محدودیت پایداری گذرا و هماهنگی حفاظتی در سیستم‌های توزیع دارای منابع پراکنده

سعید عدل[۱،۴]، غضنفر شاهقلیان*[۲،۴]، بهادر فانی[۳،۴]

۱- کارشناسی‌ارشد، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، saeed83adl@gmail.com
*۲- دانشیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، shahgholian@iaun.ac.ir
۳- دانشیار، دانشکده مهندسی برق، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، b.fani@pel.iaun.ac.ir
۴- مرکز تحقیقات ریزشبکه‌های هوشمند، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۵

چکیده: یکی از موارد جدی مربوط به منابع پراکنده اثر خطاهای سیستم بر پایداری گذرای آنها است که به دلیل اینرسی پایین ژنراتورها و عملکرد آهسته تجهیزات حفاظتی در سیستم‌های توزیع، ناپایداری گذرا آن‌ها کاملاً محتمل است. در این مقاله ابتدا رفتار دینامیکی منابع پراکنده بر روی خطاهای سیستم و سپس حساسیت منابع پراکنده به پارامترهای سیستم مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله بعد، برخی از تنظیمات حفاظتی عملی توضیح داده می شود که از آن به عنوان رله‌های نوعی ولتاژی استفاده می‌شود و مزایا و معایب آنها ذکر شده است. در نهایت بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه و تحلیل حساسیت، یک روش حفاظتی جدید برای حفظ پایداری منابع پراکنده در هنگام بروز خطا در شبکه توزیع پیشنهاد شده است. روش پیشنهادی، منابع پراکنده را مطابق یک رابطه زمان-توان اکتیو، از شبکه توزیع جدا می‌کند. برای کلیه موارد مورد بررسی، زمان پاک‌سازی خطا کمتر از زمان بحرانی پاک‌سازی است. همچنین نتایج شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Etap، مقاوم بودن روش پیشنهادی را در برابر گذراهای سیستم نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: تولیدات پراکنده کوچک، پایداری گذرا، زمان بحرانی پاک‌سازی

۱- مقدمه

تولیدات پراکنده[۱] (DGs) به عنوان یک منبع انرژی الکتریکی، به‌طور مستقیم به شبکه توزیع یک سیستم قدرت متصل می‌شود [۱-۹]. امروزه نصب و راه اندازی DGها در سیستم‌های قدرت به علت مزایای آن‌ها از جمله کاهش تلفات، اصلاح پیک بار، کیفیت بالاتر توان، زمان ساخت کوتاه‌تر، کاهش احتمال از دست دادن بار، کاهش نیاز به توسعه انتقال و همچنین نگرانی‌های زیست محیطی، افزایش پیدا کرده است [۱۰-۱۲].

با این وجود، اتصال DGها تغییراتی را در سیستم‌های توزیع موجود ایجاد می‌نماید و می‌تواند منجر به ناپایداری سیستم‌های قدرت و حتی خروج‌های ناخواسته گردد [۱۳-۱۶]. هنگامی که DG به موازات منبع اصلی عمل می‌کند، بهبود طرح‌های حفاظتی سیستم توزیع سنتی و استفاده از رله‌گذاری و تنظیم مناسب برای DG، از ضرورت‌های اصلی برای جلوگیری از ناپایداری ژنراتور خواهد بود. سیستم حفاظت DG می‌تواند به دو بخش اصلی تقسیم شود: حفاظت محل اتصال و رله‌گذاری واحد DG. به طور معمول، حفاظت محل اتصال در نقطه اتصال مشترک (PCC) بین ژنراتور و منبع اصلی نصب شده و توابع زیر را فراهم می‌کند [۱۷-۱۹]:

۱- قطع ژنراتور یا PCC زمانی که DG دیگر به موازات منبع اصلی کار نمی‌کند.

۲- حفاظت منبع اصلی در برابر آسیب‌های ناشی از اتصال ژنراتور مانند جریان خطای تغذیه شده توسط ژنراتور به جریان خطای

[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.2.2.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Summer 2021

سیستم و اضافه ولتاژهای گذرا

۳- حفاظت از ژنراتور در برابر آسیب‌های ناشی از منبع اصلی

از طرف دیگر نیز، حفاظت DG موارد حفاظتی اتصال کوتاه‌های داخلی ژنراتور و شرایط عملکرد نامتعارف را فراهم می‌کند.

همچنین یکی از مهم‌ترین وظایف رله حفاظتی DG، تشخیص ناپایداری گذرای ژنراتور است. پایداری گذرا به عنوان توانایی سیستم قدرت برای حفظ سنکرونیزم در مقابل اختلالات شدید گذرا تعریف شده است.

زمان پاک‌سازی بحرانی شاخص مهم مربوط به مفهوم پایداری گذرا است. در حال حاضر، بیشتر سیستم‌های DG از ژنراتورهای سنکرون استفاده می‌کنند. اکثریت قریب به اتفاق DGهایی که در کشور ایران نصب شده‌اند نیز ژنراتورهای سنکرون[۲] (SGs) هستند. برای یک SG، یک حداکثر زاویه روتور وجود دارد که منجر به حفظ عملکرد پایدار SG می‌گردد. زمان پاک شدن خطا و اینرسی ژنراتور تاثیرات مهمی بر پایداری SG دارند. زمان پاک شدن خطا برای سیستم انتقال حدود ۱۰۰ میلی ثانیه است. با این حال، این زمان برای شبکه‌های توزیع ممکن است بسیار طولانی‌تر شود. علاوه بر این، ثابت اینرسی SGهای کوچک معمولاً کوچکتر از ۲ ثانیه است [۲۰]، در مقایسه با ثابت اینرسی برای SGهای بزرگ مقیاس که در حدود ۳ تا ۵ ثانیه است. با توجه به موارد ذکر شده، ناپایداری گذرا یک مساله جدی برای ژنراتورهای سنکرون مقیاس کوچک[۳] (SSSGs) مرتبط با شبکه‌های توزیع است. بنابراین، مطالعات عمیقی باید انجام گردد تا رفتار دینامیک این ژنراتورها در برابر خطاهای سیستم شناسایی شود.

از دست دادن شرایط سنکرونیزم برای یک ژنراتور در حال کار، یک مساله بسیار جدی بر صحت عملکرد الکتریکی و مکانیکی SSSG است. قابل ذکر است که خسارات شدیدی می‌تواند ناشی از این شرایط ایجاد گردد.

شرایط خارج از سنکرونیزم باعث انحراف گشتاور می‌شود که باعث ایجاد تنش‌های مکانیکی بالایی در بسیاری از قسمت‌های سیستم ژنراتور و سیستم اولیه می‌گردد که ممکن است چندین برابر گشتاور نامی سیستم باشد. قابل ذکر است که این گشتاور بیش از حد ممکن است باعث آسیب به شفت ژنراتور یا موتور اصلی شود [۲۱].

به دلایل قطعی‌های گسترده پس از وقوع خطا در شبکه، مزایای مورد انتظار از منابع انرژی پراکنده به‌طور قابل توجهی کاهش داده می‌شود. همچنین قطع ناگهانی یک واحد بزرگ DG می‌تواند بر عملکرد نرمال شبکه تاثیر معکوس بگذارد و ممکن است باعث وقوع کاهش ولتاژ و اضافه بار در شبکه گردد. به‌منظور جلوگیری از عدم تعادل بزرگ بین تولید و مصرف به دلیل قطع واحدهای DG، برخی از کدهای شبکه الزامات گذر از خطا[۴] (FRT) تعریف شده‌اند. کدهای جدید شبکه، سیستم‌های تولید انرژی پراکنده را ملزم می‌کنند تا در هنگام خطا به شبکه قدرت متصل بمانند تا از قطع شدن گسترده زنجیره‌وار آن‌ها جلوگیری شود. هدف از الزامات گذر از خطا جلوگیری از قطع ناخواسته یک بخش تولید تولیدی در شرایط نامتعارف است [۲۲،۲۳].

تأثیر یک خطا در شبکه بر پایداری DGها در [۲۴] بررسی شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که تنظیم کنونی رله‌های کاهش ولتاژ (۰/۸ پریونیت، ۲۰۰ میلی ثانیه)، که به عنوان تابع حفاظتی استفاده می‌شود، ممکن است به ازای وقوع اتصال کوتاه در سطح انتقال منجر به خروج وسیع واحدهای DG در یک منطقه بزرگ گردد. بنابراین، لازم است تنظیمات مناسب برای رله کاهش ولتاژ انجام گردد، تا با الزامات FRT مطابقت داشته باشد.

در [۲۵] اثر حفاظت شبکه بر پایداری واحدهای DG مطالعه شده است و نشان داده شده است که تمامی واحدهای DG با استفاده از حفاظت UV قبل از اینکه خطای مربوطه توسط رله‌های حفاظتی پاک شود، از مدار خارج می‌گردند. بنابراین، این حفاظت برای جلوگیری از ناپایداری لازم است و نمی‌تواند غیر فعال شود.

اثر زمان پاک‌سازی خطا بر پایداری گذرای DGها در [۲۶] مورد مطالعه قرار گرفته است. این مطالعه نشان می‌دهد که برای شبکه‌های توزیع شامل DGها، تجزیه و تحلیل پایداری گذرا باید انجام گردد و تنظیمات حفاظتی به‌منظور جلوگیری از ناپایداری DGها اصلاح گردد. علاوه بر این، پیشنهاد می‌کند که تنظیم حفاظت کاهش ولتاژ DG بر اساس مطالعات پایداری گذرا تعیین گردد.

روش‌های مختلف موجود در مقالات و در عمل برای تشخیص شرایط خارج از سنکرونیزم وجود دارد، مانند: حفاظت دیستانس، شبکه‌های عصبی و طرح‌های مبتنی بر منطق فازی [۲۷].

در این مقاله روش جدیدی برای شناسایی شرایط خارج از سنکرونیزم واحدهای SG ارائه می‌گردد. روش پیشنهادی بر اساس نظریه معیار–ناحیه- مساوی است که برای تشخیص بین شرایط پایدار و خارج از سنکرونیزم استفاده می‌کند. در ادامه ساختار مقاله به این شرح است. در قسمت دوم سیستم مورد مطالعه اشاره می‌شود. طرح حفاظتی پیشنهادی براساس اندازه‌گیری توان اکتیو در قسمت سوم بیان شده است. در قسمت چهارم الگوریتم پیشنهادی براساس مقدار توان اکتیو در طول خطا توضیح داده شده است. در قسمت پنجم نتایج شبیه‌سازی و در نهایت در قسمت ششم نتیجه‌گیری مقاله آمده است.

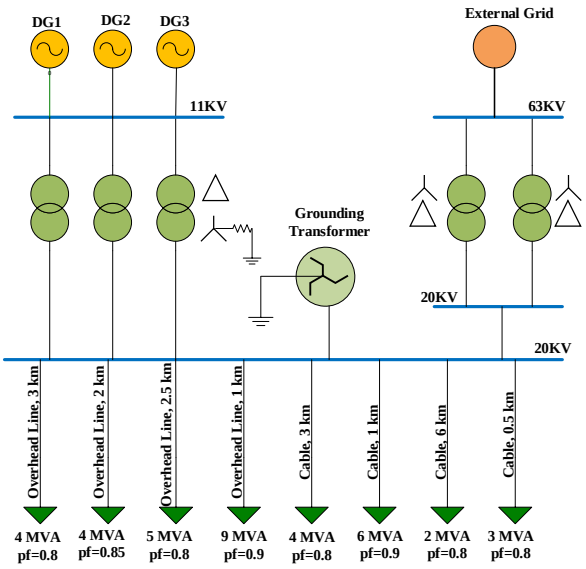
۲- سیستم مورد مطالعه

در این مقاله، یک پست ۶۳/۲۰ کیلوولت واقعی شامل سه SSSG با استفاده از نرم‌افزار Etap شبیه‌سازی شده است. این ژنراتورها با استفاده از سه ترانسفورماتور به باس بار ۲۰ کیلو ولت متصل شده‌اند. نحوه اتصال این ترانسفورماتورها ستاره زمین شده (سمت منبع) مثلث (سمت تولیدات پراکنده) است که یک انتخاب مناسب برای یک ترانسفورماتور داخلی است [۲۸،۲۹].

نوترال‌های ژنراتور با یک مقاومت به منظور محدود کردن جریان خطای تک فاز به زمین، زمین شده‌اند. فیدرهای خروجی شامل هردو

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.2.2.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Summer 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

خط هوایی و کابلی هستند که می‌توانند تمام شرایط ممکن را جهت مطالعه ایجاد نمایند. شبکه ۶۳ کیلوولت توسط معادل تونن بعنوان شبکه خارجی مدل‌سازی شده است. سیستم مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): سیستم مورد مطالعه

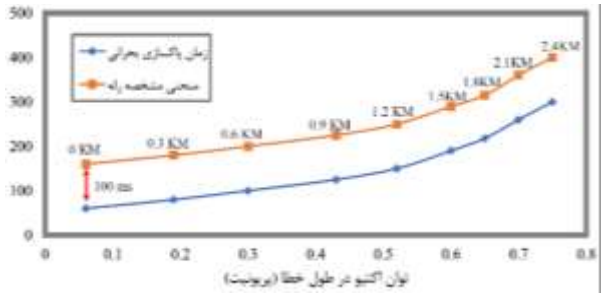
۳- طرح حفاظت پیشنهادی

برای خطاهای دو فاز و خطای سه فاز در مکان دور، مقدار CCT بسیار بیشتر از خطاهای نزدیک به آن است. برای این خطاها سیستم حفاظت به زمان کافی برای قطع فیدر معیوب از شبکه قبل از وقوع ناپایداری گذرا SSSG را دارد و لازم نیست بلافاصله ژنراتور را قطع کند. بنابراین طرح حفاظتی باید خطاها را با توجه به اهمیت آن‌ها از نقطه نظر پایداری گذرا، تشخیص دهد.

روش پیشنهادی عمدتاً براساس معیار مساحت برابر است. یعنی پایداری ژنراتور به‌طور عمده وابسته به توان اکتیو خروجی خود در طول خطا است. مقدار بیشتری از توان منتقل‌شده در طول خطا ناحیه متغیر را افزایش داده و حاشیه پایداری ژنراتور را افزایش می‌دهد. بنابراین، توان اکتیو ژنراتور در طول خطا را می‌توان به عنوان یک شاخص مناسب برای پیش‌بینی ناپایداری آن در نظر گرفت.

توان اکتیو خروجی ژنراتور در طول خطای سه فاز کاهش می‌یابد و سپس ثابت می‌شود. با درنظر گرفتن تاخیر در محاسبه توان اکتیو (P)، مقدار P بعد از ۵۰ میلی‌ثانیه از شروع خطا برای خطاهای سه فاز در فواصل محاسبه می‌شود.

منحنی P به ازای CCT برای این خطاها در شکل (۲) نشان داده شده است. فاصله خطا از باس بار نیز در این شکل نشان داده شده است. مقادیر بالاتر توان اکتیو منتقل‌شده و CCT متناظر به‌ازای خطاهای دورتر هستند. بنابراین برای خطاهای دورتر، زمان کافی برای قطع ژنراتور قبل از ناپایدار شدن وجود دارد. این امر زمان بیشتری را برای متصل نگه داشتن ژنراتور متصل به شبکه فراهم می‌کند و این مورد با الزامات گذر از خطا مطابقت دارد. منحنی به‌دست آمده برای تعیین زمان عملکرد مناسب رله پیشنهادی مبتنی بر محل خطا، قبل از وقوع ناپایداری گذرا SSSG استفاده می‌شود. یک منحنی مشخصه معکوس مناسب باید برای رله حفاظتی مبتنی بر توان اکتیو پیشنهادی انتخاب شود. با در نظر گرفتن زمان عملکرد کلید قدرت و همچنین یک حاشیه امنیت به‌منظور تضمین عملکرد ایمن رله پیشنهادی، یک اختلاف زمانی ۱۰۰ میلی ثانیه به عنوان حاشیه بین منحنی مشخصه رله پیشنهادی و منحنی CCT-P در نظر گرفته می‌شود.



شکل (۲): منحنی‌های مشخصه رله و CCT به ازای P

۴- الگوریتم پیشنهادی

برای رله پیشنهادی مبتنی بر توان اکتیو، ورودی‌های سه فاز ولتاژ و جریان‌های اندازه‌گیری شده در ترمینال SSSG نمونه‌برداری می‌شوند. این الگوریتم براساس مقدار توان اکتیو در طول خطا است. بنابراین، فازورهای تمام ولتاژها و جریان‌های ورودی باید محاسبه شوند. با استفاده از این فازورها، توان اکتیو کل محاسبه می‌گردد.

توان اکتیو محاسبه شده براساس این روش، نوسان ناچیز دارد که بر زمان عملکرد رله به‌طور قابل توجهی تاثیر نمی‌گذارد. بنابراین، می‌تواند یک روش ساده و کارآمد برای محاسبه توان اکتیو باشد.

با توجه به منحنی‌های مشخصه رله و CCT به‌ازای توان اکتیو، دامنه عملکرد رله به‌منظور تضمین عملکرد ایمن رله در طول گذراهای سیستم (توان اکتیو کمتر از ۰/۸ پریونیت) محدود شده است. حالت‌های گذرای سیستم به عنوان مثال حذف بار می‌تواند باعث نوسان توان در سیستم شود. این نوسانات می‌تواند عملکرد ایمن رله را به خطر بیاندازد. با در نظر گرفتن بازه محدودیت، عملیات ایمن رله پیشنهادی را می‌توان تضمین نمود.

برای افزایش امنیت طرح پیشنهادی، فازورهای جریان سه فاز برای بلاک کردن رله در حالت حذف بار مورد استفاده قرار می‌گیرد. این منطق براساس این حقیقت استوار است که اگر جریان فازورها برای دو فاز از سه فاز بزرگ‌تر از ۱/۵ پریونیت باشد، نشان می‌دهد که یک خطا رخ داده است. در غیر این‌صورت، رله بلاک می‌شود. این یک منطق مناسب است زیرا تغییر بار جریان‌های ژنراتور را تا ۱/۵ پریونیت افزایش نمی‌دهد. تشخیص یک خطا رله مبتنی بر توان اکتیو را فعال می‌سازد. اگر توان محاسبه‌شده کم‌تر از ۰/۸ پریونیت باشد، براساس منحنی مشخصه رله، زمان عملکرد رله محاسبه می‌شود و مقدار

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.2.2.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Summer 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

شمارش‌گر رله افزایش می‌یابد. این فرآیند تا زمانی که مقدار شمارنده برابر یک باشد ادامه خواهد یافت.

در این حالت سیگنال تریپ به قطع کلید قدرت ارسال خواهد شد. این استراتژی تنظیم مجدد، الگوریتم را قادر می‌سازد که به‌ازای خطاهای دو فاز قطع نکند. در طول این خطاها، مقدار توان اکتیو ژنراتور در طول خطا افزایش می‌یابد و بیشتر از ۰/۸ پریونیت می‌شود، بنابراین رله مجدداً راه‌اندازی خواهد شد. باید دقت شود که مقدار از پیش تنظیم شده (۰/۸ پریونیت) با توجه مقدار بار ژنراتور درحالت پایدار قبل از خطا و نه توان نامی ژنراتور است. مطابق الگوریتم، زمان رله پیشنهادی متناسب با مقدار N (تعداد واحدهای SSSG متصل به سیستم مورد مطالعه) از یکی از چهار حالت مشاهده شده و به کمک چهار گروه تنظیمی متفاوت محاسبه می‌گردد.

۵- نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت سیستم مورد مطالعه برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی استفاده شده است. جدول (۱) زمان پاک‌سازی، زمان قطع ژنراتور و CCT برای انواع مختلف خطاها در محل‌های مختلف خطوط هوایی به طول سه کیلومتر را نشان می‌دهد.

جدول (۱): زمان کافی و CCT برای خطاهای متفاوت

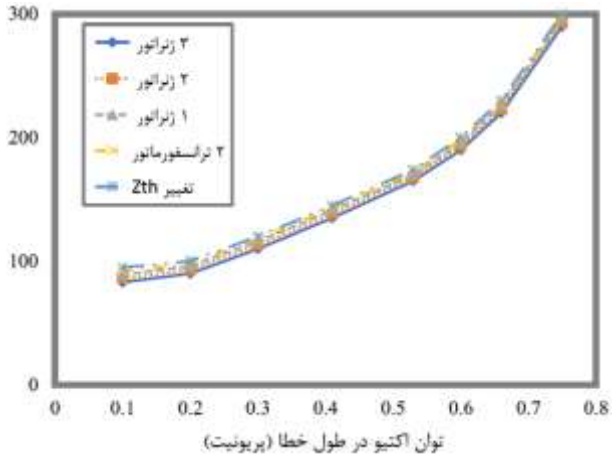
نوع خطا – محل خطا	زمان پاکسازی (میلی ثانیه)	زمان پاکسازی بحرانی (میلی ثانیه)
تکفاز- باس بار	بدون عملکرد	پایدار
دوفاز- باس بار	بدون عملکرد	۸۳۷
سه فاز- باس بار	۱۳۹	۱۶۰
سه فاز- ۰/۳ کیلومتر	۱۵۳	۱۷۸
سه فاز- ۰/۶ کیلومتر	۱۷۸	۱۹۸
سه فاز- ۰/۹ کیلومتر	۲۱۰	۲۲۲
سه فاز- ۱/۲ کیلومتر	۲۴۴	۲۵۲
سه فاز- ۱/۵ کیلومتر	۲۷۷	۲۸۶
سه فاز- ۱/۸ کیلومتر	۳۰۸	۳۲۰
سه فاز ۲/۱ کیلومتر	۳۳۲	۳۶۳
سه فاز- ۲/۴ کیلومتر	۳۵۰	۴۰۷
سه فاز- ۲/۷ کیلومتر	بدون عملکرد	۴۵۱
سه فاز- ۳ کیلومتر	بدون عملکرد	۴۹۵

در این جدول، محل خطا فاصله خطا از باس بار را نشان می‌دهد و زمان پاک‌سازی شامل زمان عملکرد رله با در نظر گرفتن زمان عملکرد کلید قدرت است که ۸۰ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که برای تمامی موارد مورد مطالعه، زمان پاک‌سازی کم‌تر از مقدار CCT است. همچنین برای خطاهای تک فاز به زمین، دو فاز و سه فاز در انتهای خط که پایداری گذرای ژنراتورها را به خطر نمی‌اندازد، زمان کافی برای پاک‌کردن خطا وجود دارد و نیازی به قطع سریع ژنراتورها نیست. برای این خطاها، رله‌های حفاظتی دیگری با تاخیر زمانی کافی ژنراتور را محافظت می‌کنند.

برخی از رله‌های کلاسیک، مخصوصاً رله UV، به عنوان یک روش کلاسیک برای حفاظت از SG در برابر ناپایداری گذرا به‌کار برده شده‌اند. با این حال، ممکن است ژنراتور با این رله برای شرایط غیر ضروری مانند خطاهای دو فاز و سه فاز دوردست قطع شود. همچنین زمان پاک‌سازی خطا پیشنهادی توسط رله UV برابر ۱۶۰ میلی‌ثانیه است [۳۰]. این زمان کوتاه، منجر به عدم هماهنگی رله UV با سیستم پایین دست می‌شود. بنابراین نه تنها رله حفاظتی فیدر خروجی شامل خطا برای اتصال کوتاه دو فاز و سه‌فاز عمل می‌کند، بلکه ژنراتور با رله UVقطع می‌شود که در دسترس پذیری DG را کاهش می‌دهد [۳۱]. این روش یک طرح بسیار مقاوم و قابل اطمینان برای حفاظت از ژنراتور در برابر ناپایداری و همچنین مطابق با الزامات FRT ژنراتور است.

۵-۱- مقاوم بودن الگوریتم

برای بررسی مقاومت الگوریتم، رله پیشنهادی در شرایط عملکرد مختلف سیستم، چندین شرایط ممکن مورد بررسی قرار گرفته است. این شرایط شامل تغییر در ظرفیت اتصال کوتاه شبکه خارجی، تغییر در تعداد ژنراتورها و تغییر تعداد ترانسفورماتور اتصال دهنده است. به‌منظور بررسی این شرایط مجدداً سیستم مورد مطالعه استفاده می‌شود. برای بررسی عملکرد مورد اطمینان رله در تمام این شرایط کافی است که تغییرات در منحنی مشخصه رله بررسی شود. شکل (۳) حساسیت مشخصه رله را نسبت به تغییرات سیستم نشان می‌دهد. در این شکل، "۲ ترانسفورماتور" مربوط به زمانی است که یکی از ترانسفورماتورها اتصال قطع شده است. در شرایط دوم ("امپدانس تونن تغییرکرده")، سه ترانسفورماتور اتصال موجود در سیستم است در حالی که ظرفیت اتصال کوتاه شبکه خارجی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، امپدانس معادل شبکه خارجی کاهش می‌یابد

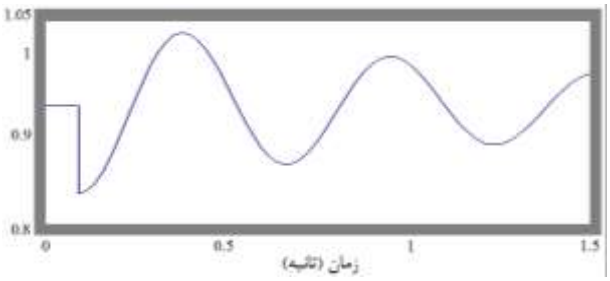


شکل (۳): منحنی مشخصه رله برای تغییرات مختلف در سیستم

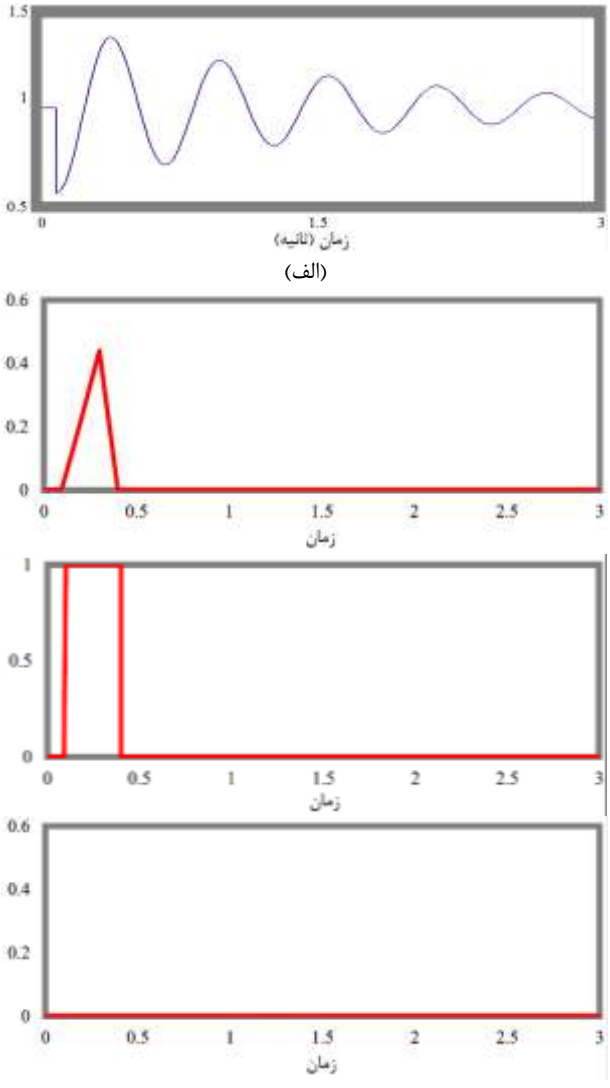
۵-۲- اثرات گذراهای سیستم

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.2.2.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Summer 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

یک طرح حفاظتی ایمن باید در طول گذراهای سیستم قدرت به‌درستی عمل کند. طرح حفاظتی پیشنهادی عمدتاً براساس توان اکتیو ژنراتور است. بنابراین، نوسانات توان نباید بر عملکرد ایمن الگوریتم پیشنهادی تاثیر بگذارد. در این بخش، عملکرد الگوریتم پیشنهادی در طول گذراهای سیستم مورد آزمایش قرار می‌گیرد. برای انجام این کار، یک حذف بار بزرگ و خطای گذرا در سیستم قرار می‌گیرد. توان اکتیو کل ژنراتور در طول شرایط حذف بار در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴): توان اکتیو ژنراتور در طول شرایط حذف بار



شکل (۵): شرایط خطا گذرا : (الف) توان اکتیو و (ب) سیگنال تریپ

همان‌طور که در این شکل نشان داده شده، مقدار توان بیشتر از ۰/۸ پریونیت است و بنابراین، رله فعال نمی‌شود. شکل (۵) توان اکتیو کل و مقدار شمارنده برای حالت خطای گذرا را نشان می‌دهد. برای این خطا، شمارنده مدت کوتاهی افزایش می‌یابد، اما به سرعت ریست می‌گردد. این نتایج نشان می‌دهد که طرح حفاظت پیشنهادی دارای یک عملیات ایمن در طول حالت گذراهای سیستم است.

۳-۵- قابلیت اجرایی الگوریتم

به عنوان یک مطالعه تکمیلی، بررسی امکان به‌کارگیری الگوریتم پیشنهادی برای یک منبع پراکنده کوچک، به عنوان مثال یک SG با توان ۸۸۰ کیلوولت آمپر، ۰/۴کیلو ولت متصل به باس بار۲۰ کیلوولت شبیه‌سازی شده است. زمان پاک‌سازی خطا در مقایسه با CCT در جدول (۳-۴) نشان داده شده است. از آنجا که ژنراتور قبل از CCT قطع شده است، طرح حفاظت پیشنهادی قبل از وقوع ناپایداری گذرا برای ژنراتور کوچک‌تر عمل می‌کند.

جدول (۲): عملکرد رله پیشنهادی برای یک ژنراتور کوچک‌تر

نوع خطا – محل خطا	زمان پاکسازی (میلی ثانیه)	زمان پاکسازی بحرانی (میلی ثانیه)
تکفاز- باس بار	بدون عملکرد	پایدار
دوفاز- باس بار	بدون عملکرد	۷۴۱
سه فاز- باس بار	۱۲۸	۱۴۲
سه فاز- ۰/۳ کیلومتر	۱۴۰	۱۵۷
سه فاز- ۰/۶ کیلومتر	۱۵۹	۱۷۲
سه فاز- ۰/۹ کیلومتر	۱۸۰	۱۹۲
سه فاز- ۱/۲ کیلومتر	۱۹۵	۲۱۲
سه فاز- ۱/۵ کیلومتر	۲۰۹	۲۳۵
سه فاز- ۱/۸ کیلومتر	۲۲۱	۲۵۸
سه فاز ۲/۱ کیلومتر	۲۳۰	۲۸۲
سه فاز- ۲/۴ کیلومتر	۲۳۶	۳۰۵
سه فاز- ۲/۷ کیلومتر	۲۴۱	۳۲۵
سه فاز- ۳ کیلومتر	بدون عملکرد	۳۴۴

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله به‌منظور بررسی رفتار دینامیک منابع تولید پراکنده در برابر خطاهای سیستم، حساسیت CCT واحدهای SDG به پارامترهای سیستم بررسی شد. سپس یک روش حفاظت با استفاده از رله‌های حفاظتی موجود و بر اساس نوع فیدرهای خروجی مورد بررسی قرار گرفت و مشکلات آن بیان گردید. با استفاده از نتایج به‌دست آمده، یک الگوریتم برای محافظت از ژنراتورها در برابر ناپایداری گذرا پیشنهاد گردید که در آن توان اکتیو خروجی SDG در طول خطا و CCT برای استخراج مشخصه رله مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی مقاومت الگوریتم حفاظتی پیشنهادی در شرایط عملکرد مختلف سیستم، چندین شرایط ممکن بررسی شد. نتایج بیان‌کننده

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.2.2.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Summer 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

عملکرد مناسب طرح پیشنهادی است. از طرف دیگر با توجه به اینکه طرح حفاظتی پیشنهادی عمدتاً براساس توان اکتیو ژنراتور است، بنابراین نوسانات توان نباید بر عملکرد ایمن الگوریتم پیشنهادی تاثیر بگذارد. بررسی این مورد نیز به کمک شبیه‌سازی حالت‌های گذرای سیستم بررسی گردید.

مراجع

[۱] درویشی پوریا، براتی حسن، **"بازآرایی و جایابی بهینه منابع تولید پراکنده (DGs) در شبکه توزیع در حضور شین کنترل ولتاژ از راه دور با استفاده از الگوریتم بازار بورس"**، نشریه تحقیقات نوین در برق، س. ۷، ش. ۲، ص. ۱۳-۲۴، ۱۳۹۷.

[۲] سالاری مجید، حقیقت‌دار فشارکی فریبرز، **"جایابی و تعیین اندازه بهینه خازن‌ها و منابع تولید پراکنده با هدف بهبود قابلیت اطمینان و حداقل نمودن تلفات در شبکه‌های توزیع"**، روش‌های هوشمند در صنعت برق، س. ۱۱، ش. ۴۳، ص. ۸۳-۹۴، ۱۳۹۹.

[۳] فرخ‌فر اسما، براتی حسن، **"جایابی مکان و تعیین اندازه بهینه منابع تولید پراکنده و خازن‌های موازی به صورت همزمان به‌کمک الگوریتم سینوس-کسینوس (SCA) در سیستم‌های توزیع شعاعی"**، تحقیقات نوین در برق، س. ۵، ش. ۱، ص. ۴۴-۵۱، ۱۳۹۵.

[۴] برجعلی نوه‌سی رامین، نظرپور اکبری داریوش، غنی‌زاده رضا، عالمی پیام، **"بهبود عملکرد شبکه توزیع با استراتژی هماهنگی بانک‌های خازنی قابل کلیدزنی و بازآرایی دینامیکی شبکه در حضور منابع تولید پراکنده"**، روش‌های هوشمند در صنعت برق، س. ۱۲، ش. ۴۸، ص. ۴۳-۵۹، ۱۴۰۰.

[۵] مهدویان مهدی، بهزادفر ندا، **"مروری بر سیستم تبدیل انرژی بادی و کاربرد انواع ژنراتور القایی"**، تحقیقات نوین در برق، س. ۸، ش. ۴، ص. ۵۵-۶۶، ۱۳۹۸.

[6] G. Shahgholian, "*A brief review on microgrids: Operation, applications, modeling, and control*", International Transactions on Electrical Energy Systems, vol. 31, no. 6, Artiacl Number. e12885, 2021.

[7] M. Ahmadi Kamarposhti, A. Hejri, "Optimal location of surge arresters in distribution network considering reliability and technical and economic factors to reduce costs using ICA algorithm", International Journal of Smart Electrical Engineering, vol. 10, no. 1, pp. 7-16, 2021.

[8] Y. Mohammadi, R. C. Leborgne, "*A new approach for* voltage sag *source relative location in active* distribution systems *with the presence of inverter-based distributed generations*", Electric Power Systems Research, Vol. 182, Article 106222, May 2020

[9] S. Jamali, H. Borhani-Bahabadi, "*Protection method for radial distribution systems with DG using local voltage measurements*", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 34, no. 2, pp. 651-660, April 2019

[10] S. Hasan, A. R. Nair, R. Bhattarai, S. Kamalasadan, K. M. Muttaqi, "*A coordinated optimal feedback control of distributed generators for mitigation of motor starting voltage sags in distribution networks*", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. 56, No. 1, pp. 864 – 875, Jan./Feb. 2020.

[11] S. Rajamand, A. Ketabi, A. Zahedi, "*Simultaneous power sharing and protection against faults for DGs in microgrid with different loads*", Energy Equipment and Systems, vol. 7, no. 3, pp. 279-295, 2019

[12] H. Fayazi, M. Moazzami, B. Fani, G. Shahgholian, "*A first swing stability improvement approach in microgrids with synchronous distributed generators*", International Transactions on Electrical Energy Systems, vol. 31, no. 4, Article Number: e12816, April 2021.

[13] P. Rodriguez, A. V. Timbus, R. Teodorescu, M. Liserre, F. Blaabjerg, "*Flexible active power control of distributed power generation systems during grid faults*", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 54, no. 5, pp. 2583– 2592, Oct. 2007.

[14] F. Zandi, B. Fani, A. Golsorkhi, "*A visually driven nonlinear droop control for inverter-dominated islanded microgrids*", Electrical Engineering, vol. 102, pp. 1207–1222, 2020.

[15] Y. Pan, L. Chen, X. Lu, J. Wang, F. Liu, S. Mei, "*Stability region of droop-controlled distributed generation in autonomous microgrids*", IEEE Trans. on Smart Grid, vol. 10, no. 2, pp. 2288-2300, March 2019.

[16] H. Zhou et al., "*Modeling and synchronization stability of low-voltage active distribution networks with large-scale distributed generations*", IEEE Access, vol. 6, pp. 70989-71002, 2018.

[17] C. J. Mozina, "*Interconnect protection of dispersed generators*", Proceeding of the IEEE/TDC, vol. 2, pp. 707–723, Nov. 2001.

[18] S. J. Huang, F. S. Pai, "*A new approach to islanding detection of dispersed generators with self-commutated static power converters*", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 15, no. 2, pp. 500-507, April 2000.

[19] P. Naisani, D. Tholomier, T. Yip, G. Lloyd, "*Protection of distributed generation (DG) interconnection*", Proceeding of the IEEE/CPRE, pp. 1-17, March/April 2010.

[20] W. Freitas, J. C. M. Vieira, A. Morelato, L. C. P. Silva, V. F. Costa, F. A. B. Lemos, "*Comparative analysis between synchronous and induction machines for distributed generation applications*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 21, no. 1, pp. 301–311, Feb. 2006.

[۲۱] فیاضی حسن، معظمی مجید، فانی بهادر، شاهقلیان غضنفر، **"هماهنگی تجهیزات حفاظتی در ریزشبکه های مبتنی بر ژنراتور سنکرون با در نظر گرفتن حفظ پایداری نوسان اول"**، روش‌های هوشمند در صنعت برق، س. ۱۴، ش. ۵۴، ص. ۱-۱۴، تابستان ۱۴۰۲.

[22] E. J. Coster, J. M. A. Myrzik, W. L. Kling, "*Effect of grid disturbances on fault-ride-through behaviour of MV-connected DG-units, in especially CHP-plants*", Proceeding of the IEEE/CIGREpp. 1–11, 2009.

[23] M. Alberdi, M. Amundarain, A. J. Garrido, I. Garrido, F. J. Maseda, "*Fault-ride-through capability of oscillating-water-column-based wavepower-generation plants equipped with doubly fed induction generator and airflow control*", IEEE Trans. on Industrial Electronics, vol. 58, no. 5, pp. 1501–1517, May 2011.

[24] I. Xyngi, A. Ishchenko, M. Popov, L. V. Sluis, "*Protection, transient stability and fault ride-through issues in distribution networks with dispersed generation*", Proceeding of the IEEE/UPEC, pp. 1–5, Italy, Sept. 2008.

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.2.2.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Summer 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

[25] E. J. Coster, J. M. A. Myrzik, W. L. Kling, "*Influence of protection on transient stability of medium voltage grids including distributed generation*", Proceeding of the IEE-E/UPEC, pp. 1054-1059, England, Sept. 2007.
[26] I. Xyngi, A. Ishchenko, M. Popov, L. V. Sluis, "*Transient stability analysis of a distribution network with distributed generators*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 24, no. 2, pp. 1102–1104, May 2009.
[27] S. Paudyal, G. Ramakrishna, M. S. Sachdev, "*Application of equal area criterion conditions in the time domain for out-of-step protection*", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 25, no. 2, pp. 600–609, April 2010.
[28] R. F. Arritt, R. C. Dugan, "*Distributed generation interconnection transformer and grounding selection*", Proceeding of the IEEE/PESGM, pp. 1–7, July 2008.
[29] S. Zhu, L. Geng, J. Zheng, X. Wang, D. Choi, Y. Li, "*Selection method of transformer interconnecting distributed generation and distribution networks*", Proceeding of the IEEE/TS-ASIA, pp. 1-4, Oct. 2009.
[30] IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE Std. 1547-2003, 2003.
[31] I. Xyngi, A. Ishchenko, M. Popov, L. V. Sluis, "*Transient stability analysis of a distribution network with distributed generators*", IEEE Trans. on Power Systems, vol. 24, no. 2, pp. 1102–1104, May 2009.

زیرنویس‌ها

1. Distributed Generators
2. Synchronous generators (SGs)
3. Small scale SGs (SSSGs)
4. Fault Ride Through (FRT)

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.2.2.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Summer 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]

Transient Stability Constraints and Protective Coordination in Distributed Resource Distribution Systems

Saeed Adl[1,4], Ghazanfar Shahgholianzaban[2,4], Bahdor Fani[3,4]

1- MSc Student, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, saeed83adl@gmail.com
2- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, shahgholian@iaun.ac.ir
2- Associate Professor, Department of Electrical Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran, b.fani@pel.iaun.ac.ir
4- Smart Microgrid Research Center, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran

Abstract: One of the serious issues related to these sources is the effect of system errors on their transient stability, which due to the low inertia of the generators and the slow performance of protection equipment in distribution systems, their transient instability is quite possible. In this paper, first the dynamic behavior of scattered sources on system errors and then the sensitivity of scattered sources to system parameters are investigated. In the next step, some practical protection settings are explained, which are used as voltage relays, and their advantages and disadvantages are mentioned. Finally, based on the results of sensitivity analysis, a new protection method has been proposed to maintain the stability of scattered resources in the event of an error in the distribution network. The proposed method separates scattered resources from the distribution network according to an active time-power relationship. For all cases under review, the error clearance time is less than the critical clearance time. The simulation results also show that the proposed method is resistant to system transitions.

Keywords: Small dispersed products, Transient stability, Critical clearance time

[DOR: 20.1001.1.23222468.1400.10.2.2.9]
Journal of Novel Researches on Electrical Power - Vol. 10 -No. 2- Summer 2021
[Downloaded from jeps.dezful.iau.ir on 2026-11-15]