنظیمات مناسب برای حفاظت DGها استخراج شده است. اطلاعات مورد استفاده سیستم حفاظت ارائه شده در این بخش عبارتند از ولتاژ پایانه ژنراتور، جریان خروجی ژنراتور و سرعت رتور DG.

به ازای وقوع خطاهای نامتقارن مؤلفه‌های متقارن ولتاژ و جریان، مورد استفاده قرار می‌گیرند و با استفاده از حاصل تقسیم مؤلفه منفی بر مؤلفه مثبت ولتاژ و جریان، میزان نامتقارنی ولتاژ و جریان خروجی ژنراتور به ازای آن خطا قابل استخراج خواهد بود.

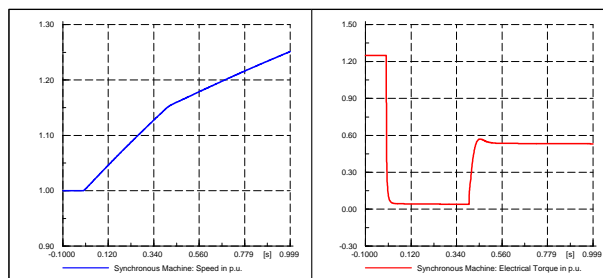
از سرعت رتور ژنراتور تنها به عنوان حفاظت پشتیبان استفاده می‌شود و علت این پدیده نیز این است که شتاب گرفتن رتور DG پس از قطع شدن فیدر شروع می‌شود. بنابراین برای اینکه سیستم حفاظت از سرعت عملکرد خوبی برخوردار باشد باید از کمیت‌های الکتریکی بهره برد.

می‌شود. وقوع این پدیده به این دلیل است که ژنراتورهای سنکرون دارای تحریک خارجی هستند ولی تحریک ژنراتورهای القایی وابسته به ولتاژ شبکه است که در شرایط وقوع خطا مقدار بسیار پائینی دارد. کاهش گشتاور الکتریکی ژنراتورها باعث شتاب گرفتن رتور آنها می‌شود. مقدار گشتاور شتاب دهنده را می‌توان از رابطه (۱) محاسبه نمود. با توجه به این فرض که میزان گشتاور مکانیکی در طول زمان شبیه‌سازی ثابت نگه داشته می‌شود، کاهش گشتاور الکتریکی مستقیماً باعث ایجاد گشتاور شتاب دهنده و افزایش سرعت رتور DGها می‌گردد.

$$T_a = J \frac{dw_m}{dt} = T_m - T_e \quad (1)$$

در هر دو حالت، جریان عبوری از رله‌های اضافه جریان ابتدای فیدر برای تشخیص خطا روی فیدر کافی است. این شرایط به ازای وقوع خطای دو فاز و تکفاز نیز برقرار است. وقوع خطاهای دو فاز و سه فاز باعث عبور جریانی بیش از ۲۰۰۰ آمپر از رله ابتدای فیدر می‌شود که قطع فیدر در کمتر از ۰/۴ ثانیه را در بردارد، اما خطای تکفاز جریانی کمتر از ۲۰۰۰ آمپر را پدید می‌آورد که باعث قطع فیدر در مدت زمان بیشتری (در حدود ۱ ثانیه) می‌گردد.

همان‌گونه که پیش از این نیز اشاره شد، در طول تمام مراحل شبیه‌سازی، تمام ژنراتورها در حالت متصل به شبکه نگه داشته می‌شوند تا اطلاعات لازم در مورد رفتار دینامیکی آنها که برای تنظیمات سیستم حفاظت آنها بسیار مفید خواهد بود استخراج گردد.



شکل (۵): گشتاور الکتریکی و سرعت رتور ژنراتورهای سنکرون به ازای وقوع خطای سه فاز متقارن در ابتدای فیدر ۱

بیست و سومین کنفرانس بین المللی برق

ازای وقوع خطای سه فاز بر روی آن) و با ترکیب تنظیم جریان و زمان می توان به خوبی خطاهای فیدر مجاور و فیدری که DG به آن متصل است را از هم متمایز کرد. تمام مراحل فوق را می توان برای ولتاژ خروجی، نسبت جریان و ولتاژ مؤلفه منفی به مثبت و همچنین سرعت رتور نیز انجام داد و تنظیمات مناسب برای سیستم حفاظت DG ها را استخراج کرد.

تمام این مراحل برای شبکه توزیع مورد مطالعه در این مقاله انجام شده است و تنظیمات مناسب برای سیستم حفاظت ژنراتورهای سنکرون و القایی متصل به شبکه استخراج شده اند. این تنظیمات به ترتیب در جداول (۱) و (۲) ارائه شده اند.

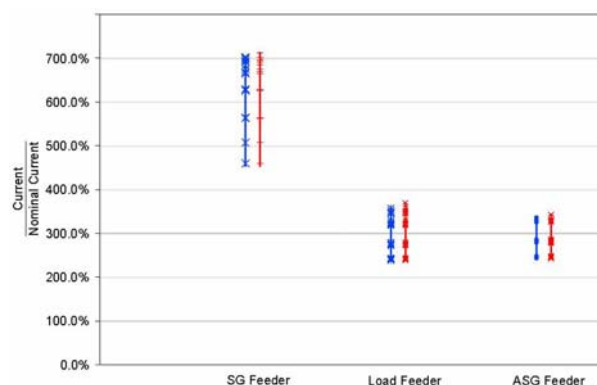
جدول (۱): تنظیمات پیشنهادی برای حفاظت ژنراتورهای سنکرون

کمیت	مقدار	زمان (ms)
I_{gen}	٪۴۰۰	۰
	٪۱۴۰	۸۰۰
U_{gen}	٪۵۵	۰
	٪۷۵	۸۰۰
U_2/U_1	٪۲۲	۰
	٪۳	۸۰۰
I_2/I_1	٪۳۵	۸۰۰
ω_{gen}	٪۱۱۵	۰

جدول (۲): تنظیمات پیشنهادی برای حفاظت ژنراتورهای القایی

کمیت	مقدار	زمان (ms)
I_{gen}	٪۲۵۰	۰
	٪۱۲۰	۸۰۰
U_{gen}	٪۴۵	۰
	٪۶۵	۸۰۰
U_2/U_1	٪۳۵	۰
	٪۵	۸۰۰
I_2/I_1	٪۲۵	۸۰۰
ω_{gen}	٪۱۳۰	۰

به ازای وقوع خطای سه فاز و دو فاز تشخیص فیدر خطا دیده بسیار ساده است، در شکل (۷) دامنه جریان خروجی ژنراتورهای سنکرون به ازای وقوع خطای سه فاز و دو فاز بر روی فیدرهای مختلف شبکه نشان داده شده است. همان گونه که مشاهده می شود، به ازای وقوع خطاهای سه فاز و دو فاز در نقاط مختلف فیدری که ژنراتورهای سنکرون بر روی آن واقع هستند، جریان خروجی آنها از ۴۵۰ درصد جریان نامی آنها کمتر نمی شود. این در حالی است که به ازای وقوع همین خطاها و در نقاط مختلف سایر فیدرهای شبکه دامنه جریان خروجی ژنراتورهای سنکرون از ۳۵۰ درصد جریان نامی بیشتر نخواهد شد. بنابراین با تنظیم سیستم حفاظت ژنراتورهای سنکرون روی ۴۰۰ درصد جریان نامی می توان به راحتی خطاهای سه فاز و دو فاز روی فیدرهای مجاور و فیدری که DG های سنکرون بر آن واقع هستند را از هم تشخیص داد.



شکل (۷): دامنه جریان خروجی ژنراتورهای سنکرون به ازای وقوع خطای سه فاز و دو فاز بر روی فیدرهای مختلف شبکه

در رابطه با خطاهای تک فاز، مقدار جریان خطا به ازای وقوع آنها نسبت به خطاهای دو و سه فاز کمتر است. اما با این حال در دو حالت وقوع خطا بر روی فیدر مجاور و فیدری که DG بر روی آن واقع است، بین جریانی که DG می بیند اختلاف وجود دارد. با توجه به اینکه مقدار جریان خطا در این حالت کم است و می توان با تأخیر بیشتری آن را قطع نمود (یعنی پس از زمان لازم برای قطع شدن فیدر مجاور به

۵- نتیجه‌گیری

مراجع

- [1] P. P. Barker, R. W. de Mello, "Determining the impact of distributed generation on power systems: part1-radial distribution systems," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 15, pp. 486-493, Apr. 2000.
- [2] R. C. Dugan, T. E. McDermott, "Operating conflicts for Distributed Generation interconnected with Utility Distribution Systems," IEEE Industry Applications Magazines, 19-25, Mar/Apr. 2002.
- [3] K. Kauhaniemi, L. Kumpulainen, "Impact of distributed generation on the protection of distribution networks," [Developments in Power System Protection, Eighth IEE International Conference](#), 5-8 April 2004, Vol.1, pp. 315 - 318.
- [4] A. Girgis, S. Brahma, "Effect of Distributed Generation on Protective Device Coordination in Distribution System," [Power Engineering, LESCOPE'01. 2001 Large Engineering Systems Conference](#), 11-13 July 2001, pp. 115 - 119.
- [5] M. T. Doyle, "Reviewing the Impacts of Distributed Generation on Distribution System Protection," [Power Engineering Society Summer Meeting, 2002 IEEE](#) Vol.1, pp.103-105.
- [6] L. K. Kumpulainen, K. T. Kauhaniemi, "Analysis of the impact of distributed generation on automatic reclosing," [Power Systems Conference and Exposition, IEEE PES](#) 10-13 Oct. 2004, Vol.1 pp. 603 - 608.
- [7] S.A.M. Javadian, M.-R. Haghifam, "Designing a New Protection System for Distribution Networks including DG," The 9th IET International conf. on Developments in Power System Protection, 17 - 20 March 2008, pp. 675-680.
- [8] Farzanehrafat, S.A.M. Javadian, S.M.T. Bathaee, M.-R. Haghifam, "Maintaining the Recloser-Fuse Coordination in Distribution Systems in Presence of DG by Determining DG's Size," The 9th IET International conf. on Developments in Power System Protection, 17 - 20 March 2008, pp. 124-129.

در این مقاله رفتار دینامیکی منابع تولید پراکنده در حین وقوع خطاهای مختلف در شبکه توزیع مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج زیر حاصل شد:

در شبکه توزیع مورد مطالعه در این مقاله، منابع تولید پراکنده متصل به شبکه، قدرت حفظ پایداری خود به ازای وقوع خطا در فیدرهای مجاورشان را دارا هستند. همچنین تنظیمات سیستم حفاظت موجود شبکه (تنظیمات رله‌های اضافه جریان ابتدای فیدرهای توزیع) برای اینکه پس از اتصال تولیدات پراکنده نیز کارایی لازم را داشته باشند، نیاز به تغییر ندارند و با تنظیمات قبلی کارایی لازم را خواهند داشت.

همچنین در این مقاله یک طرح حفاظتی مناسب برای ژنراتورهایی که به شبکه توزیع مورد مطالعه متصل شده‌اند پیشنهاد شد که قدرت تشخیص خطاهای روی فیدر مجاور را از خطاهای واقع بر فیدری که DG به آن متصل است را دارد. در این طرح تنها با استفاده از اندازه‌گیری مقادیر جریان و ولتاژ خروجی و سرعت گردش رتور می‌توان به طور کامل DG را حفاظت کرد. با استفاده از طرح حفاظتی ارائه شده در این مقاله می‌توان از قطع غیر ضروری منابع تولید پراکنده در شبکه‌های توزیع جلوگیری کرد و به طور قابل ملاحظه‌ای قابلیت اطمینان این شبکه را افزایش داد. البته ذکر این نکته ضروری است که تنظیمات ارائه شده برای سیستم حفاظت DG‌های واقع در شبکه توزیع مدلسازی شده در این مقاله کاملاً وابسته به آرایش شبکه می‌باشند و تنها برای این شبکه خاص قابل استفاده‌اند، اما با نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های انجام شده در این مقاله می‌توان دریافت که با مطالعه و بررسی دقیق رفتارهای دینامیکی DG‌های متصل به یک شبکه توزیع می‌توان تنظیمات کارآمد برای سیستم حفاظت آنها را که قادر به تشخیص خطاهای واقع بر فیدرهای مجاور و خطاهای واقع بر فیدری که DG به آن متصل است را از هم دارا باشد.

بیست و سومین کنفرانس بین‌المللی برق

- [9] N. Rezaei, M.-R. Haghifam, "[Protection scheme for a distribution system with distributed generation using neural networks](#)," International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Volume 30, Issue 4, May 2008, pp. 235-241.
- [10] S.A.M. Javadian, M.-R. Haghifam, "Protection of Distribution Networks in Presence of DG Using Distribution Automation System Capabilities," Proc. 2008 IEEE Power Engineering Society General Meeting, 20-24 July 2008.
- [11] S.A.M. Javadian, and M.-R. Haghifam, "Implementation of a new protection scheme on a real distribution system in presence of DG," Proc. POWERCON 2008 and 2008 IEEE Power India Conference, 12-15 October 2008, New Delhi, India (to be published).
- [12] D.A.M. Geldtmeijer, F. Provoost, J.M.A. Myrzik, W.L. Kling, "Transient Short-Circuit Behaviour of Distributed Energy Sources and Their Influence on Protection Coordination," Proceedings of the 41st International Universities Power Engineering Conference, UPEC '06, 6-8 Sept. 2006, Volume 2, pp. 536 – 539.
- [13] S.K. Salman, "Investigating the Impact of Embedded Generation on Relay Settings of Utilities' Electrical Feeders," IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 16, No. 2, April 2000.
- [14] T. Senjyu, "Stability Analysis of Wind Power Generating System," Proceedings of the Power Conversion Conference, 2002, Vol. 3, 2-5 April 2002.

[۱۵] سید علی محمد جوادیان، محمودرضا حقی‌فام، مجید شهابی و مجید ابدی مرزونی، "روشی جدید برای حفاظت شبکه‌های توزیع در حضور منابع تولید پراکنده و شبیه‌سازی آن با استفاده از اطلاعات یک شبکه توزیع واقعی"، بیست و دومین کنفرانس بین‌المللی برق،